



FORESIGHT TECHNOLOGII WOJEWÓDZTWA ŚLĄSKIEGO 2050

Część I:

KRAJOBRAZ TECHNOLOGICZNY REGIONU – STAN I POTENCJAŁ ROZWOJU TECHNOLOGICZNEGO

Identyfikacja priorytetowych technologii województwa śląskiego
dla obszaru technologicznego

Praca zbiorowa pod redakcją Mariusza Kruczka i Elżbiety Uszok



Komitet Kwalifikacyjno-Opiniodawczy: dr hab. inż. Marek Rotkegel, prof. GIG-PIB (przewodniczący),
prof. dr hab. inż. Barbara Białecka, dr hab. inż. Stanisław Chałupnik, prof. GIG-PIB,
dr hab. inż. Alicja Krzemień, prof. GIG-PIB, prof. dr hab. inż. Grzegorz Mutke,
prof. dr hab. inż. Krzysztof Stańczyk

Recenzentka
prof. dr hab. inż. Jolanta Biegańska

Redakcja wydawnicza
Małgorzata Kuśmirek-Zegadło
Kamil Filipowicz

Korekta
Agnieszka Góralczyk

Skład, łamanie
Krzysztof Gralikowski

ISBN 978-83-65503-75-6 (całość)
ISBN 978-83-65503-76-3 (Cz. 1)

© Copyright by Główny Instytut Górnictwa – Państwowy Instytut Badawczy, Katowice 2026.
Tekst niniejszej publikacji jest dostępny na licencji Creative Commons – Uznanie autorstwa 4.0 Międzynarodowe.
Postanowienia licencji są dostępne pod adresem <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>

Spis treści

Megatrendy

1.1. Wprowadzenie	9
1.1.1. Klasyfikacje megatrendów	9
1.1.2. Założenia metodyczne	10
1.2. Megatrend – zmiany demograficzne	11
1.2.1. Ogólna charakterystyka megatrendu	11
1.2.2. Charakterystyka megatrendu w kontekście regionalnym – województwo śląskie	12
1.2.3. Wyzwania dla Śląska związane z megatrendem i jego potencjalne oddziaływanie	13
1.3. Megatrend – globalizacja i zmieniające się łańcuchy wartości	15
1.3.1. Ogólna charakterystyka megatrendu	15
1.3.2. Charakterystyka megatrendu w kontekście regionalnym – województwo śląskie	16
1.3.3. Wyzwania dla Śląska związane z megatrendem i jego potencjalne oddziaływanie	18
1.4. Megatrend – polaryzacja polityczna i zmieniający się ład międzynarodowy	19
1.4.1. Ogólna charakterystyka megatrendu	19
1.4.2. Charakterystyka megatrendu w kontekście regionalnym – województwo śląskie	20
1.4.3. Wyzwania dla Śląska związane z megatrendem i jego potencjalne oddziaływanie	22
1.5. Megatrend – urbanizacja i rozwój obszarów metropolitalnych	23
1.5.1. Ogólna charakterystyka megatrendu	23
1.5.2. Charakterystyka megatrendu w kontekście regionalnym – województwo śląskie	25
1.5.3. Wyzwania dla Śląska związane z megatrendem i jego potencjalne oddziaływanie	25
1.6. Megatrend – zmiany klimatyczne i degradacja środowiska	26
1.6.1. Ogólna charakterystyka megatrendu	26
1.6.2. Charakterystyka megatrendu w kontekście regionalnym – województwo śląskie	28
1.6.3. Wyzwania dla Śląska związane z megatrendem i jego potencjalne oddziaływanie	30
1.7. Megatrend – cyfryzacja i rozwój nowych technologii	31
1.7.1. Ogólna charakterystyka megatrendu	31
1.7.2. Charakterystyka megatrendu w kontekście regionalnym – województwo śląskie	33
1.7.3. Wyzwania dla Śląska związane z megatrendem i jego potencjalne oddziaływanie	34
Literatura	36

Technologie dla medycyny

2.1. Identyfikacja obszarów technologicznych, grup technologicznych i technologii	42
2.1.1. Opis metodologii	42
2.1.2. Zakres obszaru technologicznego	42
2.1.3. Analiza konkurencyjności obszaru technologicznego	48
2.1.3.1. Opis przyjętych metod	48
2.1.3.2. Analiza warunków popytu na technologie w ramach obszaru technologicznego	48
2.1.3.3. Identyfikacja możliwości pojawienia się nowych technologii, produktów i usług	53
2.1.3.4. Identyfikacja możliwości pojawienia się substytutów dla rozwijanych technologii, produktów i usług	58
2.1.3.5. Identyfikacja zależności i łańcuchów wartości rozwoju technologii w ramach obszaru technologii	59
2.1.3.6. Intensywność konkurencji na rynku wdrażania technologii	60
2.1.3.7. Podsumowanie	61
2.2. Uwarunkowania rozwoju obszaru technologicznego – analiza PESTEL	65
2.3. Ocena obszaru technologicznego – analiza SWOT	67
Literatura	69

Technologie dla energetyki

3.1. Identyfikacja obszarów technologicznych, grup technologicznych i technologii	73
3.1.1. Opis metodologii	73
3.1.2. Zakres obszaru technologicznego	74
3.1.3. Analiza konkurencyjności obszaru technologicznego	85
3.1.3.1. Opis przyjętych metod	85
3.1.3.2. Analiza warunków popytu na technologie w ramach obszaru technologicznego	86
3.1.3.3. Identyfikacja możliwości pojawienia się nowych technologii, produktów i usług	87
3.1.3.4. Identyfikacja możliwości pojawienia się substytutów dla rozwijanych technologii, produktów, usług.....	88
3.1.3.5. Identyfikacja zależności i łańcuchów wartości w ramach technologii	89
3.1.3.6. Intensywność konkurencji na rynku wdrażania technologii	90
3.1.3.7. Podsumowanie	92
3.2. Uwarunkowania rozwoju obszaru technologicznego – analiza PESTEL.....	94
3.3. Ocena obszaru technologicznego – analiza SWOT	95
Literatura	97

Technologie dla ochrony środowiska

4.1. Identyfikacja obszarów technologicznych, grup technologicznych i technologii	100
4.1.1. Opis metodologii	100
4.1.2. Zakres obszaru technologicznego	101
4.1.2.1. Biotechnologie w ochronie środowiska	101
4.1.2.2. Zielona chemia	103
4.1.2.3. Technologie poprawy jakości terenów zdegradowanych	103
4.1.2.4. Technologie gospodarowania odpadami	104
4.1.2.5. Technologie wody i ścieków	106
4.1.2.6. Technologie ochrony powietrza	108
4.1.2.7. Technologie zarządzania środowiskiem	109
4.1.3. Analiza konkurencyjności obszaru technologicznego	116
4.1.3.1. Analiza warunków popytu na technologie w ramach obszaru technologicznego	116
4.1.3.2. Identyfikacja możliwości pojawienia się nowych technologii, produktów i usług	123
4.1.3.3. Możliwość pojawienia się substytutów dla rozwijanych technologii, produktów, usług.....	130
4.1.3.4. Identyfikacja zależności i łańcuchów wartości rozwoju technologii w ramach obszaru technologii	135
4.1.3.5. Intensywność konkurencji na rynku wdrażania technologii	139
4.1.3.6. Podsumowanie	144
4.2. Uwarunkowania rozwoju obszaru technologicznego – analiza PESTEL.....	146
4.3. Ocena obszaru technologicznego – analiza SWOT	147
Literatura	148

Technologie informacyjne i telekomunikacyjne

5.1. Identyfikacja obszarów technologicznych, grup technologicznych i technologii	152
5.1.1. Opis metodologii	152
5.1.2. Zakres obszaru technologicznego	152
5.1.3. Analiza konkurencyjności obszaru technologicznego	153
5.1.3.1. Opis przyjętych metod	153
5.1.3.2. Analiza warunków popytu na technologie w ramach obszaru technologicznego	154
5.1.3.3. Możliwość pojawienia się nowych technologii, produktów i usług	158

5.1.3.4. Możliwość pojawienia się substytutów dla rozwijanych technologii, produktów, usług.....	163
5.1.3.5. Zależności i łańcuchy wartości w ramach technologii.....	163
5.1.3.6. Wzrost konkurencji na rynku wdrażania technologii.....	164
5.1.3.7. Podsumowanie.....	164
5.2. Uwarunkowania rozwoju obszaru technologicznego – analiza PESTEL.....	165
5.3. Ocena obszaru technologicznego – analiza SWOT.....	166
Literatura.....	167

Produkcja i przetwarzanie materiałów

6.1. Identyfikacja obszarów technologicznych, grup technologicznych i technologii.....	170
6.1.1. Opis metodologii.....	170
6.1.2. Zakres obszaru technologicznego.....	170
6.1.3. Analiza konkurencyjności obszaru technologicznego.....	179
6.1.3.1. Opis przyjętych metod.....	179
6.1.3.2. Atrakcyjność popytowa technologii produkcji i przetwarzania materiałów.....	182
6.1.3.3. Atrakcyjność podażowa technologii produkcji i przetwarzania materiałów.....	187
6.1.3.4. Analiza konkurencyjności technologii.....	194
6.1.3.5. Sektory wspierające.....	201
6.1.3.6. Podsumowanie.....	204
6.2. Uwarunkowania rozwoju obszaru technologicznego – analiza PESTEL.....	205
6.3. Ocena obszaru technologicznego – analiza SWOT.....	214
Literatura.....	215

Logistyka i transport

7.1. Identyfikacja obszarów technologicznych, grup technologicznych i technologii.....	232
7.1.1. Opis metodologii.....	232
7.1.2. Zakres obszaru technologicznego.....	232
7.1.3. Analiza konkurencyjności obszaru technologicznego.....	237
7.1.3.1. Opis przyjętych metod.....	237
7.1.3.2. Analiza atrakcyjności popytowej technologii.....	239
7.1.3.3. Analiza atrakcyjności podażowej technologii.....	247
7.1.3.4. Konkurencyjność technologii w regionie.....	254
7.1.3.5. Rozwój sektorów/technologii pokrewnych i wspierających.....	260
7.1.3.6. Podsumowanie.....	263
7.2. Uwarunkowania rozwoju obszaru technologicznego – analiza PESTEL.....	265
7.3. Ocena obszaru technologicznego – analiza SWOT.....	266
7.4. Podsumowanie analizy SWOT.....	266
Literatura.....	267

Przemysł maszynowy i motoryzacyjny

8.1. Identyfikacja obszarów technologicznych, grup technologicznych i technologii.....	274
8.1.1. Opis metodologii.....	274
8.1.2. Zakres obszaru technologicznego.....	274
8.1.3. Analiza konkurencyjności obszaru technologicznego.....	278
8.1.3.1. Opis przyjętych metod.....	278
8.1.3.2. Analiza warunków popytu na technologie w ramach obszaru technologicznego.....	278
8.1.3.3. Analiza możliwości pojawienia się nowych technologii, produktów i usług.....	282
8.1.3.4. Możliwość pojawienia się substytutów rozwijanych technologii, produktów, usług.....	284
8.1.3.5. Zależności i łańcuchy wartości rozwoju technologii w ramach obszaru technologicznego.....	285
8.1.3.6. Intensywność konkurencji na rynku wdrażania technologii.....	285
8.1.3.7. Podsumowanie.....	285

8.2. Uwarunkowania rozwoju obszaru technologicznego – analiza PESTEL	286
8.3. Ocena obszaru technologicznego – analiza SWOT	287
Literatura	288

Nanomateriały i nanotechnologie

9.1. Identyfikacja obszarów technologicznych, grup technologicznych i technologii	292
9.1.1. Opis metodologii	292
9.1.2. Zakres obszaru technologicznego	293
9.1.3. Analiza konkurencyjności obszaru technologicznego	296
9.1.3.1. Opis przyjętych metod	296
9.1.3.2. Analiza warunków popytu na technologie w ramach obszaru technologicznego	299
9.1.3.3. Możliwość pojawienia się nowych technologii, produktów i usług	302
9.1.3.4. Możliwość pojawienia się substytutów dla rozwijanych technologii, produktów, usług	312
9.1.3.5. Identyfikacja możliwości pojawienia się substytutów dla rozwijanych technologii	314
9.1.3.6. Identyfikacja podmiotów (w tym start-upów) wprowadzających rewolucyjne rozwiązania/technologie	314
9.1.3.7. Identyfikacja zależności i łańcuchów wartości w ramach technologii	315
9.1.3.8. Intensywność konkurencji na rynku wdrażania technologii	318
9.1.3.9. Podsumowanie	321
9.2. Uwarunkowania rozwoju obszaru technologicznego – analiza PESTEL	323
9.3. Ocena obszaru technologicznego – analiza SWOT	324
Literatura	327

Technologie lotnicze i przemysł kosmiczny

10.1. Identyfikacja obszarów technologicznych, grup technologicznych i technologii	336
10.1.1. Opis metodologii	336
10.1.2. Zakres obszaru technologicznego – technologie lotnicze i przemysł kosmiczny	336
10.1.3. Analiza konkurencyjności obszaru technologicznego	351
10.1.3.1. Opis przyjętych metod	351
10.1.3.2. Analiza warunków popytu na technologie w ramach obszaru technologicznego	352
10.1.3.3. Identyfikacja możliwości pojawienia się nowych technologii, produktów i usług	355
10.1.3.4. Identyfikacja możliwości pojawienia się substytutów dla rozwijanych technologii, produktów, usług	357
10.1.3.5. Identyfikacja zależności i łańcuchów wartości rozwoju technologii w ramach obszaru technologii	359
10.1.3.6. Presja konkurencji na rynku wdrażania technologii	361
Podsumowanie	362
10.2. Uwarunkowania rozwoju obszaru technologicznego – analiza PESTEL	364
10.3. Ocena obszaru technologicznego – analiza SWOT	365
Literatura	367

Technologie dla przemysłu surowcowego

11.1. Identyfikacja obszarów technologicznych, grup technologicznych i technologii	372
11.1.1. Opis metodyki	372
11.1.2. Zakres obszaru technologicznego	372
11.1.2.1. Poziom 1 – obszar technologii	372
11.1.2.2. Poziom 2 – grupa technologii	374
11.1.2.3. Poziom 3 – technologie	377
11.1.2.4. Podsumowanie	389

11.1.3. Analiza konkurencyjności obszaru technologicznego	390
11.1.3.1. Opis przyjętych metod	390
11.1.3.2. Analiza warunków popytu na technologie w ramach obszaru technologicznego	391
11.1.3.3. Identyfikacja możliwości pojawienia się nowych technologii, produktów i usług	393
11.1.3.4. Identyfikacja możliwości pojawienia się substytutów dla rozwijanych technologii, produktów, usług.....	397
11.1.3.5. Podsumowanie	400
11.2. Uwarunkowania rozwoju obszaru technologicznego – analiza PESTEL	403
11.3. Ocena obszaru technologicznego – analiza SWOT	405
Literatura	407

Megatrendy

Autorzy

Karolina Jąderko-Skubis*

Małgorzata Markowska*

Elżbieta Uszok*

Mariusz Kruczek*

* Główny Instytut Górnictwa – Państwowy Instytut Badawczy



Fundusze Europejskie
dla Śląskiego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Województwo
Śląskie

1.1. Wprowadzenie

1.1.1. Klasyfikacje megatrendów

Identyfikacja megatrendów, czyli długoterminowych globalnych procesów o znaczącym wpływie na różne aspekty życia społeczno-gospodarczego jest kluczowa dla zrozumienia kierunków przyszłych zmian. Ich właściwe wyodrębnienie stanowi zasadniczy element analizy strategicznej i umożliwia zrozumienie zjawisk wpływających na różne aspekty funkcjonowania społeczeństw, gospodarek i środowiska. Grupy badawcze, instytucje analityczne oraz organizacje międzynarodowe, podejmujące się tego zadania, opierają się na różnych podejściach metodycznych.

Biorąc pod uwagę różnorodność perspektyw analitycznych, identyfikowane megatrendy mogą się różnić w zależności od źródła i kontekstu badawczego. Poniżej przedstawiono trzy klasyfikacje megatrendów, opracowane na podstawie różnych podejść i metodologii.

- 1) Infuture Institute (2025) to instytut forecastingowy, który cyklicznie definiuje najważniejsze trendy, opisuje je i wskazuje konsekwencje dla gospodarki, kategorii rynkowych czy konkretnych marek. Wyszczególnia on następujące megatrendy:
 - świat przeobrażeń społecznych,
 - świat AI,
 - światy alternatywne,
 - świat kryzysów zdrowotnych,
 - świat lustrzany,
 - świat wojen,
 - zrównoważony świat.
- 2) Klasyfikacja według Komisji Europejskiej (KE, 2021): w sprawozdaniu dotyczącym prognozy strategicznej z 2021 r. skupiono się na kluczowych światowych megatrendach wpływających na Unię Europejską:
 - zmiana klimatu i inne wyzwania środowiskowe,
 - hiperłączość i transformacja technologiczna,
 - presja na demokrację i wartości,
 - zmiany globalnego porządku i zmiany demograficzne.
- 3) W ekspertyzie opracowanej przez Centrum Ewaluacji i Analiz Polityk Publicznych Uniwersytetu Jagiellońskiego w partnerstwie z Polską Agencją Rozwoju Przedsiębiorczości (PARP) (Szczucka i in., 2023) wskazano, że polski rynek pracy jest kształtowany przez interakcje czterech megatrendów:
 - postępu technologicznego,
 - zrównoważonego rozwoju,
 - zmiany demograficznej,
 - globalizacji.
- 4) W Białej Księdze Wyzwań Rozwojowych (Jurkiewicz i in., 2024), opracowanej przez Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy oraz Instytut Rozwoju Miast i Regionów, ukierunkowanej na wyzwania związane z rozwojem kraju, których identyfikacja i charakterystyka stanowią obligatoryjny element KRK2050 (Koncepcji Rozwoju Kraju 2050, stanowiącej cel projektu GOSPOSTRATEG-III), wyróżniono następujące megatrendy:
 - wzrost globalnych problemów społecznych,
 - przyspieszenie technologiczne,
 - wyłanianie się nowej gospodarki,
 - zmiany klimatu, degradacja środowiska naturalnego i spadek różnorodności biologicznej,
 - transformacja globalnego porządku,
 - reorganizacja przestrzeni.

Identyfikacja megatrendów odgrywa kluczową rolę w analizie strategicznej, umożliwiając lepsze zrozumienie długoterminowych procesów wpływających na społeczeństwo, gospodarkę i środowisko. Dzięki różnorodnym podejściom metodycznym stosowanym przez grupy badawcze, instytucje analityczne oraz organizacje międzynarodowe, możliwe jest wyodrębnienie najistotniejszych globalnych zmian, które kształtują przyszłe kierunki rozwoju.

1.1.2. Założenia metodyczne

W celu zapewnienia kompleksowego podejścia do analizy megatrendów, dokonano ich identyfikacji w ramach kluczowych obszarów tematycznych. Takie podejście umożliwia uwzględnienie złożoności i wielowymiarowości procesów zachodzących w różnych sferach funkcjonowania społeczeństwa oraz gospodarki. Identyfikacja megatrendów w poszczególnych grupach tematycznych pozwala na dokładne zrozumienie kierunków zmian i ich potencjalnych implikacji.

Główne grupy tematyczne wyróżnione na podstawie przeglądu analiz i prowadzonych prac (Dziemianowicz i Jurkiewicz, 2023) uwzględniają:

- Megatrendy społeczne (lub demograficzne): obejmują globalne zmiany w strukturze populacji, takie jak starzenie się społeczeństw, różnorodne tempo przyrostu naturalnego w różnych regionach świata oraz procesy migracyjne, które wpływają na dynamikę demograficzną.
- Megatrendy technologiczne: dotyczą przełomowych innowacji technologicznych, które redefiniują funkcjonowanie gospodarki, codzienne życie oraz relacje międzyludzkie, przenosząc je na nowy, technologiczny poziom.
- Megatrendy gospodarcze: skupiają się na przyszłości globalnej gospodarki, w tym na kwestiach związanych z miejscem tworzenia wartości (realnym vs. wirtualnym) oraz zużyciem zasobów, takich jak źródła energii niezbędne do zaspokojenia potrzeb konsumentów.
- Megatrendy środowiskowe: koncentrują się na zmianach klimatycznych i ich konsekwencjach, podkreślając jednocześnie presję człowieka na środowisko oraz działania mające na celu ochronę przyrody dla przyszłych pokoleń.
- Megatrendy polityczne: obejmują zagadnienia dotyczące przyszłości systemów politycznych, takich jak demokracja oraz skutki globalnej rywalizacji różnych sił politycznych, które wykorzystują zasoby społeczne, gospodarcze i technologiczne.
- Megatrendy urbanizacyjne: dotyczą rosnącej urbanizacji i jej wpływu na przestrzeń, wskazując na potrzebę szerszej debaty na temat przyszłości państw, regionów, miast i innych obszarów.

W ramach każdej z wyróżnionych grup tematycznych megatrendów zidentyfikowano dominujący megatrend, który posłużył jako podstawa do dalszych analiz. Takie podejście umożliwiło skoncentrowanie się na najistotniejszych procesach kształtujących przyszłość w poszczególnych obszarach, a tym samym na wskazanie konkretnych trendów technologicznych, które stanowią odpowiedź na globalne zmiany.

Tabela 1.1. Zidentyfikowane megatrendy

Megatrend społeczny	Megatrend gospodarczy	Megatrend polityczny	Megatrend przestrzenny	Megatrend środowiskowy	Megatrend technologiczny
Zmiany demograficzne	Globalizacja i zmieniające się łańcuchy wartości	Polaryzacja polityczna i zmieniający się ład międzynarodowy	Urbanizacja i rozwój obszarów metropolitalnych	Zmiany klimatyczne i degradacja środowiska	Cyfryzacja i rozwój nowych technologii

W celu zapewnienia spójnej i kompleksowej analizy, megatrendy zostały przedstawione w formie ustrukturyzowanych kart. Takie podejście pozwoliło na systematyczne i jednolite opisanie każdego megatrendu, co ułatwiło ich porównywanie oraz identyfikację wzajemnych powiązań.

1.2. Megatrend – zmiany demograficzne

GRUPA TEMATYCZNA:

MEGATREND SPOŁECZNY

1.2.1. Ogólna charakterystyka megatrendu

Od połowy XVIII w. obserwuje się stały wzrost liczby ludności, który stanowi jeden z kluczowych globalnych megatrendów. Populacja Ziemi zwiększa się o kolejne miliardy co 12–14 lat. W 2019 r. liczba mieszkańców świata wynosiła około 7,7 mld, a według najnowszych prognoz ONZ do 2050 r. wzrośnie do 9,7 mld. Największa dynamika przyrostu ludności przewidywana jest w Afryce i Azji. Tendencje demograficzne w Polsce przebiegają w odwrotnym kierunku niż globalne, co wynika z faktu, że od połowy lat 90. XX w. liczba ludności systematycznie maleje. Jest to spowodowane zarówno niskim poziomem dzietności, jak i znaczną emigracją. Częściowo ubytek ten rekompensuje napływ imigrantów – w 2018 r. Polska przyjęła ich najwięcej spośród wszystkich państw UE (MliR, 2019). Obecnie, według danych GUS, populacja Polski wynosi 37,6 mln osób (US, 2023).

Zmiany demograficzne stanowią jeden z kluczowych megatrendów współczesnego świata, obejmując procesy, takie jak starzenie się społeczeństw, migracje czy zmiany zachodzące w strukturze rodziny. Te zjawiska wywierają istotny wpływ na różne aspekty życia społeczno-gospodarczego, w tym na rynek pracy, systemy opieki społecznej i zdrowotnej, a także na politykę publiczną i infrastrukturę społeczną.

Głównym przejawem megatrendu są globalne problemy społeczne objawiające się m.in. przez:

1. **Depopulację.** W wielu krajach rozwiniętych obserwuje się spadek liczby ludności wynikający z niskiego współczynnika dzietności, często poniżej poziomu zastępowalności pokoleń. W Polsce, od 2018 r., notowany jest znaczny wzrost różnicy między zgonami a urodzeniami, co oznacza wykształcenie się ujemnego przyrostu naturalnego. Zgodnie z publikacją ONZ, na podstawie projekcji w wariancie średnim, liczba ludności Polski spadłaby o 39,1% z 37,9 mln w 2019 r. do 23,0 mln w 2100 r. W scenariuszu wariantu „bez zmian”, natomiast pod koniec XXI w. liczba ludności Polski wyniosłaby 16,3 mln, co oznacza spadek w stosunku do 2019 r. o 57,1% (MRiPS, 2021).
2. **Starzenie się społeczeństwa.** Postęp medycyny i poprawa jakości życia prowadzą do wydłużenia średniej długości życia. Istotną konsekwencją migracji i malejącej liczby urodzeń jest starzenie się demograficzne. W Polsce średni udział populacji w wieku 65+ w całości populacji wynosi 18,1%. Co istotne, proces starzenia się demograficznego przebiega nierównomiernie w poszczególnych regionach kraju (MRiPS, 2021). Starzejące się społeczeństwo stwarza rosnące zapotrzebowanie na usługi medyczne i opiekuńcze. Wymaga to dostosowania infrastruktury oraz polityki publicznej tak, aby sprostać potrzebom rosnącej liczby osób starszych.
3. **Migracje zewnętrzne i wewnętrzne.** Czynniki, takie jak konflikty zbrojne, zmiany klimatyczne oraz poszukiwanie lepszych warunków życia, prowadzą do nasilającej się migracji. Obecnie poza krajem swojego pochodzenia żyje około 270 mln ludzi (3,4% światowej populacji), a prognozy na 2050 r. wskazują na wzrost tej liczby do 368–408 mln (PTSP, 2025).
4. **Zmiany na rynku pracy.** Zmniejszająca się liczba osób w wieku produkcyjnym stawia wyzwania przed rynkiem pracy, takie jak niedobór siły roboczej czy konieczność wydłużenia aktywności zawodowej. Wskaźnik obciążenia demograficznego, czyli stosunek liczby osób w wieku poprodukcyjnym do liczby osób w wieku produkcyjnym, w krajach rozwiniętych wynosi średnio 26,3% (kraje OECD, ang. Organization for Economic Co-operation and Development), a w krajach UE 31,1% (dane dla 2018 r.) (MliR, 2019).
5. **Nierówności społeczne.** Nierówności społeczne to globalne wyzwanie pogłębiane przez kryzysy ekonomiczne i technologiczne. W Polsce sytuacja jest umiarkowana, ale rosnące koszty życia i regionalne dysproporcje stanowią istotne zagrożenie dla spójności społecznej. Nierówności społeczne wynikają z różnic w dostępie do dochodu, edukacji, ochrony zdrowia i kapitału społecznego. Według World Inequality Report 2022 (WIL, 2022), 10% najbogatszych ludzi na

świecie wykorzystuje obecnie 52% globalnego dochodu, podczas gdy najbiedniejsza połowa populacji zarabia 8,5% tego dochodu. Kluczowym problemem pozostaje także nierówność płacowa i płciowa – kobiety globalnie zarabiają średnio 20% mniej niż mężczyźni za tę samą pracę (ILO, 2023). Polska na tle Europy ma relatywnie niskie nierówności dochodowe (współczynnik Giniego w 2023 r. wynosił 27 pkt., przy średniej UE – 29,6 pkt.). Różnice między regionami są jednak duże – woj. mazowieckie generuje 18,3% PKB (Obserwator Gospodarczy, 2025) kraju, podczas gdy np. opolskie czy lubelskie znacznie mniej (ok. 2% PKB).

6. **Zapotrzebowanie na nowe formy i dziedziny uczenia się.** Wzrost automatyzacji, cyfryzacja i zmiany na rynku pracy sprawiają, że tradycyjne modele edukacji stają się niewystarczające. Według World Economic Forum (2023 r.) do 2027 r. 44% umiejętności pracowników ulegnie zmianie (WEF, 2023), a zapotrzebowanie na kompetencje cyfrowe, analityczne i miękkie (np. kreatywność, zarządzanie zespołem) będzie rosło. Wzrost popularności lifelong learning (uczenia się przez całe życie) wynika z potrzeby dostosowania się do dynamicznych zmian. Microlearning, kursy online i szkolenia VR/AR to kluczowe trendy. W 2021 r. liczba użytkowników platform e-learningowych Massive Open Online Course (MOOC), czyli masowych otwartych kursów online, przekroczyła 200 mln (OPI-PIB, 2025).
7. Równocześnie rozwijają się nowe dziedziny, takie jak: sztuczna inteligencja, analiza danych, cyberbezpieczeństwo i zrównoważony rozwój, co wymusza edukację w tych obszarach już na etapie szkolnym i akademickim.

Wzrost globalnych problemów społecznych to megatrend wynikający z rosnących nierówności, zmian demograficznych, migracji, kryzysów gospodarczych oraz zagrożeń klimatycznych. Pandemia COVID-19, konflikty zbrojne i postępująca automatyzacja dodatkowo pogłębiły dysproporcje w dostępie do zasobów, edukacji i opieki zdrowotnej. W efekcie obserwuje się nasilenie napięć społecznych, „erozję” klasy średniej i wzrost populacji żyjącej w ubóstwie. Kluczowym wyzwaniem przyszłości jest wdrażanie rozwiązań politycznych i technologicznych, które zmniejszą skutki tych zjawisk i zapewnią bardziej zrównoważony rozwój społeczny.

1.2.2. Charakterystyka megatrendu w kontekście regionalnym – województwo śląskie

Zmiany demograficzne to jeden z kluczowych megatrendów kształtujących przyszłość społeczno-gospodarczą Polski, a ich wpływ jest szczególnie odczuwany w woj. śląskim. Procesy, takie jak starzenie się społeczeństwa, depopulacja, migracja oraz zmiany struktury gospodarstw domowych, determinują kierunki rozwoju regionów i miast. W skali kraju dominującymi zjawiskami są spadek dzietności, wydłużanie się średniej długości życia oraz nasilająca się migracja wewnętrzna i zagraniczna.

Dane statystyczne przedstawiające obecną sytuację demograficzną na Śląsku (US, 2023):

- Liczba ludności w woj. śląskim w latach 2015–2023 systematycznie malała, a w 2023 r. wyniosła 4320,1 tys. osób (11,5% ludności Polski).
- Na koniec 2023 r. gęstość zaludnienia wyniosła 350 osób na 1 km² (w 2022 r. – 352 osoby), co plasowało województwo na 1. miejscu w kraju.
- Ludność woj. śląskiego starzeje się. Pod koniec 2022 r. statystyczny mieszkaniec miał przeciętnie 44,3 roku (mediana wieku), w 2015 r. 41,3 roku.
- W 2023 r. liczba osób wymeldowanych z pobytu stałego przewyższała liczbę osób zameldowanych na pobyt stały. Saldo migracji wewnętrznej i zagranicznej na pobyt stały ukształtowało się na poziomie –2,7 tys. (w 2022 r. osiągnęło –4,2 tys.), w przeliczeniu na 1000 ludności wyniosło –0,63 (w 2022 r. było to –0,97).
- Najczęstszym kierunkiem migracji międzywojewódzkiej w 2023 r. było woj. małopolskie. Z woj. śląskiego wyjechało na stałe do woj. małopolskiego 2,8 tys. osób, a z woj. małopolskiego przybyło na stałe do woj. śląskiego 2,1 tys. osób.
- W 2023 r. na pobyt stały w woj. śląskim zameldowano 1,4 tys. osób, mających poprzednio stałe miejsce zamieszkania za granicą. Wyjazd na pobyt stały za granicę zgłosiło 1,5 tys. osób.

Saldo migracji zagranicznych wyniosło –0,1 tys.

- Zgodnie z klasyfikacją Webba, biorąc pod uwagę relację przyrostu naturalnego i salda migracji stałej, woj. śląskie w 2023 r. należało do grupy województw nieaktywnych demograficznie, czyli wyludniających się (typ F). Podobny stan utrzymuje się od 2015 r., co wskazuje na niekorzystne tendencje zachodzące w procesach demograficznych.

Woj. śląskie, jako jeden z najbardziej zurbanizowanych i uprzemysłowionych regionów Polski, szczególnie mocno odczuwa skutki przemian. Od lat obserwuje się tutaj ujemny przyrost naturalny i intensywną migrację młodych ludzi do innych regionów Polski oraz za granicę. W efekcie Śląsk mierzy się z wyzwaniem depopulacji, zmniejszającą się liczbą ludności w miastach, starzejącą się strukturą demograficzną oraz rosnącą liczbą osób wymagających opieki i wsparcia systemu zabezpieczeń społecznych. Wiele miast regionu, które historycznie były centrami przemysłowymi, zмага się z odpływem ludności oraz koniecznością dostosowania infrastruktury do zmieniających się potrzeb mieszkańców.

W kontekście zmian demograficznych kluczowe dla woj. śląskiego stają się działania związane z zatrzymywaniem młodych ludzi w regionie, przyciąganiem nowych mieszkańców oraz dostosowaniem polityki społecznej i przestrzennej do procesów starzenia się społeczeństwa. Dalsze zmiany w strukturze demograficznej będą miały istotne konsekwencje dla rynku pracy, systemu ochrony zdrowia, edukacji oraz planowania przestrzennego, co wymaga strategicznego podejścia i długofalowych działań adaptacyjnych.

1.2.3. Wyzwania dla Śląska związane z megatrendem i jego potencjalne oddziaływanie

Śląsk jako region silnie zurbanizowany i przemysłowy zмага się z wyzwaniami wynikającymi ze starzejącego się społeczeństwa, spadającej liczby ludności oraz zmian w strukturze migracyjnej. Trendy te mają bezpośredni wpływ na rynek pracy, system opieki zdrowotnej, infrastrukturę miejską oraz rozwój gospodarczy regionu.

Zmiany demograficzne, takie jak spadek liczby ludności i starzenie się społeczeństwa, stanowią istotne wyzwania dla woj. śląskiego, wymagające kompleksowych i zintegrowanych działań. Przykładami wyzwań w obszarze polityki społecznej, gospodarczej, przestrzennej oraz zdrowotnej i edukacyjnej, które jednocześnie otwierają możliwości dla identyfikacji i kreowania nowych trendów technologicznych są:

- dostosowanie systemu opieki zdrowotnej i społecznej do rosnącej liczby seniorów oraz rozwój infrastruktury opiekuńczej,
- zatrzymanie młodych ludzi w regionie przez poprawę warunków życia, rynku pracy i rozwoju gospodarczego – strategiczne inwestycje w jakość życia i nowoczesne miejsca pracy mogą przyczynić się do zatrzymania młodych mieszkańców i przyciągnięcia specjalistów,
- zwiększenie atrakcyjności Śląska dla pracowników i inwestorów oraz rozwój systemu edukacji dostosowanego do potrzeb rynku pracy,
- efektywna integracja imigrantów oraz stworzenie polityki migracyjnej dostosowanej do lokalnych potrzeb,
- wykorzystanie nowych technologii w odpowiedzi na deficyt pracowników (rozwój robotyzacji w przemyśle oraz sztucznej inteligencji w usługach może zwiększyć konkurencyjność regionu),
- planowanie przestrzenne i rozwój nowoczesnych, zrównoważonych przestrzeni miejskich dostosowanych do zmieniającej się demografii (tworzenie przestrzeni publicznej przyjaznej seniorom, takiej jak parki czy centra społecznościowe),
- promocja zdrowego stylu życia – kampanie i inicjatywy promujące aktywność fizyczną i profilaktykę zdrowotną wśród seniorów,
- wsparcie dla opiekunów nieformalnych – programy wsparcia dla rodzin opiekujących się starszymi ich członkami,
- rozwój technologii wspierających samodzielność – wdrażanie rozwiązań technologicznych ułatwiających codzienne życie seniorów,

- integracja międzypokoleniowa – projekty łączące różne pokolenia w celu wymiany doświadczeń i wzajemnego wsparcia,
- zwiększone zapotrzebowanie na energię – starzejące się społeczeństwo i rozwój technologiczny mogą prowadzić do zwiększonego zużycia energii, co wymaga inwestycji w efektywność energetyczną i odnawialne źródła energii,
- finansowanie usług publicznych – spadek liczby ludności i zmiany w strukturze wiekowej mogą prowadzić do zmniejszenia wpływów z podatków, co stanowi wyzwanie dla finansowania usług publicznych na dotychczasowym poziomie.

Co istotne, woj. śląskie, będące jednym z najbardziej uprzemysłowionych i zurbanizowanych regionów Polski, jest poddawane silnej antropopresji, czyli wpływu działalności człowieka na środowisko naturalne.

Następstwa globalnego wzrostu demograficznego mają wymiar ponadnarodowy i będą odczuwalne także w krajach o ujemnym wzroście demograficznym, w tym w Polsce. Polskę będą dotykać w szczególności skutki związane z pogarszającym się stanem środowiska, rosnącą presją antropogeniczną na zasoby naturalne oraz zapotrzebowaniem na żywność. Aby sprostać tym wyzwaniom konieczne jest zintegrowane podejście, łączące działania na rzecz ochrony środowiska z polityką społeczną i gospodarczą, z uwzględnieniem specyfiki demograficznej regionu.

Oddziaływanie megatrendu przejawiającego się zmianami demograficznymi jest widoczne w wielu obszarach, szczególnie w społecznym, przestrzennym, środowiskowym oraz gospodarczym. W celu zidentyfikowania procesów, na które może to mieć istotny wpływ w kontekście rozwoju woj. śląskiego, w tabeli 1.2 przedstawiono zarówno pozytywne, jak i negatywne przykłady takiego oddziaływania.

Tabela 1.2. Potencjalne oddziaływanie megatrendu; oprac. na podst. (Dziemianowicz i Jurkiewicz, 2023; Jurkiewicz i in., 2024)

Obszar	Potencjalne oddziaływanie
Społeczny	▪ zwiększająca się rola więzi między pokoleniami ▪ dłuższy okres aktywności zawodowej seniorów ▪ rosnące nierówności społeczne ▪ niezadowolenie społeczeństwa z rządów i zagrożenie stabilności politycznej
Przestrzenny	▪ wzrost dużych miejskich obszarów funkcjonalnych i problemy mniejszych miast ▪ coraz większa rola terenów peryferyjnych w strategiach rozwoju ▪ pogłębienie problemów obszarów peryferyjnych ▪ koncentracja ludności w miastach i obszarach miejskich
Środowiskowy	▪ wzrost antropopresji środowiskowej z powodu wzrostu liczby ludności na świecie i w wyniku nasilonych migracji ▪ wzrost nierówności „ekologicznych” (dostęp do czystego środowiska)
Gospodarczy	▪ dynamiczny rozwój gospodarki skoncentrowanej na potrzebach osób starszych – srebrnej gospodarki (ang. <i>silver economy</i>) ▪ konkurencja w zatrudnianiu migrantów zarobkowych

Zmiany demograficzne stanowią jedno z największych wyzwań dla Śląska. Starzenie się społeczeństwa, depopulacja oraz niedobór siły roboczej wymagają działań strategicznych w zakresie rynku pracy, polityki społecznej, edukacji i infrastruktury. Region może jednak skorzystać na transformacji przez automatyzację, rozwój srebrnej gospodarki, integrację migrantów oraz inwestycje w jakość życia, co pozwoli mu utrzymać konkurencyjność i stabilność społeczną.

1.3. Megatrend – globalizacja i zmieniające się łańcuchy wartości

GRUPA TEMATYCZNA:

MEGATREND SPOŁECZNY

1.3.1. Ogólna charakterystyka megatrendu

Coraz większa integracja gospodarcza, kulturowa i społeczna krajów prowadzi do intensyfikacji wymiany handlowej, przepływu informacji oraz współpracy międzynarodowej, ale także stawia wyzwania związane z konkurencyjnością i suwerennością państw. Globalizacja, rozumiana jako intensyfikacja międzynarodowych powiązań wielopłaszczyznowych, w ostatnich dekadach ulegała znaczącym przeobrażeniom. Zmieniające się łańcuchy wartości odzwierciedlają te transformacje, wpływając na sposób produkcji, dystrybucji oraz konsumpcji dóbr i usług na całym świecie.

Głównym przejawem megatrendu jest wyłanianie się nowej gospodarki, uzupełnione następującymi zjawiskami:

1. **Rywalizacja technologiczna.** Globalne wydatki na badania i rozwój (B + R) osiągnęły ponad 2,5 bln USD rocznie, a ich głównymi liderami są Chiny (2,4% PKB) i USA (3,5% PKB) (Obserwator Finansowy, 2025a). Kluczowe obszary innowacji to: sztuczna inteligencja (AI), biotechnologia, energia odnawialna oraz technologie kwantowe. Rosnące napięcia geopolityczne prowadzą do wyścigu technologicznego, a kraje i korporacje konkurują o przewagę w patentach i wdrożeniach przemysłowych. Polska nadal pozostaje w tyle – nakłady na B + R wynoszą 1,4% PKB – znacznie poniżej średniej UE (2,15%) (NCBiR, 2025a). Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości wskazuje na wzrost liczby start-upów technologicznych (PARP, 2019), zwłaszcza w branżach Fintech, deep tech i AI, jednak ograniczony dostęp do kapitału hamuje rozwój globalnych innowacji (Start-up Poland, 2024).
2. **Cyfryzacja gospodarki.** Cyfrowa gospodarka stanowi obecnie 15,5% globalnego PKB i rośnie ponad dwukrotnie szybciej niż gospodarka tradycyjna (Arak, 2024). Kluczowe trendy to rozwój chmury obliczeniowej, internet rzeczy (IoT), blockchain oraz AI. Pandemia COVID-19 przyspieszyła digitalizację usług i e-commerce – liczba użytkowników social mediów wzrosła o 30% w ciągu czterech lat (2020–2024) (EvoStudio, 2025). Chociaż udział sektora cyfrowego w PKB Polski rośnie, wciąż jest poniżej średniej UE. W 2023 r. 58% firm korzystało z technologii chmurowych, ale jedynie 11% wdrożyło AI (GUS, 2023a). Rozwój e-commerce (w Polsce na poziomie ok. 8% rocznie) (MRiT, 2024) oraz cyfrowych usług bankowych (np. BLIK) pokazuje rosnące znaczenie gospodarki cyfrowej.
3. **Automatyzacja pracy.** Dane branżowe wskazują (Platforma Przemysłu Przyszłości, 2025), że do 2025 r. automatyzacja zastąpi 85 mln miejsc pracy, ale stworzy także 97 mln nowych. Robotyzacja produkcji i AI w sektorze usług zwiększają efektywność, ale wymuszają również przebranżowienie pracowników. Według danych Polskiego Instytutu Ekonomicznego (Digital HR, 2025) 3,68 mln Polaków jest zatrudnionych w zawodach zagrożonych przez AI.
4. **Elastyczność zatrudnienia.** Wzrasta liczba osób zatrudnionych w modelu gig economy (tzw. ekonomia na zlecenie) (np. Uber, Glovo), a praca zdalna obejmuje coraz większą liczbę zatrudnionych. Automatyzacja i robotyzacja zmieniają rynek pracy, redukując zapotrzebowanie na pracę manualną i zwiększając znaczenie kompetencji cyfrowych. Elastyczne formy zatrudnienia, takie jak praca zdalna czy gig economy, zyskują na popularności. W Polsce trend ten jest widoczny w rosnącej liczbie pracowników sektora usług dla biznesu oraz w zwiększonym zainteresowaniu pracą zdalną, zwłaszcza w kontekście doświadczeń związanych z pandemią COVID-19.
5. **Transformacja energetyczna.** Globalne inwestycje w odnawialne źródła energii (OZE) osiągnęły 1,7 bln USD w 2023 r., przewyższając po raz pierwszy wydatki na paliwa kopalne (e-Magazyn, 2025). Przejście na zieloną energię wspierają unijne regulacje (m.in. Fit for 55), ale też konkurencja między USA, Chinami i Europą w rozwoju technologii wodorowych i magazynowania energii. Polska stopniowo odchodzi od węgla – udział OZE wzrósł do 27% w 2023 r., jednak nadal

pozostaje jednym z najwyżej uzależnionych od węgla krajów UE (Wysokie Napięcie, 2023). Rozwój energetyki wiatrowej i fotowoltaiki przyspiesza, ale transformacja hamowana jest przez wysokie koszty i kwestie polityczne.

6. **Łańcuchy dostaw.** Pandemia i konflikty geopolityczne (np. wojna w Ukrainie) doprowadziły do skracania łańcuchów dostaw. Firmy ograniczają zależność od Azji, przenosząc produkcję bliżej rynków zbytu, stosując wybrane strategie relokacji. Przykładem jest Europa, gdzie kraje UE zwiększają inwestycje w lokalną produkcję półprzewodników i farmaceutyków (np. unijny Chips Act). W Polsce obserwuje się, np. trend lokowania działalności produkcyjnej w państwach położonych blisko rynku macierzystego i zbliżonych kulturowo (tzw. *nearshoring*) wzmacnia sektor motoryzacyjny i AGD – coraz więcej fabryk powstaje z myślą o rynkach europejskich (np. fabryka Intel na Dolnym Śląsku¹). Rośnie też rola patriotyzmu konsumenckiego – udział polskich marek w handlu detalicznym wzrósł do 65% w 2023 r. (Wirtualne kosmetyki, 2025) (artykuły kosmetyczne). Procesy globalizacyjne spotykają się z rosnącym naciskiem na lokalność, co przejawia się w promowaniu lokalnych produktów, kultur i tradycji. Konsumenci coraz częściej poszukują produktów regionalnych, co wpływa na strategię przedsiębiorstw. W Polsce trend ten jest widoczny w rosnącej popularności lokalnych marek oraz inicjatyw wspierających rodzime produkty.
7. **Transformacja rolnictwa.** Zmiany klimatyczne i rozwój technologii zmieniają model produkcji żywności. Spada wydajność tradycyjnych upraw, co wymusza wdrażanie rolnictwa precyzyjnego i automatyzacji oraz poszukiwanie alternatywnych źródeł białka. Rynek mięsa roślinnego osiągnął 7,9 mld USD w 2022 r. i przewiduje się, że w 2027 r. osiągnie 15,7 mld USD (FoodFakty, 2025). Polska boryka się z suszami i niestabilnością plonów, co zwiększa koszty produkcji. W 2023 r. odnotowano znaczący wzrost ogólnej powierzchni ekologicznych użytków rolnych. Wyniosła ona ponad 636 tys. ha, o 14,7% więcej niż w poprzednim roku (FoodFakty, 2023).

Megatrend związany z globalizacją i zmieniającymi się łańcuchami wartości kształtuje współczesną gospodarkę, stawiając przed państwami i przedsiębiorstwami wyzwania wymagające elastyczności, innowacyjności oraz zdolności adaptacji do dynamicznie zmieniającego się otoczenia.

1.3.2. Charakterystyka megatrendu w kontekście regionalnym – województwo śląskie

Zmieniające się łańcuchy wartości, szczególnie w transformacji energetycznej, postępującej cyfryzacji gospodarki i pogłębiającej się konkurencji w obszarze innowacyjności w krajobrazie technologicznym, kształtują przyszłość gospodarki Polski w perspektywie globalnej. Wpływ tych zmian szczególnie silnie oddziałuje na obszar woj. śląskiego, które odgrywa kluczową rolę w produkcji i sprzedaży energii, upowszechnianiu zastosowań technologii OZE czy rozwoju nowych technologii krytycznych przez propagowanie łączności między sektorami przemysłowym i naukowym.

Dane statystyczne dotyczące obecnej sytuacji gospodarczej na Śląsku [w oparciu o Strategię (2020)]:

- Woj. śląskie posiada jeden z wyższych potencjałów PKB, lecz wartość produktu krajowego brutto wzrasta wolniej niż w przypadku słabiej rozwiniętych województw przez co region traci silną pozycję. W latach 2001–2017 PKB wzrastało, jednak po 2017 r. odnotowuje się jego spadek.
- Woj. śląskie traci także przewagę nad innymi województwami pod względem wartości PKB na 1 mieszkańca w odniesieniu do średniej krajowej (jeszcze w 2004 r. PKB per capita było o ponad 11 p.p. wyższe niż średnia dla kraju, a od 2016 r. ta przewaga wynosi jedynie 3,6 p.p.).
- Najsilniejszą i najstabilniejszą pozycję w regionie ma podregion katowicki, będący siedzibą wielu firm jako stolica województwa i wiodący ośrodek Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii. Katowice stanowią atrakcyjne miejsce pracy dla mieszkańców i osób dojeżdżających ze względu na liczbę oferowanych usług i licznych miejsc zatrudnienia, a także dostęp do rozwiniętej infrastruktury biznesowej, edukacyjnej i kulturalnej.

¹ W sierpniu 2025 r. firma Intel zrezygnowała z projektu.

- Śląsk jest drugim – po woj. mazowieckim – regionem w kraju pod względem tworzenia wartości dodanej brutto (WDB). WDB woj. śląskiego w 2017 r. wyniosła 214,5 mld PLN, natomiast udział regionu w tworzeniu WDB kraju wyniósł 12,3%. Około 42,4% wartości dodanej brutto tworzonej w woj. śląskim pochodzi z sektora przemysłu i budownictwa, a wartość ta, w porównaniu z 2000 r., wzrosła o około 2,4 p.p.
- Pod względem sprzedaży przemysłu w 2018 r. woj. śląskie osiągnęło wartość produkcji sprzedanej przemysłu w przeliczeniu na 1 mieszkańca na poziomie 54,9 tys. PLN, tj. o 15,3 tys. PLN wyższy od średniej krajowej (39,6 tys. PLN). Przyrost tej wartości był jednak najniższy w Polsce w porównaniu z 2009 r.
- Region charakteryzuje wysoka atrakcyjność innowacyjna. Na obszarze woj. śląskiego działa Katowicka Specjalna Strefa Ekonomiczna (KSSE). Strefa ta obejmuje grunty o powierzchni 2749,4 ha w 48 gminach położonych w trzech województwach. KSSE jest uznawana za najlepszą strefę w Europie i drugą na świecie, stanowi też wiodący „generator” miejsc pracy wśród 14 polskich stref.
- Śląsk jest również największym eksporterem w Polsce, sprzedając w 2017 r. towary warte 112,8 mld PLN – 13% całkowitego eksportu krajowego. W porównaniu z 2012 r. wartość eksportu z woj. śląskiego zwiększyła się o 32%, wzrosła także wartość importu (o ok. 42,1%).
- Mimo założeń transformacji energetycznej sektor wydobywczy – górnictwo – nadal odgrywa istotną rolę w gospodarce regionu. Zużycie węgla kamiennego w Polsce wyniosło w 2018 r. 74,2 mln Mg. Na sektor energii (elektrownie, elektrociepłownie, ciepłownie i kotły ciepłownicze energetyki zawodowej) przypadło 59,4% zużycia, a na przemysł i budownictwo około 24%. Znaczącym konsumentem węgla były także gospodarstwa domowe (13,5%).
- W latach 2012–2018 w sekcji górnictwo i wydobywanie nastąpił największy spadek liczby osób pracujących (o 20,1%). W 2016 r. w Polsce z górnictwa odeszło 56 288 pracowników. Należy jednak zauważyć, że największą skalę tego zjawiska w branży górniczej zaobserwowano w okresie 1990–2000.
- Woj. śląskie posiada duży potencjał energetyczny wynikający z bogatej infrastruktury energetycznej. Produkcja energii elektrycznej w 2018 r. osiągnęła 170 039,5 GWh. W 2017 r. moc osiągalna wyniosła 7178,2 MW, co stanowiło najwyższą wartość w kraju zaraz za woj. mazowieckim (7421,7 MW).
- Koszty naprawy i utrzymania sektora energetycznego są niezwykle wysokie. Większość jednostek wytwórczych powstało w połowie XX w. i około 45% wszystkich urządzeń wytwarzających energię elektryczną w kraju ma ponad 30 lat. Alternatywę dla jednostek konwencjonalnych mogą stanowić OZE, które – mimo wysokiej pozycji regionu w produkcji energii – nadal mają w niej niski udział (zaledwie 3,2%).

Woj. śląskie nieprzerwanie dąży do dynamicznego rozwoju swojej gospodarki, co znajduje odzwierciedlenie w licznych dokumentach strategicznych i inwestycjach. Oto kluczowe dane oraz informacje dotyczące obecnej sytuacji gospodarczej regionu:

- W czerwcu 2022 r. Zarząd Województwa Śląskiego przyjął zaktualizowaną Politykę Rozwoju Gospodarczego na lata 2021–2030. Głównym celem dokumentu jest wzmocnienie roli gospodarki regionu w międzynarodowych łańcuchach wartości. Woj. śląskie postrzegane jest jako region o silnej i konkurencyjnej gospodarce, opartej na innowacyjnych i zielonych technologiach, mające ugruntowaną pozycję międzynarodową.
- Regionalna Strategia Innowacji Województwa Śląskiego 2030 – Inteligentne Śląskie (Strategia, 2024) przyjęta 30 czerwca 2021 r. ma na celu innowacyjną i inteligentną transformację gospodarczą regionu, zapewniającą przewagę konkurencyjną na arenie międzynarodowej. Strategia skupia się na mobilizacji środowisk zdolnych do inicjowania nowych procesów gospodarczych, wzmacniania pozycji międzynarodowej oraz tworzenia nowych miejsc pracy. Odwołuje się do wszystkich inteligentnych i regionalnych specjalizacji województwa.

- W ramach piątej edycji Rządowego Programu Inwestycji Strategicznych samorządy w woj. śląskim otrzymały dofinansowanie na rozwój stref przemysłowych. Łącznie dofinansowanie w woj. śląskim wyniosło ponad 648 mln PLN (Śląski Urząd Wojewódzki, 2025):
 - Sławków: 250 mln PLN na budowę łącznika drogowego między drogą krajową nr 94 a Euroterminalem i stacją PKP LHS, wspierając rozwój transportu intermodalnego,
 - Częstochowa: 250 mln PLN na budowę węzła drogowego Al. Wojska Polskiego DK-1 wraz z nowym przebiegiem DK-46,
 - Dąbrowa Górnicza: ponad 48 mln PLN na kompleksowe przygotowanie terenu inwestycyjnego w Tucznawie (Etap IV),
 - Jaworzno: 100 mln PLN na rozwój strategicznej strefy przemysłowej, w tym infrastrukturę wodno-kanalizacyjną i gospodarkę wodami deszczowymi.
- W raporcie Europejskie Miasta i Regiony Przyszłości 2024 magazynu fDi Intelligence (2025) woj. śląskie zajęło 9. miejsce w kategorii strategii przyciągania bezpośrednich inwestycji zagranicznych (FDI strategy) oraz 3. miejsce w kategorii efektywności kosztowej (ang. *cost-effectiveness*). Katowice, stolica regionu, zajęły 7. pozycję w kategorii strategii przyciągania inwestycji zagranicznych i 10. miejsce w efektywności kosztowej.

1.3.3. Wyzwania dla Śląska związane z megatrendem i jego potencjalne oddziaływanie

Śląsk jako jeden z najważniejszych regionów przemysłowych w Polsce jest silnie powiązany z globalnym rynkiem i łańcuchami dostaw. Procesy zachodzące w gospodarce światowej, takie jak zmiany w modelu globalizacji, skracanie łańcuchów wartości oraz rosnąca rola automatyzacji, mogą mieć kluczowe znaczenie dla przyszłości śląskiej gospodarki. Przykładami wyzwań w obszarze związanym z oddziaływaniem analizowanego megatrendu oraz powiązanych z nim zjawisk są:

- konkurencja z innymi krajami Europy Środkowo-Wschodniej w obszarze nowych inwestycji w obszarze produkcji i centrów logistycznych,
- przekwalifikowanie pracowników oraz rozwój sektora usług i zaawansowanych technologii,
- dywersyfikacja rynków eksportowych i zmniejszenie zależności od wrażliwych łańcuchów dostaw,
- przyciąganie nowych inwestycji w ramach nearshoringu,
- tworzenie nowych miejsc pracy w sektorach nowoczesnych technologii, takich jak elektromobilność, zielona energia, sztuczna inteligencja – rozwój w kierunku automatyzacji, cyfryzacji i technologii ekologicznych,
- wzmocnienie roli Śląska jako centrum logistycznego Europy Środkowej – rozbudowa centrów logistycznych, rozwój nowoczesnych terminali intermodalnych i wzrost znaczenia regionu w europejskiej sieci transportowej,
- konieczność dostosowania edukacji i rynku pracy – stworzenie programów przekwalifikowania pracowników i rozwoju uczelni technicznych dostosowanych do potrzeb nowej gospodarki.

Oddziaływanie megatrendu związanego z globalizacją jest widoczne w wielu obszarach, szczególnie w społecznym, przestrzennym, środowiskowym oraz gospodarczym. W celu zidentyfikowania tych zjawisk i procesów, dla których to oddziaływanie może stanowić istotny wpływ w kontekście rozwoju woj. śląskiego, w tabeli 1.3 wskazano zarówno pozytywne, jak i negatywne przykłady takiego oddziaływania.

Tabela 1.3. Potencjalne oddziaływanie megatrendu; oprac. na podst. (Dziemianowicz i Jurkiewicz, 2023; Jurkiewicz i in., 2024)

Obszar	Potencjalne oddziaływanie
Spółeczny	▪ narzucanie wzorców kulturowych dominatorów gospodarczych ▪ adaptacja społeczności do postępu cywilizacyjnego ▪ polaryzacja pokoleniowa ▪ wzrost znaczenia polityki edukacyjnej przygotowującej do innowacyjności i przedsiębiorczości ▪ wzrost konsumpcji energii w wyniku postępującej cyfryzacji ▪ wzrost świadomości społeczeństwa w zakresie OZE i innych czystych źródeł energii ▪ obawy społeczne dotyczące bezpieczeństwa żywnościowego ▪ zmiany w podejściu do żywienia

Obszar	Potencjalne oddziaływanie
Przestrzenny	▪ zmniejszenie zagrożenia głodem w wyniku powszechnego stosowania najnowszych technologii w rolnictwie, produkcji żywności i jej transporcie
	▪ wzrost znaczenia terytorialnych uwarunkowań generowania i akceleracji innowacji
	▪ polaryzacja przestrzeni na rdzenie oferujące dogodne środowisko dla innowacji i na innowacyjne
	▪ nowe rodzaje przestrzeni dla pracy kreatywnej w miastach, a także zorganizowanego wytwarzania innowacji w rzeczywistości wirtualnej
	▪ rozwój „krajobrazu” OZE
	▪ redefinicja ładu przestrzennego
	▪ podnoszenie efektywności wykorzystania przestrzeni rolniczej
	▪ zmniejszanie powierzchni wykorzystywanej rolniczo
	▪ powszechność upraw miejskich (wertykalnych)
	▪ samowystarczalność żywieniowa miast
Środowiskowy	▪ wzrost znaczenia metropolii w systemie globalnym
	▪ jakość środowiska przyrodniczego jako istotny czynnik lokalizacji
	▪ powiązanie agendy środowiskowej z rozwojem innowacji
	▪ pojawianie się coraz większej liczby skuteczniejszych sposobów zapobiegania negatywnemu wpływowi człowieka na środowisko przyrodnicze
Gospodarczy	▪ niwelowanie zanieczyszczeń środowiska przez wzrost udziału OZE i innych czystych źródeł energii
	▪ ograniczanie negatywnego wpływu rolnictwa na środowisko przyrodnicze
	▪ silny wpływ kluczowych korporacji transnarodowych
	▪ silna konkurencja w obszarze przepływów kapitałowych na poziomie lokalnym
	▪ koncentracja (zawłaszczanie) innowacji na poziomie pojedynczych globalnych firm
	▪ znaczenie dostępu gospodarki do sieci innowacyjnych
	▪ silna konkurencja Chin i innych krajów azjatyckich jako producentów innowacji (uzależnienie od gigantów technologii)
	▪ wzrost znaczenia start-upów technologicznych jako przeciwwagi dla globalnych dominatorów
	▪ znaczący wzrost znaczenia sektora energetyki w gospodarce i geopolityce
	▪ rozwój cyfrowych łańcuchów dostaw w rolnictwie
	▪ konkurencja między producentami żywności komórkowej

1.4. Megatrend – polaryzacja polityczna i zmieniający się ład międzynarodowy

GRUPA TEMATYCZNA:

MEGATREND SPOŁECZNY

1.4.1. Ogólna charakterystyka megatrendu

Współczesny świat stoi w obliczu coraz większej polaryzacji politycznej i redefinicji ładu międzynarodowego. Nasilające się napięcia geopolityczne, rywalizacja mocarstw oraz rosnąca niestabilność społeczna kształtują nową rzeczywistość, w której podziały polityczne – zarówno wewnętrzne, jak i globalne – stają się coraz głębsze. Wojna w Ukrainie, napięcia na linii USA–Chiny, a także fragmentacja globalnych łańcuchów dostaw prowadzą do nowego podziału gospodarczo-politycznego. Organizacje międzynarodowe, takie jak Organizacja Narodów Zjednoczonych (ONZ) czy Światowa Organizacja Handlu (WTO), tracą skuteczność, a współpraca międzynarodowa coraz częściej ustępuje narodowym interesom.

Na poziomie krajowym zjawisko polaryzacji politycznej jest widoczne w wielu państwach, gdzie społeczeństwa coraz silniej dzielą się na grupy, a debata publiczna staje się bardziej radykalna. Wzrost populizmu, dezinformacja oraz malejące zaufanie do instytucji demokratycznych wpływają na stabilność polityczną i społeczną. W Polsce większego znaczenia nabierają również wyzwania związane z polityką zagraniczną, zwłaszcza w kontekście członkostwa w Unii Europejskiej i NATO oraz relacji z sąsiednimi państwami. Nowy ład międzynarodowy, rosnąca polaryzacja i niepewność geopolityczna stanowią kluczowe czynniki, które będą kształtować przyszłość świata i Polski, wymagając elastyczności, myślenia strategicznego i dostosowania się do dynamicznie zmieniających się realiów.

Głównym przejawem megatrendu politycznego jest transformacja globalnego porządku, co w szczególności przejawia się przez:

1. **Znaczenie Azji w międzynarodowych relacjach.** Azja, w szczególności Chiny i Indie, staje się głównym centrum wzrostu gospodarczego i geopolitycznej rywalizacji. Udział Azji w globalnym PKB wzrósł z 26% w 2000 r. do ponad 40% w 2023 r. (McKinsey Global Institute, 2023). Indie, z populacją przekraczającą 1,4 mld ludzi, jako trzecia gospodarka świata, są na dobrej drodze do wyprzedzenia Niemiec i Japonii do 2030 r. (XYZ, 2025). Równocześnie rośnie rola instytucji azjatyckich, takich Shanghai Cooperation Organization (SCO). Polska coraz częściej postrzega Azję jako kluczowego partnera handlowego. Chiny są drugim co do wielkości źródłem importu Polski, a wartość wymiany handlowej z Indiami wzrosła o 50% w latach 2020–2023 (GUS, 2024). Polska stara się balansować między relacjami z USA i UE a rosnącymi powiązaniem gospodarczymi z Azją, jednocześnie ograniczając zależność od Chin przez dywersyfikację dostawców w regionie Azji Południowo-Wschodniej.
2. **Kryzys demokracji.** Według Democracy Index (2023), liczba krajów uznawanych za w pełni demokratyczne spadła do 24, a globalny wskaźnik demokracji osiągnął najniższy poziom od 2006 r. Autorytarne tendencje rosną nawet w państwach o ugruntowanej demokracji, gdzie polaryzacja polityczna i spadek zaufania do instytucji osłabiają systemy ustrojowe. Czynniki, takie jak populizm, dezinformacja oraz ograniczanie wolności mediów i sądownictwa przyczyniają się do osłabienia standardów demokratycznych. W wielu krajach rozwiniętych zwiększa się również wpływ technologii na procesy wyborcze – np. manipulacje algorytmami w mediach społecznościowych wpływają na decyzje wyborców. Polska w Democracy Index (2023) spadła do grupy „demokracji wadliwych”. Główne problemy to głęboka polaryzacja polityczna, napięcia wokół niezależności sądownictwa i ograniczenie pluralizmu medialnego. W ostatnich latach wzrosła liczba protestów społecznych oraz spadło zaufanie obywateli do parlamentu i partii politycznych (CBOS, 2024).
3. **Napięcia międzynarodowe i ryzyko nowych konfliktów.** Świat wchodzi w nową fazę rywalizacji geopolitycznej, a liczba konfliktów zbrojnych osiągnęła najwyższy poziom od zimnej wojny. Kluczowe obszary napięć to: (a) wojna w Ukrainie – trwająca od 2022 r. zmieniła układ sił w Europie, zmuszając NATO do zwiększenia wydatków na obronność, (b) napięcia w Azji – rywalizacja USA – Chiny, spory terytorialne na Morzu Południowochińskim, (c) Bliski Wschód – eskalacja konfliktów między Izraelem a Palestyną oraz wzrost napięć między Iranem a Zachodem, (d) konflikty na terenie Afryki i Ameryki Łacińskiej.

Polska jako kraj graniczący z Ukrainą bezpośrednio odczuwa skutki wojny – od presji migracyjnej [prawie 1 mln ukraińskich uchodźców (UNHCR, 2024)] po zwiększone wydatki na obronność [4% PKB w 2024 r. to najwyższy poziom w NATO (Money.pl, 2025)]. Wzmacnianie współpracy wojskowej z USA i NATO oraz modernizacja armii są priorytetami polskiej polityki bezpieczeństwa. Jednocześnie rośnie znaczenie Polski w Europie jako kluczowego „gracza” w polityce wschodniej UE.

Transformacja globalnego porządku prowadzi do wzrostu znaczenia Azji, osłabienia demokracji oraz eskalacji napięć geopolitycznych. Polska jako kraj położony na styku Europy Wschodniej i Europy Zachodniej, znajduje się w centrum tych zmian, co wymaga strategicznego podejścia do polityki zagranicznej i wewnętrznej.

1.4.2. Charakterystyka megatrendu w kontekście regionalnym – województwo śląskie

Polaryzacja polityczna i zmieniający się ład międzynarodowy wpływają na wiele aspektów gospodarki globalnej. Decydującymi czynnikami w sprawach przyszłości i rozwoju systemów politycznych, które będą powodować skutki dla społeczeństw, są: wzrost populizmu, spadek jakości demokracji, globalna rywalizacja między mocarstwami – USA, Chinami i Rosją – zwiększona konkurencja technologiczna, dominacja technologiczna i postępująca dezinformacja w różnych kręgach społecznych, wykorzystanie zasobów gospodarczych i społecznych dla zwiększania własnych wpływów, czy zmniejszanie zaufania do instytucji międzynarodowych i przemiany demograficzne związane z migracją oraz zmianą przepisów prawnych. W obliczu tych wyzwań kluczową rolę pełni woj. śląskie, ze względu na swoje znaczenie jako główny eksporter dóbr krajowych oraz jedno z centralnych miejsc rozwoju technologicznego kraju pod względem przemysłowym i naukowym.

Dokumenty strategiczne dotyczące polityki międzynarodowej w woj. śląskim mają na celu określenie kierunków współpracy z zagranicą, promowanie regionu na arenie międzynarodowej oraz wspieranie rozwoju gospodarczego i społecznego województwa. Wśród ww. dokumentów są:

- Strategia Rozwoju Województwa Śląskiego do 2030 roku (Strategia, 2020),
- Program współpracy transgranicznej z krajami sąsiedzkimi (Czechy, Niemcy, Słowacja), Program Interreg 2021–2027 (Polska–Słowacja, Polska–Czechy, Polska–Saksonia, Meklemburgia–Pomorze Przednie/Brandenburgia–Polska,
- Polityka gospodarki niskoemisyjnej dla województwa śląskiego. Regionalna polityka energetyczna do roku 2030 (Polityka, 2019),
- Wojewódzka Strategia Rozwoju Społecznego (Strategia, 2020).

Głównymi założeniami wyżej wymienionych dokumentów są:

- **Współpraca z sąsiednimi krajami** – Śląsk stawia na rozwój współpracy z krajami sąsiadującymi, tj. z Czechami, Niemcami i Słowacją. Celem jest zwiększenie wzajemnej wymiany gospodarczej, inwestycji oraz współpracy w zakresie transportu, energii i ochrony środowiska (Programy Interreg 2021–2027).
- **Promocja regionu za granicą** – woj. śląskie koncentruje się na budowaniu pozytywnego wizerunku regionu jako miejsca innowacyjnego, otwartego na inwestycje oraz turystykę. Istotne jest organizowanie misji gospodarczych, udział w targach międzynarodowych oraz współpraca z zagranicznymi ośrodkami naukowo-badawczymi.
- **Rozwój zrównoważony i ekologiczny** – w polityce międzynarodowej uwzględnia się także kwestie ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju. Region dąży do współpracy z międzynarodowymi organizacjami na rzecz walki ze zmianami klimatycznymi, efektywności energetycznej oraz rozwoju odnawialnych źródeł energii (Zielone Śląskie, Polityka gospodarki niskoemisyjnej 2030).
- **Współpraca z organizacjami międzynarodowymi** – woj. śląskie stara się angażować w prace organizacji międzynarodowych, takich jak UE czy inne regionalne i globalne fora, które umożliwiają realizację wspólnych projektów oraz pozyskiwanie funduszy na rozwój.
- **Współpraca naukowa i edukacyjna** – region promuje współpracę z zagranicznymi uczelniami, instytutami badawczymi i organizacjami akademickimi. Ma to na celu rozwój innowacji, transfer technologii oraz podejmowanie wspólnych projektów badawczo-rozwojowych.
- **Rozwój turystyki międzynarodowej** – Śląsk dąży do zwiększenia liczby turystów zagranicznych przez promowanie walorów turystycznych regionu, takich jak dziedzictwo przemysłowe, szlaki turystyczne, kultura i tradycje śląskie.

Woj. śląskie odgrywa ważną rolę w gospodarce Polski i ma istotne znaczenie w kontekście globalnym. Oto kilka kluczowych statystyk, które pokazują wkład woj. śląskiego do gospodarki krajowej:

- Woj. śląskie wytwarza około 12,4% całkowitego produktu krajowego brutto (PKB) Polski, co sprawia, że jest jednym z najważniejszych regionów gospodarczych w kraju.
- Woj. śląskie odpowiada za około 10% całkowitego eksportu Polski. Jest to wynik dynamicznie rozwijającego się sektora przemysłowego i usługowego, w tym również rosnącej roli regionu w międzynarodowych łańcuchach dostaw.
- Śląsk jest jednym z głównych regionów przyciągających inwestycje zagraniczne w Polsce. Ponad 20% wszystkich inwestycji zagranicznych w Polsce trafia do woj. śląskiego, głównie do sektora przemysłowego i nowoczesnych usług.
- Region ten, będąc tradycyjnie silnym centrum przemysłowym, wciąż wytwarza około 20% całkowitej produkcji przemysłowej w Polsce. Przemiany w kierunku Przemysłu 4.0 i innowacyjnych technologii wzmacniają jego znaczenie na poziomie międzynarodowym.
- W ostatnich latach województwo zyskało również na znaczeniu w sektorze nowoczesnych usług, zwłaszcza w obszarze IT, finansów i BPO (ang. *business process outsourcing*). Sektor ten rozwija się dynamicznie, a Śląsk jest jednym z wiodących ośrodków BPO w Polsce, odpowiadając za około 15% usług outsourcingowych w kraju.

Dzięki swojej infrastrukturalnej roli, położeniu geograficznemu i aktywności gospodarczej, woj. śląskie ma istotny wpływ na globalną gospodarkę zarówno przez eksport, jak i przyciąganie inwestycji międzynarodowych.

Samorząd woj. śląskiego aktywnie współpracuje z zagranicznymi partnerami. W 2018 r. województwo było członkiem organizacji międzynarodowych, takich jak Europejski Szlak Dziedzictwa Przemysłowego ERIH, Europejskie Ugrupowanie Współpracy Terytorialnej TRITIA oraz European Social Network (ESN). ERIH to sieć turystyczna, której celem jest promowanie dziedzictwa przemysłowego, inspirowana Szlakiem Dziedzictwa Przemysłowego w Zagłębiu Ruhry. Woj. śląskie, jako zarządca Szlaku Zabytków Techniki, jest członkiem ERIH od 2010 r. W ramach tego szlaku wybrano pięć Gwiazd Techniki, które są kluczowymi punktami europejskiego szlaku.

Województwo rozwija również współpracę transgraniczną przez euroregiony, takie jak Euroregion Silesia czy Euroregion Śląsk Cieszyński. W ramach tej współpracy powstało Europejskie Ugrupowanie Współpracy Terytorialnej TRITIA, które działa na obszarze Polski, Czech i Słowacji, dążąc do wzmocnienia spójności ekonomicznej i społecznej oraz realizacji wspólnych projektów. ESN z kolei jest siecią obejmującą 33 państwa, zajmującą się wspieraniem zrównoważonego rozwoju i włączenia społecznego przez poprawę jakości usług publicznych.

W 2017 r. województwo dołączyło do inicjatywy Komisji Europejskiej dotyczącej transformacji regionów górniczych, wspierając wymianę doświadczeń oraz realizację projektów na rzecz zrównoważonego rozwoju. W 2019 r. powołano także Zespół Regionalny dla inicjatywy regionów górniczych, który ma na celu identyfikację nowych projektów i dyskusję nad transformacją regionu, angażując przedstawicieli rządu, samorządów, nauki i biznesu.

1.4.3. Wyzwania dla Śląska związane z megatrendem i jego potencjalne oddziaływanie

Woj. śląskie jako jeden z kluczowych regionów gospodarczych Polski, jest szczególnie wrażliwe na zmieniające się realia polityczne i gospodarcze na świecie. Polaryzacja polityczna i przekształcenia ładu międzynarodowego wpływają na jego sytuację m.in. przez zmiany w handlu, polityce energetycznej i inwestycjach, stwarzając przy tym potencjalne wyzwania regionalne, np.:

- zapewnianie stabilnych dostaw surowców i dywersyfikacja rynków zbytu dla śląskich firm (napięcia geopolityczne i narażenie na zakłócenia łańcuchów dostaw oraz wzrost cen surowców),
- ochrona miejsc pracy w sektorach zagrożonych transformacją oraz przyciąganie inwestycji w obszarze nowych technologii energetycznych,
- budowanie konsensusu politycznego w kluczowych kwestiach związanych z transformacją gospodarczą regionu,
- zarządzanie migracją i dostosowywanie rynku pracy do nowych realiów demograficznych,
- przyciąganie nowych inwestycji dzięki położeniu strategicznemu,
- wzmacnianie regionalnego znaczenia nowoczesnych technologii i dywersyfikacja gospodarki,
- wzmacnianie regionalnej współpracy międzynarodowej przez przyciąganie kapitału i know-how.

Zmieniający się ład międzynarodowy stawia przed Śląskiem poważne wyzwania, zwłaszcza w zakresie gospodarki, polityki energetycznej i społecznej stabilności. Odpowiednie działania, takie jak dywersyfikacja inwestycji, rozwój innowacji oraz skuteczna współpraca międzynarodowa, mogą przekształcić region w nowoczesne, dynamicznie rozwijające się centrum Europy.

Oddziaływanie megatrendu politycznego jest widoczne w wielu obszarach, szczególnie w społecznym, przestrzennym, środowiskowym oraz gospodarczym. W celu zidentyfikowania procesów i zjawisk, na które może on istotnie wpływać w kontekście rozwoju woj. śląskiego, w tabeli 1.4 wskazano zarówno pozytywne, jak i negatywne przykłady takiego oddziaływania.

Tabela 1.4. Potencjalne oddziaływanie megatrendu; oprac. na podst. (Dziemianowicz i Jurkiewicz, 2023; Jurkiewicz i in., 2024)

Obszar	Potencjalne oddziaływanie
Spółeczny	• osłabienie idei wspólnej Europy w dużej grupie społecznej • rozwój ruchów miejskich

Obszar	Potencjalne oddziaływanie
	▪ spadek zaufania do instytucji UE ▪ ruchy społeczne i polityczne wzmacniające wspólnotę europejską ▪ wzrost niepokoju społecznych ▪ ograniczanie wolności obywatelskich pod pretekstem utrzymywania bezpieczeństwa ▪ korporacje jako coraz silniejsi gracze polityczni ▪ coraz silniejsze związki biznesu z polityką ▪ rozwój i wzmocnienie ruchów społecznych na rzecz demokracji ▪ polaryzacja społeczna ▪ spadek zaufania i wzrost wrogości między krajami
Przestrzenny	▪ wzmocnienie powiązań transportowych z Azją (np. Inicjatywa Pasa i Szlaku) ▪ rozwój przestrzenny metropolii o silnych powiązaniach globalnych ▪ efektywniejsze powiązania między metropoliami ▪ wzmacnianie dualizmu rozwoju ▪ dalsza polaryzacja terytorialna na poziomie państw i regionów ▪ potencjalny dalszy rozwój zabezpieczania granic ▪ dewastacja przestrzeni w wyniku konfliktów
Środowiskowy	▪ wzrost zagrożeń dla środowiska bez zmiany polityki Chin i innych krajów Azji ▪ osłabienie bezpieczeństwa środowiska przyrodniczego w wyniku ograniczenia głosu organizacji zajmujących się kwestiami środowiskowymi i klimatycznymi ▪ środowisko przyrodnicze jako jedna z „ofiar” konfliktów i wzmacniania granic (fizycznie i w wymiarze finansowym)
Gospodarczy	▪ coraz większa część świata uzależniona od gospodarki krajów azjatyckich ▪ utrzymywanie się dylematu: globalizacja vs. ochrona przed dominacją azjatycką ▪ rozwój działań zmierzających do zdobywania przewagi technologiczno-organizacyjnej przez firmy ▪ rozwój współpracy gospodarczej z Azją ▪ korporacje jako coraz silniejsi gracze polityczni ▪ coraz silniejsze związki biznesu z polityką ▪ rozwój i wzmocnienie ruchów społecznych na rzecz demokracji ▪ rozwój branż związanych z systemami bezpieczeństwa cyfrowego ▪ zmiany w międzynarodowych stosunkach gospodarczych ▪ zmniejszenie atrakcyjności inwestycyjnej Polski jako kraju granicznego UE

1.5. Megatrend – urbanizacja i rozwój obszarów metropolitalnych

GRUPA TEMATYCZNA:

MEGATREND SPOŁECZNY

1.5.1. Ogólna charakterystyka megatrendu

Urbanizacja jest jednym z kluczowych megatrendów kształtujących współczesny świat. Obecnie ponad 56% ludności świata mieszka w miastach, a według prognoz ONZ do 2050 r. odsetek ten wzrośnie do 68% (UN, 2018). Dynamiczny rozwój obszarów metropolitalnych prowadzi do powstawania megamiast, w których liczba mieszkańców przekracza 10 mln (Sprawy Nauki, 2020). Równocześnie w wielu krajach nasila się zjawisko suburbanizacji i rozlewania się miast, co wpływa na ich strukturę przestrzenną, transport oraz ekologię. Urbanizacja napędza wzrost gospodarczy i innowacje, ale stawia także poważne wyzwania, takie jak problemy mieszkaniowe, kongestia, zanieczyszczenie powietrza i zmiany klimatyczne. Miasta stają się kluczowymi „aktorami” w walce o zrównoważony rozwój, wdrażając koncepcję smart cities, czyli inteligentnych rozwiązań poprawiających jakość życia mieszkańców.

W Polsce proces urbanizacji postępuje wolniej niż w krajach Europy Zachodniej, ale coraz większe znaczenie mają duże aglomeracje, takie jak Warszawa, Kraków czy Wrocław. Zmieniają się też potrzeby mieszkańców – wzrasta zapotrzebowanie na ekologiczne przestrzenie miejskie, nowoczesny transport publiczny i cyfryzację usług miejskich. Rozwój miast i obszarów metropolitalnych jest nieunikniony, a sposób zarządzania nimi będzie miał kluczowe znaczenie dla jakości życia, gospodarki i środowiska w nadchodzących dekadach.

Głównym przejawem zidentyfikowanego megatrendu jest reorganizacja przestrzeni, rozumiana jako następujące zjawiska:

1. **Niekontrolowany rozrost obszarów miejskich.** Proces urbanizacji przyspiesza, a duże miasta stają się centrami gospodarki, innowacji i migracji. Według danych ONZ, w 2023 r. na świecie

były 33 megamiasta (ponad 10 mln mieszkańców), a do 2050 r. liczba ta wzrośnie do 50 (Bank.pl, 2020). Największe aglomeracje, takie jak Tokio (37 mln), Delhi (34 mln) czy Szanghaj (29 mln), przyciągają coraz więcej ludzi i coraz większy kapitał. Miasta rozwijają się nie tylko w ramach swoich granic administracyjnych, ale także w formie miejskich obszarów funkcjonalnych (MOF), obejmujących przedmieścia i pobliskie mniejsze miasta. Obszar Nowego Jorku obejmuje 19 mln mieszkańców, a region Stambułu ponad 15 mln (Obserwator Gospodarczy, 2023). Taki model urbanizacji sprzyja integracji rynków pracy, ale też zwiększa wyzwania związane z infrastrukturą i transportem.

W Polsce urbanizacja postępuje wolniej niż w krajach zachodnich, ale duże miasta odgrywają coraz większą rolę. Warszawa, Kraków, Wrocław i Trójmiasto rozwijają się dynamicznie, przyciągając inwestorów i migrantów z mniejszych miejscowości. MOF obejmują już 40% ludności Polski (GUS, 2023b), co oznacza, że wiele osób mieszka poza miastem, ale codziennie do niego dojeżdża. Największe wyzwania to suburbanizacja, korki oraz brak skoordynowanej polityki przestrzennej. Coraz więcej aglomeracji wdraża strategię smart city, która ma na celu poprawę transportu, efektywności energetycznej i zarządzania przestrzenią miejską.

2. **Transformacja terenów wiejskich.** Wieś zmienia swoje oblicze pod wpływem urbanizacji, migracji i rozwoju technologii. W krajach rozwiniętych tradycyjne rolnictwo traci na znaczeniu, a tereny wiejskie przekształca się w obszary rekreacyjne, turystyczne lub logistyczne. W wielu krajach azjatyckich i afrykańskich procesy te zachodzą inaczej – migracja do miast powoduje wzrost liczby opuszczonych wsi i depopulację obszarów wiejskich. W USA i Europie Zachodniej coraz więcej regionów wiejskich staje się atrakcyjnym miejscem do zamieszkania dla osób pracujących zdalnie. Trend ten przyspieszyła pandemia COVID-19, a technologie cyfrowe umożliwiają funkcjonowanie firm i pracowników nieetatowych (ang. *freelancer*) poza dużymi miastami. W Polsce obszary wiejskie również przechodzą transformację. Udział ludności wiejskiej wynosi około 40% (PAP, 2025), ale wielu mieszkańców wsi pracuje w miastach lub prowadzi działalność niezwiązaną z rolnictwem. Wzrasta liczba nowych osiedli podmiejskich, co prowadzi do suburbanizacji wsi, zwłaszcza w okolicach dużych miast. Jednocześnie w niektórych regionach (np. we wschodniej Polsce) obserwuje się odpływ ludności i starzenie się mieszkańców wsi. W odpowiedzi na te wyzwania rozwijane są programy wspierające agroturystykę, odnawialne źródła energii i cyfryzację usług wiejskich.
3. **Zrównoważone zagospodarowanie terenów.** Wzrost populacji i urbanizacja prowadzą do intensyfikacji wykorzystania gruntów. Od 1990 r. miasta na świecie zwiększyły swoją powierzchnię o 50%, często kosztem terenów rolnych i naturalnych ekosystemów (World Bank, 2023). Powstają nowe strefy mieszkaniowe, biurowe i przemysłowe, co powoduje fragmentację krajobrazu i spadek bioróżnorodności. Pojawiają się równocześnie trendy ukierunkowane na bardziej zrównoważone zagospodarowanie przestrzeni, takie jak rewitalizacja obszarów poprzemysłowych, odbetonowywanie miast czy rozwój zielonej infrastruktury. Miasta takie jak Melbourne czy Ottawa wdrażają politykę „15-minutowego miasta”, w którym podstawowe usługi i miejsca pracy są dostępne w krótkim czasie, bez konieczności korzystania z samochodu. W Polsce zmiany w użytkowaniu terenów są widoczne, zwłaszcza w kontekście ekspansji miast. Liczba terenów zurbanizowanych regularnie wzrasta, co często odbywa się kosztem gruntów rolnych. Szczególnie dynamicznie rozwijają się przedmieścia, co prowadzi do problemów związanych z chaotyczną zabudową i brakiem infrastruktury. Jednocześnie coraz większy nacisk kładzie się na rewitalizację zdegradowanych terenów, zwłaszcza dawnych obszarów przemysłowych (np. w Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii). Miasta inwestują w parki, tereny rekreacyjne i transport publiczny, aby przeciwdziałać negatywnym skutkom suburbanizacji.

Urbanizacja i rozwój obszarów metropolitalnych prowadzą do intensyfikacji życia miejskiego, transformacji wsi oraz zmian w użytkowaniu terenów. Polska, choć urbanizuje się wolniej niż niektóre kraje zachodnie, stoi przed podobnymi wyzwaniami – od suburbanizacji po konieczność zrównoważonego planowania przestrzennego. Efektywne zarządzanie tymi procesami będzie kluczowe dla poprawy jakości życia i adaptacji do globalnych trendów urbanizacyjnych.

1.5.2. Charakterystyka megatrendu w kontekście regionalnym – województwo śląskie

Dla jednego z najbardziej dynamicznie rozwijających się regionów w Polsce, jakim jest woj. śląskie, ważnym elementem w planowaniu przyszłości jest sposób wykorzystania obszarów pokopalnianych. Czynniki, które obecnie kształtują megatrendy urbanizacyjne dla Śląska, są: rosnąca urbanizacja i jej wpływ na przestrzeń, atrakcyjność Śląska i jego metropolii jako centrum przemysłu i źródło miejsc pracy (szczególnie na południu Polski), transformacja energetyczna i zrównoważony rozwój, rewitalizacja obszarów poprzemysłowych i zabezpieczenie terenów przed powstawaniem zapadlik, rozwój transportu publicznego i infrastruktury rowerowej, rosnąca partycypacja społeczna pod względem planowania przestrzennego, a także wykorzystanie najnowszych technologii i wdrażanie idei inteligentnych miast.

W dokumentach strategicznych dotyczących rozwoju woj. śląskiego, takich jak Strategia Rozwoju Województwa Śląskiego „Śląskie 2030” (strategia, 2020), zawarto istotne dane statystyczne obrazujące obecne wyzwania dla regionu. Zwrócono uwagę na spadek liczby ludności.

W kontekście urbanizacji woj. śląskie charakteryzuje się najwyższym w Polsce wskaźnikiem urbanizacji na poziomie 76%, najwyższą gęstością zaludnienia wynoszącą 352 osoby na km² (przy średniej krajowej wynoszącej 126 osób na km²) oraz najwyższym udziałem miast w strukturze województwa, który wynosi 68,7%.

Dane podkreślają konieczność uwzględnienia wyzwań demograficznych i urbanistycznych w procesie aktualizacji strategii rozwoju regionu, w odpowiedzi na dynamicznie zachodzące zmiany oraz dla zapewnienia zrównoważonego rozwoju woj. śląskiego.

Region Śląska, tradycyjnie związany z przemysłem węglowym, mierzy się z wyzwaniami transformacji energetycznej mającej na celu ograniczenie emisji CO₂ i rozwój OZE. Perspektywicznie wdrażanie rozwiązań OZE będzie generować większą liczbę miejsc i stanowisk pracy w dziedzinach związanych z technologiami czystej energii. Może to doprowadzić do wzmożonej migracji i urbanizacji w danym obszarze, a co za tym idzie, do zwiększonego zużycia energii i większej emisji gazów cieplarnianych. Warto mieć również na uwadze, że energia z OZE w 2018 r. pokrywała tylko 3,2% krajowego zapotrzebowania na energię.

Innym aspektem urbanizacji jest nacisk na rekultywację terenów poprzemysłowych. Miasta, takie jak Katowice czy Gliwice, aktywnie przekształcają obszary dawnych kopalń w zielone przestrzenie użytku publicznego lub centra nauki i kultury, które sprzyjają napływowi ludności. Projekty rewitalizacji sprzyjają także rozwojowi transportu publicznego i infrastruktury rowerowej, co ma wpływ na zmniejszenie zatłoczenia i poprawę jakości powietrza.

Ważne jest również uwzględnienie nowych technologii używanych do wdrażania inteligentnych miast, które będą działać zgodnie z rozporządzeniami UE w sprawach zmian klimatu i zmniejszenia zanieczyszczeń. Systemy zarządzania ruchem, monitoring jakości powietrza czy inteligentne oświetlenie to technologie mające na celu zmniejszenie wykorzystania energii przy jednoczesnej poprawie komfortu życia i usprawnieniu efektywności zarządzania miastami. Postęp cyfryzacji odgrywa również dużą rolę w planowaniu przestrzennym, dzięki dostępowi do najnowszych technik komputerowych służących do mapowania i obserwacji oraz monitorowania zmian ukształtowania terenu. Równolegle rozwój platform internetowych zwiększa łatwość dostępu i interakcji mieszkańców z władzami i daje możliwość realnego wpływu na kształtowanie swojego otoczenia.

1.5.3. Wyzwania dla Śląska związane z megatrendem i jego potencjalne oddziaływanie

Dostosowanie się do megatrendu urbanizacji przez świadome planowanie przestrzenne i inwestycje w infrastrukturę może przyczynić się do poprawy jakości życia mieszkańców oraz zwiększenia atrakcyjności regionu dla inwestorów i turystów. Dla woj. śląskiego, które charakteryzuje wysoki stopień urbanizacji i historyczne dziedzictwo przemysłowe, przedstawione niżej wyzwania mają kluczowe znaczenie w kontekście jego zrównoważonego rozwoju. Należą do nich:

- zapobieganie wyludnianiu się średnich i małych miast, które tracą na znaczeniu gospodarczym i społecznym,
- integracja transportu w ramach Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii, rozwój kolei metropolitalnej i transportu niskoemisyjnego,

- opracowanie spójnej polityki przestrzennej, która ograniczy niekontrolowaną suburbanizację i poprawi jakość urbanistyki,
- rozwój zielonej infrastruktury, np. parków miejskich, retencji wód deszczowych oraz terenów rekreacyjnych (adaptacja miast do zmian klimatu na poziomie regionalnym),
- wzmocnienie roli Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii jako centrum gospodarki i innowacji,
- poprawa jakości życia dzięki inteligentnemu planowaniu przestrzennemu (systemy zarządzania ruchem, nowoczesne budownictwo ekologiczne oraz cyfrowe usługi dla mieszkańców),
- rozwój nowoczesnego transportu i ekologicznych rozwiązań komunikacyjnych (zintegrowanego transportu miejskiego opartego na niskoemisyjnych środkach komunikacji).

Urbanizacja i rozwój obszarów metropolitalnych na Śląsku to proces, który wiąże się z wyzwaniami, ale stwarza też ogromne możliwości. Kluczowe będzie odpowiednie planowanie przestrzenne, rozwijanie transportu i inwestowanie w technologie miejskie, aby Śląsk mógł stać się nowoczesnym, dobrze skomunikowanym i przyjaznym dla mieszkańców regionem.

Oddziaływanie megatrendu jest widoczne w wielu obszarach, szczególnie w społecznym, przestrzennym, środowiskowym oraz gospodarczym. W celu zidentyfikowania tych procesów, na które może on istotnie wpływać w kontekście rozwoju woj. śląskiego, w tabeli 1.5 przedstawiono pozytywne i negatywne przykłady takiego oddziaływania.

Tabela 1.5. Potencjalne oddziaływanie megatrendu; oprac. na podst. (Dziemianowicz i Jurkiewicz, 2023; Jurkiewicz i in., 2024)

Obszar	Potencjalne oddziaływanie
Społeczny	▪ nasilona migracja zarobkowa do największych ośrodków (wysoki poziom i jakość życia) ▪ rozwarstwienie dochodowe i społeczne (w tym segregacja społeczno-przestrzenna) ▪ rosnąca wielokulturowość oraz zacieranie się specyfiki i tożsamości lokalnej i regionalnej ▪ wysoka dostępność i jakość usług społecznych ▪ styl życia wpływający na całokształt zachowań społecznych populacji ▪ wzrost znaczenia poczucia bezpieczeństwa (szeroko rozumianego)
Przestrzenny	▪ rozrastanie się przestrzenne miast (megamiasta, megalopolis, suburbanizacja, urban sprawl, slumsy, fawele) ▪ rozwój nowych struktur organizacji przestrzennej działalności gospodarczej ▪ rosnące przestrzenne niedopasowanie miejsc zamieszkania oraz miejsc pracy, rekreacji, usług – rozwój nowych form komunikacji wewnątrz miast ▪ wzrost znaczenia największych miast jako hubów transportowych (lotniska, węzły dróg szybkiego ruchu i koleje dużych prędkości) ▪ postępujące zmiany w krajobrazie naturalnym i antropogenicznym
Środowiskowy	▪ wzrost antropopresji na środowisko w miastach i jej zmniejszenie poza miastami ▪ wzrost zainteresowania ekologią wśród mieszkańców miast
Gospodarczy	▪ wzrost znaczenia gospodarczego i naukowo-badawczego miast ▪ rozwój sektora transportu (powiązania wewnątrz i między miastami) ▪ rozwój rynku deweloperskiego ▪ wzrost inwestycji i kosztów utrzymania nowoczesnej infrastruktury ▪ wprowadzanie nowoczesnych technologii miejskich ▪ koncentracja usług wyższego rzędu

1.6. Megatrend – zmiany klimatyczne i degradacja środowiska

GRUPA TEMATYCZNA:

MEGATREND SPOŁECZNY

1.6.1. Ogólna charakterystyka megatrendu

Zmiany klimatu i degradacja środowiska to jedne z najpoważniejszych wyzwań XXI w., wpływające na gospodarkę, społeczeństwa i ekosystemy na całym świecie. Według raportu IPCC (2023) globalna temperatura wzrosła już o 1,1°C względem epoki przedindustrialnej, a bez zdecydowanych działań może przekroczyć 1,5°C do 2030 r. Skutkiem tego jest nasilanie się ekstremalnych zjawisk pogodowych, podnoszenie się poziomu mórz i zakłócenia systemów rolniczych. Postępująca degradacja środowiska objawia się m.in. wzrostem zanieczyszczenia powietrza, utratą bioróżnorodności, deforestacją i nadmierną eksploatacją zasobów naturalnych. Według ONZ do 2050 r. aż 5 mld ludzi będzie

doświadczać niedoboru wody, a ponad 40% powierzchni łądów będzie zdegradowane przez działalność człowieka (Obserwator Finansowy, 2025).

W Polsce zmiany klimatyczne przejawiają się wzrostem temperatur, długotrwałymi suszami, coraz częstszymi nawałnicami oraz problemami z jakością powietrza. Sektor energetyczny, transportowy i przemysłowy stoją przed koniecznością dekarbonizacji, a miasta i regiony muszą dostosować się do nowych warunków klimatycznych. Zmiany klimatyczne i degradacja środowiska wymagają natychmiastowych działań zarówno na poziomie globalnym, jak i lokalnym. Kluczowe będą inwestycje w odnawialne źródła energii, zrównoważoną gospodarkę zasobami oraz technologie ograniczające emisję gazów cieplarnianych. Przyszłość świata zależy od tego, jak skutecznie uda się wdrożyć strategie adaptacyjne i redukcyjne w najbliższych dekadach.

Wzrost dynamiki zmian środowiska jest głównym przejawem megatrendu, obserwowanym w związku z występowaniem poniższych zjawisk:

1. **Zmiany klimatu.** Zmiany klimatu to jeden z najistotniejszych globalnych problemów, które wpływają na system klimatyczny Ziemi w sposób nieodwracalny. Wzrost średniej temperatury jest wynikiem występowania w atmosferze gazów cieplarnianych, głównie dwutlenku węgla, który osiągnął rekordowy poziom w atmosferze 420 ppm (części na milion) w 2023 r. (IMGW, 2024) Prognozy wskazują, że jeśli ich emisja nie zostanie zredukowana, temperatura Ziemi może wzrosnąć o 2,3°C–2,7°C do 2100 r. w stosunku do okresu przedindustrialnego (Teraz Środowisko, 2023), co doprowadzi do nasilenia ekstremalnych zjawisk pogodowych, takich jak susze, fale upałów, powodzie czy huragany. Zmieniający się klimat prowadzi do topnienia lodowców, wzrostu poziomu mórz, a także zakłócenia cykli wodnych, co zagraża ekosystemom, rolnictwu oraz ludzkim osiedlom wzdłuż wybrzeży. Działania na rzecz ograniczenia emisji gazów cieplarnianych (np. porozumienie paryskie) są kluczowe dla zapobiegania katastrofalnym scenariuszom.

W Polsce zmiany klimatu manifestują się w postaci wydłużających się okresów suszy, zwiększonej liczby dni upalnych oraz nawałnic. Średnia temperatura w Polsce wzrosła o 1,3°C w ciągu ostatnich 30 lat (Gospodarka, 2024). Zmieniający się klimat wpływa na rolnictwo (zmiany w plonach, zagrożenie upraw), ale także na zdrowie ludzi, z większym ryzykiem chorób związanych z upałami. Rosnące poziomy wód gruntowych i powierzchniowych mogą ponadto zwiększać ryzyko powodzi, szczególnie w rejonach dolin i przy brzegach rzek.

2. **Degradacja środowiska przyrodniczego** (powietrza atmosferycznego, wód, powierzchni ziemi i gleb). Degradacja środowiska przyrodniczego to konsekwencja intensywnej działalności człowieka. Zanieczyszczenie powietrza jest jednym z najpoważniejszych problemów, a WHO szacuje, że 7 mln ludzi rocznie umiera z powodu chorób związanych z zanieczyszczonym powietrzem (Euronews, 2025). W szczególności miasta w krajach rozwijających się borykają się z wysokimi poziomami zanieczyszczeń (np. smog w Pekinie).

Degradacja wód to wynik nadmiernego wykorzystania wód gruntowych, zanieczyszczenia rzek i mórz (w tym plastikiem i chemikaliami) oraz zmian klimatu, które zaburzają naturalne cykle wodne. Słodka woda staje się zasobem coraz bardziej deficytowym – 2,2 mld ludzi doświadcza problemów z dostępem do czystej wody (Teraz Środowisko, 2024a).

Na całym świecie zniszczenie gleb spowodowane erozją, nadmiernym wypasem oraz niewłaściwymi praktykami rolniczymi prowadzi do utraty urodzajności i zmniejszenia powierzchni gruntów rolnych. W wyniku tego zjawiska około 25% powierzchni gruntów rolnych na świecie jest zniszczone (Dziki Życie, 2024).

W Polsce głównymi problemami związanymi z degradacją środowiska są zanieczyszczenie powietrza (zwłaszcza pyłami PM₁₀ i PM_{2,5}) oraz niewłaściwa gospodarka wodna. Polska należy do krajów o najgorszej jakości powietrza w Europie, co ma negatywne skutki zdrowotne – około 50 000 osób rocznie umiera w Polsce z powodu chorób związanych z zanieczyszczeniem powietrza (Gazeta Wyborcza, 2020). Problemy z wodą to zarówno susze, jak i zanieczyszczenie wód rzek i jezior. Przemysł i rolnictwo są głównymi źródłami zanieczyszczeń. Niedobór materii organicznej w glebach i nadmierna intensyfikacja gruntów to również problemy dotyczące polskie rolnictwo.

3. **Utrata różnorodności biologicznej.** Zanikająca różnorodność biologiczna to jedno z najbardziej niepokojących zjawisk związanych z działalnością człowieka. Szacuje się, że około 1 mln gatunków roślin i zwierząt jest zagrożonych wyginięciem w ciągu najbliższych kilku dziesięcioleci (Nauka w Polsce, 2024). Główne czynniki przyczyniające się do tego spadku to niszczenie siedlisk, zanieczyszczenie, zmiany klimatu, przekształcanie terenów rolniczych oraz nadmierne polowanie i rybołówstwo. Niezrównoważona eksploatacja zasobów naturalnych, w tym wylesianie i przemysłowa produkcja żywności, znacząco zmienia ekosystemy i zmniejsza różnorodność gatunkową. Wylesianie Amazonii – zwanej „płucami Ziemi” – ma szczególne znaczenie, ponieważ prowadzi do utraty siedlisk wielu gatunków i wzrostu emisji CO₂. W Polsce również obserwuje się spadek różnorodności biologicznej, szczególnie w wyniku wylesiania, zanieczyszczenia środowiska i intensyfikacji rolnictwa. Chociaż Polska jest jednym z nielicznych krajów, które posiadają duże obszary lasów pierwotnych (Białowiecki Park Narodowy), to zanieczyszczenie powietrza, niszczenie siedlisk i zmiany klimatu wpływają na ekosystemy. W wyniku tych procesów znikają rodzime gatunki roślin i zwierząt, a lasy, łąki i inne tereny naturalne są zagrożone.
4. **Wykorzystanie surowców.** Globalne zapotrzebowanie na surowce naturalne rośnie, co prowadzi do przyspieszonego wyczerpywania zasobów oraz zanieczyszczenia środowiska. Każdego roku na świecie wydobywa się miliardy ton surowców. Wykorzystywanie surowców naturalnych – takich jak węgiel, ropa naftowa, rudy metali czy drewno – prowadzi do ich wyczerpywania. W Polsce również występuje wzrost eksploatacji surowców naturalnych.
5. **Gospodarka odpadami.** Istotnym problemem jest również generowanie ogromnych ilości odpadów, zwłaszcza plastiku i odpadów elektronicznych. Szacuje się, że co roku na świecie powstaje ponad 300 mln Mg plastikowych odpadów, z czego tylko 9% jest poddawane recyklingowi (UNEP, 2023). W Polsce w 2023 r. wytworzono 109,4 mln Mg odpadów przemysłowych i 13,4 mln Mg odpadów komunalnych (Teraz Środowisko, 2024b). Problemem jest również wzrost konsumpcji i niewłaściwe gospodarowanie odpadami, co prowadzi do obciążenia środowiska i rosnącej zależności od importu surowców. Niezrównoważona gospodarka odpadami wciąż stanowi dużą barierę dla zrównoważonego rozwoju.

Zmiany klimatu i degradacja środowiska to kwestie globalne, które wpływają na zdrowie ekosystemów oraz gospodarki. Działania na rzecz poprawy jakości powietrza, ochrony różnorodności biologicznej, zmniejszenia degradacji gleb oraz poprawy gospodarki odpadami stanowią kluczowe wyzwania na poziomie zarówno globalnym, jak i lokalnym. W Polsce, podobnie jak na świecie, konieczne są zdecydowane kroki w kierunku zrównoważonego rozwoju, zmniejszenia emisji i efektywnego zarządzania zasobami.

1.6.2. Charakterystyka megatrendu w kontekście regionalnym – województwo śląskie

Zmiany klimatu i degradacja środowiska to jeden z głównych megatrendów wpływających na przyszłość woj. śląskiego, nie tylko na bezpieczeństwo i jakość życia mieszkańców regionu, ale także w dużym stopniu na planowanie przestrzenne, dbałość o istniejące zasoby i ich użytkowanie, ochronę środowiska oraz monitorowanie i kontrolowanie sposobów pozyskiwania, składowania i wykorzystywania energii. Czynniki, takie jak zanieczyszczenie powietrza i wód, zagrożenie powodziowe, pożarowe i suszą, nierówności terytorialne, a także konieczność balansowania między rozwojem a ochroną przestrzeni naturalnych i zapewnianiem spójności terytorialnej, determinują kierunki rozwoju dla woj. śląskiego.

Dane statystyczne dotyczące obecnej sytuacji środowiska na Śląsku (w oparciu o Strategię Rozwoju Województwa Śląskiego „Śląskie 2030” Projekt Zielone Śląskie) (Strategia, 2020):

- Piąty raport IPCC (ang. *Intergovernmental Panel on Climate Change* – Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu) wskazuje, że od 2001 r. każdy kolejny rok należał do najcieplejszych od 1880 r.
- Wzrost średnich temperatur rocznych to > 9°C, co wpływa na zmiany w bilansie wodnym (mniejsza pokrywa śnieżna – niższa wilgotność gleby).

- Na Śląsku w ostatnich latach najczęściej występują huragany, tornada i silne wiatry – 75,1% w 2018 r. – oraz gwałtowne opady wskutek zmian klimatu, co wpływa na infrastrukturę i jakość życia.
- Woj. śląskie posiada niewielkie zasoby wodne – 5,34% zasobów krajowych w 2018 r. Jednym ze sposobów przeciwdziałania powodziom oraz zapewnienia zaopatrzenia w wodę są zbiorniki wodne (w większości sztuczne, ze względu na niską liczbę zbiorników naturalnych), m.in. zbiornik w Goczałkowicach o powierzchni 32 km² i pojemności 165,6 hm³.
- Na Śląsku występuje największy areał stawów hodowlanych (ok. 11 tys. ha), głównie w południowej części regionu. W 2018 r. badania wykazały, że 22% wód powierzchniowych w województwie miało dobry stan ekologiczny, a 78% miało stan umiarkowany, słaby lub zły. W latach 2009–2018 województwo odprowadzało mniej ścieków przemysłowych niż średnia krajowa, ale wciąż wytwarzało 25,6% ścieków przemysłowych zawierających substancje szczególnie szkodliwe dla środowiska wodnego.
- Woj. śląskie leży na obszarze dwóch głównych zlewni w Polsce – Wisły i Odry – i jest jednym z pięciu województw najbardziej zagrożonych powodzią. Zmaga się zarówno z nadmiarem, jak i niedoborem wody, co jest wynikiem nawałnych deszczy i susz. Problemy te są potęgowane przez działalność człowieka, taką jak zabudowa terenu, zmiany rzeźby terenu, błędy w planowaniu przestrzennym, zanieczyszczenie wód i drenaż zlewni.
- W odpowiedzi na zagrożenie powodziowe w regionie realizowane są inwestycje przeciwpowodziowe, w tym obwałowania w różnych powiatach. W latach 2007–2018 gminy w północnej, centralnej i zachodniej części województwa były szczególnie narażone na susze, zwłaszcza w okresie od czerwca do lipca 2019 r., kiedy ponad połowa gmin zmagająca się z tym problemem. Racjonalne zarządzanie wodami może pomóc w adaptacji regionu do zmian klimatu.
- Śląsk jest jednym z trzech regionów generujących największą emisję zanieczyszczeń do powietrza, szczególnie CO₂ (98,1% krajowej emisji) i metanu (91% krajowej emisji). W 2018 r. województwo było w czołówce również ze względu na emisję pyłów. Głównym powodem przekraczania poziomów PM10 i PM2,5 oraz benzo(a)pirenu były indywidualne systemy ogrzewania oraz intensywny ruch drogowy.
- W 2018 r. przekroczono dopuszczalne poziomy zanieczyszczeń we wszystkich strefach województwa. 13 z 50 najbardziej zanieczyszczonych miast w Europie znajduje się na Śląsku. Źródłem zanieczyszczeń są głównie niskiej jakości paliwa, przemysł ciężki, energetyka i transport.
- W 2018 r. woj. śląskie posiadało 19 składowisk odpadów komunalnych o łącznej powierzchni 131 ha. Zebrano 1664,1 tys. Mg odpadów, co stanowiło 13,3% krajowej ilości odpadów. W regionie selektywnie zebrano również 650,1 tys. Mg odpadów, co stanowiło 18% krajowej zbiórki – był to najwyższy wynik w Polsce.
- W 2014 r. w regionie funkcjonowały trzy spalarnie odpadów niebezpiecznych, trzy przekształcające odpady medyczne oraz jedna spalarnia osadów ściekowych. Województwo osiąga najwyższy wskaźnik selektywnej zbiórki odpadów (39%).

Jako jeden z najbardziej uprzemysłowionych i zurbanizowanych obszarów Polski, Śląsk jest wyjątkowo narażony na skutki zmian klimatu oraz degradację środowiska. Skutki zmian klimatu mogą wpłynąć na infrastrukturę i jakość życia mieszkańców, dlatego ważne jest wprowadzanie błękitno-zielonej infrastruktury. Wysoka urbanizacja województwa sprawia, że jest ono szczególnie narażone na zjawisko miejskiej wyspy ciepła.

W odpowiedzi na zmiany klimatu, w latach 2017–2019 Ministerstwo Środowiska przeprowadziło projekt, który obejmował 16 miast woj. śląskiego, identyfikując zagrożenia i planując działania adaptacyjne. W odpowiedzi na te problemy wprowadzono uchwałę antysmogową oraz Program ochrony powietrza, mające na celu poprawę jakości powietrza w regionie.

Województwo rozwija zasady gospodarki obiegu zamkniętego (GOZ), choć wdrażanie tych zasad wymaga dalszych działań edukacyjnych. Sektory związane z ochroną środowiska w województwie mają duży potencjał rozwojowy, a nakłady na ochronę środowiska na mieszkańca są najwyższe

w kraju (60,6 PLN). W województwie rozwijane są technologie związane z ochroną środowiska, w tym biotechnologie, technologie poprawy jakości terenów zdegradowanych, gospodarka odpadami, ochrona powietrza i zarządzanie środowiskiem.

1.6.3. Wyzwania dla Śląska związane z megatrendem i jego potencjalne oddziaływanie

W kontekście problemów środowiskowych woj. śląskie jako region historycznie związany z przemysłem ciężkim i górnictwem, stoi przed szczególnymi wyzwaniami wynikającymi ze zmianami klimatu i degradacją środowiska. Wysoka emisja gazów cieplarnianych, zanieczyszczenie powietrza i degradacja terenów pogórnich to jedne z kluczowych problemów, które wymagają pilnych działań. Wybranymi kierunkami działań, istotnymi z punktu widzenia oddziaływania megatrendu, są:

- redukcja emisji CO₂ i transformacja energetyczna,
- transformacja energetyczna regionu – odejście od węgla i rozwój odnawialnych źródeł energii, w tym farm fotowoltaicznych i wiatrowych,
- eliminacja niskiej emisji i rozwój czystych technologii grzewczych,
- degradacja terenów pogórnich i rekultywacja – kosztowna rekultywacja i rewitalizacja terenów przemysłowych, aby przywrócić im funkcję gospodarczą lub rekreacyjną,
- przyciągnięcie inwestorów, którzy zagospodarują tereny poprzemysłowe, tworząc nowoczesne centra biznesowe i technologiczne,
- zmniejszenie ekstremalnych zjawisk pogodowych,
- rozwój zielonej infrastruktury i adaptacja miast do zmian klimatu,
- usprawnienie systemów zarządzania kryzysowego oraz wdrożenie skutecznych systemów wczesnego ostrzegania,
- podnoszenie świadomości mieszkańców dotyczącej zmian klimatu i działań adaptacyjnych,
- ograniczenie efektu miejskiej wyspy ciepła,
- poprawa retencji wodnej i przeciwdziałanie powodziom i suszom,
- wspieranie gospodarki o obiegu zamkniętym.

Wpływ megatrendu jest zauważalny w różnych sferach, zwłaszcza społecznej, przestrzennej, środowiskowej i gospodarczej. Dla procesów, na które może on mieć istotny wpływ w kontekście rozwoju woj. śląskiego, w tabeli 1.6 przedstawiono zarówno pozytywne, jak i negatywne przykłady tego oddziaływania.

Tabela 1.6. Potencjalne oddziaływanie megatrendu; oprac. na podst. (Dziemianowicz i Jurkiewicz, 2023; Jurkiewicz i in., 2024)

Obszar	Potencjalne oddziaływanie
Społeczny	▪ zwiększone przepływy migracyjne do Europy z regionów świata zagrożonych skutkami zmian klimatu oraz wzrost nierówności i napięć społecznych związanych z dostępem do dobrej jakości zasobów przyrodniczych (m.in. wód i gleb) oraz z utratą usług ekosystemowych ▪ wzrost kosztów utrzymania w wyniku podniesienia cen towarów i usług
Przestrzenny	▪ wzrost urbanizacji jako efekt poszukiwania terenów, na których możliwe jest zaspokojenie potrzeb związanych z osiedlaniem się
Środowiskowy	▪ wzrost stężenia zanieczyszczeń w wyniku rosnącej presji na środowisko na świecie ▪ pogłębiające się zaburzenia procesów przyrodniczych (procesy glebotwórcze, fotosynteza i produkcja pierwotna, obieg pierwiastków oraz wody)
Gospodarczy	▪ utrudnione warunki prowadzenia działalności gospodarczej ▪ rosnące zapotrzebowanie na unikalne zasoby środowiska (np. pierwiastki ziem rzadkich) wykorzystywane w transformacji energetycznej i jako źródła energii bezemisyjnej (OZE, banki energii, elektromobilność) ▪ zmiany w produkcji i łańcuchach dostaw żywności ▪ wzrost strat w sektorach gospodarki (np. rolnictwo, produkcja żywności, turystyka) na skutek utraty usług ekosystemowych i ekstremalnych zjawisk pogodowych

Zmiany klimatu i degradacja środowiska stanowią ogromne wyzwanie dla Śląska, ale jednocześnie dają możliwość głębokiej transformacji regionu. Odejście od węgla, poprawa jakości powietrza, rewitalizacja terenów poprzemysłowych oraz rozwój OZE mogą w przyszłości uczynić Śląsk nowoczesnym, zielonym i konkurencyjnym regionem.

1.7. Megatrend – cyfryzacja i rozwój nowych technologii

GRUPA TEMATYCZNA:

MEGATREND SPOŁECZNY

1.7.1. Ogólna charakterystyka megatrendu

Cyfryzacja i rozwój nowych technologii to jeden z najważniejszych megatrendów współczesnego świata, przekształcający niemal każdą dziedzinę życia. Ma wpływ na gospodarkę, społeczeństwo oraz życie indywidualne ludzi. Rewolucja cyfrowa przyspiesza rozwój technologii, takich jak AI, IoT, blockchain, 5G czy big data, które w coraz większym stopniu wpływają na sposób komunikacji, pracy, produkcji i konsumpcji.

Cyfryzacja z jednej strony daje ogromne możliwości w zakresie innowacji, zwiększania efektywności i tworzenia nowych modeli biznesowych, z drugiej – stawia wyzwania związane z bezpieczeństwem danych, prywatnością oraz wykluczeniem cyfrowym. Firmy na całym świecie inwestują w nowe technologie, aby zyskać przewagę konkurencyjną, automatyzując procesy, analizując dane w czasie rzeczywistym i tworząc nowe produkty oraz usługi, które odpowiadają na rosnące potrzeby konsumentów.

Globalna cyfryzacja ma również wpływ na rynek pracy, gdzie automatyzacja i sztuczna inteligencja zmieniają charakter zatrudnienia, eliminując niektóre tradycyjne stanowiska, równocześnie tworząc zapotrzebowanie na nowe kompetencje i zawody. Rozwój technologii stawia także nowe wyzwania, takie jak zarządzanie danymi osobowymi, kwestie etyczne w zastosowaniach AI oraz zapewnienie sprawiedliwego dostępu do nowych technologii.

W Polsce cyfryzacja rozwija się coraz szybciej – rosną inwestycje w infrastrukturę cyfrową i cyfryzację administracji publicznej, ale pojawiają się także wyzwania związane z dostępem do technologii, cyfrowymi kompetencjami oraz rozwojem innowacyjnych przedsiębiorstw. Zarówno świat, jak i Polska stoją przed koniecznością adaptacji do zmieniającej się rzeczywistości cyfrowej, z uwzględnieniem równowagi między rozwojem a bezpieczeństwem społecznym.

Głównym przejawem zidentyfikowanego megatrendu jest zatem przyspieszenie technologiczne obserwowane m.in. w postaci następujących zjawisk:

1. **Internet rzeczy i sztuczna inteligencja.** Internet rzeczy (IoT) to jedno z najbardziej rewolucyjnych zjawisk technologicznych. Przewiduje się, że do 2025 r. liczba urządzeń IoT na świecie przekroczy 41 mld (BrandsIT, 2023). IoT obejmuje urządzenia, które są połączone z Internetem, gromadzą i wymieniają dane, co umożliwia automatyzację i optymalizację różnych procesów w życiu codziennym – od inteligentnych domów po systemy zarządzania miastami czy wdrażanie koncepcji Przemysłu 4.0. Dzięki IoT, m.in. w rolnictwie, produkcji, logistyce czy opiece zdrowotnej, możliwe staje się śledzenie, kontrolowanie i optymalizowanie działania urządzeń oraz procesów w czasie rzeczywistym. Z kolei sztuczna inteligencja (ang. *artificial intelligence*, AI) w ciągu ostatnich kilku lat osiągnęła znaczący postęp. Według raportu McKinsey Global Institute (McKinsey & Company, 2023), AI ma potencjał do przyspieszenia globalnego wzrostu gospodarczego. Technologie oparte na AI, takie jak uczenie maszynowe (ang. *machine learning*, ML), głębokie uczenie (ang. *deep learning*, DL) i przetwarzanie języka naturalnego (ang. *natural language processing*, NLP), wykorzystywane są w szerokim zakresie – od automatyzacji procesów przemysłowych, po diagnozowanie chorób, prognozowanie pogody czy personalizację usług. Wykorzystanie AI w połączeniu z IoT pozwala na tworzenie bardziej inteligentnych i adaptacyjnych systemów, które uczą się na podstawie danych i podejmują autonomiczne decyzje.

W Polsce cyfryzacja przyspiesza, ale kraj nadal znajduje się w fazie rozwoju, w porównaniu z wiodącymi państwami technologicznymi. IoT zyskuje popularność w takich branżach, jak transport, logistyka oraz energetyka, ale Polska wciąż jest na etapie adaptacji do pełnego zautomatyzowania procesów. Przykładem może być wdrożenie inteligentnych sieci energetycznych (ang. *smart grids*), które optymalizują zużycie krajowej energii. Sztuczna

inteligencja w Polsce zaczyna być wykorzystywana w sektorach, takich jak: medycyna, przemysł, finanse i handel. AI wciąż nie jest powszechnie wdrażana na dużą skalę, rośnie jednak liczba projektów badawczo-rozwojowych, a także inwestycji w start-upach technologicznych. Przykładem jest rozwój polskiego sektora AI, który staje się jednym z motorów napędowych polskiej gospodarki cyfrowej (Gazeta Prawna, 2024).

2. **Biotechnologia.** Biotechnologia jest jednym z najbardziej dynamicznie rozwijających się obszarów w nowoczesnej gospodarce. Obejmuje m.in. inżynierię genetyczną, terapię genową, produkcję leków oraz bioinżynierię roślin. Grand View Research opracowało raport, w którym pokazano, że globalny rynek biotechnologiczny osiągnął wartość 604,4 mld USD w 2020 r. (Biotechnologia.pl, 2025).

Biotechnologia jest szczególnie ważna w sektorze medycznym, gdzie terapie genowe oraz mRNA (takie jak te wykorzystywane w szczepionkach przeciw COVID-19) stały się kluczowe w walce z chorobami. Biotechnologia znajduje ponadto zastosowanie w produkcji żywności, uprawach odpornych na zmiany klimatu i w energetyce (np. biopaliwa). W kontekście zmian klimatu, biotechnologia może odegrać kluczową rolę w rozwoju technologii wchłaniania ditlenku węgla oraz zrównoważonego rolnictwa.

Biotechnologia jest jednym z obszarów, w których Polska stara się zdobyć konkurencyjną pozycję na globalnym rynku. Polska biotechnologia koncentruje się głównie na sektorze zdrowia, w tym rozwoju biotechnologii medycznych, takich jak leki biologiczne czy terapie genowe. Biotechnologia rolnicza (np. modyfikacje genetyczne roślin) może stanowić także odpowiedź na wyzwania związane ze zmianami klimatu i zapewnianiem bezpieczeństwa żywnościowego kraju. W Polsce zauważalny jest również wzrost inwestowania w start-upy biotechnologiczne, które rozwijają nowe technologie w takich dziedzinach, jak diagnostyka medyczna i terapie komórkowe. Mimo to Polska nadal zмага się z wyzwaniami związanymi z finansowaniem i komercjalizacją innowacji biotechnologicznych.

3. **Cyberbezpieczeństwo.** Wraz z rosnącą cyfryzacją i przechowywaniem danych w chmurze, cyberbezpieczeństwo staje się jednym z kluczowych globalnych wyzwań. W 2023 r. koszty związane z cyberatakami osiągnęły wartość 8 bln USD rocznie i przewiduje się, że w 2025 r. ta liczba wzrośnie do 10,5 bln USD (ExpressVPN, 2024). Cyberprzestępczość oraz kradzież danych mają coraz większy wpływ na funkcjonowanie firm, administracji publicznej oraz osób prywatnych. Globalne ataki na infrastrukturę krytyczną, taką jak energetyka, transport czy usługi zdrowotne, pokazują, jak ważne jest wdrażanie kompleksowych strategii ochrony przed cyberzagrożeniami.

W Polsce cyberbezpieczeństwo staje się priorytetem w kontekście rosnącej liczby ataków hakerskich i kradzieży danych. Z tego powodu rząd wprowadza coraz bardziej zaawansowane regulacje prawne dotyczące ochrony danych osobowych (RODO) oraz strategię narodowego cyberbezpieczeństwa. W Polsce rozwija się także sektor cyberbezpieczeństwa, w którym rośnie liczba firm oferujących rozwiązania zabezpieczające infrastrukturę cyfrową przed atakami. Wraz z cyfryzacją administracji publicznej, taka jak e-government, rośnie zapotrzebowanie na technologie ochrony danych, co stwarza nowe możliwości dla polskich firm w tym sektorze. Równocześnie w Polsce wzrasta świadomość w zakresie ochrony prywatności i zabezpieczania danych osobowych, a to z kolei stwarza potrzebę szkoleń i certyfikacji w obszarze cyberbezpieczeństwa.

Cyfryzacja i rozwój nowych technologii to megatrend, który kształtuje współczesny świat. IoT oraz AI zmieniają sposób, w jaki funkcjonują zarówno gospodarstwa domowe, jak i przedsiębiorstwa, umożliwiając automatyzację i optymalizację procesów. Biotechnologia oferuje przełomowe rozwiązania w medycynie, rolnictwie oraz ochronie środowiska, a cyberbezpieczeństwo staje się fundamentem ochrony przed rosnącymi zagrożeniami w cyfrowym świecie. Te trendy technologiczne będą miały istotny wpływ na przyszłość zarówno na poziomie globalnym, jak i w Polsce, wymagając odpowiedzialnego podejścia do innowacji oraz regulacji technologicznych.

1.7.2. Charakterystyka megatrendu w kontekście regionalnym – województwo śląskie

Woj. śląskie, będące jednym z kluczowych regionów przemysłowych Polski, aktywnie angażuje się w proces cyfryzacji i rozwój nowych technologii. W regionie kładzie się nacisk na rozwijanie i wzmacnianie zdolności badawczych oraz wykorzystywanie zaawansowanych technologii. Dostępne są dotacje dla przedsiębiorstw na projekty związane z badaniami i rozwojem, co sprzyja wprowadzaniu innowacyjnych rozwiązań technologicznych (Nowe Dotacje Unijne, 2025). Zgodnie z założeniami Regionalnej Strategii Innowacji Województwa Śląskiego 2030 (RIS) kluczowym celem jest inteligentna transformacja gospodarcza, zapewniająca przewagę konkurencyjną regionu na arenie międzynarodowej przez rozwój regionalnego ekosystemu innowacji.

RIS identyfikuje pięć głównych inteligentnych specjalizacji woj. śląskiego:

1. energetyka,
2. medycyna,
3. technologie informacyjne i komunikacyjne (ICT),
4. zielona gospodarka,
5. przemysły wschodzące.

Obszary te zostały wybrane na podstawie analizy potencjału regionu oraz globalnych trendów technologicznych i rynkowych.

W woj. śląskim rozwój nowych technologii wiąże się z koniecznością adaptacji tradycyjnych sektorów przemysłowych do wymogów gospodarki opartej na wiedzy. Transformacja ta wymaga inwestowania w badania i rozwój, współpracy między sektorem nauki a biznesem oraz kształcenia kadr o odpowiednich kompetencjach. W RIS podkreśla się znaczenie mobilizacji środowisk innowacyjnych, które przez wdrażanie nowoczesnych rozwiązań mogą inicjować nowe procesy gospodarcze, wzmacniać pozycję regionu na arenie międzynarodowej i tworzyć nowe miejsca pracy.

Dane statystyczne, które potwierdzają aktywność innowacyjną na Śląsku:

- W 2020 r. w regionie działały 702 podmioty prowadzące działalność badawczo-rozwojową (B+R), co plasuje Śląskie na trzecim miejscu w kraju (Invest in Silesia, 2025).
- Łączne nakłady na działalność B+R w woj. śląskim wyniosły około 2,37 mld PLN w 2020 r., co stanowi istotny wkład do krajowych inwestycji na innowacje (Invest in Silesia, 2025).
- W 2020 r. w sektorze B+R w regionie było zatrudnionych ponad 26 tys. osób, co stanowi znaczący odsetek krajowego zatrudnienia (Invest in Silesia, 2025).
- W roku akademickim 2020/2021 w województwie funkcjonowało 30 uczelni wyższych, w tym 21 o profilu badawczym, kształcących około 115 tys. studentów, co stanowi solidną podstawę dla rozwoju innowacji (Invest in Silesia, 2025).
- W 2020 r. odnotowano 8,1 zgłoszeń patentowych na 100 tysięcy mieszkańców, co wskazuje na dużą aktywność innowacyjną regionu (Raport, 2020).

W skali kraju woj. śląskie (obok Małopolski i Mazowsza) wyróżnia się w rozwoju technologii cyfrowych. Ponad 18% projektów dofinansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR) w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój (POIR), związanych z takimi technologiami, jak sztuczna inteligencja, uczenie maszynowe czy big data, realizowanych jest w tych trzech regionach (NCBiR, 2025b). Woj. śląskie rozwija się dynamicznie w obszarze cyfryzacji i nowych technologii, co przekłada się na wzrost innowacyjności, atrakcyjności inwestycyjnej oraz adaptację do globalnych trendów związanych z transformacją cyfrową i zrównoważonym rozwojem. Sektor cyfryzacji oraz rozwoju technologicznego jest również dofinansowywany ze środków unijnych i krajowych, czego przykładem jest niedawny projekt pn. Utworzenie Centrum Technologii i Nauk Obliczeniowych w Katowicach, który uzyskał dofinansowanie na łączną kwotę ponad 104,5 mln PLN (Fundusze Europejskie – Śląskie, 2025).

Kierunki rozwoju regionu, a także priorytetowe obszary, cele oraz inicjatywy dotyczące megatrendów cyfryzacji i wdrażania nowych technologii w woj. śląskim zostały opisane w dokumentach strategicznych, m.in. w Regionalnej Strategii Innowacji Województwa Śląskiego 2030 oraz w poprzednim dokumencie pn. Regionalna Strategia Innowacji na lata 2013–2020, który stanowił

podstawę strategii 2030. W obu dokumentach zawarto istotne założenia, takie jak: zwiększenie dostępu do nowoczesnych technologii, np. szybki Internet, AI czy IoT oraz unowocześnienie administracji samorządowej i usług publicznych w celu zwiększenia efektywności, transparentności oraz dostępności. Uwzględniono również promowanie start-upów, małych i średnich przedsiębiorstw, zieloną gospodarkę, biotechnologię, Przemysł 4.0 oraz technologie cyfrowe, które są tworzone w odpowiedzi na zmiany klimatu i starzenie się społeczeństwa, zacieśnianie współpracy między uczelniami wyższymi, instytucjami badawczo-rozwojowymi a sektorem biznesowym, zwłaszcza w zakresie innowacyjnych technologii, szkolenia i podnoszenie kwalifikacji w obszarze IT, AI oraz cyberbezpieczeństwa, wykorzystanie technologii cyfrowych do zarządzania zasobami naturalnymi, tworzenie nowych rozwiązań w zakresie OZE, efektywności energetycznej i ochrony środowiska, wdrażanie rozwiązań miast inteligentnych dla poprawy jakości życia mieszkańców przez inteligentne zarządzanie transportem, energią i bezpieczeństwem publicznym oraz budowanie międzynarodowej współpracy technologicznej z innymi państwami dla zwiększenia konkurencyjności województwa na globalnym rynku.

Wśród kluczowych wyzwań w obszarze cyfryzacji pojawiają się najczęściej kwestie zwiększania dostępności otwartych danych publicznych, zwiększanie stopnia korzystania z e-usług oraz wzmocnienie dynamiki cyfryzacji i automatyzacji przedsiębiorstw. W 2019 r. przeciętnie tylko 13,4% jednostek administracji publicznej w regionie posiadało politykę lub strategię „otwartych danych”. Odsetek jednostek administracji publicznej, które doświadczyły incydentów związanych z bezpieczeństwem ICT w 2019 r. był wyższy niż średnio w kraju (12,0%) i wyniósł 13,9%, natomiast audyty, które są wykorzystywane jako środki bezpieczeństwa, były wykorzystywane rzadziej niż w poprzednich latach (MFIPR, 2025).

W woj. śląskim odnotowuje się także niski poziom wyposażenia pracowników w urządzenia mobilne – około 12,7%, aczkolwiek poziom korzystania z e-usług w 2019 r. był wyższy – korzystało z nich około 44,4% mieszkańców między 16 a 74 rokiem życia. Liczba mieszkańców korzystająca z internetu w woj. śląskim była wyższa niż średnia krajowa – około 84,1%. Mieszkańcy najczęściej deklarowali korzystanie z sieci w celach: komunikacji (79,5%), rozrywki (66,1%), zdobycia informacji (77,5%), e-zdrowia (48,5%) oraz w celach edukacyjnych, zawodowych i prywatnych (17,9%), a także jako przejaw kreatywności (15,6%) oraz korzystania z innych usług online (58,4%).

1.7.3. Wyzwania dla Śląska związane z megatrendem i jego potencjalne oddziaływanie

Woj. śląskie stoi przed istotnymi wyzwaniami związanymi z cyfryzacją i rozwojem nowych technologii. Proces ten daje zarówno ogromne możliwości, jak i stwarza zagrożenia, szczególnie dla tradycyjnych sektorów gospodarki regionu. Transformacja cyfrowa na Śląsku będzie miała wpływ na rynek pracy, rozwój przemysłu, edukację oraz poziom życia mieszkańców. Przykładowymi wyzwaniami związanymi z tym zjawiskiem są:

- przekształcenie tradycyjnego przemysłu i rozwój Przemysłu 4.0,
- rynek pracy i wyzwania związane z automatyzacją – konieczność przekwalifikowania tysięcy pracowników,
- podnoszenie kompetencji cyfrowych społeczeństwa,
- potrzeba rozwoju infrastruktury cyfrowej – rozbudowa szybkiego Internetu, rozwój sieci 5G oraz wdrożenie nowoczesnych systemów IT w administracji publicznej,
- cyberbezpieczeństwo i ochrona danych,
- rozwój inteligentnych miast (ang. *smart cities*),
- wspieranie innowacyjności w sektorze MŚP,
- wsparcie dla start-upów technologicznych,
- zrównoważony rozwój technologiczny.

Cyfryzacja i rozwój nowych technologii stawiają przed woj. śląskim szereg wyzwań w różnych obszarach technologicznych. Na szczególną uwagę zasługują te uwzględniające konkretne grupy technologiczne zidentyfikowane przez Sieć Regionalnych Obserwatoriów Specjalistycznych, np.

integracja technologii informacyjno-komunikacyjnych (ICT) w przemyśle, rozwój technologii dla energetyki, implementacja nanotechnologii i nanomateriałów w przemyśle, cyfryzacja usług medycznych i rozwój technologii dla medycyny (wprowadzanie telemedycyny, cyfrowych systemów zarządzania placówkami medycznymi oraz zaawansowanych technologii diagnostycznych), zastosowanie innowacyjnych technologii dla ochrony środowiska, wykorzystanie technologii w transporcie i logistyce (cyfryzacja procesów logistycznych, wdrażanie inteligentnych systemów transportowych oraz rozwój pojazdów autonomicznych).

Wpływ megatrendu jest zauważalny w różnych aspektach, zwłaszcza w sferze społecznej, przestrzennej, środowiskowej i gospodarczej. Aby określić procesy, na które wywiera on istotny wpływ w kontekście rozwoju woj. śląskiego, w tabeli 1.7 przedstawiono zarówno korzystne, jak i niekorzystne skutki jego oddziaływania.

Tabela 1.7. Potencjalne oddziaływanie megatrendu; oprac. na podst. (Dziemianowicz i Jurkiewicz, 2023; Jurkiewicz i in., 2024)

Obszar	Potencjalne oddziaływanie
Społeczny	▪ rozwój cyfrowych relacji społecznych ▪ rozwój relacji człowiek-sztuczna inteligencja ▪ rozwój wirtualnej nauki i pracy ▪ rozwój życia w techniwersum ▪ wzrost polaryzacji technologicznej ▪ powstawanie dylematów etycznych i polaryzacja społeczeństwa ▪ konieczność dostosowania kompetencji ludzi do rozwoju sztucznej inteligencji ▪ wydłużanie się życia ludzi ▪ zmniejszanie dolegliwości chorobowych ▪ powstawanie dylematów etycznych i polaryzacja społeczeństwa ▪ spadek zaufania społeczeństwa do sektora ICT ▪ wzrost świadomości społeczeństwa w zakresie cyberzagrożeń ▪ zagrożenie dostępu do usług i obiektów użyteczności publicznej (np. ataki cybernetyczne na szpitale)
Przestrzenny	▪ minimalizacja znaczenia przestrzeni fizycznej w niektórych sferach ▪ ocena jakości przestrzeni przez potencjał dla hiperłączości ▪ niwelowanie ograniczeń przestrzennych (sprawniejsze formy komunikacji) ▪ rozwój idei smart space ▪ rewaloryzacja terenów zielonych i przestrzeni rolniczej ▪ rozwój rolnictwa miejskiego
Środowiskowy	▪ zastosowanie coraz lepszych form zabezpieczenia środowiska przyrodniczego przed negatywnym wpływem człowieka ▪ rozwój gospodarki o obiegu zamkniętym ▪ wykorzystanie AI w kształtowaniu relacji człowiek-środowisko ▪ implementacja biotechnologii na rzecz środowiska ▪ rozwój niebezpiecznych środków biologicznych (zagrożających ludziom, zwierzętom i roślinom)
Gospodarczy	▪ zmiany w organizacji biznesu – od gospodarki cyfrowej do gospodarki w świecie wirtualnym ▪ fundamentalne zmiany na rynku pracy ▪ dominacja konkurencji na polu technologicznym ▪ rozwój firm i sieci biotechnologicznych – w tym sektora B+R ▪ rozwój efektywnej bioprodukcji rolniczej ▪ wzrost liczby infekcji złośliwym oprogramowaniem ▪ wzrost inwestycji przedsiębiorstw w zabezpieczenia ▪ rozwój firm sektora ICT i zajmujących się bezpieczeństwem ▪ rosnące ryzyko ataków na dostawców energii, transportu i operatorów sieci

Rozwój innowacyjnych technologii stanowi jeden z kluczowych megatrendów kształtujących współczesne przemiany społeczno-gospodarcze, wywierając istotny wpływ na regiony przemysłowe, takie jak woj. śląskie. Cyfryzacja, automatyzacja procesów produkcyjnych, rozwój sztucznej inteligencji oraz technologii informacyjno-komunikacyjnych przyczyniają się do transformacji tradycyjnych sektorów gospodarki, w tym górnictwa, energetyki oraz przemysłu ciężkiego. W regionie obserwuje się rosnące znaczenie tzw. Przemysłu 4.0 oraz dynamiczny rozwój sektora IT, co stwarza nowe możliwości zatrudnienia i współpracy między sektorem prywatnym, publicznym i naukowym.

Jednocześnie transformacja technologiczna wiąże się z takimi wyzwaniami, jak: konieczność dostosowania kompetencji pracowników do zmieniających się wymagań rynku pracy, ryzyko wykluczenia cyfrowego, potrzeba inwestycji na infrastrukturę technologiczną i innowacyjne środowiska pracy. Kluczowe znaczenie dla skutecznego wykorzystania potencjału technologicznego ma rozwijanie ekosystemów innowacji, wspieranie start-upów oraz wzmacnianie współpracy badawczo-rozwojowej z udziałem uczelni wyższych i instytutów naukowych działających w regionie.

W kontekście transformacji Śląska rozwój innowacyjnych technologii może stanowić fundament nowego zrównoważonego modelu rozwoju regionalnego, sprzyjającego dywersyfikacji gospodarki oraz podnoszeniu jakości życia mieszkańców.

Literatura

- Arak P. (2024): Ile warta jest cyfrowa gospodarka Polski? Warszawa, VeloBank SA, <https://www.efcongress.com/wp-content/uploads/2024/07/ile-warta-jest-cyfrowa-gospodarka-polski-raport-velobanku.pdf> (dostęp: 11.03.2025).
- Bank.pl (2020): Megamiasta – najważniejszy światowy trend demograficzny, <https://bank.pl/megamiasta-najwazniejszy-swiatowy-trend-demograficzny/> (dostęp: 11.03.2025).
- Biotechnologia.pl (2025): Globalny rynek biotechnologiczny osiągnie wartość 604,4 mld dolarów w 2025 roku, <https://www.biotechnologia.pl/biotechnologia/globalny-rynek-biotechnologiczny-osiagnie-wartosc-604-4-miliarda-dolarow-w-2020-roku,14409?month=10&year=2025> (dostęp: 11.03.2025).
- BrandsIT (2023): Internet Rzeczy - 41 miliardów urządzeń IoT do 2025 roku, <https://brandsit.pl/internet-rzeczy-41-miliardow-urzadzen-iot-do-2025-roku/> (dostęp: 11.03.2025).
- CBOS (2024): Komunikat z badań nr 40/2024. Warszawa, Centrum Badań Opinii Społecznej, https://www.cbos.pl/SPISKOM.POL/2024/K_040_24.PDF (dostęp: 11.03.2025).
- Democracy Index (2023): Democracy Index 2023. London, Economist Intelligence Unit, <https://pages.eiu.com/rs/753-RIQ-438/images/Democracy-Index-2023-Final-report.pdf> (dostęp: 11.03.2025).
- Digital HR (2025): Zawody zagrożone przez AI, <https://digitalhr.pl/nowosci/zawody-zagrozone-przez-ai/> (dostęp: 11.03.2025).
- Dziemianowicz W., Jurkiewicz I., Red. (2023): Megatrendy społeczno-gospodarcze w kontekście Koncepcji Rozwoju Kraju 2050. Trendy światowe. Warszawa, Kraków, Instytut Rozwoju Miast i Regionów.
- Dziki Życie (2024): Degradacja gleby – pełzająca katastrofa, <https://dzikiezycie.pl/archiwum/2024/lipiec-sierpień-2024/degradacja-gleby-pelzajaca-katastrofa> (dostęp: 11.03.2025).
- e-Magazyny (2025): Światowe inwestycje w energię słoneczną będą w tym roku wyższe niż wydatki na ropę, <https://e-magazyny.pl/aktualnosci/swiatowe-inwestycje-w-energie-sloneczna-beda-w-tym-roku-wyzsze-niz-wydatki-na-ropę/> (dostęp: 11.03.2025).
- Euronews (2025): Naukowcy ostrzegają: większość ludzi na świecie oddycha zanieczyszczonym powietrzem, <https://pl.euronews.com/health/2025/03/11/naukowcy-ostregaja-wiekszosc-ludzi-na-swiecie-oddycha-zanieczyszczonym-powietrzem> (dostęp: 11.03.2025).
- EvoStudio (2025): Social media jako kanał sprzedaży, <https://evostudio.pl/social-media-jako-kanał-sprzedazy/> (dostęp: 11.03.2025).
- ExpressVPN (2024): The true cost of cyber attacks in 2024 and beyond, <https://www.expressvpn.com/pl/blog/the-true-cost-of-cyber-attacks-in-2024-and-beyond/?srsId=AfmBOop7KlbwhXRKYE8sm3zYA8EsOpHG4r8cfmFL1jk77d1xraXEHdNZ> (dostęp: 11.03.2025).
- fDi Intelligence (2025): Rządowe wsparcie inwestycyjne dla stref przemysłowych, <https://www.fdiintelligence.com/content/7de38f51-976d-5086-afd2-e45023c9de16> (dostęp: 11.03.2025).
- FoodFakty (2023): Rolnictwo ekologiczne w Polsce w 2023 r., <https://foodfakty.pl/rolnictwo-ekologiczne-w-polsce-w-2023-r> (dostęp: 11.03.2025).
- FoodFakty (2025): Rynek mięsa pochodzenia roślinnego – aktualne trendy, wyzwania i postęp technologiczny, <https://foodfakty.pl/rynek-miesa-pochodzenia-roslinnego-aktualne-trendy-wyzwania-i-postep-technologiczny> (dostęp: 11.03.2025).
- Fundusze Europejskie – Śląskie (2025): Dofinansowane projekty – wyniki konkursu, https://funduszeue.slaskie.pl/czytaj/wynik_10_5_50225 (dostęp: 11.03.2025).

Gazeta Prawna (2024): Polska potrafi – jak możemy stać się liderem rewolucji AI w Europie, <https://www.gazetaprawna.pl/niemaprzyszloscibezprzedsiębiorczosci/artykuly/9634445,polska-potrafi-jak-mozemy-stac-sie-liderem-rewolucji-ai-w-europie.html> (dostęp: 11.03.2025).

Gazeta Wyborcza (2020): Smog na liście największych zagrożeń zdrowotnych wg WHO – dlaczego? <https://wyborcza.pl/AkcjeSpecjalne/7,176957,26529944,smog-na-liscie-najwiekszych-zagrozen-zdrowotnych-wg-who-dlaczego.html> (dostęp: 11.03.2025).

Gospodarka (2024): Zmiany klimatu widoczne także w Polsce – ubiegły rok należał do ekstremalnie ciepłych, <https://300gospodarka.pl/news/zmiany-klimatu-widoczne-takze-w-polsce-ubiegly-rok-nalezal-do-ekstremalnie-cieplych> (dostęp: 11.03.2025).

GUS (2023a): Społeczeństwo informacyjne w Polsce w 2023 roku. Warszawa, Główny Urząd Statystyczny, https://stat.gov.pl/download/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5497/1/17/1/spoleczenstwo_informacyjne_w_polsce_w_2023.pdf (dostęp: 11.03.2025).

GUS (2023b): Powierzchnia i ludność w przekroju terytorialnym w 2023 roku. Warszawa, Główny Urząd Statystyczny, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/ludnosc/ludnosc/powierzchnia-i-ludnosc-w-przekroju-terytorialnym-w-2023-roku%2C7%2C20.html?pdf=1> (dostęp: 11.03.2025).

GUS (2024): Obroty towarowe handlu zagranicznego ogółem i według krajów w okresie styczeń-sierpień 2024 r. Warszawa, Główny Urząd Statystyczny, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/ceny-handel/handel/obroty-towarowe-handlu-zagranicznego-ogolem-i-wedlug-krajow-w-okresie-styczen-sierpien-2024-roku,1,145.html> (dostęp: 11.03.2025).

ILO (2023): Global Wage Report 2022–23. International Labour Organization, <https://webapps.ilo.org/digitalguides/en-gb/story/globalwagereport2022-23> (dostęp: 11.03.2025).

IMGW (2024): WMO: Rok 2023 z rekordowym poziomem stężenia gazów cieplarnianych, <https://obserwator.imgw.pl/2024/10/28/wmo-rok-2023-z-rekordowym-poziomem-stezenia-gazow-cieplarnianych/> (dostęp: 11.03.2025).

Infuture Institute (2025): Mapa trendów, <https://infuture.institute/mapa-trendow/> (dostęp: 11.03.2025).

Invest in Silesia (2025): Działalność badawczo-rozwojowa w województwie śląskim, <https://invest-in-silesia.pl/content/dzialalnosc-badawczo-rozwojowa-w-wojewodztwie-slaskim> (dostęp: 11.03.2025).

IPCC (2023): Climate Change 2023: Synthesis Report (AR6 SYR). Geneva, Intergovernmental Panel on Climate Change, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/> (dostęp: 11.03.2025).

Jurkiewicz I., Hajto M., Legutko-Kobus P., Sobol A., Bojanowicz-Babłok A., Dawid M., Kornatowska B., Kuśmierz A., Skotak K., Stelmaszewska N., Stokowski M., Sykała Ł. (2024): Biała Księga wyzwań rozwojowych dla Polski do 2050 roku. Warszawa, Kraków, Instytut Rozwoju Miast i Regionów.

KE (2021): Raport strategiczny na temat prognozowania – 2021, https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/strategic-foresight/2021-strategic-foresight-report_pl (dostęp: 11.03.2025).

McKinsey & Company (2023): The economic potential of generative AI: The next productivity frontier. New York, McKinsey & Company, <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/the%20economic%20potential%20of%20generative%20ai%20the%20next%20productivity%20frontier/the-economic-potential-of-generative-ai-the-next-productivity-frontier.pdf> (dostęp: 11.03.2025).

McKinsey Global Institute (2023): Asia on the cusp of a new era. New York, McKinsey & Company, <https://www.mckinsey.com/mgi/our-research/asia-on-the-cusp-of-a-new-era> (dostęp: 11.03.2025).

MFiPR (2025): Fundusze Europejskie dla Śląskiego 2021–2027. Warszawa, Ministerstwo Funduszy i Polityki Regionalnej, https://www.funduszeuropejskie.gov.pl/media/106375/FE_SL_21-27_v_1.pdf (dostęp: 11.03.2025).

MliR (2019): Scenariusze rozwojowe Polski w perspektywie roku 2050. Warszawa, Ministerstwo Inwestycji i Rozwoju.

Money.pl (2025): Rekordowe inwestycje w armię – Polska zostanie liderem NATO, <https://www.money.pl/gospodarka/rekordowe-inwestycje-w-armie-polska-zostanie-liderem-nato-7127327470242592a.html> (dostęp: 11.03.2025).

MRiPS (2021): Strategia Demograficzna 2040. Warszawa, Ministerstwo Rodziny i Polityki Społecznej, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/ludnosc/ludnosc/ludnosc-stand-i-struktura-ludnosci-oraz-ruch-naturalny-w-przekroju-terytorialnym-w-2024-r-stand-w-dniu-30-06,6,37.html> (dostęp: 11.03.2025).

MRiT (2024): Polski rynek e-commerce w latach 2024–2028. Warszawa, Ministerstwo Rozwoju i Technologii, <https://www.trade.gov.pl/wiedza/polski-rynek-e-commerce-w-latach-2024-2028/> (dostęp: 11.03.2025).

Nauka w Polsce (2024): Raport: milion gatunków zagrożonych wyginięciem, <https://naukawpolsce.pl/aktualnosci/news%2C76959%2Craport-milion-gatunkow-zagrozonych-wyginieniem.html> (dostęp: 11.03.2025).

- NCBiR (2025): B + R w czasach strategicznej rywalizacji. Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, <https://www.gov.pl/web/ncbr/br-w-czasach-strategicznej-rywalizacji> (dostęp: 11.03.2025).
- NCBiR (2025b): Przyszłość polskiej cyfryzacji w zmieniającym się świecie. Warszawa, Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, <https://www.gov.pl/web/ncbr/przyszlosc-polskiej-cyfryzacji-w-zmieniajacy-m-swiecie-nowa-publikacja-ncbr> (dostęp: 11.03.2025).
- Nowe Dotacje Unijne (2025): Programy Regionalne 2021-2027 – Śląskie, <https://nowedotacjeunijne.eu/programy-regionalne-2021-2027/slaskie/> (dostęp: 11.03.2025).
- Obserwator Finansowy (2025a): Europa musi być bardziej konkurencyjna, <https://www.obserwatorfinansowy.pl/tematyka/makroekonomia/trendy-gospodarcze/europa-musi-byc-bardziej-konkurencyjna/> (dostęp: 11.03.2025).
- Obserwator Finansowy (2025b): Zmiany klimatyczne zaostrzają globalny problem niedoboru wody, <https://www.obserwatorfinansowy.pl/tematyka/makroekonomia/trendy-gospodarcze/zmiany-klimatyczne-zaostrzaja-globalny-problem-niedoboru-wody/> (dostęp: 11.03.2025).
- Obserwator Gospodarczy (2023): Największe miasta na świecie są ludniejsze od niejednego państwa, <https://obserwatorgospodarczy.pl/2023/07/24/najwieksze-miasta-na-swiecie-sa-ludniejsze-od-niejednego-panstwa/> (dostęp: 11.03.2025).
- Obserwator Gospodarczy (2025): PKB województw Polski, <https://obserwatorgospodarczy.pl/2025/01/01/pkb-wojewodztw-polski/> (dostęp: 11.03.2025).
- OPI-PIB (2025): Dynamiczny wzrost popularności edukacyjnych kursów online. Ośrodek Przetwarzania Informacji – Państwowy Instytut Badawczy, <https://opi.org.pl/dynamiczny-wzrost-popularnosci-edukacyjnych-kursow-online/> (dostęp: 11.03.2025).
- PAP (2025): Obszary wiejskie – 93 proc. powierzchni Polski i 40 proc. ludności. Polska Agencja Prasowa, <https://samorząd.pap.pl/kategoria/aktualnosci/gus-obszary-wiejskie-93-proc-powierzchni-polski-i-40-proc-ludnosci> (dostęp: 11.03.2025).
- PARP (2019): Startupy w Polsce – Raport 2019. Warszawa, Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości, https://www.parp.gov.pl/storage/publications/pdf/Startupy-w-Polsce---raport-2019_200117.pdf (dostęp: 11.03.2025).
- Platforma Przemysłu Przyszłości (2025): W ciągu 5 lat maszyny przejmą 85 mln miejsc pracy, ale pojawi się 97 mln nowych, <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/w-ciagu-5-lat-maszyny-przejma-85-mln-miejsc-pracy-ale-pojawi-sie-97-mln-nowych/> (dostęp: 11.03.2025).
- Polityka (2019): Polityka gospodarki niskoemisyjnej dla województwa śląskiego. Regionalna polityka energetyczna do roku 2030. Katowice, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego.
- PTSP (2025): Migracje ludności nasilają się – megatrendy 2050. Polskie Towarzystwo Studiów nad Przyszłością, <https://ptsp.pl/migracje-ludnosci-nasilaja-sie-megatrendy-2050/> (dostęp: 11.03.2025).
- Raport (2020): Raport monitoringowy strategii rozwoju województwa śląskiego „Śląskie2020+”. Katowice, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego.
- Sprawy Nauki (2020): Megamiasta – pułapka rozwoju, <https://www.sprawynauki.edu.pl/archiwum/dzialy-wyd-elektron/303-informacje-el/2977-megamiasta-puapka-rozwoju> (dostęp: 11.03.2025).
- Startup Poland (2024): Polskie Startupy 2024. Warszawa, Startup Poland, <https://startuppoland.org/wp-content/uploads/2024/11/POLSKIE-STARTUPY-2024-1.pdf> (dostęp: 11.03.2025).
- Strategia (2020): Strategia Rozwoju Województwa Śląskiego „Śląskie 2030” – Zielone Śląskie. Katowice, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego.
- Strategia (2020): Wojewódzka Strategia Rozwoju Społecznego. Katowice, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego.
- Strategia (2024): Regionalna Strategia Innowacji Województwa Śląskiego 2030 – „Inteligentne Śląskie”. Katowice, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego, <https://projektydofinansowane.pl/wp-content/uploads/2024/07/Regionalna-Strategia-Innowacji-Wojewodztwa-Slaskiego-2030-%E2%80%93-%E2%80%9EInteligentne-Slaskie-1.pdf> (dostęp: 11.03.2025).
- Szczucka A., Jelonek M., Kocór M., Krupnik S., Krygowska-Nowak N., Kwinta-Odrzywołek J., Worek B. (2023): Trendy kształtujące polskie branże i kompetencje przyszłości. Warszawa, Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości.
- Śląski Urząd Wojewódzki (2025): Rządowe wsparcie dla samorządów na rozwój stref przemysłowych, <https://www.katowice.uw.gov.pl/aktualnosci/rzadowe-wsparcie-dla-samorzadow-na-rozwoj-stref-przemyslowych#> (dostęp: 11.03.2025).

Teraz Środowisko (2023): Raport IPCC – zmiany klimatu, <https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/raport-IPCC-zmiany-klimatu-11534.html> (dostęp: 11.03.2025).

Teraz Środowisko (2024a): Kryzys wodny zagraża dobrobytowi i pokojowi na świecie – raport UNESCO, <https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/kryzys-wodny-zagraza-dobrobytowi-i-pokojowi-na-swiecie-raport-UNESCO-14816.html> (dostęp: 11.03.2025).

Teraz Środowisko (2024b): Tylko 15,8 proc. odpadów komunalnych do recyklingu w Polsce – GUS zmienia metodykę, <https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/tylko-15-8-proc-odpadow-komunalnych-do-recyklingu-w-polsce-gus-zmienia-metodyke-15361.html> (dostęp: 11.03.2025).

UN (2018): 68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN. New York, UN DESA, <https://www.un.org/uk/desa/68-world-population-projected-live-urban-areas-2050-says-un> (dostęp: 11.03.2025).

UNEP (2023): Beat Plastic Pollution, <https://www.unep.org/interactives/beat-plastic-pollution/> (dostęp: 11.03.2025).

UNHCR (2024): Global Trends – Forced Displacement. Geneva, UNHCR, <https://data.unhcr.org/es/documents/download/108620> (dostęp: 11.03.2025).

US (2023): Ludność, ruch naturalny i migracje w województwie śląskim w 2023 r. Katowice, Urząd Statystyczny.

WEF (2023): The Future of Jobs Report 2023. Geneva, World Economic Forum, <https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2023/digest/> (dostęp: 11.03.2025).

WIL (2022): World Inequality Report 2022. World Inequality Lab, <https://wir2022.wid.world/> (dostęp: 11.03.2025).

Wirtualne Kosmetyki (2025): Analiza bieżącej sytuacji i prognoz rozwoju sektora kosmetycznego do roku 2028 (opracowanie PKO BP), <https://wirtualnekosmetyki.pl/-badania-rynkowe/bank-pko-bp-opracowal-analize-dotyczaca-biezacej-sytuacji-i-prognoz-rozwoju-sektora-kosmetycznego-do-roku-2028> (dostęp: 11.03.2025).

World Bank (2023): World Development Indicators. Washington, DC, World Bank.

Wysokie Napięcie (2023): Udział węgla i OZE w Polsce 2023, <https://wysokienapiecie.pl/96011-udzial-wegla-i-oze-w-polsce-2023/> (dostęp: 11.03.2025).

XYZ (2025): Indie na drodze do bycia supermocarstwem gospodarczym – czy sukces jest pewny?, <https://xyz.pl/indie-na-drodze-do-bycia-supermocarstwem-gospodarczym-czy-sukces-jest-pewny/> (dostęp: 11.03.2025).

Technologie dla medycyny

Autorzy

Izabela Czeremcha^{*}

Alicja Michalik^{*}

Waldemar Pudło^{**}

Katarzyna Babel^{**}

Katarzyna Ganowicz-Badoń^{**}

Anna Tilszer^{***}

Izabela Kałuża^{***}

Mariusz Miśkiewicz^{***}

Współpraca ekspercka i redakcyjna: Marcin Baron

^{*}Górnośląski Akcelerator Przedsiębiorczości Rynkowej sp. z o.o.

^{**}Fundacja Rozwoju Kardiologii im. prof. Zbigniewa Religi

^{***}Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach



Fundusze Europejskie
dla Śląskiego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Województwo
Śląskie

Eksperci panelu Obserwatorium Specjalistycznego Medycyna

dr inż. Michał Bachorz

dr hab. n. med. Sławomir Blamek, prof. NIO-PIB

prof. dr hab. n. med. Paweł Buszman

dr hab. n. med. Romuald Cichoń, prof. UZ

prof. dr hab. n. med. i n. o zdr. Dariusz Dobrowolski

dr hab. inż. Maciej Gawlikowski, prof. IPS i PŚ

dr hab. inż. Marcin Kaczmarek, prof. PŚ

dr hab. n. med. Robert Kubina, prof. ŚUM

mgr Marcin Ludyga

dr inż. Michał Mikulski

dr inż. Łukasz Mucha

dr hab. n. med. Zbigniew Nawrat, prof. IPS

dr n. med. Mariusz Nowak

dr Anna Poświata

prof. dr hab. n. med. Piotr Przybyłowski

dr hab. n. med. Piotr Wilczek, prof. IPS

2.1. Identyfikacja obszarów technologicznych, grup technologicznych i technologii

2.1.1. Opis metodologii

Raport ten został przygotowany w celu wsparcia działań związanych z rozwojem obszaru medycyna i ochrona zdrowia, który od początku prowadzenia polityki innowacyjnej w woj. śląskim jest uznawany za jeden z priorytetowych. Wyrazem tego są zapisy, które znalazły się w kolejnych edycjach Regionalnej Strategii Innowacji oraz Programu Rozwoju Technologii woj. śląskiego. Medycynie poświęcano wcześniejsze prace foresightowe w regionie, ustanowiono ją jedną z inteligentnych specjalizacji woj. śląskiego, prowadzono na jej rzecz obserwatorium specjalistyczne SO RIS, a podmioty z nią powiązane są aktywne w klastrze MedSilesia – Śląska Sieć Wyrobów Medycznych, posiadającym status Krajowego Klastra Kluczowego.

Przeprowadzono szereg analiz oraz konsultacji eksperckich, mających na celu zaktualizowanie i dostarczenie nowych rzetelnych informacji wspierających procesy decyzyjne w obszarze polityki innowacyjnej woj. śląskiego. Wykonano pięć rund prac eksperckich, którymi były:

- zebranie wstępnych opinii,
- warsztat z grupą ekspertów oraz warsztat z członkami klastra MedSilesia,
- ankietyzacja w zakresie ustalenia listy technologii w poszczególnych grupach,
- zebranie pisemnych opinii ekspertów w zakresie: czynników makrootoczenia, czynników otoczenia konkurencyjnego oraz potencjału regionu w odniesieniu do zidentyfikowanych pięciu grup technologii,
- weryfikacja kluczowych ustaleń analizy pięciu sił Portera.

Pracom towarzyszyła analiza dostępnych danych. Korzystano z dotychczasowego dorobku związanego z polityką innowacyjną woj. śląskiego, w tym z Regionalnej Strategii Innowacji oraz Programu Rozwoju Technologii. Korzystano także z wcześniejszych opracowań klastra MedSilesia oraz ogólnodostępnych raportów branżowych i publikacji naukowych. Oparto się także na wiedzy ekspertów i ich doświadczeniu z poszczególnych obszarów tematycznych odnoszonych do wybranych grup technologii.

Punktem wyjścia dla zdefiniowania obszaru technologicznego, a w dalszej kolejności analiz w ramach pięciu grup technologii, było wypracowanie z ekspertami matrycy wskazującej na kluczową dla regionu rolę sześciu dziedzin medycyny oraz konieczność adaptacji lub rozwoju technologii w czterech obszarach. Wybranymi dziedzinami są: kardiologia i kardiochirurgia, okulistyka, onkologia, psychiatria, stomatologia, ratownictwo/medycyna pola walki. Obszarami zastosowań są natomiast: profilaktyka, diagnostyka, terapia, rehabilitacja i opieka domowa (tab. 2.1).

Tabela 2.1. Matryca identyfikacji grup technologii oraz technologii dla medycyny w woj. śląskim

Dziedzina medyczna \ Obszar	Profilaktyka	Diagnostyka	Terapia	Rehabilitacja i opieka domowa
Technologie				
Kardiologia i kardiochirurgia				
Okulistyka				
Onkologia				
Psychiatria				
Stomatologia				
Ratownictwo/medycyna pola walki				

2.1.2. Zakres obszaru technologicznego

W ramach prac grupy eksperckiej, przeprowadzonych z wykorzystaniem metod wskazanych w podrozdziale 2.1.1. dokonano następującej strukturyzacji technologii:

- Poziom 1. Technologie dla medycyny (obszar technologii),
- Poziom 2. Pięć grup technologii,
- Poziom 3. Technologie wchodzące w skład poszczególnych grup,

jak w poniższym opisie. Należy przy tym mieć na uwadze, że poszczególne grupy technologii są współzależne, a co za tym idzie, technologie Poziomu 3. mogą być istotne dla kilku grup. W zestawieniach dokonano ich przyporządkowania do wiodącego zastosowania, co nie umniejsza znaczenia tych technologii dla innych grup.

Technologie dla medycyny:

- Grupa technologii cyfrowy zintegrowany profil pacjenta

Integracja technologii cyfrowych z tworzeniem profili pacjentów zmienia schematy funkcjonowania opieki zdrowotnej, usprawniając zarządzanie danymi pacjentów i ułatwiając spersonalizowaną opiekę. Podstawowym aspektem cyfrowych profili pacjentów jest wdrożenie zaawansowanej, elektronicznej dokumentacji medycznej. Służy ona jako kompleksowe repozytorium danych pacjentów, umożliwiając świadczeniodawcom dostęp do informacji i ich efektywne udostępnianie. Wartość cyfrowych systemów informacji zdrowotnej zależy od podejścia do zarządzania danymi (Semyonov i in., 2023). Powszechne przyjęcie elektronicznej dokumentacji medycznej wiąże się z lepszą komunikacją między pracownikami służby zdrowia i ulepszonym monitorowaniem pacjentów, które mają kluczowe znaczenie dla skutecznej opieki medycznej (Brecko, Pomšár i Zolotová, 2023). Pozostają jednak wyzwania związane z interoperacyjnością różnych systemów EHR (ang. *electronic health record*), co może utrudniać płynną wymianę informacji o pacjentach w różnych placówkach opieki zdrowotnej (Shull, 2019). W tym aspekcie szczególnego znaczenia nabierają różne podejścia stosowane w poszczególnych krajach, a co za tym idzie warstwa regulacyjna, która umożliwia (a raczej będzie umożliwiała w przyszłości) relatywnie pełną integrację danych. Przykładem tego jest m.in. wdrażanie koncepcji europejskiej przestrzeni danych dotyczących zdrowia².

Cyfrowe technologie zdrowotne obejmują szeroką gamę narzędzi, w tym aplikacje mobilne, urządzenia ubieralne i platformy telezdrowia, które wspólnie przyczyniają się do zarządzania chorobami przewlekłymi i zaangażowania pacjentów. Typologie tych technologii można definiować na różne sposoby, podkreślając ich różnorodne zastosowania w zarządzaniu chorobami przewlekłymi i tworzeniu dostosowanych profili pacjentów (Vansimaey, Benamar i Balagué, 2021). Omawiane technologie mają szczególne znaczenie w profilaktyce i monitorowaniu dobrostanu ludzi, co umożliwia wczesną reakcję i zapobieganie rozwojowi wielu chorób.

Mimo potencjalnych korzyści płynących z cyfrowych technologii zdrowotnych i zadowolenia pacjentów z takich rozwiązań, nadal istnieją bariery w ich wdrażaniu. Problemy są związane z ich dostępnością, umiejętnościami cyfrowymi użytkowników i brakiem infrastruktury wspierającej (Mikkonen i in., 2022). Przepaść cyfrowa może ponadto pogłębiać dysproporcje zdrowotne, ponieważ niektóre grupy ludności mogą nie mieć niezbędnych zasobów lub umiejętności, aby skutecznie korzystać z cyfrowych narzędzi zdrowotnych (Larsen i in., 2019). Zagadnienie to obejmuje także różne poziomy kompetencji cyfrowych wśród pracowników służby zdrowia, co może mieć wpływ na skuteczne wdrożenie rozwiązań cyfrowych do praktyki klinicznej (Jarva i in., 2024).

Istotne są również etyczne implikacje omawianych technologii. Istnieje pilna potrzeba opracowania wytycznych zapewniających przestrzeganie praw i prywatności pacjentów. Integracja danych pacjentów z różnych źródeł budzi obawy o bezpieczeństwo danych i możliwość niewłaściwego wykorzystywania wrażliwych informacji zdrowotnych (Jarva i in., 2022). Co więcej, komercjalizacja danych zdrowotnych przez firmy technologiczne stwarza dylematy etyczne dotyczące zgody pacjenta i poufności dokumentacji medycznej (Lupton, 2014). Same firmy z kolei stoją przed wyzwaniem certyfikacji wyrobów medycznych (np. ang. *Medical Devices Regulation*, MDR, ang. *Food and Drug Administration*, FDA), a jeśli nie zamierzają jej podlegać, przed wyborem w jaki sposób etycznie informować klienta o faktycznym zastosowaniu i wiarygodności oferowanego mu urządzenia.

² <https://www.consilium.europa.eu/pl/press/press-releases/2025/01/21/european-health-data-space-council-adopts-new-regulation-improving-cross-border-access-to-eu-health-data/>

Technologiami wchodzącymi w skład tej grupy, w świetle polityki innowacyjnej woj. śląskiego, są:

- telemedycyna w profilaktyce, monitorowaniu chorób i dobrostanu, diagnostyce, terapii i rehabilitacji pacjentów,
- system wykrywania zaburzeń pacjenta na podstawie codziennej aktywności, w tym algorytmy predykcji zdarzeń niepożądanych,
- teleinformatyczne systemy przesyłu, gromadzenia i analizy danych medycznych (bazy danych),
- internet rzeczy w infrastrukturze opieki zdrowotnej i ratownictwa medycznego,
- ubieralne urządzenia pomiarowe i doradcze dla medycyny spersonalizowanej,
- wirtualna i poszerzona rzeczywistość dla diagnostyki i rehabilitacji,
- gromadzenie i przetwarzanie danych ze świata rzeczywistego (ang. *real-world data*) od okresu prenatalnego.

- Grupa technologii Cyfrowy bliźniak

Cyfrowe bliźniaki, czyli koncept wywodzący się z zarządzania produkcją i Przemysłu 4.0, znajdują swoje zastosowanie w dziedzinie opieki zdrowotnej, w szczególności w leczeniu i badaniach klinicznych. Kluczowe znaczenie ma przy tym ich zdolność predykcyjna. Są one definiowane jako cyfrowe repliki pacjenta, które mogą być wykorzystywane do monitorowania, symulacji i przewidywania wyników w czasie rzeczywistym. Umożliwiają integrację dużych ilości danych pacjentów, pozwalając na spersonalizowane plany leczenia i usprawnione procesy decyzyjne. Podkreśla się ich rolę w zwiększaniu dokładności diagnostycznej i planowaniu leczenia przez integrację danych w czasie rzeczywistym (Pesapane i in., 2022). Pełne wykorzystanie tej koncepcji wymaga rozwoju ekosystemu cyfrowych bliźniaków, który wykorzystuje sztuczną inteligencję i technologie big data w celu ułatwienia podejmowania decyzji dotyczących opieki zdrowotnej (Mammadova i Ahmadova, 2023). Podejście to ma kluczowe znaczenie, ponieważ umożliwia świadczeniodawcom opieki zdrowotnej tworzenie dynamicznych modeli, które mogą dostosowywać się do indywidualnych potrzeb pacjentów, poprawiając w ten sposób jakość oferowanych świadczeń (Boulos i Zhang, 2021).

Zastosowanie cyfrowych bliźniaków rozciąga się na badania kliniczne, w których mogą one symulować reakcje pacjentów na leczenie, zwiększając w ten sposób wydajność i skuteczność projektów klinicznych i przedklinicznych. Technologie tego typu posiadają potencjał w optymalizacji protokołów leczenia (Herson, 2023), w tym w prognozowaniu różnych scenariuszy wyników leczenia (Wang, 2024).

Kluczowe znaczenie dla sukcesu cyfrowych bliźniaków w medycynie ma ich integracja z zaawansowanymi technologiami, takimi jak sztuczna inteligencja i internet rzeczy (internet rzeczy medycznych). Sztuczna inteligencja zwiększa funkcjonalność cyfrowych bliźniaków, umożliwiając przetwarzanie heterogenicznych źródeł danych, co ma kluczowe znaczenie dla spersonalizowanej opieki (Kaul i in., 2022). W tym aspekcie (w odniesieniu do treści niniejszego dokumentu), należy widzieć ciągłość między grupami technologicznymi „cyfrowy, zintegrowany profil pacjenta” i „cyfrowy bliźniak”.

W aspekcie wdrożeniowym omawiana grupa technologiczna jest wciąż na wstępnym etapie rozwoju (Winter i Chico, 2023). Aby w pełni wykorzystać potencjał tej technologii należy zająć się wyzwaniami metodologicznymi związanymi z integracją różnych źródeł danych i zapewnieniem dokładności modeli cyfrowych (Fuller i in., 2020). Podobnie jak w przypadku grupy „cyfrowy, zintegrowany profil pacjenta”, tak i tutaj istotne są kwestie etyczne oraz regulacyjne.

Technologiami wchodzącymi w skład tej grupy, w świetle polityki innowacyjnej woj. śląskiego, są:

- zaawansowane systemy modelowania medycznego, oparte na technologiach wirtualnych i rzeczywistości rozszerzonej,
- multiwektorowa analiza danych medycznych pacjenta z prekognicją ryzyka zachorowalności i analizą ekonomiki zdrowia,
- rozwiązania alternatywne do badań klinicznych i przedklinicznych,
- medyczne systemy doradcze wspomagające i symulacyjne w procesie leczenia pacjenta,
- modelowanie organizmu pacjenta na potrzeby planowania operacji,
- personalizacja immunoterapii w oparciu o profil multiomiczny pacjenta.

- Grupa technologii robotyka medyczna

Integracja robotyki z opieką zdrowotną usprawnia różne aspekty postępowania medycznego, od interwencji chirurgicznych po rehabilitację i opiekę nad pacjentem.

Jednym z głównych obszarów rozwoju robotyki medycznej są zastosowania chirurgiczne. Roboty chirurgiczne, takie jak system da Vinci, zrewolucjonizowały procedury małoinwazyjne, pozwalając na większą precyzję i skrócenie czasu rekonwalescencji. Wprowadzenie sztucznej inteligencji pozwala na zwiększenie bezpieczeństwa teleoperacji i umożliwia usamodzielnienie się robotów (Nawrat i Krawczyk, 2019; Nawrat, 2024). Postępy w robotyce, biomechanice i technologiach zdalnej interakcji stale zwiększają inteligencję i bezpieczeństwo robotów chirurgicznych, czyniąc je bardziej wyspecjalizowanymi i zintegrowanymi z praktyką kliniczną (Zhang i in., 2021). Ewolucja robotów interwencyjnych, które w coraz większym stopniu wykorzystują technologie obrazowania i detekcji, prowadzi do usprawnienia i tworzenia ścieżek postępowania medycznego specyficznych dla pacjenta (Troccaz, Dagnino i Yang, 2019).

Oprócz zastosowań chirurgicznych robotyka odgrywa kluczową rolę w rehabilitacji i opiece nad osobami starszymi. Zrobotyzowane technologie rehabilitacyjne są integrowane z fizjoterapią, zapewniając spersonalizowane protokoły terapeutyczne i poprawiając wyniki leczenia pacjentów. Rosnąca akceptacja systemów robotycznych w rehabilitacji jest poparta pozytywnymi wynikami różnych badań, wskazującymi na ich potencjał w zakresie usprawniania procesów powrotu do zdrowia (Pausic, Jovanovic i Simić, 2021). Znaczna część robotów medycznych jest przeznaczona do rehabilitacji i mobilności, co podkreśla ważną rolę, jaką te technologie odgrywają w opiece nad pacjentem (Morgan i in., 2022).

Pandemia COVID-19 poniekąd przyspieszyła absorpcję robotyki medycznej, ponieważ systemy opieki zdrowotnej poszukiwały innowacyjnych rozwiązań w sytuacji kryzysowej. Rola robotyki medycznej okazała się ważna w kontroli zakażeń, a zaawansowane technologie robotyczne udowodniły swoją skuteczność w świadczeniu wybranych usług (Khan, Siddique i Lee, 2020). Wyzwaniem dla rynku jest spełnianie potrzeb użytkowników końcowych (Defi i in., 2022), które ma kluczowe znaczenie dla pomyślnej integracji robotyki z placówkami opieki zdrowotnej. Coraz częściej analizowane są także kwestie etyczne związane z wykorzystaniem robotów w opiece nad pacjentami, w tym potrzeba kierowania się odpowiedzialnością za bezpieczeństwo pacjentów i ograniczeniem dehumanizacji w relacjach z pacjentami (Elendu i in., 2023).

Technologiami wchodzącymi w skład tej grupy, w świetle polityki innowacyjnej woj. śląskiego są:

- roboty diagnostyczne, chirurgiczne, terapeutyczne, rehabilitacyjne,
- sztuczne narządy, systemy wspomagania narządów i wszczepialne protezy,
- programowalne implantowalne urządzenia diagnostyczne i terapeutyczne, w tym biosensory i interfejsy mózg-komputer,
- metody bezprzewodowego ładowania i kontroli implantów,
- telechirurgia, teleoperatorzy i zdalnie sterowane na odległość roboty rehabilitacyjne,
- mechatroniczne narzędzia do zastosowania w chirurgii małoinwazyjnej,
- urządzenia do aktywnej diagnostyki i analizy ruchu,
- zautomatyzowana robotyka w procesie ordynacji lekowej w warunkach domowych i szpitalnych, z konsyliacją i identyfikacją ryzyk wieloskładnikowego oddziaływania,
- robotyka w operatywie ran trudno gojących się i oparzeń,
- robotyka w opiece domowej,
- zrobotyzowane wyposażenie infrastruktury medycznej,
- roboty wspomagające rehabilitację funkcjonalną i zawodową,
- egzoskielety i urządzenia wspomagające lokomocję,
- technologie addytywne dedykowane wytwarzaniu wyrobów medycznych,
- mikro- i nanorobotyka medyczna oraz mikro- i nanourządzenia diagnostyczne i terapeutyczne,
- zrobotyzowane rozwiązania z zakresu przywracania, wspomagania i podtrzymywania funkcji życiowych,
- rozwiązania zautomatyzowane i zrobotyzowane dla syntezy farmaceutyków oraz wspomagające proces produkcji radioizotopów,
- wspomagany sztuczną inteligencją system dystrybucji radiofarmaceutyków oraz radioizotopów i materiałów krytycznych dla systemów opieki zdrowotnej.

- Grupa technologii teranostyczne technologie radioizotopowe, biomarkery, profilowanie multiomiczne i zaawansowane terapie komórkowe

Technologie należące do tej grupy stanowią szybko rozwijającą się część medycyny precyzyjnej. Teranostyka i radioizotopy odgrywają obecnie kluczową rolę w medycynie głównie ze względu na możliwość jednoczesnej diagnostyki i terapii chorób nowotworowych oraz innych schorzeń, takich jak choroby neurodegeneracyjne, choroby układu sercowo-naczyniowego czy stany zapalne (Nikolaou i in., 2022). Nowa generacja radiofarmaceutyków, opartych m.in. na alfa i beta emiterach, wykorzystuje wektory celujące, dzięki czemu radionuklidy są precyzyjnie dostarczane do miejsc dotkniętych zmianą chorobową przy minimalnym odkładaniu się w zdrowych tkankach. Taka celowana molekularnie radioterapia pozwala na zwiększenie skuteczności leczenia, ograniczenie działań niepożądanych oraz na poprawę bezpieczeństwa pacjentów, zwłaszcza w terapii nowotworów opornych na obecnie stosowane metody (Zhang i in., 2020).

Diagnostyczne radiofarmaceutyki odgrywają jednocześnie kluczową rolę w kwalifikacji i planowaniu terapii, co przekłada się na jeszcze lepsze wyniki leczenia w ramach ukierunkowanej terapii radionuklidowej (VanderLaan i in., 2018; Rajapaksha i in., 2024). Wiele obecnie prowadzonych badań skupia się na opracowywaniu nowych związków celujących w szersze spektrum molekularnych punktów uchwytu, które wykazują wysokie gromadzenie w guzie, długi czas retencji i korzystne właściwości farmakokinetyczne zgodne ze standardami klinicznymi. Dzięki temu precyzyjna medycyna wspierana przez radioteranostykę staje się jednym z najbardziej obiecujących kierunków rozwoju współczesnej onkologii i medycyny nuklearnej. Równolegle do rozwoju nowych radiofarmaceutyków i wdrażania celowanej radioterapii molekularnej, identyfikacja biomarkerów istotnych w radioteranostyce również nabiera kluczowego znaczenia. Proces ten jest obecnie silnie wspierany przez wielkoskalowe analizy genomiczne i proteomiczne (Louie i in., 2021). W tym kontekście szczególnie ważne staje się profilowanie multiomiczne, które – dzięki integracji danych z różnych obszarów, takich jak genomika, proteomika czy metabolomika – umożliwia bardziej dogłębne zrozumienie mechanizmów chorób oraz ułatwia poszukiwanie nowych celów molekularnych (Subramanian i in., 2020).

Aby skutecznie zarządzać tak obszernymi i złożonymi zbiorami danych, coraz większy nacisk kładzie się na stosowanie zaawansowanych technik grupowania i analizy, które pozwalają integrować dane multiomiczne i wyodrębniać wzorce charakterystyczne dla konkretnych typów nowotworów lub innych schorzeń (Pateras i in., 2023). Dzięki temu rośnie potencjał w zakresie precyzyjnej kwalifikacji pacjentów do terapii a także w doskonaleniu strategii terapeutycznych pod kątem skuteczności i minimalizowania działań niepożądanych. W efekcie radioteranostyka zyskuje potężne narzędzie do jeszcze dokładniejszego doboru właściwej terapii, co dodatkowo wzmacnia pozycję tej dziedziny w onkologii i medycynie spersonalizowanej.

Zaawansowane terapie komórkowe, w tym immunoterapie i terapie genowe, są coraz częściej łączone ze strategiami teranostatycznymi w celu zwiększenia skuteczności leczenia (Cheng i in., 2022). Podejścia te są uzupełniane przez wykorzystanie zaawansowanych funkcjonalnych nanomateriałów, które ułatwiają zarówno obrazowanie, jak i zastosowania terapeutyczne (Huang i Lovell, 2016). Technologiami wchodzącymi w skład tej grupy, w świetle polityki innowacyjnej woj. śląskiego, są:

- radiofarmaceutyki wykorzystywane w diagnostyce chorób nowotworowych przeznaczone do celowej molekularnie radioterapii,
- radiofarmaceutyki o charakterze teranostycznym stosowane w diagnostyce i terapii,
- metody syntezy radiofarmaceutyków,
- metody diagnostyczne stosowane w badaniach przesiewowych i diagnostyce molekularnej,
- identyfikacja nowych biomarkerów do wczesnego wykrywania chorób i monitorowania leczenia,
- personalizowane szczepionki przeciwnowotworowe,
- rozwiązania z zakresu produkcji, przechowywania i transportu izotopów,
- metody dostarczania radioizotopów do wybranej lokalizacji w ciele pacjenta,
- roboty wykorzystujące promieniowanie do naświetlania i niszczenia nowotworów,

- nanoroboty i inteligentne kapsułki dostarczające leki bezpośrednio do chorych tkanek lub komórek,
 - rozwiązania wspierające planowanie operacji i nadzorowanie pacjenta po zabiegach,
 - cyfrowe narzędzia projektowania cząsteczek leków i testowania leków,
 - modele ludzkich nowotworów hodowanych na zwierzętach (ang. *patient derived xenografts*, PDX),
 - terapie komórkowe CAR-T,
 - biobankowanie.
- Grupa technologii medycyna regeneracyjna i technologie materiałowe dla medycyny
 Grupa ta odpowiada szybko rozwijającemu się połączeniu dyscyplin mających na celu przywrócenie lub wzmocnienie funkcji biologicznych przez innowacje koncentrujące się na technologiach komórkowych, biomateriałach i nowych technikach inżynieryjnych.
 Medycyna regeneracyjna koncentruje się m.in. na wykorzystywaniu komórek macierzystych, które wykazały ogromny potencjał w naprawie uszkodzonych tkanek i narządów. Podkreśla się w niej znaczenie integracji koncepcji inżynieryjnych z badaniami nad komórkami, podkreślając rolę biomateriałów i nanotechnologii w opracowywaniu skutecznych terapii regeneracyjnych (Narayanan i in., 2017).
 Rozwój biomateriałów jest krytycznym aspektem medycyny regeneracyjnej, ponieważ materiały te służą jako rusztowania do przyłączania i wzrostu komórek. W tym aspekcie istotne są m.in. technologie ultradźwiękowe, umożliwiające precyzyjną kontrolę właściwości i nieinwazyjne monitorowanie opracowanych konstrukcji (Dalecki i Hocking, 2014). Dziedzina ta ponadto została zrewolucjonizowana przez biodruk 3D, umożliwiający tworzenie złożonych struktur tkankowych, które mogą naśladować architekturę naturalnych tkanek, odpowiadając w ten sposób na zapotrzebowanie na narządy do przeszczepu (Murphy i Atala, 2014). Znaczącą rolę odgrywa nanotechnologia, dzięki której możliwe jest uzyskanie materiałów zdolnych do interakcji z komórkami i przyspieszających regenerację tkanek (Kerativitayanan, Carrow i Gaharwar, 2015). Zastosowanie nanotechnologii rozciąga się również na rozwój biosensorów do monitorowania różnicowania komórek macierzystych (Lee, Lee i Choi, 2016).
 Dziedzina ta nadal się rozwija, dlatego konieczne jest zrównoważenie innowacji z kwestiami etycznymi dla zapewnienia odpowiedzialnego stosowania tych technologii. W tym aspekcie dużą rolę odgrywa m.in. prowadzenie badań przedklinicznych i klinicznych.
 Technologiami wchodzącymi w skład tej grupy, w świetle polityki innowacyjnej woj. śląskiego, są:
 - inżynieria tkankowa i medycyna naprawcza,
 - produkcja nowych leków opartych na białkach rekombinowanych przez zastosowanie zaawansowanych programów komputerowych,
 - hodowle komórkowe i tkankowe, w szczególności hodowle komórek macierzystych i ich wykorzystanie,
 - oprogramowanie i sprzęt specjalistyczny do wspomagania biotechnologii medycznych,
 - genomika, proteomika i metabolomika w diagnostyce, prognostyce i terapii medycznej,
 - bionanotechnologie,
 - leki, proleki, ich nośniki i systemy do ich uwalniania,
 - technologia transgenezy w medycynie,
 - biomateriały oraz materiały biokompatybilne, bioprotezy, biosensory i implanty,
 - preparaty krwiopochodne i krwiozastępcze,
 - modyfikacja powierzchni materiałów biozgodnych mikro- i nanowarstwami,
 - bioaktywna odzież do zastosowania w przemyśle oraz w warunkach pola walki, o strukturze i powłoce gwarantującej kontrolowany przebieg urazu z udziałem czynnika termicznego,
 - polimery biozgodne do zastosowania w implantach, medycynie rekonstrukcyjnej i jako nośniki leków,
 - CRISPR (ang. *clustered regularly interspaced short palindromic repeats*) i inne narzędzia edycji genów,
 - rozwiązania fizykalne dla diagnostyki i terapii medycznej,

- biotechnologie oparte na komórkach lub materiałach biozgodnych pokrywanych lub zasiedlanych komórkami oraz dostarczania materiału komórkowego,
- wykorzystanie komórek macierzystych lub białek/cytokin generowanych przez komórki macierzyste we wspomaganiu procesów regeneracyjnych,
- hodowle organów do transplantacji,
- metody regeneracji nerwów obwodowych i centralnego układu nerwowego,
- szczepionki projektowane i produkowane przez organizmy transformowane za pomocą inżynierii genetycznej,
- biodruk, druk 3D w pełni funkcjonalnych tkanek i organów,
- bioreaktory do hodowli komórkowej,
- wyroby oparte na odpowiednio przygotowanych tkankach pochodzenia ludzkiego lub zwierzęcego, wzbogaconych określonymi substancjami czynnymi,
- hodowla zwierząt transgenicznych dla medycyny regeneracyjnej.

Strukturyzacja technologii znajduje się w udostępnionym arkuszu XLS (Załącznik 1).

2.1.3. Analiza konkurencyjności obszaru technologicznego

2.1.3.1. Opis przyjętych metod

Wybrane grupy technologii medycznych zostały opisane z wykorzystaniem metody pięciu sił Portera. Metoda ta jest narzędziem analizy strategicznej, pozwalającym na ocenę konkurencyjności rynku i identyfikację kluczowych czynników wpływających na rozwój technologii w sektorze. W kontekście analizy obszaru technologicznego umożliwia określenie potencjalnych szans i zagrożeń, pomagając podejmować strategiczne decyzje dotyczące inwestycji i innowacji.

Analizę przeprowadzono w klasycznym układzie pięciu sił Portera, tj. z uwzględnieniem:

- siły konkurencji w sektorze (np. obecne podmioty medyczne i firmy technologiczne działające na rynku, intensywność konkurencji w zakresie innowacji, wpływ globalnych liderów na rynki regionalne),
- siły przetargowej dostawców (np. obecność dostawców surowców, materiałów i komponentów do rozwoju technologii medycznych; zależność od globalnych dostawców oraz ryzyko ograniczonego dostępu do innowacyjnych rozwiązań; wpływ powiązań w łańcuchach wartości na rozwój technologii),
- siły przetargowej nabywców (np. obecność głównych odbiorców technologii medycznych: szpitali, jednostek badawczych, pacjentów indywidualnych, rosnące wymagania dotyczące efektywności i kosztów technologii, znaczenie refundacji i regulacji prawnych wpływających na decyzje zakupowe),
- siły nowych „graczy” (np. bariery wejścia na rynek związane z wymogami regulacyjnymi, w tym certyfikacją, wysokie koszty badań i rozwoju, ekosystem start-upowy oraz rola koncernów globalnych, dostępność do finansowania publicznego),
- siły substytucji (np. zastępowanie znanych metod postępowania nowymi, opartymi na możliwościach cyfryzacji i sztucznej inteligencji),

po to by wskazać na potrzeby foresightu, warunki obecnego i przyszłego konkurowania woj. śląskiego na europejskiej i globalnej mapie technologii medycznych (dla wybranych wcześniej grup technologii).

Do analizy eksperci wybrali dane z baz oraz raportów właściwych dla ich specjalizacji medycznych lub technologicznych. Wskazywali także na własne obserwacje dziedzinowe oraz wcześniejszy dorobek obserwatorium SO RIS. Wyniki przedstawiono w układzie uzgodnionym dla całego Regionalnego Obserwatorium Innowacji.

2.1.3.2. Analiza warunków popytu na technologie w ramach obszaru technologicznego

Sektor medyczny w woj. śląskim charakteryzuje się relatywnie wysokim potencjałem rozwojowym, wynikającym głównie z efektu skali w upowszechnianiu technologii medycznych. Województwo jest

jednym z najbardziej zaludnionych regionów Polski, co przekłada się na dużą liczbę pacjentów korzystających z usług medycznych. Nie tylko mieszkańcy regionu, ale także osoby spoza województwa przyjeżdżają tu na leczenie, co pozwala na efektywne wdrażanie innowacyjnych technologii medycznych i ich szerokie upowszechnienie. Efekt skali sprzyja także optymalizacji kosztów i poprawie dostępności nowoczesnych metod diagnostycznych oraz terapeutycznych.

Podmioty z regionu wyspecjalizowały się w dziedzinach medycyny obejmujących najważniejsze wyzwania populacyjne, przez co gotowe są do obsłużenia dużego popytu na usługi medyczne. Woj. śląskie wyróżnia się wysokim potencjałem klinicznym oraz obecnością licznych ośrodków akademickich, w tym Śląskiego Uniwersytetu Medycznego i Politechniki Śląskiej oraz ośrodków badawczych, jak Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie Oddział w Gliwicach posiadający status Państwowego Instytutu Badawczego. W regionie działają także ośrodki naukowe i firmy zajmujące się inżynierią medyczną oraz IT, a także podmioty prowadzące badania przedkliniczne i kliniczne. Współpraca między tymi jednostkami sprzyja innowacjom w obszarze diagnostyki i terapii oraz rozwojowi nowych technologii medycznych.

Grupa technologii cyfrowy zintegrowany profil pacjenta

Rozwiązania cyfrowe umożliwiające opracowanie zintegrowanego profilu pacjenta mają duży potencjał wzrostowy. Globalny rynek e-zdrowia osiąga wysokie wyceny i stale rośnie ze względu na cyfryzację ochrony zdrowia oraz wzrastające potrzeby w zakresie zarządzania danymi pacjentów. Podmiotami zainteresowanymi wdrożeniami nowych technologii są publiczne i prywatne placówki medyczne, firmy ubezpieczeniowe, start-upy technologiczne oraz agendy publiczne, w tym płatnicy pokrywający koszty opieki zdrowotnej, a nawet pracodawcy. Placówki medyczne są zainteresowane integracją systemów informacji medycznej. Firmy technologiczne z kolei rozwijają systemy do gromadzenia, przechowywania, analizy i udostępniania danych. Dla pozostałych graczy systemy te stanowią narzędzia do lepszej kontroli realizowanych przez siebie usług. Ubezpieczyciele czy pracodawcy mogą korzystać z danych pacjentów w celu oceny ryzyka zdrowotnego, a agendy publiczne do modelowania rynku usług zdrowotnych oraz monitorowania ich rozliczeń.

Produkty i usługi w tym zakresie są oparte w głównej mierze na pobieraniu danych o pacjencie zarówno z systemów informacji medycznych stosowanych w szpitalach czy przychodniach, jak i z różnego rodzaju urządzeń przenośnych, ubieralnych bądź domowych. Kolejnym krokiem jest ich integracja oraz przetwarzanie, coraz częściej przez systemy wspierane algorytmami sztucznej inteligencji dla danych masowych. Z tego względu technologie i ich zastosowania produktowe mają duży potencjał internacjonalizacji i skalowania, a rynek jest atrakcyjny zarówno dla istotnych graczy międzynarodowych oferujących swoje rozwiązania systemowe, jak i dla małych podmiotów próbujących integrować znane technologie w swoich niszowych produktach.

Za ograniczeniami w tym zakresie stoją regulacje dwójakiego rodzaju. Z jednej strony systemy krajowe, np. powiązane z rozliczaniem finansowanej publicznie opieki zdrowotnej lub tworzeniem informacji o pacjencie na potrzeby usprawnienia leczenia, wymuszają pewne standardy i mogą ograniczać dostęp do rynku. Z drugiej strony stosowane systemy, w tym urządzenia wykorzystywane bezpośrednio przez pacjenta (np. w telediagnostyce czy telerehabilitacji), aby mogły zasilać zbiory elektronicznie przechowywanych informacji medycznych o pacjencie lub stawać się „pełnoprawnymi” urządzeniami stosowanymi w procedurach medycznych, muszą posiadać certyfikację medyczną odpowiednią dla poszczególnych rynków geograficznych. Całe systemy muszą także cechować się wysokim stopniem cyberbezpieczeństwa, w tym gwarantować ochronę danych osobowych, w szczególności danych wrażliwych.

Przyszłość będzie należała nie tyle do rozwiązań zapewniających wyłącznie integrację danych medycznych z różnych źródeł, w tym osobistych, co do tworzenia wyspecjalizowanych konsorcjów i platform dających możliwość koordynowania ścieżki leczenia pacjenta i detekcji stanów abnormalnych dla szybkiego zapobiegania powikłaniom spowodowanym zdiagnozowanymi schorzeniami. W tym aspekcie istotne będzie włączanie w te systemy badań przesiewowych i populacyjnych dla masowego zasilania zbiorów danych.

Grupa technologii cyfrowy bliźniak

Postęp w dziedzinie sztucznej inteligencji, przetwarzania danych i modelowania pozwala na coraz dokładniejsze odwzorowanie organizmu pacjenta, co otwiera nowe możliwości w diagnostyce, planowaniu terapii oraz monitorowaniu stanu zdrowia. Szybko poszerzająca się wiedza medyczna, rosnące koszty opieki zdrowotnej oraz zwracanie uwagi na aspekty etyczne związane nie tylko z leczeniem, ale także z rozwojem farmacji czy inżynierii medycznej, sprzyjają poszukiwaniu skuteczniejszych i bardziej spersonalizowanych narzędzi, które mogą wspierać podejmowanie decyzji i testowanie innowacyjnych rozwiązań. W tym aspekcie cyfrowe bliźniaki mają służyć lepszemu przygotowywaniu leczenia i rehabilitacji, ale mogą także eliminować wybrane elementy kosztownych oraz wymagających przestrzegania wysokich norm etycznych badań przedklinicznych i klinicznych. Jednocześnie wdrażanie technologii cyfrowego bliźniaka wymaga przełamania nieufności środowiska, które przyzwyczajone jest do bezpośredniego kontaktu z pacjentem i niekoniecznie ufa modelowaniu matematycznemu złożonych procesów zachodzących w organizmie ludzkim. Odpowiedzią na to wyzwanie jest intensywne trenowanie algorytmów wykorzystywanych przez cyfrowe bliźniaki, które z kolei, paradoksalnie, jest uzależnione od skali ich stosowania w różnych przypadkach klinicznych.

Podobnie jak w przypadku wcześniej omawianej grupy technologii, rynek ma charakter globalny, a technologie, produkty i usługi cechują się wysokim potencjałem internacjonalizacji i skalowalności, zwłaszcza jeśli produkt został pozytywnie zweryfikowany przez rynek i jest oferowany przez rozpoznawalnych dostawców. Jest to w dużej mierze rynek dostawcy, co oznacza, że tylko niewielka liczba firm posiada zaawansowane rozwiązania, które są upowszechniane. Dla nowych graczy wejście na rynek może być wyzwaniem, jednak firmy, które opracują innowacyjne i skuteczne technologie, mogą szybko zdobyć międzynarodową pozycję. Skalowalność produktów opartych na danych i algorytmach sztucznej inteligencji sprawia, że po udanym wdrożeniu w jednym kraju lub u jednego referencyjnego odbiorcy można stosunkowo łatwo rozszerzyć działalność na kolejne rynki. Wymaga to jednak dostosowania do lokalnych wymagań regulacyjnych i specyfiki systemów opieki zdrowotnej.

Jednym z kluczowych czynników kształtujących popyt na technologie cyfrowego bliźniaka są zatem i będą przepisy dotyczące ochrony danych osobowych oraz gromadzenia, przetwarzania i przechowywania informacji medycznych. Technologie cyfrowego bliźniaka podlegają ponadto regulacjom dotyczącym urządzeń medycznych. Proces uzyskiwania certyfikacji obejmuje rygorystyczne testy, badania kliniczne i dokumentację zapewniającą skuteczność oraz bezpieczeństwo technologii. Firmy działające w tej branży, aby mieć dostęp do rynku, muszą inwestować w zgodność regulacyjną.

W kontekście cyfrowego bliźniaka w medycynie zapewnianie systemów o wysokiej wiarygodności jest kluczowe. Wiarygodność oznacza nie tylko dokładność i precyzję odwzorowania organizmu pacjenta, ale także przewidywalność działania systemu, jego odporność na błędy oraz zgodność z rygorystycznymi regulacjami prawnymi i etycznymi. Wiarygodność cyfrowego bliźniaka przejawia się przede wszystkim w jakości przetwarzanych danych i modelowania medycznego. Co za tym idzie – systemy muszą być oparte na wiarygodnych, wysokiej jakości danych wejściowych. Modele predykcyjne powinny być testowane na dużych zbiorach danych i podlegać walidacji klinicznej dla zapewnienia ich skuteczności i niezawodności w rzeczywistych warunkach medycznych. To z kolei tworzy silne powiązanie tej grupy technologii z grupą Cyfrowy zintegrowany profil pacjenta. Niezawodność systemów cyfrowego bliźniaka jest też nierozłącznie związana z koniecznością zapewnienia cyberbezpieczeństwa.

Grupa technologii robotyka medyczna

Rynek robotyki medycznej w procedurach operacyjnych i zabiegowych oraz rehabilitacji rozwija się dynamicznie, napędzany postępem technologicznym oraz rosnącym zapotrzebowaniem na rozwiązania wspomagające personel medyczny. Starzejące się społeczeństwa, potrzeba radzenia sobie z rosnącą liczbą schorzeń cywilizacyjnych oraz wzrastająca liczba znanych, skutecznych procedur medycznych wywierają presję na systemy opieki zdrowotnej, które muszą radzić sobie

z niedoborem specjalistów oraz koniecznością zwiększenia efektywności leczenia. W odpowiedzi na te wyzwania roboty chirurgiczne umożliwiają bardziej precyzyjne operacje, minimalizując urazy tkanek i skracając czas rekonwalescencji pacjentów. Roboty wspomagające rehabilitację przyczyniają się z kolei do skuteczniejszej terapii osób z ograniczeniami ruchowymi czy neurologicznymi, oferując spersonalizowane podejście i możliwość ciągłego monitorowania postępów. W rezultacie sektor ten, choć wciąż stosunkowo nowy, rozwija się w szybkim tempie, a innowacje technologiczne systematycznie poszerzają jego zakres zastosowań.

Kluczowym czynnikiem wpływającym na rozwój rynku robotyki medycznej jest potwierdzona skuteczność kliniczna i ekonomiczna wprowadzanych rozwiązań. Roboty chirurgiczne muszą wykazywać wyraźne korzyści w porównaniu z tradycyjnymi metodami operacyjnymi, takie jak większa precyzja, mniejsza liczba powikłań czy krótszy czas hospitalizacji. Z kolei roboty rehabilitacyjne powinny wspierać efektywność terapii i przyczyniać się do szybszego powrotu pacjentów do sprawności. Oprócz korzyści zdrowotnych niezwykle istotne jest także uzasadnienie ekonomiczne – placówki medyczne analizują, czy inwestycja w robotykę pozwoli na zmniejszenie kosztów długoterminowej opieki i zwiększenie liczby wykonywanych procedur. Istotnym aspektem w procesie wdrażania jest także łatwość obsługi tych systemów – im bardziej intuicyjne i przyjazne dla użytkownika są interfejsy robotów, tym większa szansa, że zostaną zaaprobowane przez personel medyczny.

Dalszy rozwój rynku robotyki medycznej mogą wspierać modele finansowania zwiększające możliwości placówek medycznych do nabywania nowoczesnych urządzeń. Wysokie koszty zakupu robotów stanowią istotną barierę, jednak coraz częściej podejmowane są dyskusje oraz publiczne programy pilotażowe wspierające przechodzenie do świadczenia usług z wykorzystaniem robotów medycznych. Popyt na technologie na wybranych rynkach międzynarodowych może być także współtworzony przez ubezpieczycieli oferujących polisy zapewniające dostęp pacjenta do operacji i zabiegów wykonywanych z udziałem robotów lub do rehabilitacji z wykorzystaniem systemów robotycznych.

Tak jak w przypadku wcześniej opisywanych grup technologii, także i w robotyce medycznej kluczowym elementem determinującym dostęp do rynku jest proces certyfikacji urządzeń medycznych. Roboty muszą spełnić rygorystyczne wymogi bezpieczeństwa i jakości, aby mogły być dopuszczone do użytkowania w terapii.

Przyszłość robotyki medycznej będzie w coraz większym stopniu determinowana nie tylko przez dalsze udoskonalanie technologii i umacnianie jej pozycji jako nowego standardu w coraz większej liczbie procedur medycznych, ale również przez uzyskiwanie efektu synergii wynikającego z interoperacyjności z systemami prezentowanymi w grupach technologii Cyfrowy zintegrowany profil pacjenta i Cyfrowy bliźniak.

Grupa technologii teranostyczne technologie radioizotopowe, biomarkery, profilowanie multiomiczne i zaawansowane terapie komórkowe

Rynek teranostycznych technologii radioizotopowych, biomarkerów, profilowania multiomicznego oraz zaawansowanych terapii komórkowych rozwija się w szybkim tempie, prognozowanym na poziomie dwucyfrowym rok do roku. Innowacyjne podejście łączące diagnostykę z terapią pozwalają na bardziej precyzyjne leczenie wielu schorzeń, szczególnie nowotworowych, co przyczynia się do rosnącego zainteresowania tymi rozwiązaniami. Zaawansowane technologie, takie jak radioizotopy stosowane zarówno w diagnostyce, jak i terapii ukierunkowanej molekularnie, czy biomarkery umożliwiające wczesne wykrywanie i personalizację leczenia, odgrywają coraz większą rolę w medycynie precyzyjnej. Rosnące znaczenie profilowania multiomicznego pozwala dodatkowo na kompleksową analizę genomu, proteomu i metabolomu pacjenta, co może prowadzić do lepszego dopasowania terapii i zwiększenia skuteczności leczenia. Dynamiczny rozwój sektora wynika z postępu naukowego oraz zwiększania inwestycji w obszarze biotechnologii i medycyny translacyjnej.

Jednym z kluczowych czynników napędzających popyt na te technologie jest rosnąca populacja pacjentów onkologicznych oraz wzrastająca odporność nowotworów na istniejące terapie. Wzrost

zachorowalności na raka, wynikający zarówno z czynników demograficznych, jak i środowiskowych, prowadzi do intensywnych poszukiwań nowych metod diagnostycznych i terapeutycznych. Stwarza pilną potrzebę opracowania innowacyjnych rozwiązań, takich jak terapie radioizotopowe ukierunkowane na konkretne komórki nowotworowe czy zaawansowane terapie komórkowe, np. CAR-T, które wykorzystują układ odpornościowy pacjenta do zwalczania raka. Wzrost oporności na leczenie sprawia, że personalizacja terapii staje się nie tylko korzystna, ale wręcz konieczna, co dodatkowo zwiększa zainteresowanie profilowaniem multiomicznym i biomarkerami prognostycznymi.

Mimo obiecujących perspektyw rynek ten mierzy się z istotnymi barierami ograniczającymi popyt, w tym z wymagającym procesem rejestracji produktów oraz wysokimi kosztami terapii. Nowoczesne metody leczenia, takie jak terapie komórkowe czy zaawansowane radiofarmaceutyki, podlegają ścisłej regulacji i długotrwałym procedurom zatwierdzania, co opóźnia ich dostępność dla pacjentów. Procesy te obejmują kosztowne badania kliniczne i rygorystyczne wymagania dotyczące skuteczności i bezpieczeństwa, co stanowi wyzwanie zarówno dla firm farmaceutycznych, jak i systemów opieki zdrowotnej. Wysokie koszty terapii dopuszczonych do stosowania ograniczają dodatkowo ich dostępność, szczególnie w krajach ze słabiej rozwiniętymi systemami refundacji. W efekcie, mimo rosnącego zapotrzebowania, wiele pacjentów i placówek medycznych nie może sobie pozwolić na wykorzystywanie tych technologii na szeroką skalę. Istotnym czynnikiem upowszechnienia jest również ograniczenie podażowe wynikające z tego, że ośrodki kliniczne muszą posiadać wysokiej klasy infrastrukturę, aby zaspokoić wyżej opisywany popyt. Prowadzi to do kumulacji wiedzy oraz świadczonych usług medycznych w wąskiej grupie podmiotów. Istotnym wyzwaniem na przyszłość stanie się więc poszukiwanie rozwiązań pomagających w dotarciu ze stosowanymi technologiami do grup pacjentów i lokalizacji wykluczonych z możliwości ich wykorzystania na chwilę obecną.

Grupa technologii medycyna regeneracyjna i technologie materiałowe dla medycyny

Rynek medycyny regeneracyjnej i technologii materiałowych dla medycyny jest ukierunkowany na zastosowania specjalistyczne, a jego głównymi odbiorcami są profesjonalne podmioty, takie jak szpitale, centra transplantacyjne, instytucje badawcze oraz producenci urządzeń medycznych. Technologie te odgrywają kluczową rolę w nowoczesnej opiece zdrowotnej, oferując innowacyjne podejścia do leczenia uszkodzeń tkanek, chorób zwyrodnieniowych i niewydolności narządów. Regeneracja tkanek z wykorzystaniem komórek macierzystych, inżynieria tkankowa czy nowoczesne biomateriały pozwalają na tworzenie spersonalizowanych terapii, które znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach medycyny, od ortopedii po kardiologię i transplantologię. Zapotrzebowanie na te technologie jest pochodną wdrażania najnowszych metod leczenia w praktyce klinicznej.

Rozwój najnowszych technologii pozwala na personalizację protez i implantów opartych na nowoczesnym obrazowaniu i szybkiej translacji na technologię produkcji implantu. Obserwuje się również rozwój metod modyfikacji genetycznych i chowu zwierząt transgenicznych w celu wykorzystania ich do przeszczepów transgenicznych (nerek, serca, naczyń, kości) oraz uzyskania materiału biologicznego do wykonywania implantów o zmniejszonej odpowiedzi immunologicznej.

Jednym z kluczowych czynników kształtujących popyt jest duża chłonność rynku wynikająca z możliwości rozwiązywania licznych problemów terapeutycznych, dla których dotychczas nie było skutecznych metod leczenia. Medycyna regeneracyjna otwiera nowe perspektywy dla pacjentów cierpiących na schorzenia, w których standardowe terapie zawodzą lub nie były do tej pory dostępne, np. niewydolność serca, wady zastawkowe, choroby naczyń, choroby neurodegeneracyjne czy przewlekłe uszkodzenia narządów. Technologie materiałowe, w tym zaawansowane implanty, biodegradowalne rusztowania do hodowli tkanek czy innowacyjne protezy, mogą znacząco poprawić skuteczność leczenia oraz jakość życia pacjentów. Zdolność do opracowania spersonalizowanych terapii i rozwiązań dostosowanych do indywidualnych potrzeb chorych czyni ten rynek jednym z najbardziej obiecujących w obszarze biotechnologii i nowoczesnej medycyny.

Rozwój sektora jest silnie uzależniony od postępów technologicznych, ale również od uwarunkowań etycznych i regulacyjnych, które odgrywają kluczową rolę w kształtowaniu jego przyszłości. Badania nad medycyną regeneracyjną i nowymi biomateriałami wymagają skomplikowanych procesów

walidacyjnych, a stosowanie komórek macierzystych, terapii genowych czy sztucznych narządów często budzi kontrowersje etyczne. Wiele z tych technologii podlega rygorystycznym przepisom dotyczącym bezpieczeństwa i skuteczności, co wydłuża proces ich komercjalizacji i może ograniczać dostępność dla pacjentów. Ponadto wysokie koszty badań i produkcji zaawansowanych terapii stanowią barierę dla szerokiego wdrożenia, wymagając wsparcia ze strony instytucji finansowych, funduszy badawczych oraz elastycznych modeli refundacyjnych. Dlatego też w kolejnych latach rozwój rynku będzie determinowany nie tylko dalszymi odkryciami w biologii komórkowej, inżynierii tkankowej i naukach materiałowych, ale także przez zdolność do przewyższania wyzwań regulacyjnych i etycznych oraz przez takie upowszechnianie technologii, które pozwoli na obniżenie kosztów jej stosowania.

2.1.3.3. Identyfikacja możliwości pojawienia się nowych technologii, produktów i usług

Woj. śląskie jest regionem, w którym środowisko technologiczne skupione wokół medycyny jest silnie osadzone jak na warunki Polski i Europy Środkowej. Kluczowi gracze angażują się w inicjatywy współpracy oparte na strukturach klastra MedSilesia oraz w ramach Regionalnego Obserwatorium Innowacji. Regionalne zaplecze badawczo-rozwojowe dla sektora stanowią Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowy Instytut Badawczy Oddział w Gliwicach, Centrum Badawczo-Rozwojowe American Heart of Poland, Fundacja Rozwoju Kardiologii im. prof. Zbigniewa Religi, Politechnika Śląska (w tym m.in. Europejskie Centrum Innowacyjnych Technologii dla Zdrowia), Sieć Badawcza Łukasiewicz (Krakowski Instytut Technologiczny – KIT oraz Instytut Technik Innowacyjnych – EMAG), Śląskie Centrum Chorób Serca w Zabrzu, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Śląski Park Technologii Medycznych – Kardio-Med Silesia oraz Uniwersytet Śląski w Katowicach. Wiodącą pozycję w kraju posiadają szpitale specjalizujące się w dziedzinach wskazanych w tabeli 2.1. W ekosystemie sektora medycznego działają przedsiębiorstwa z dziedzin: nanotechnologia, biotechnologia, inżynieria materiałowa oraz technologia informacyjna i komunikacyjna. Należy przy tym podkreślić, że są to firmy małe i średnie. W regionie nie są zlokalizowane firmy, które można byłoby zaklasyfikować jako firmy globalne w zakresie technologii dla medycyny.

Grupa technologii cyfrowy zintegrowany profil pacjenta

Na globalnym rynku technologii związanych z cyfrowym profilem pacjenta dominują międzynarodowi giganci, tacy jak: Apple, Google, Amazon, Microsoft, Oura czy Garmin, którzy oferują rozwiązania zarówno w zakresie monitorowania stanu zdrowia, jak i zaawansowane systemy przetwarzania i analizy danych medycznych. W obszarze medycyny cyfrowej i diagnostyki obrazowej przodują firmy takie, jak: Siemens Healthineers, Philips, GE Healthcare, Medtronic, Abbott oraz Johnson & Johnson, które dostarczają kompleksowe rozwiązania w formie sprzętu oraz oprogramowania wspierającego procesy diagnostyczne i terapeutyczne. Ich ofertę uzupełnia rzesza małych producentów urządzeń internetu rzeczy oraz urządzeń ubieralnych, które mogą współpracować z dużymi systemami lub walczyć o ich uznanie w tego rodzaju ekosystemach. W zakresie badań i rozwoju kluczowe instytucje naukowe to m.in. Massachusetts Institute of Technology (MIT), Stanford University oraz University College London, które opracowują nowatorskie technologie w dziedzinie sztucznej inteligencji, analizy danych medycznych i telemedycyny.

Kluczowym elementem cyfrowego profilu pacjenta jest elektroniczna dokumentacja medyczna umożliwiająca przechowywanie i udostępnianie danych w placówkach medycznych. Do najczęściej wykorzystywanych systemów w tym zakresie należą szpitalne systemy informacyjne oraz radiologiczne systemy informacyjne, wspomagające zarządzanie dokumentacją medyczną i diagnostyką obrazową. Globalnymi graczami na tym rynku są: Epic, Oracle Health (Cerner), Meditech, Evident (CPSI), Altera Digital Health, Medhost, WellSky, Vista, Netsmart Technologies, TruBridge, Veradigm Inc (Allscripts), Athenahealth.

Na polskim rynku rozwój technologii wspierają firmy takie jak: Pro-PLUS, Medapp oraz Laparo, które dostarczają innowacyjne rozwiązania w zakresie symulacji medycznych i telemedycyny. Gliwicka firma Telemedical Innovations oferuje system CARDIOVICE – 12-odprowadzeniowe EKG,

umożliwiające zdalne monitorowanie stanu zdrowia pacjentów z dowolnego miejsca na świecie. Ponadto wszystkie ważne ośrodki kardiologiczne w regionie oferują dostęp do usług telemedycznych w tym zakresie. W rozwiązaniach informatycznych dla ochrony zdrowia wyspecjalizowała się katowicka firma Revolve oraz gliwicka Graylight Imaging.

Na polskim rynku, w tym w woj. śląskim, brakuje graczy o globalnym zasięgu, a konkurencyjność w stosunku do międzynarodowych firm pozostaje bardzo ograniczona. Wśród polskich podmiotów istotną rolę odgrywa Comarch Healthcare, który oferuje rozwiązania z zakresu e-zdrowia, a także Asseco AMMS, dostarczające systemy zarządzania medycznego. Do grona takich dostawców należą także Kamsoft, Gabos Software, CGM, które oferują innowacyjne rozwiązania, często skierowane do mniejszych podmiotów, ale także innowacyjne start-upy, które oferują bardziej wyspecjalizowane rozwiązania, głównie oparte na usługach chmurowych. Poza wymienionymi wcześniej instytucjami naukowymi z regionu, w Polsce na poziomie badawczo-rozwojowym wyróżnia się Instytut Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej PAN, który prowadzi prace nad cyfryzacją medycyny, oraz Wrocławskie Centrum Badań EIT Health, wspierające innowacyjne rozwiązania technologiczne w sektorze ochrony zdrowia.

Mimo rosnącego znaczenia cyfryzacji w ochronie zdrowia, Polska i woj. śląskie pozostają w tyle za światowymi liderami. Brak rozpoznawalnych marek na arenie międzynarodowej oraz ograniczone zasoby inwestycyjne stanowią istotne wyzwania dla rozwoju technologii cyfrowego profilu pacjenta w regionie. Jednak rosnące zainteresowanie innowacjami, dynamiczny rozwój e-zdrowia oraz wsparcie ze strony instytucji naukowych i technologicznych mogą przyczynić się do stopniowego wzrostu konkurencyjności polskich rozwiązań w tym obszarze.

Grupa technologii cyfrowy bliźniak

Technologia cyfrowego bliźniaka w medycynie dynamicznie się rozwija, przyciągając uwagę globalnych liderów rynku. W Europie jednymi z kluczowych graczy są Siemens i Atos, które współpracują w obszarze wdrażania cyfrowych bliźniaków w przemyśle farmaceutycznym, koncentrując się na optymalizacji procesów produkcyjnych. Dassault Systèmes rozwija projekt Living Heart, który umożliwia tworzenie precyzyjnych modeli 3D ludzkiego serca, co wspiera diagnostykę i leczenie chorób sercowo-naczyniowych. Philips opracował narzędzie Dynamic HeartModel, pozwalające na monitorowanie stanu pacjentów z problemami kardiologicznymi. Technologia ta znajduje również zastosowanie w personalizacji terapii oraz symulacjach medycznych, wspierając lekarzy w podejmowaniu decyzji klinicznych.

W Polsce rozwój technologii cyfrowego bliźniaka jest na początkowym etapie, a liczba firm i instytucji zajmujących się tym obszarem jest ograniczona. Jednym z najbardziej zaawansowanych projektów jest Kopernik – cyfrowy bliźniak pacjenta – realizowany przez Wojewódzkie Wielospecjalistyczne Centrum Onkologii i Traumatologii w Łodzi we współpracy z Uniwersytetem Łódzkim. Jego celem jest stworzenie cyfrowego odwzorowania pacjenta w celu usprawnienia diagnostyki i personalizacji leczenia. Inną ważną inicjatywą jest działalność Ośrodka Przetwarzania Informacji – Państwowego Instytutu Badawczego (OPI PIB), który wraz z partnerami pracuje nad wdrażaniem nowoczesnych technologii medycznych opartych na sztucznej inteligencji.

W dziedzinie rozwoju technologii cyfrowych bliźniaków pacjenta kilka światowych ośrodków naukowo-badawczych wyróżnia się jako liderzy. Są nimi: Stanford University, University of Cambridge, Fraunhofer Institute for Digital Medicine MEVIS, National University of Singapore oraz Politecnico di Milano.

W zakresie badań i rozwoju Polska aktywnie uczestniczy w rozwoju cyfrowych technologii w medycynie, choć pozostaje w tyle za światowymi liderami. Agencja Badań Medycznych zainicjowała powstanie Regionalnych Centrów Medycyny Cyfrowej, które działają m.in. w Warszawie, Gdańsku, Lublinie, Wrocławiu, Poznaniu oraz Katowicach. Na Śląsku szczególnie istotną rolę będzie odgrywać Centrum Medycyny Cyfrowej SILESIA kierowane przez Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, przy współpracy Politechniki Śląskiej oraz kluczowych ośrodków medycznych, takich jak Śląskie Centrum Chorób Serca i Górnośląskie Centrum Zdrowia Dziecka, jak również Regionalne Centrum Medycyny Cyfrowej w Narodowym Instytucie Onkologii w Gliwicach. Inicjatywy te mają na

celu rozwój cyfrowych rozwiązań w medycynie wspierających zarówno diagnostykę, jak i leczenie pacjentów. Polskie małe firmy i jednostki naukowo-badawcze w regionie podejmują niskobudżetowe lub niszowe projekty, niebędące w polu zainteresowania kluczowych graczy.

Polski rynek cyfrowych bliźniaków nie jest jeszcze na tyle rozwinięty, aby konkurować z globalnymi liderami, jednak krajowe firmy i instytucje badawcze stopniowo budują swoją pozycję. Na świecie firmy, takie jak MedApp AI, Sano – Centrum Medycyny Obliczeniowej, RSQ AI Radiato.ai czy gliwicka Graylight Imaging, pracują nad wykorzystaniem sztucznej inteligencji do analizy danych medycznych i wspomagania procesów diagnostycznych. W zakresie symulacji i edukacji medycznej na świecie istotną rolę odgrywa firma Laparo Medical Simulators, która oferuje trenażery i symulatory laparoskopowe wykorzystujące technologię VR, a także firmy, takie jak: Surgical Science, UbiSim, VRPatients, Health Scholars, MedVR Ed, FundamentalVR, Augmedics czy OssoVR. Dostęp do rynku i pozycja konkurencyjna warunkowane są w tym sektorze dużym kapitałem oraz wysoką mocą obliczeniową.

Mimo rosnącego zainteresowania cyfrowymi bliźniakami w medycynie, Polska nadal ustępuje liderom, takim jak Stany Zjednoczone, Niemcy czy Wielka Brytania. Mają na to wpływ ograniczone zasoby inwestycyjne oraz opóźnione działania administracyjne związane z budową repozytoriów danych medycznych. Rosnąca liczba polskich start-upów medycznych, dynamiczny rozwój technologii AI oraz współpraca sektora akademickiego z przemysłem wskazują jednak na wzrost potencjału w tym obszarze, jeśli inwestycje w infrastrukturę danych i technologie cyfrowe będą kontynuowane.

Grupa technologii robotyka medyczna

Robotyka chirurgiczna to jedna z najszybciej rozwijających się technologii w medycynie. Liderem w tej dziedzinie pozostaje system da Vinci produkowany przez Intuitive Surgical, który od lat dominuje w zakresie minimalnie inwazyjnych zabiegów chirurgicznych. W ostatnich latach coraz większą konkurencję stanowią systemy oferowane przez firmy z Chin, Indii oraz Europy, które wprowadzają tańsze i bardziej modułowe rozwiązania. Główne kierunki rozwoju tej technologii obejmują integrację sztucznej inteligencji, haptiki oraz technologii 5G, które wspierają rozwój telechirurgii i precyzyjniejszej kontroli nad narzędziami operacyjnymi.

W polskich szpitalach obecnie funkcjonuje głównie system da Vinci, ale coraz więcej placówek wdraża alternatywne systemy, m.in. Versius (CMR Surgical), Senhance (Asensus Surgical) oraz Hugo (Medtronic). Polska nadal pozostaje jednak w tyle za światowymi liderami w dziedzinie robotyki chirurgicznej, głównie z powodu wysokich kosztów wdrożenia oraz ograniczonego dostępu do systemów dla mniejszych placówek medycznych. Bariera jest również brak odpowiedniego finansowania rodzimych innowacji, co sprawia, że polskie projekty, takie jak zabrzański Robin Heart, mają trudności z przejściem do fazy komercyjnej.

Najważniejsze firmy komercyjnie na świecie działające w robotyce medycznej to Intuitive Surgical, Medtronic, Stryker, Zimmer Biomet, CMR Surgical, Smith & Nephew, Globus Medical, Accuray, Renishaw oraz Titan Medical. Rośnie również pozycja azjatyckich firm konkurencyjnych. Coraz więcej robotów produkowanych w Japonii, Korei, Chinach czy Indiach jest gotowych konkurować z produktami zachodnimi. W Polsce to woj. śląskie od lat stanowi jeden z kluczowych ośrodków rozwoju robotyki chirurgicznej. Zabrzańska Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii im. prof. Zbigniewa Religi posiada wieloletnie doświadczenie w pracach nad polskim robotem chirurgicznym Robin Heart. W regionie istnieje unikalny system sprzyjający rozwojowi robotyki medycznej, oparty na: Politechnice Śląskiej, Śląskim Uniwersytecie Medycznym, Krakowskim Instytucie Technologicznym (działającym w strukturach Sieci Badawczej Łukasiewicz) oraz innych podmiotach. Poza regionem znajduje się inny ważny gracz komercyjny w dziedzinie robotyki chirurgicznej, jakim jest ACCREA Engineering.

W najbliższych latach oczekuje się popularyzacji robotów specjalistycznych, dedykowanych konkretnym dziedzinom chirurgii oraz dalszej miniaturyzacji systemów, co pozwoli na ich szersze zastosowanie. Telechirurgia i integracja sztucznej inteligencji będą kluczowymi kierunkami rozwoju, które mogą znacząco zwiększyć precyzję zabiegów i zmniejszyć ryzyko powikłań.

Dynamicznie rozwija się robotyka medyczna w rehabilitacji, również w tym sektorze dominują globalni liderzy i pojawia się silna konkurencja ze strony firm azjatyckich. Na świecie dominują firmy, takie jak Hocoma w Szwajcarii, Ekso Bionics w USA, Tyromotion w Austrii czy chińscy producenci ZEPU, YIKANG i Ucomfort. Kluczowe dla przewagi konkurencyjnej są: innowacyjność technologiczna, skuteczność terapeutyczna, rozbudowane zaplecze badawczo-rozwojowe oraz wieloletnia obecność na rynku. W ostatnich latach coraz większy udział w rynku zdobywają chińskie firmy, które dzięki niższym kosztom produkcji, intensywnym inwestycjom w badania oraz wsparciu rządu skutecznie konkurują z europejskimi i amerykańskimi producentami.

W Polsce rozwój robotyki medycznej w rehabilitacji jest wciąż na wczesnym etapie, a liczba firm aktywnie działających w tym obszarze jest ograniczona. Jednym z kluczowych producentów była firma Prodrum, twórca automatycznego trenażera chodu Prodrobot, dedykowanego dzieciom z porażeniem mózgowym. W 2023 r. spółka podjęła jednak decyzję o likwidacji. Obecnie najbardziej rozpoznawalnym polskim producentem robotów rehabilitacyjnych jest firma Egzotech w Gliwicach, która specjalizuje się w urządzeniach, takich jak Luna EMG, stosowanych w neurorehabilitacji. Produkty Egzotech są wykorzystywane w ponad 30 krajach, co czyni firmę jednym z najszybciej rozwijających się polskich graczy na rynku globalnym. W Zabrze działa także wzmiankowany wcześniej KIT (Sieć Badawcza Łukasiewicz), który prowadzi prace nad prototypami robotów rehabilitacyjnych. Istotną rolę w rozwoju robotyki medycznej odgrywają też inne ośrodki badawczo-rozwojowe. Europejskie Centrum Innowacyjnych Technologii dla Zdrowia w Zabrze, działające przy Politechnice Śląskiej, prowadzi interdyscyplinarne badania nad nowoczesnymi technologiami wspierającymi medycynę i rehabilitację. Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach angażuje się w rozwój innowacyjnych metod terapeutycznych, współpracując z lokalnymi i międzynarodowymi partnerami. Również Akademia Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach prowadzi badania nad zastosowaniem nowych technologii w rehabilitacji i sporcie.

Choć Polska pozostaje w tyle za światowymi liderami w dziedzinie robotyki rehabilitacyjnej, to dynamiczny rozwój sektora IT i inżynierii, wsparcie uczelni technicznych oraz rosnące zapotrzebowanie na nowoczesne rozwiązania w rehabilitacji, stwarzają potencjał do dalszego rozwoju. Woj. śląskie pozostanie zapewne kluczowym ośrodkiem robotyki medycznej w Polsce. Konieczność ponoszenia wysokich nakładów na prace badawczo-rozwojowe sprawi jednak, że dłuższe perspektywy rozwoju będą mieć tylko firmy będące w dobrej sytuacji finansowej i o pogłębionej penetracji rynku.

Grupa technologii teranostyczne technologie radioizotopowe, biomarkery, profilowanie multiomiczne i zaawansowane terapie komórkowe

Badania związane z teranostyką, biomarkerami, profilowaniem multiomicznym oraz terapiami komórkowymi stanowią dynamicznie rozwijające się obszary biotechnologii i medycyny, które odgrywają kluczową rolę w kształtowaniu przyszłości spersonalizowanej diagnostyki i terapii. Fakt, że wiodące międzynarodowe firmy w tym sektorze, takie jak: Bayer AG, Novartis AG, GE Healthcare, Curium Pharma i Telix Pharmaceuticals, intensywnie pracują nad rozwojem tych metod i wdrażaniem ich do rutynowej praktyki klinicznej, sprawia, że można coraz lepiej dopasowywać terapie do indywidualnych potrzeb pacjenta, co przekłada się na wyższą skuteczność leczenia.

W Polsce obszar teranostyki niestety wciąż znajduje się na etapie rozwoju, chociaż znaczącym przełomem było powołanie w 2023 r. Centrum Teranostyki Uniwersytetu Jagiellońskiego. Jednym z głównych projektów realizowanych w tym ośrodku jest budowa innowacyjnego systemu J-PET, który umożliwi obrazowanie całego ciała z wyjątkowo wysoką czułością, co stanowi kluczowy krok w doskonaleniu diagnostyki i monitorowania chorób. Równolegle prowadzone są tam badania nad nowymi biomarkerami, pozwalającymi na wczesne wykrywanie zmian patologicznych oraz dokładniejsze profilowanie pacjentów pod kątem doboru terapii. W woj. śląskim kluczowe znaczenie ma natomiast Narodowy Instytut Onkologii w Gliwicach, który koncentruje się na rozwijaniu zaawansowanych technik omicznych, diagnostyki molekularnej, a także produkcji izotopów promieniotwórczych i wdrażaniu nowych radiofarmaceutyków do badań klinicznych.

Instytut posiada zakład radiofarmacji, którego infrastruktura obejmuje wytwórnię izotopów promieniotwórczych, wyposażoną w cyklotron oraz linie technologiczne spełniające rygorystyczne

normy Dobrej Praktyki Wytwarzania (ang. *Good Manufacturing Practices*, GMP). Dzięki pracowni obrazowania przedklinicznego, wyposażonej w systemy PET, TK oraz MRI, Instytut ma ogromne doświadczenie w opracowywaniu innowacyjnych biomarkerów obrazowania, które umożliwiają nieinwazyjne i rzeczywiste mapowanie specyficznych antygenów. Dotyczy to zarówno wczesnej odpowiedzi komórek nowotworowych, jak i *de novo* oporności na nowe podejścia terapeutyczne, ze szczególnym uwzględnieniem terapii celowanych oraz immunoterapii w leczeniu nowotworów. Co więcej, unikatowa infrastruktura Instytutu – obejmująca Zakład Radiofarmacji, Zakład Medycyny Nuklearnej oraz nowo otwarte Centrum Obrazowania Przedklinicznego, w połączeniu z dostępem do materiału tkankowego pacjentów, umożliwia tworzenie spersonalizowanych modeli zwierzęcych (PDX), a następnie prowadzenie zaawansowanych badań nad nowymi terapiami, w tym radioterapią opartą na emiterach alfa i beta. W ramach prowadzonych prac badawczych testowane są dodatkowo związki teranostyczne oparte na emiterach alfa i beta, z myślą o ich wprowadzeniu do przyszłych badań klinicznych. Dzięki temu możliwe będzie opracowanie jeszcze bardziej precyzyjnych i efektywnych metod leczenia, łączących zaawansowaną diagnostykę z ukierunkowaną terapią radionuklidową.

Tak szeroki zakres prac badawczych i klinicznych, wymagających specjalistycznego zaplecza i sprawnego łańcucha logistycznego, jest często trudny do realizacji nawet w wysokospecjalistycznych placówkach nieposiadających tak rozbudowanych zasobów. Dzięki synergii zaawansowanej diagnostyki, badań naukowych i praktyki klinicznej, Instytut stanowi unikatowy przykład miejsca, w którym nowe odkrycia naukowe mogą szybko zostać przełożone na nowe rozwiązania technologiczne oraz innowacyjne metody leczenia pacjentów.

Zaawansowane terapie komórkowe, w tym technologie CAR-T, stanowią jedną z najbardziej innowacyjnych metod leczenia nowotworów hematologicznych. Obecnie globalny rynek tych terapii jest zdominowany przez cztery koncerny farmaceutyczne: Novartis, Kite/Gilead, Janssen-Cilag oraz Bristol-Myers Squibb, przy czym Novartis i Kite/Gilead posiadają największe udziały wynoszące po około 40%. W Polsce produkcję terapii CAR-T na potrzeby badań klinicznych prowadzi firma FamiCordTx (członek międzynarodowej grupy kapitałowej FamiCord). Jak dotąd nie istnieje jednak krajowa produkcja akademicka ani rozwinięty system wdrażania tych terapii na szeroką skalę. W woj. śląskim potencjalnym centrum produkcji terapii CAR-T mógłby stać się Narodowy Instytut Onkologii w Gliwicach, który posiada odpowiednie zaplecze badawcze oraz technologiczne do opracowania i wdrożenia własnych produktów. W województwie działa również firma 4Cell Therapies dysponująca własnym rozwiązaniem w zakresie terapii CAR-T w zaawansowanej fazie badań przedklinicznych. Ponadto w sąsiedztwie (w Krakowie) działa firma Ryvu Therapeutic, rozwijająca własne cząsteczki terapeutyczne, co stanowi unikalną działalność w skali kraju. Prognozy wskazują, że po wdrożeniu oryginalnego systemu produkcyjnego opracowanego w Politechnice Śląskiej byłoby możliwe pokrycie krajowego zapotrzebowania na terapię CAR-T do 70%, a także ekspansja na rynki europejskie.

Zagadnienia obrazowania rozkładu dawki w czasie rzeczywistym na podstawie pomiaru mapy fluencji w czasie seansu terapeutycznego oraz tworzenia modelu pacjenta służącego do modelowania efektów biologicznych związanych z absorpcją promieniowania jonizującego rozwijane są przez firmy globalne: Siemens Healthineers, Philips Healthcare, GE Healthcare, Elekta oraz RaySearch Laboratories. Nie zidentyfikowano krajowych rozwiązań w tym zakresie.

Chociaż Polska i woj. śląskie posiadają silne ośrodki badawcze oraz nowoczesne zaplecze technologiczne, wyzwaniem na przyszłość pozostaje dostęp do finansowania na poziomie globalnym, które pozwoliłoby na zwiększenie potencjału wdrożeniowego i możliwość komercjalizacji wyników badań.

Grupa technologii medycyna regeneracyjna i technologie materiałowe dla medycyny

Celem medycyny regeneracyjnej jest odbudowa uszkodzonych tkanek i narządów przez wykorzystanie biomateriałów, komórek macierzystych oraz inżynierii tkankowej. Światowy rynek tej dziedziny jest zdominowany przez międzynarodowych gigantów, takich jak: Medtronic, Johnson & Johnson, 3M, Stryker Corporation, Boston Scientific i Abbott Laboratories, Celularity i Cytiva, które specjalizują się w produkcji implantów ortopedycznych, biomateriałów oraz technologii

wspierających regenerację tkanek. Innowacje w tej dziedzinie obejmują mechaniczne systemy wspomagania serca, biodegradowalne implanty oraz biodruk 3D, co znacząco przyczynia się do postępów w terapii regeneracyjnej. W dziedzinie produkcji sztucznych narządów, takich jak sztuczne serca, pompy krwi i zastawki serca, wyróżnia się kilka wiodących firm – światowych liderów: Carmat, SynCardia Systems, Medtronic oraz Edwards Lifesciences. W obszarze bioprintingu rynek należy do: Organovo, CELLINK, Aspect Biosystems oraz Cyfuse Biomedical.

W Polsce medycyna regeneracyjna rozwija się głównie dzięki działalności akademickiej oraz wyspecjalizowanym instytutom badawczym. Jednym z kluczowych ośrodków jest Centrum Medycyny Regeneracyjnej Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego, które prowadzi badania nad komórkami macierzystymi i innowacyjnymi terapiami regeneracyjnymi, a także BioTechMed Center przy Politechnice Gdańskiej, Pracownia Inżynierii Tkankowej i Medycyny Regeneracyjnej Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego, Warszawski Uniwersytet Medyczny oraz Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.

W regionie rozwój medycyny regeneracyjnej jest ściśle powiązany z działalnością Fundacji Rozwoju Kardiochirurgii w Zabrze, która od lat pracuje nad nowatorskimi rozwiązaniami w dziedzinie mechanicznego wspomagania serca, biokompatybilnych protez oraz materiałów do zastosowań w regeneracji mięśnia sercowego. Fundacja posiada rozbudowane zaplecze badawcze i współpracuje z wieloma krajowymi oraz międzynarodowymi jednostkami naukowymi. Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN w Zabrze również prowadzi badania nad nowoczesnymi biomateriałami, w tym nad materiałami biodegradowalnymi i polimerami stosowanymi w inżynierii tkankowej. Istotną rolę w regionie odgrywają także: Politechnika Śląska, Śląski Uniwersytet Medyczny (i jego Uniwersytecki Szpital Kliniczny w Katowicach) oraz Uniwersytet Śląski. Narodowy Instytut Onkologii w Gliwicach posiada zaawansowane zaplecze badawcze umożliwiające projektowanie terapii regeneracyjnych, zwłaszcza w kontekście immunoterapii nowotworów oraz regeneracji uszkodzonych tkanek po leczeniu onkologicznym. Instytut współpracuje również z jednostkami badawczymi nad zastosowaniem biomateriałów w chirurgii onkologicznej, w tym z Centrum Onkologii i Hematologii w Katowicach oraz dysponuje szerokim zapleczem w zakresie chirurgii rekonstrukcyjnej i transplantacji komórek krwiotwórczych szpiku. W zakresie chorób serca istotna jest aktywność Śląskiego Centrum Chorób Serca w Zabrze oraz katowickiego Górnośląskiego Centrum Medycznego. Centrum Leczenia Oparzeń im. dr. Stanisława Sakiela w Siemianowicach Śląskich jest wiodącym ośrodkiem w Polsce zajmującym się kompleksowym leczeniem urazów oparzeniowych i ran przewlekłych.

Wskazane instytucje prowadzą intensywne badania nad nowymi metodami leczenia i regeneracji tkanek, co stawia region na czele innowacji medycznych w Polsce. Polskie ośrodki badawcze i przedsiębiorstwa pozostają jednak w tyle za światowymi liderami, głównie ze względu na ograniczone fundusze i brak masowej produkcji biomateriałów.

2.1.3.4. Identyfikacja możliwości pojawienia się substytutów dla rozwijanych technologii, produktów i usług

Technologie wchodzące w skład analizowanych grup technologicznych mają wysoko lub relatywnie nowatorski charakter. W związku z tym nie ma obecnie oczywistej alternatywy dla tych innowacji. Można zatem jedynie przewidywać przyszłe trendy i kierunki rozwoju, które mogą stanowić substytucyjne rozwiązania wobec istniejących technologii.

W przypadku grupy technologii związanej z cyfrowym zintegrowanym profilem pacjenta, pojawienie się substytutów może wynikać z rosnącej roli technologii blockchain, rozproszonych systemów przechowywania danych czy zdecentralizowanych rejestrów medycznych, które mogłyby uniezależnić pacjentów od tradycyjnych systemów informacyjnych. Wzrost popularności samodzielnie zarządzanych danych zdrowotnych może wpłynąć na ograniczenie znaczenia centralnych systemów elektronicznej dokumentacji medycznej, co jednak zapewne będzie ograniczane przez uwarunkowania systemowe narzucane przez płatników usług medycznych. Rozwój technologii neuromorficznych i komputerów kwantowych może także umożliwić przetwarzanie ogromnych

zbiorów danych w czasie rzeczywistym, eliminując potrzebę centralizacji danych i umożliwiając lokalne analizowanie stanu zdrowia pacjenta na poziomie zaawansowanych urządzeń osobistych przyszłości. Jednocześnie warto zwrócić uwagę na fakt, że produkty z tej grupy mogą wkrótce stanowić substytut dla wybranych klasycznych usług medycznych finansowanych przez systemy ubezpieczeniowe – jeśli upowszechni się wprowadzanie na rynek, w tym wspierane refinansowaniem publicznym aplikacji cyfrowych „na receptę” (ang. *digital therapeutics*, DTx).

Dla grupy technologii cyfrowego bliźniaka pojawienie się substytutów zapewne będzie wynikać z rozwoju nowych metod sztucznej inteligencji, które pozwolą na jeszcze bardziej zaawansowaną personalizację leczenia bez potrzeby pełnego modelowania organizmu pacjenta. Technologie oparte na dynamicznych sieciach neuronowych, zdolnych do samouczenia się w czasie rzeczywistym, mogą oferować zbliżoną precyzję bez konieczności budowania cyfrowych „replik” pacjentów lub reakcji zachodzących w organizmie. Alternatywą mogą być również technologie oparte na biologicznych biosensorach i mikroukładach symulujących fizjologiczne reakcje organizmu, co pozwoli na eksperymentowanie na poziomie komórkowym, zastępując bazowanie na modelach matematycznych.

W grupie technologii dotyczących robotyki medycznej naturalnym kierunkiem pojawienia się substytutów może być rozwój bardziej zaawansowanych systemów biologicznych i biotechnologicznych, takich jak nanoroboty dostarczające leki lub naprawiające uszkodzone tkanki w organizmie pacjenta. Przyszłość może należeć do zminiaturyzowanych, autonomicznych narzędzi diagnostyczno-terapeutycznych, które zastąpią duże, skomplikowane systemy chirurgiczne w przyszłości. Innym potencjalnym substytutem dla klasycznych robotów chirurgicznych może być rozwój interfejsów mózg-maszyna, które pozwolą lekarzom na wykonywanie precyzyjnych operacji za pomocą myśli, eliminując konieczność stosowania mechanicznych ramion chirurgicznych.

Dla grupy technologii związanej z teranostyką, biomarkerami i profilowaniem multiomicznym potencjalnym substytutem mogą być rozwijające się technologie bioinformatyczne oparte na analizie kwantowej, które mogą wyeliminować potrzebę stosowania skomplikowanych testów laboratoryjnych na rzecz ultraszybkiej analizy biologicznych sygnatur molekularnych w czasie rzeczywistym. Ponadto rozwój technologii diagnostycznych opartych na fali dźwiękowej lub optycznej, pozwalających na analizę wewnętrznych struktur organizmu bez potrzeby pobierania próbek, może zmniejszyć zapotrzebowanie na klasyczne biomarkery i badania multiomiczne.

W przypadku grupy technologii medycyny regeneracyjnej i technologii materiałowych dla medycyny, alternatywą dla obecnych metod mogą stać się przełomowe technologie samoregenerujących się tkanek i materiałów biologicznych zdolnych do automatycznego naprawiania uszkodzeń bez interwencji chirurgicznej. Technologie biohybrydowe, łączące materiały sztuczne z żywymi komórkami, mogą w przyszłości całkowicie zastąpić obecne rozwiązania implantologiczne i biomateriałowe. Rozwój syntetycznej biologii może doprowadzić do opracowania w pełni funkcjonalnych sztucznych narządów hodowanych bezpośrednio w organizmie pacjenta, co mogłoby wyeliminować potrzebę stosowania obecnych metod transplantacji i inżynierii tkankowej.

Większość opisanych powyżej potencjalnych substytutów jest na etapie koncepcji lub na etapie badawczym odległym od rynku. Należy więc zakładać, że w nadchodzących latach to omawiane technologie będą kluczowe dla medycyny w woj. śląskim oraz dla budowania przewagi konkurencyjnej firm i instytucji z regionu na rynku europejskim czy globalnym. Należy mieć także na uwadze, że wejście substytutów na rynek będzie musiało być poprzedzone kosztownymi badaniami i certyfikacją, ale też dokonaniem przełomu świadomościowego (często też etycznego). A co za tym idzie – przewidywany czas do wejścia na rynek będzie prawdopodobnie długi.

2.1.3.5. Identyfikacja zależności i łańcuchów wartości rozwoju technologii w ramach obszaru technologii

Wcześniej przedstawione wyniki analizy wskazują, że rozwój technologiczny w woj. śląskim w znacznym stopniu jest oparty na rozwiązaniach opracowanych poza regionem, a nawet poza Polską. W szczególności obszary, takie jak cyfrowy zintegrowany profil pacjenta, cyfrowy bliźniak czy robotyka medyczna są zdominowane przez globalne koncerny technologiczne i firmy z sektora

medtech, głównie z USA, Europy Zachodniej i Azji. Woj. śląskie, mimo posiadania silnych ośrodków badawczo-rozwojowych oraz kilku obiecujących przedsiębiorstw technologicznych, nadal praktycznie nie wypracowało silnych, konkurencyjnych marek zdolnych do rywalizacji na globalnym rynku. Mimo pewnych oznak wysokiej pozycji niektórych jednostek naukowych lub firm na rynku międzynarodowym, skala ich działalności wciąż nie pozwala na pełne uniezależnienie regionu od wpływów globalnych liderów. Oznacza to, że technologie są głównie importowane do regionu i dostosowywane do lokalnych potrzeb.

W większości omawianych zagadnień pojawiają się krajowe inicjatywy badawcze oraz sieci współpracy. Ich zdolność do samodzielnego rozwijania i wdrażania krajowych innowacji w poszczególnych grupach technologii pozostaje jednak ograniczona. Dzieje się tak zarówno z powodu niewystarczających środków inwestycyjnych, jak i z konieczności konkurowania z silnymi międzynarodowymi podmiotami, które dysponują większymi zasobami finansowymi, doświadczoną kadrą oraz ugruntowaną pozycją na rynku, a niejednokrotnie także zdolnością do tworzenia przełomowych innowacji. Co za tym idzie – stopień uzależnienia innowacji w analizowanym obszarze od zewnętrznych partnerów jest wysoki. Większość kluczowych technologii rozwijanych w regionie wymaga współpracy z międzynarodowymi dostawcami sprzętu lub oprogramowania. Należy jednak dodać, że przełamanie „bariery umiędzynarodowienia” samo w sobie jest korzystne, ponieważ przygotowuje do obecności na rynku międzynarodowym. Może być także wsparciem w zdobywaniu certyfikacji medycznej lub cyberbezpieczeństwa na różnych rynkach geograficznych.

Szybkość reakcji podmiotów z regionu na zmieniające się warunki rynkowe i gospodarcze jest ograniczona przez wspomniane wcześniej uzależnienie od zewnętrznych dostawców i technologii. Podwyżki cen surowców, komponentów czy licencji mogą znacząco wpłynąć na rentowność wdrażania innowacji w regionie. W przypadku gwałtownych zmian rynkowych, takich jak kryzys finansowy lub zerwanie sieci współpracy międzynarodowej, lokalne podmioty mogą mieć trudności z utrzymaniem ciągłości swoich projektów. Firmy technologiczne z regionu doświadczały już takich trudności podczas pandemii COVID-19.

Obecność silnych ośrodków akademickich i badawczo-rozwojowych w woj. śląskim daje pewne możliwości adaptacji i reagowania na zmieniające się warunki. Mogą one bowiem prowadzić badania nad alternatywnymi rozwiązaniami technologicznymi, jednak ich wdrożenie wymagałoby znacznych inwestycji i długiego czasu rozwoju. Nie będzie to zatem nigdy stanowiło odpowiedzi na gwałtowny wzrost kosztów technologii lub ograniczenie dostępu do zagranicznych partnerów. Poza tym tworzenie alternatywy lub substytutu jest utrudnione ze względu na utratę efektu skali, ale także ze względu na obecność standardów branżowych oraz ustalenia związane z interoperacyjnością. W tym kontekście warto zwrócić uwagę, że największą elastyczność w adaptacji do zmieniających się warunków wykazują sektory związane z cyfrowymi rozwiązaniami dla medycyny, telemedycyną oraz robotyką rehabilitacyjną. W przypadku bardziej kapitałochłonnych technologii, takich jak cyfrowe bliźniaki, medycyna regeneracyjna czy terapie radioizotopowe, odpowiedź na zmiany rynkowe może być znacznie wolniejsza.

Nie budzi wątpliwości w odniesieniu do technologii o znaczeniu horyzontalnym, że rozwój wszystkich omawianych grup technologii będzie napędzany zmianami technologii sztucznej inteligencji, uczenia maszynowego, poszerzonej i wirtualnej rzeczywistości, internetu rzeczy i haptyki oraz cyberbezpieczeństwa. Postępujące będzie także znaczenie zdolności do miniaturyzacji i zwiększania mobilności urządzeń oraz upowszechniania zdalnego dostępu do jakichkolwiek usług.

2.1.3.6. Intensywność konkurencji na rynku wdrażania technologii

Mając na uwadze ustalenia wskazane we wcześniejszych podrozdziałach, warunki konkurowania dla poszczególnych grup technologii zastosowano w tabeli 2.2.

Tabela 2.2. Warunki konkurowania dla obszaru technologicznego technologii dla medycyny

Grupa technologii	Ilość konkurentów	Perspektywy wzrostu rynku	Bariery wyjścia	Bariery wejścia	Intensywność rywalizacji
Cyfrowy zintegrowany profil pacjenta	Duża. Globalni liderzy i mali specjalistyczni gracze	Bardzo duże	Nieduże. Przeciętne nakłady inwestycyjne, zdolność do wykorzystania technologii bazodanowych	Nieduże. Przeciętne nakłady inwestycyjne, wysokie, ale nie unikatowe kompetencje, transparentne ramy regulacyjne	Bardzo duża
Cyfrowy bliźniak	Nieduża. Głównie globalni liderzy	Bardzo duże	Średnie. Wysokie nakłady inwestycyjne. Zdolność do adaptacji modeli do innych zastosowań	Średnie. Wysokie nakłady inwestycyjne, wysokie kompetencje, transparentne ramy regulacyjne	Duża
Robotyka medyczna	Duża. Globalni liderzy i mali specjalistyczni gracze	Bardzo duże	Dość duże. Wysokie nakłady inwestycyjne. Ograniczone możliwości innej monetyzacji	Średnie. Wysokie nakłady inwestycyjne, wysokie kompetencje, transparentne ramy regulacyjne	Przeciętna
Teranostyczne technologie radioizotopowe, biomarkery, profilowanie multiomiczne i zaawansowane terapie komórkowe	Nieduża. Głównie globalni liderzy	Bardzo duże	Bardzo duże. Wysokie nakłady inwestycyjne. Specjalistyczne rozwiązania	Bardzo wysokie. Wysokie nakłady inwestycyjne, bardzo wysokie kompetencje, duże ryzyko niepowodzenia i odpowiedzialność	Przeciętna
Medycyna regeneracyjna i technologie materiałowe dla medycyny	Nieduża. Głównie globalni liderzy	Bardzo duże	Bardzo duże. Wysokie nakłady inwestycyjne. Specjalistyczne rozwiązania	Bardzo wysokie. Wysokie nakłady inwestycyjne, bardzo wysokie kompetencje, duże ryzyko niepowodzenia i odpowiedzialność	Przeciętna

2.1.3.7. Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonej analizy w ujęciu syntetycznym przedstawiono w tabeli 2.3 i na rysunku 2.1.

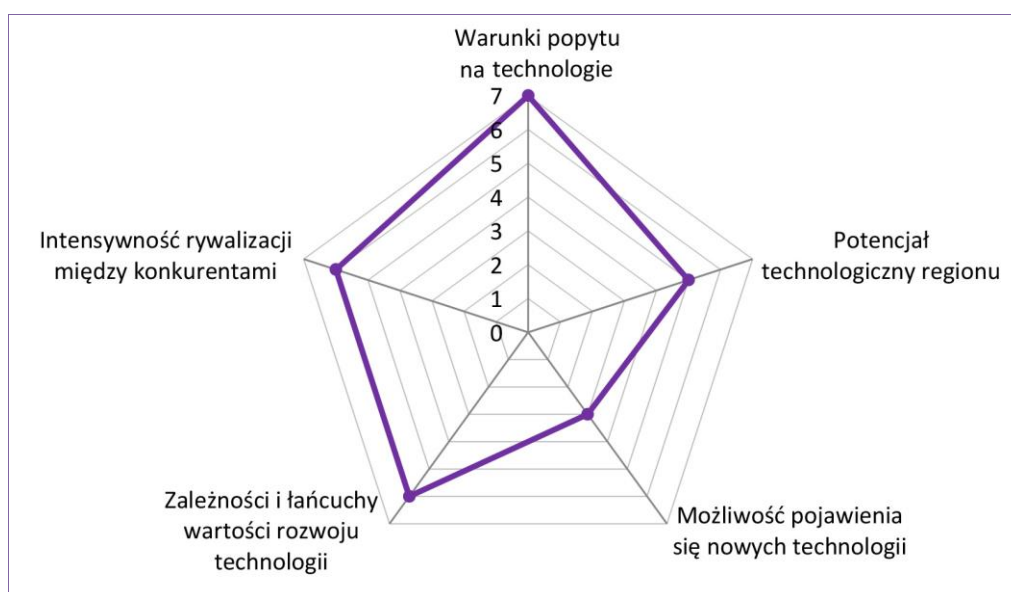
Tabela 2.3. Podsumowanie analizy pięciu sił Portera dla obszaru technologicznego technologii dla medycyny

Grupa technologii	Warunki popytu na technologie	Potencjał technologiczny regionu	Możliwości pojawienia się nowych technologii (substytutów)	Zależności i łańcuchy wartości rozwoju technologii	Intensywność rywalizacji między konkurentami
Ogólne uwarunkowania regionalne	• Duża liczba mieszkańców regionu oraz innych osób korzystających w nim z usług medycznych umożliwiająca uzyskanie efektów skali w upowszechnianiu technologii • Populacyjny charakter schorzeń związanych z kluczowymi dla regionu dziedzinami medycyny	• Wysoki potencjał kliniczny regionu związany z obecnością ośrodków naukowych, firm inżynierii medycznej i IT oraz podmiotów prowadzących badania przedkliniczne i kliniczne	–	• Duże umiędzynarodowienie kluczowych interesariuszy obszaru technologicznego • Telemedycyna i e-networking umożliwiające korzystanie z doświadczeń jednostek referencyjnych na potrzeby ośrodków w regionie	• Ugruntowana współpraca w regionie, bazująca na strukturach klastra MedSilesia oraz w ramach obserwatorium specjalistycznego
Cyfrowy zintegrowany profil pacjenta	• Chłonny rynek globalny oczekujący nowych, zaawansowanych rozwiązań • Różni odbiorcy technologii (programy zdrowia publicznego, sieci szpitali i przychodni, ubezpieczyciele i duzi pracodawcy, globalni liderzy produkcji urządzeń codziennego użytku budujący własne portfolio technologiczne, klienci małych firm technologicznych produkujących urządzenia lub oprogramowanie B2C) • Relatywna łatwość internacjonalizacji i skalowania produktów ograniczana sferą regulacyjną (przepisy o ochronie danych osobowych lub o urządzeniach medycznych itp.) oraz ewentualnym przyjmowaniem rozwiązań systemowych w poszczególnych krajach	• Najważniejsi światowi gracze obecni w Polsce w ramach swojej sieci sprzedaży • Brak regionalnych (i polskich) rozwiązań o wysokiej dojrzałości rynkowej z wyjątkiem rozwiązań telemedycznych w odniesieniu do kardiologii	• Rozwój technologii silnie uzależniony od zmian w sferze regulacyjnej (w tym dotyczących certyfikacji i atestacji) oraz akceptacji i finansowania medycyny spersonalizowanej • Rozwój technologii silnie uzależniony od postępu w dziedzinie uczenia maszynowego i sztucznej inteligencji • Wprowadzanie na rynek, w tym wspierane refinansowaniem publicznym, aplikacji cyfrowych „na receptę” (ang. <i>Digital Therapeutics</i>, DTx, niem. <i>Digitale Gesundheitsanwendungen</i>, DiGA)	• Standardy rynku ustalone przez wiodące marki technologiczne oferujące produkty wearables • Regulacje dopuszczające wykorzystanie danych z urządzeń wearables jako danych medycznych, jako czynnik decydujący o skali integracji danych o pacjencie (łączenie danych pozyskanych w systemie opieki medycznej z pozyskanymi indywidualnie przez pacjenta) • Postępy w integracji warunkowane rozwojem uniwersalnego protokołu komunikacji minimalizującego problemy wymiany danych między urządzeniami telemedycznymi a systemami typu HIS i systemem P1	• Trzy profile konkurowania: w grupie wiodących producentów systemów medycznych działających na rynku B2B, w grupie gigantów technologicznych oferujących rozwiązania B2C oraz wśród licznych małych firm oferujących wąskie portfolio technologiczne lub produktowe
Cyfrowy bliźniak	• Rynek globalny oczekujący na nowe, dynamicznie rozwijające się rozwiązania. • Pewna część środowiska nieufna wobec rozwiązań opartych na modelowaniu cyfrowym, a nie bezpośrednim kontakcie z pacjentem • Relatywna łatwość internacjonalizacji i skalowania produktów, które zostały sprawdzone przez rynek i są oferowane przez wąską liczbę rozpoznawalnych dostawców (rynek dostawcy) • Duże znaczenie sfery regulacyjnej (przepisy o ochronie danych osobowych lub o urządzeniach medycznych itp.)	• Dostęp do rynku warunkowany dużym kapitałem oraz wysoką mocą obliczeniową • Główni, światowi gracze technologiczni zlokalizowani poza regionem • Małe firmy i jednostki naukowo-badawcze w regionie podejmujące niskobudżetowe lub niszowe projekty, niebędące w polu zainteresowania kluczowych graczy	• Rozwój technologii silnie uzależniony od postępu w dziedzinie uczenia maszynowego i sztucznej inteligencji	• Gracze z Polski i regionu pozycjonowani jako dostawcy danych • W skali globalnej rynek technologii zależny od dostępu do półprzewodników	• Warunki konkurowania dyktowane przez wąską grupę najważniejszych dostawców rozwiązań w odniesieniu do regulacji obowiązujących na kluczowych rynkach

Grupa technologii	Warunki popytu na technologie	Potencjał technologiczny regionu	Możliwości pojawienia się nowych technologii (substytutów)	Zależności i łańcuchy wartości rozwoju technologii	Intensywność rywalizacji między konkurentami
Robotyka medyczna	• Zmiany w technologii medycznej oraz rosnące zapotrzebowanie na wspomaganie personelu medycznego dynamizujące stosunkowo nowy rynek robotów każdego typu • Rozwój rynku zależny od potwierdzonej skuteczności klinicznej i ekonomicznej robotów oraz łatwości obsługi • Elastyczne modele finansowania robotyki medycznej zwiększające możliwość nabywania robotów • Certyfikacja urządzeń medycznych kluczowym elementem stanowiącym o dostępie do rynku	• Kluczowi gracze na rynku pochodzący z różnych stron świata, rynek o charakterze globalnym • Relatywnie wysoki potencjał rozwoju technologii w regionie, w odniesieniu do realiów Europy Środkowej – pozytywne doświadczenia rynkowe w zakresie robotyki rehabilitacyjnej • Konieczność ponoszenia wysokich nakładów na B + R w procesie rozwoju produktów – długookresowe perspektywy wzrostu tylko dla firm będących w dobrej sytuacji finansowej	• Robotyka postrzegana (obecnie) jako drogi substytut dla tradycyjnego postępowania w leczeniu i rehabilitacji • Zaawansowane interfejsy mózg-komputer będą znacząco zmieniały specyfikę robotyki medycznej	• Wzrost wydajności i precyzji robotów rehabilitacyjnych warunkowany rozwojem technologii AI+ML, AR, VR, IoT i haptycznych, a także zdolnością do miniaturyzacji i zwiększania mobilności urządzeń oraz upowszechnieniem telemedycyny • Interoperacyjność i integracja robotów rehabilitacyjnych z innymi systemami medycznymi (np. dokumentacja pacjenta, monitorowanie stanu zdrowia) stanowiąca wyzwanie badawczo-rozwojowe oraz regulacyjne	• Rynek robotów chirurgicznych zdominowany przez system da Vinci • Intensyfikująca się konkurencja zarówno dużych korporacji technologicznych, jak i małych firm specjalizujących się w robotyce rehabilitacyjnej • Wiele podmiotów robotyki rehabilitacyjnej będących dopiero w fazie rozwoju – rynek jeszcze nie masowy, konkurencja nie aż tak silna, jak w innych branżach technologicznych • Chiny stające się istotnym graczem na rynku, w tym przez przejmowanie dotychczasowych liderów
Teranostyczne technologie radioizotopowe, biomarkery, profilowanie multiomiczne i zaawansowane terapie komórkowe	• Specjalistyczny rynek o przewidywanym dwucyfrowym tempie rocznego wzrostu • Rosnąca populacja pacjentów onkologicznych i wzrastająca odporność na istniejące terapie raka • Wymagający proces rejestracji produktów i wysokie koszty terapii dopuszczonych do stosowania zmniejszające popyt na zastosowanie technologii	• Europa Zachodnia – istotną lokalizacją dla rozwoju rynku biomarkerów i technologii teranostyki • NIO Gliwice, ze względu na już posiadane wyposażenie sprzętowe i sieć partnerów naukowych, sytuowany w europejskiej czołówce podmiotów mających potencjał rozwoju teranostyki • Małe znaczenie regionu w odniesieniu do terapii CAR T-cells, przy jednoczesnym posiadaniu zaplecza do rozwinięcia ich produkcji	• Teranostyka stanowi przełom technologiczny względem wcześniejszych metod terapeutycznych i diagnostycznych • Przeciwciała dwuswoiste produkowane przez koncerny farmaceutyczne jako potencjalne substytuty wybranych technologii	• Rozwój nanotechnologii i zastosowań AI + ML (w automatyzacji analizy obrazu, przewidywaniu wyników leczenia i wspomaganii złożonego podejmowania decyzji) podstawą rozwoju teranostyki • Rynek napędzany przez rozwój rynku biomarkerów • Polska i region Europy Środkowo-Wschodniej jako rosnące centrum outsourcingu badań, przy braku globalnych liderów	• Rozproszenie wybranych technologii wynikające z ich wciąż eksperymentalnego charakteru • Rozwój i komercjalizacja technologii wymagające posiadania specjalistycznego wyposażenia o relatywnie dużej unikatowości w skali międzynarodowej • Terapia CAR T-cells ograniczona do bardzo drogich produktów czterech globalnych koncernów farmaceutycznych • Konkurencyjny rynek w sektorze biotechnologicznym, farmaceutycznym i diagnostyki molekularnej (w odniesieniu do technologii, takich jak CRISPR, single-cell analysis czy biomarkery) • Dominacja światowych firm medycznych w technologiach obrazowania rozkładu dawki w czasie oraz RTVATAR • Konflikty zbrojne i zbrojenia ograniczające podaż półproduktów i izotopów

Grupa technologii	Warunki popytu na technologie	Potencjał technologiczny regionu	Możliwości pojawienia się nowych technologii (substytutów)	Zależności i łańcuchy wartości rozwoju technologii	Intensywność rywalizacji między konkurentami
Medycyna regeneracyjna i technologie materiałowe dla medycyny	• Rynek zastosowań specjalistycznych – klienci profesjonalni: szpitale, centra transplantacyjne, instytucje badawcze, producenci urządzeń medycznych • Potencjalnie ogromna chłonność rynku ze względu na możliwość zaspokojenia licznych potrzeb terapeutycznych, w tym takich, dla których do tej pory nie znano rozwiązań • Rozwój rynku kształtowany przez postęp technologiczny oraz uwarunkowania etyczne i aspekty regulacyjne	• Globalne firmy wywodzące się z USA są głównymi graczami na rynku, przy jednoczesnej mnogości projektów naukowych i biznesowych średniej i małej skali na całym świecie • Relatywnie wysoki potencjał rozwoju technologii w regionie w odniesieniu do realiów Europy Środkowej – liczne dobre projekty badawcze, jednak wciąż niska pozycja konkurencyjna w skali globalnej	• Technologie postrzegane (obecnie) jako substytut dla tradycyjnego postępowania w leczeniu i rehabilitacji • Zmiany technologiczne o charakterze kroczącym, prawdopodobnie bez przełomu w najbliższych kilku latach	• Rozwój technologii silnie uzależniony od współpracy interdyscyplinarnej	• Globalna dominacja światowych graczy posiadających znaczące zasoby finansowe umożliwiające prowadzenie zaawansowanych programów B + R • Liczne możliwości rozwoju inicjatyw o małej i średniej skali w wielu krajach, ze względu na atrakcyjność sektora dla różnych ośrodków naukowych (inżynierskich i medycznych) oraz priorytetyzacja tematyki w ramach konkursów grantowych na całym świecie

Rysunek 2.1 pokazuje znaczenie poszczególnych wymiarów analizy otoczenia konkurencyjnego w odniesieniu do pozycji podmiotów wywodzących się z woj. śląskiego. Najwyżej zostały ocenione warunki popytu na technologie. Granicą ich zastosowań jest rozwój technologiczny i finansowanie. Potrzeby społeczne są i zapewne przez wiele kolejnych lat będą wręcz „nieograniczone”. Ze względu na lukratywność rynków medycznych, są one także areną intensywnej rywalizacji między konkurentami. Choć cały czas trwają prace nad rozwojem alternatyw technologicznych, przez wzgląd na dużą innowacyjność branży oraz szeroki zakres regulacji i uwarunkowań etycznych, groźba szybkiego pojawienia się przewidywanych substytutów jest nieduża. Rynek technologii dla medycyny jest rynkiem dużych graczy biznesowych i naukowych. W tym aspekcie, mimo wysokiego poziomu potencjału naukowego jednostek w regionie, potencjał woj. śląskiego nie jest wysoki w skali globalnej. To z kolei powoduje wysoką zależność regionu od międzynarodowych łańcuchów wartości rozwoju technologii.



Rys. 2.1. Ocena pięciu sił Portera dla obszaru technologicznego technologii dla medycyny

2.2. Uwarunkowania rozwoju obszaru technologicznego – analiza PESTEL

Analiza PESTEL, będąca najpowszechniej stosowaną analizą makrootoczenia, opisuje najbardziej ogólne czynniki oddziałujące na branżę, niezależnie od wyłonionych w jej ramach grup konkurencyjnych czy podziałów technologicznych. Z tego powodu została opracowana zbiorczo dla całego poziomu technologii medycznych, z uwzględnieniem stanowiska członków klastra MedSilesia oraz ekspertów i klinicystów. Czynniki PESTEL zostały zestawione w tabeli 2.4.

Tabela 2.4. Podsumowanie analizy PESTEL dla obszaru technologicznego technologii dla medycyny

Obszar analizy	Nazwa czynnika	Charakter czynnika
Polityczny	Nieefektywne działania rządu służące stabilizacji finansowania krajowego systemu opieki zdrowotnej – przepływy środków do systemu opieki zdrowotnej są niestabilne i w dłuższej perspektywie nieprzewidywalne	– istotnie wpływa na rozwój obszaru technologicznego
	Zobowiązanie Komisji Europejskiej do wzmocnienia znaczenia nowych międzyregionalnych/paneuropejskich instrumentów finansowania (w najbliższej finansowej perspektywie budżetowej) – nowe możliwości finansowania i współpracy	+ istotnie wpływa na rozwój obszaru technologicznego
	Otoczenie regulacyjne zostało silnie skoncentrowane na sytuacji pandemicznej, która <i>de facto</i> wymuszała w coraz większym stopniu przenoszenie pomocy medyczno-zdrowotnej do e-systemów (wraz ze światowym trendem technologicznym: inteligentne urządzenia, które bezpośrednio łączą użytkowników końcowych z opieką zdrowotną)	+ istotnie wpływa na rozwój obszaru technologicznego
	Ryzyko wprowadzania obostrzeń eksportowych w zakresie wyrobów medycznych	– istotnie wpływa na rozwój obszaru technologicznego

Obszar analizy	Nazwa czynnika	Charakter czynnika
Ekonomiczny	Potencjalne decyzje w zakresie ograniczania integracji międzynarodowej, mobilności i kontaktów gospodarczych	– ma średni wpływ na rozwój obszaru technologicznego
	Zmniejszanie puli publicznie dostępnych świadczeniodawców usług medycznych ze względu na wzrost kosztów personelu (migracja zarobkowa pracowników wysoko wykwalifikowanych)	– istotnie wpływa na rozwój obszaru technologicznego
	Rozwój firm działających na rynku technologii medycznych w Europie – prowadzący do wzrostu konkurencji, ale także do możliwości współpracy	+ istotnie wpływa na rozwój obszaru technologicznego
	Społeczeństwo, które (mimo dużych obszarów ubóstwa) staje się bogatsze i chętnie płaci za prywatne, czyli indywidualne, bardziej wyrafinowane leczenie	+ ma średni wpływ na rozwój obszaru technologicznego
	Przeciętna dostępność do szerokiego wachlarza instrumentów finansowania, akceleracji i doradztwa dla firm medtech (z wykorzystaniem głównie środków UE i jedynie do pewnego stopnia przez kapitał prywatny)	0 ma średni wpływ na rozwój obszaru technologicznego
Społeczny	Obciążenie społeczeństwa chorobami przewlekłymi – wzrost pacjentów i nowa specyfika leczenia	0 istotnie wpływa na rozwój obszaru technologicznego
	Skrajne style życia w społeczeństwie, które prowadzą do większych nierówności zdrowotnych między różnymi konsumentami – od zdrowego trybu życia po ekstensywny konsumpcjonizm skutkujący niezdrowym życiem	0 ma średni wpływ na rozwój obszaru technologicznego
	Presja demograficzna – nowe typy potrzebnych wyrobów/usług medycznych	0 istotnie wpływa na rozwój obszaru technologicznego
	Polski system opieki zdrowotnej odpowiada za wysoki poziom niezaspokojonych potrzeb w zakresie leczenia i najdłuższą listę oczekujących na planowe zabiegi medyczne w UE	– ma średni wpływ na rozwój obszaru technologicznego
	Większość chorób można przypisać behawioralnym czynnikom ryzyka, w tym alkoholowi, paleniu, braku aktywnego uprawiania sportów itp.	0 istotnie wpływa na rozwój obszaru technologicznego
Technologiczny	Zwyczaj badań przesiewowych i profilaktyki w problemach zdrowotnych nie został w znacznym stopniu osiągnięty przez polskie społeczeństwo	– ma średni wpływ na rozwój obszaru technologicznego
	Imponująca ewolucja sektora technologii medycznej na przestrzeni ostatnich lat dzięki wzrostowi patentów i aplikacji	+ istotnie wpływa na rozwój obszaru technologicznego
	Technologia 5G umożliwiająca przykładowo opanowanie odległych zabiegów chirurgicznych przy wyższej jakości przesyłania danych	+ istotnie wpływa na rozwój obszaru technologicznego
	Rosnące umiejętności w zakresie wykorzystania dużych zbiorów danych – jako podstawa procedur medycznych i leczniczych	+ istotnie wpływa na rozwój obszaru technologicznego
	Udoskonalenie nanotechnologii i nanourządzeń – nowe standardy wyrobów medycznych i zabiegów	+ istotnie wpływa na rozwój obszaru technologicznego
	Masowe przyjęcie technologii przyrostowych w inżynierii medycznej, leczeniu i rehabilitacji	+ istotnie wpływa na rozwój obszaru technologicznego
	Szybki rozwój różnych technologii umożliwiających indywidualne leczenie (skanowanie 3D, identyfikacja genotypu itp.)	+ istotnie wpływa na rozwój obszaru technologicznego
	Postępy w zastosowaniu sztucznej inteligencji w różnych dziedzinach profilaktyki i leczenia	+ istotnie wpływa na rozwój obszaru technologicznego
Środowiskowy	Zmiany klimatyczne prowadzące do nowych rodzajów chorób/wzrost zachorowań na choroby cywilizacyjne i niezbędne procedury lecznicze	+ istotnie wpływa na rozwój obszaru technologicznego
Prawny	Reforma systemu szkolnictwa wyższego w Polsce – nowe i zastrzone wymagania stawiane kadrze akademickiej uczelni medycznych i technicznych	+ istotnie wpływa na rozwój obszaru technologicznego
	Ograniczona odpowiedzialność – brak przepisów dotyczących odpowiedzialności za błędy medyczne w procedurach z udziałem sztucznej inteligencji czy robotów medycznych	– ma średni wpływ na rozwój obszaru technologicznego

Obszar analizy	Nazwa czynnika	Charakter czynnika
	Wdrażanie przepisów MDR	0 ma średni wpływ na rozwój obszaru technologicznego
	Norma IEC 80001-1. Zastosowanie zarządzania ryzykiem w sieciach IT zawierających urządzenia medyczne	0 istotnie wpływa na rozwój obszaru technologicznego
	Działania i programy UE w zakresie zdrowia, które promują zdrowie i zapobiegają chorobom, a także wspierają innowacje i zrównoważony rozwój w systemach opieki zdrowotnej krajów UE	+
	Liczne i ciągle zmieniające się przepisy prawa regulujące system ochrony zdrowia w Polsce	– nie ma większego znaczenia dla sektora i możliwości rozwoju

Objaśnienie: ocena charakteru czynnika: sprzyjający – „+”; hamujący – „–”; neutralny – „0”.

2.3. Ocena obszaru technologicznego – analiza SWOT

Analiza SWOT jest analizą wynikową, łączącą wyniki wcześniej przedstawionych analiz. Została przeprowadzona w trzech etapach. W pierwszej kolejności dokonano agregacji cząstkowych zidentyfikowanych czynników, następnie przyporządkowano je do grup: sił, słabości, szans i zagrożeń (tab. 2.5). Na ostatnim etapie prac, dla najistotniejszych powiązań między czynnikami zewnętrznymi i wewnętrznymi, opisano kluczowe wyzwania dla obszaru technologicznego technologii dla medycyny (tab. 2.6).

Tabela 2.5. Czynniki SWOT dla obszaru technologicznego technologii dla medycyny

Silne strony		Słabe strony	
S1	Duża liczba mieszkańców oraz użytkowników usług medycznych zapewniająca efekt skali	W1	Brak regionalnych rozwiązań o wysokiej dojrzałości rynkowej (z wyjątkiem telemedycyny w kardiologii oraz robotyki rehabilitacyjnej)
S2	Wysoki potencjał kliniczny wspierany przez ośrodki naukowe i firmy inżynierii medycznej oraz IT	W2	Brak globalnych liderów rynku i liderów rozwoju technologii związanych z regionem
S3	Duże umiędzynarodowienie kluczowych interesariuszy technologicznych	W3	Dominacja niskobudżetowych i niszowych projektów naukowych i badawczo-wdrożeniowych
S4	Silna współpraca w regionie w ramach struktur klastra MedSilesia i Regionalnego Obserwatorium Innowacji	W4	Niski udział w rozwoju terapii CAR-T, mimo odpowiedniego zaplecza
S5	Obecność w Polsce sieci sprzedaży produktów globalnych liderów	W5	Niskie nakłady na badania i rozwój w porównaniu do globalnych liderów
S6	Pozytywne doświadczenia rynkowe w zakresie robotyki rehabilitacyjnej	W6	Ograniczona dostępność środków na wdrażanie nowych technologii w regionie
S7	NIO Gliwice jako jeden z liderów w dziedzinie teranostyki w skali europejskiej	W7	Niska świadomość i akceptacja nowych technologii wśród części personelu medycznego
S8	Rozpoznawalność uczelni oraz instytucji B + R z regionu w skali europejskiej	W8	Niedostateczna integracja systemów medycznych i telemedycznych na poziomie regionu
S9	Polska i Europa Środkowo-Wschodnia jako rosnące centrum outsourcingu badań	–	–
S10	Warunki do budowania synergii w regionie między sektorem informatycznym i medycznym w obszarze AI i big data	–	–
Szanse		Zagrożenia	
O1	Istniejące programy finansowania technologii medycznych na poziomie UE	T1	Regiony polskie postrzegane jako dostawcy danych, a nie liderzy technologiczni
O2	Globalny wzrost zapotrzebowania na technologie medyczne, w tym związane z chorobami populacyjnymi	T2	Globalny charakter rynku utrudniający konkurowanie mniejszym podmiotom
O3	Telemedycyna i e-networking ułatwiające dostęp do zaawansowanych metod leczenia	T3	Duża zależność od regulacji prawnych dotyczących certyfikacji oraz zagadnień bioetycznych
O4	Szeroki krąg odbiorców technologii – szpitale, ubezpieczyciele, globalni producenci urządzeń	T4	Problemy zapewnienia cyberbezpieczeństwa i integracji danych medycznych między systemami
O5	Możliwość łatwej internacjonalizacji technologii medycznych	T5	Nieufność części środowiska medycznego wobec zaawansowanej cyfryzacji opieki zdrowotnej

Szanse			Zagrożenia		
O6	Rosnąca rola rozwijających się dynamicznie zastosowań: AI, ML, VR, AR, IoT oraz haptiki w medycynie	T6	Konieczność dokonywania dużych inwestycji kapitałowych dla rozwoju większości technologii medycznych		
O7	Rozwój cyfrowych terapii (DTx) wspierany przez refundację publiczną	T7	Zależność sektora od dostępu do półprzewodników i nowych materiałów		
O8	Rosnący rynek wszystkich analizowanych grup technologii	T8	Globalne wojny technologiczne i potencjalne ograniczenia eksportowe		
O9	Postęp technologiczny w dziedzinie miniaturyzacji i mobilności urządzeń medycznych	T9	Wzrost kosztów personelu medycznego i odpływ specjalistów za granicę		
O10	Rozwój sektora prywatnej opieki zdrowotnej i wzrost skłonności do inwestycji w leczenie	T10	Problemy z finansowaniem publicznej opieki zdrowotnej w Polsce		
O11	Wzrost znaczenia technologii 5G i obliczeń o dużej mocy będących podstawą rozwoju współczesnych technologii medycznych	T11	Brak jasnych przepisów dotyczących odpowiedzialności za błędy AI i robotów w medycynie		
O12	Masowa adaptacja technologii przyrostowych w leczeniu i rehabilitacji	T12	Niestabilna polityka inwestycyjna i regulacyjna w zakresie zdrowia publicznego w Polsce		
O13	Wzrost zainteresowania medycyną indywidualizowaną	–	–		

Tabela 2.6. Identyfikacja wyzwań i działań

Wyzwanie	Źródło	Propozycja działań
Brak globalnych liderów z regionu – mimo wysokiego potencjału naukowego i rozwoju technologicznego brakuje międzynarodowych graczy powiązanych z regionem	Interakcja sił i szans	Współpraca regionalna ukierunkowana na przyciągnięcie kluczowego, globalnego gracza technologicznego do regionu
Maksymalizacja wykorzystania synergii IT i medycyny – zwiększanie pozycji konkurencyjnej regionu we wszystkich grupach technologii wymaga współpracy między ośrodkami medycznymi i informatycznymi	Interakcja sił i szans	Zacieśnienie współpracy podmiotów medycznych i informatycznych w ramach klastra MedSilesia
Internacjonalizacja rozwiązań – globalne zapotrzebowanie na technologie medyczne daje szansę na skalowanie produktów i usług	Interakcja sił i szans	Kontynuacja i poszerzenie oferty wsparcia internacjonalizacji członków klastra MedSilesia oraz ośrodków naukowych i badawczo-rozwojowych
Zdolność do spełniania uwarunkowań regulacyjnych i bioetycznych – profesjonalizm w tym zakresie może przyspieszać wdrażanie innowacji	Interakcja sił i zagrożeń	Kontynuacja i poszerzenie oferty szkoleniowej klastra MedSilesia oraz Regionalnego Obserwatorium Innowacji
Zapewnienie cyberbezpieczeństwa i integracji danych – przy dużej liczbie ośrodków i użytkowników kluczowe staje się bezpieczeństwo danych medycznych	Interakcja sił i zagrożeń	Kontynuacja i poszerzenie oferty szkoleniowej klastra MedSilesia oraz Regionalnego Obserwatorium Innowacji
Niefuorność wobec nowych technologii – mimo potencjału naukowego i klinicznego w regionie część personelu lub pacjentów może być oporna wobec zmian technologicznych	Interakcja sił i zagrożeń	Tworzenie demonstratorów, living labów, ekspozycji dotyczących nowych technologii w medycynie
Wysokie koszty inwestycyjne – nowe technologie medyczne wymagają dużych nakładów, które są trudne do pozyskania nawet dla relatywnie doświadczonych graczy	Interakcja sił i zagrożeń	Promowanie partnerstw publiczno-prywatnych lub systemów publicznego lewarowania inwestycji prywatnych, jako mechanizmu finansowania technologii medycznych
Niskie nakłady na B + R w regionie – mimo obecności ważnych instytucji naukowych i medycznych, możliwości finansowania innowacji są ograniczone	Interakcja słabości i szans	Promowanie partnerstw publiczno-prywatnych lub systemów publicznego lewarowania inwestycji prywatnych jako mechanizmu finansowania technologii medycznych
Brak zaawansowanych rozwiązań wywodzących się z regionu – większość projektów ma niski poziom dojrzałości rynkowej	Interakcja słabości i szans	Promowanie partnerstw publiczno-prywatnych lub systemów publicznego lewarowania inwestycji prywatnych, jako mechanizmu finansowania technologii medycznych
Niski udział podmiotów z regionu we wdrażaniu przełomowych metod, takich jak CAR-T – mimo potencjału naukowego region nie jest liderem w rozwoju zaawansowanych terapii czy metod rehabilitacji	Interakcja słabości i szans	Współpraca regionalna ukierunkowana na przyciągnięcie kluczowego, globalnego gracza technologicznego do regionu lub konsensus regionalny względem wnioskowania o krótką listę priorytetowych inwestycji rządowych do zrealizowania na rzecz medycyny w regionie
Słaba integracja systemów medycznych – ogranicza efektywność rozwiązań związanych z cyfrowym profilem pacjenta oraz cyfrowymi bliźniakami	Interakcja słabości i szans	Wykorzystanie potencjału już posiadanych rozwiązań pilotażowych (np. w kardiologii) lub wdrażanych regionalnych platform danych medycznych

Wyzwanie	Źródło	Propozycja działań
Zapewnienie potencjału kadrowego sektora w regionie – chęć uzyskania lepszych możliwości finansowych lub zaspokojenie ambicji w pracy w zespołach kluczowych graczy globalnych prowadzi do utraty wartościowych pracowników branży oraz nieprzyciągania nowych	Interakcja słabości i zagrożeń	Promowanie partnerstw publiczno-prywatnych lub systemów publicznego lewarowania inwestycji prywatnych, jako mechanizmu finansowania technologii medycznych
Wysokie ryzyko ugrzęźnięcia technologicznego – skoncentrowanie na niskobudżetowych, niekomercjalizowanych projektach powoduje trwałe utrzymywanie dystansu do kluczowych graczy w branży	Interakcja słabości i zagrożeń	Promowanie partnerstw publiczno-prywatnych lub systemów publicznego lewarowania inwestycji prywatnych, jako mechanizmu finansowania technologii medycznych
Tendencja do dominacji rutynowych sposobów prowadzenia działalności medycznej – brak zaufania lub obawy względem nowych technologii, w warunkach niestabilnej polityki inwestycyjnej i regulacyjnej kraju stwarza postawy zachowawcze i oportunistyczne, także u liderów opinii	Interakcja słabości i zagrożeń	Kontynuacja i poszerzenie oferty szkoleniowej klastra MedSilesia oraz Regionalnego Obserwatorium Innowacji

Literatura

Raporty i opracowania

- Boulos M., Zhang P. (2021): Digital twins: from personalised medicine to precision public health. *Journal of Personalized Medicine*, Vol. 11(8), 745. <https://doi.org/10.3390/jpm11080745>.
- Brecko A., Pomšár L., Zolotová I. (2023): Web application for personal digital health records. *Acta Electrotechnica et Informatica*, Vol. 23(3), 16-26. <https://doi.org/10.2478/aei-2023-0013>.
- Cheng H., Dai H., Tan X., Li H., Liang H., Hu C., Huang M., Lee J. Y., Zhao J., Zhou L., Wang Y., Zhang L., Yoon J. (2022): A facile, protein-derived supramolecular theranostic strategy for multimodal-imaging-guided photodynamic and photothermal immunotherapy in vivo. *Advanced Materials*, Vol. 34(11), 2109111. <https://doi.org/10.1002/adma.202109111>.
- Dalecki D., Hocking D. C. (2014): Ultrasound technologies for biomaterials fabrication and imaging. *Annals of Biomedical Engineering*, Vol. 43(3), 747-761. <https://doi.org/10.1007/s10439-014-1158-6>.
- Defi I., Iskandar S., Charismawati S., Turnip A., Novita D. (2022): Healthcare workers' point of view on medical robotics during Covid-19 pandemic – a scoping review. *International Journal of General Medicine*, Vol. 15, 3767-3777. <https://doi.org/10.2147/ijgm.s355734>.
- Elendu C. Amaechi D. C., Elendu T. C., Jingwa K. A., Okoye O. K., John O., Ladele J., Farah A. H., Alimi H. A. (2023): Ethical implications of ai and robotics in healthcare: a review. *Medicine*, Vol. 102(50), e36671. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000036671>.
- Fuller A., Fan Z., Day C., Barlow C. (2020): Digital twin: enabling technologies, challenges and open research. *IEEE Access*, Vol. 8, 108952-108971. <https://doi.org/10.1109/access.2020.2998358>.
- Herson J. (2023): Digital twins: a futuristic artificial intelligence methodology for design and analysis of clinical trials. *Annals of Biostatistics & Biometric Applications*, Vol. 5(3). <https://doi.org/10.33552/abba.2023.05.000611>.
- Huang H., Lovell J. F. (2016): Advanced functional nanomaterials for theranostics. *Advanced Functional Materials*, Vol. 27(2), 1603524. <https://doi.org/10.1002/adfm.201603524>.
- Janib S., Moses A., MacKay J. (2010): Imaging and drug delivery using theranostic nanoparticles. *Advanced Drug Delivery Reviews*, Vol. 62(11), 1052-1063. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2010.08.004>.
- Jarva E., Oikarinen A., Andersson J., Pramila-Savukoski S., Hammarén M., Mikkonen K. (2024): Healthcare professionals' digital health competence profiles and associated factors: a cross-sectional study. *Journal of Advanced Nursing*, Vol. 80(8), 3236-3252. <https://doi.org/10.1111/jan.16096>.
- Jarva E., Oikarinen A., Andersson J., Tuomikoski A., Kääriäinen M., Meriläinen M., Mikkonen K. (2022): Healthcare professionals' perceptions of digital health competence: a qualitative descriptive study. *Nursing Open*, Vol. 9(2), 1379-1393. <https://doi.org/10.1002/nop2.1184>.
- Kaul R., Ossai C., Forkan A. R. M., Jayaraman P. P., Zelcer J., Vaughan S., Wickramasinghe N. (2022): The role of ai for developing digital twins in healthcare: the case of cancer care. *Wiley Interdisciplinary Reviews Data Mining and Knowledge Discovery*, Vol. 13(1), e1480. <https://doi.org/10.1002/widm.1480>.
- Kerativitayan P., Carrow J. K., Gaharwar A. K. (2015): Nanomaterials for engineering stem cell responses. *Advanced Healthcare Materials*, Vol. 4(11), 1600-1627. <https://doi.org/10.1002/adhm.201500272>.
- Khan Z., Siddique A., Lee C. (2020): Robotics utilization for healthcare digitization in global Covid-19 management. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 17(11), 3819. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113819>.

- Larsen L., Søndergaard J., Thomsen J. L., Halling A., Sønnerlund A., Christensen J. R., Thilsing T. (2019): Step-wise approach to prevention of chronic diseases in the danish primary care sector with the use of a personal digital health profile and targeted follow-up – an assessment of attendance. *BMC Public Health*, Vol. 19(1), 1092. <https://doi.org/10.1186/s12889-019-7419-4>.
- Lee J., Lee T., Choi J. (2016): Nano-biosensor for monitoring the neural differentiation of stem cells. *Nanomaterials*, Vol. 6(12), 224. <https://doi.org/10.3390/nano6120224>.
- Louie A., Huntington K., Carlsen L., Zhou L., El-Deiry W. (2021): Integrating molecular biomarker inputs into development and use of clinical cancer therapeutics. *Frontiers in Pharmacology*, Vol. 12, 747194. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.747194>.
- Lupton D. (2014): Critical perspectives on digital health technologies. *Sociology Compass*, Vol. 8(12), 1344-1359. <https://doi.org/10.1111/soc4.12226>.
- Mammadova M. H., Ahmadova A. A. (2023): Development of digital twin ecosystem and ontology in medicine. *Technology Transfer Fundamental Principles and Innovative Technical Solutions*, Special Issue, 21-23. <https://doi.org/10.21303/2585-6847.2023.003203>.
- Mikkonen K., Yamakawa M., Tomietto M., Tuomikoski A., Utsumi M., Jarva E., Kääriäinen M., Oikarinen A. (2022): Randomised controlled trials addressing how the clinical application of information and communication technology impacts the quality of patient care – a systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Nursing*, Vol. 32(13-14), 3295-3314. <https://doi.org/10.1111/jocn.16448>.
- Morgan A., Abdi J., Syed M., Kohen G., Barlow P., Vizcaychipi M. (2022): Robots in healthcare: a scoping review. *Current Robotics Reports*, Vol. 3(4), 271-280. <https://doi.org/10.1007/s43154-022-00095-4>.
- Murphy S. V., Atala A. (2014): 3D bioprinting of tissues and organs. *Nature Biotechnology*, Vol. 32(8), 773-785. <https://doi.org/10.1038/nbt.2958>.
- Narayanan K., Mishra S., Singh S., Pei M., Gulyás B. (2017): Engineering concepts in stem cell research. *Biotechnology Journal*, Vol. 12(12), 1700066. <https://doi.org/10.1002/biot.201700066>.
- Nawrat Z., Krawczyk D. (2019): Robin Heart czyli jak pokonać odległość i wykorzystać człowieka jako element układu sterowania telemanipulatora. *Medical Robotics Repots*, Vol. 8-9, 48-55.
- Nawrat Z. (2024): Medical Robots and Minimally Invasive Surgery Driven by Artificial Intelligence: MR&MIS AI. W: K. Karcz, Z. Nawrat, A. A. Gumbs (Red.), *Artificial Intelligence and the Perspective of Autonomous Surgery* (s. 3-28). Cham, Springer.
- Nikolaou V., Massaro S., Fakhimi M., Garn W. (2022): Using machine learning to detect theranostic biomarkers predicting respiratory treatment response. *Life*, Vol. 12(6), 775. <https://doi.org/10.3390/life12060775>.
- Pateras J., Lodi M., Rana P., Ghosh P. (2023): Data clustering with improved expectation maximization for multiomics data integration. *TechRxiv*, <https://doi.org/10.36227/techrxiv.24526672>.
- Pausic V., Jovanovic G., Simić S. (2021): Robotics in physical medicine and neurorehabilitation. *Medicinski Pregled*, 74(1-2), 50-53. <https://doi.org/10.2298/mpns2102050p>.
- Pesapane F., Rotili A., Penco S., Nicosia L., Cassano E. (2022): Digital twins in radiology. *Journal of Clinical Medicine*, Vol. 11(21), 6553. <https://doi.org/10.3390/jcm11216553>.
- Rajapaksha W., Khetan R., Johnson I. R. D., Blencowe A., Garg S., Albrecht H., Gillam T. A. (2024): Future theranostic strategies: emerging ovarian cancer biomarkers to bridge the gap between diagnosis and treatment. *Frontiers in Drug Delivery*, Vol. 4, 1339936. <https://doi.org/10.3389/fddev.2024.1339936>.
- Semyonov A., Bogdan E., Shamal E., Sargsyan A., Davtyan K., Azzopardi-Muscat N., Novillo-Ortiz D. (2023): Digital health information systems in the member states of the commonwealth of independent states: status and prospects. *Digital*, Vol. 3(3), 189-199. <https://doi.org/10.3390/digital3030013>.
- Shull J. G. (2019): Digital health and the state of interoperable electronic health records. *JMIR Medical Informatics*, Vol. 7(4), e12712. <https://doi.org/10.2196/12712>.
- Subramanian I., Verma S., Kumar S., Jere A., Anamika K. (2020): Multi-omics data integration, interpretation, and its application. *Bioinformatics and Biology Insights*, Vol. 14. <https://doi.org/10.1177/1177932219899051>.
- Troccaz J., Dagnino G., Yang G. (2019): Frontiers of medical robotics: from concept to systems to clinical translation. *Annual Review of Biomedical Engineering*, Vol. 21(1), 193-218. <https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-060418-052502>.
- VanderLaan P., Rangachari D., Majid A., Parikh M., Gangadharan S., Kent M., Costa D., McDonald D. C., Huberman M. S., Kobayashi S. S., Costa D. B. (2018): Tumor biomarker testing in non-small-cell lung cancer: a decade of change. *Lung Cancer*, Vol. 116, 90-95. <https://doi.org/10.1016/j.lungcan.2018.01.002>.

Vansimaey C., Benamar L., Balagué C. (2021): Digital health and management of chronic disease: a multimodal technologies typology. The International Journal of Health Planning and Management, Vol. 36(4), 1107-1125. <https://doi.org/10.1002/hpm.3161>.

Wang Z. (2024): Enhancing cancer prediction accuracy through real-time monitoring and artificial intelligence analysis for patients. Highlights in Science Engineering and Technology, Vol. 85, 309-315. <https://doi.org/10.54097/rw17nn71>.

Winter P. D., Chico T. J. A. (2023): Using the non-adoption, abandonment, scale-up, spread, and sustainability (NASSS) framework to identify barriers and facilitators for the implementation of digital twins in cardiovascular medicine. Sensors, Vol. 23(14), 6333. <https://doi.org/10.3390/s23146333>.

Zhang J., Ning L., Huang J., Zhang C., Pu K. (2020): Activatable molecular agents for cancer theranostics. Chemical Science, Vol. 11(3), 618-630. <https://doi.org/10.1039/c9sc05460j>.

Zhang W., Haiyuan L., Cui L., Li H., Zhang X., Fang S., Zhang Q. (2021): Research progress and development trend of surgical robot and surgical instrument arm. International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery, Vol. 17(5), e2309. <https://doi.org/10.1002/rcs.2309>.

Publikacje internetowe

<https://world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/radioisotopes-research/radioisotopes-in-medicine>

Lista podmiotów zaangażowanych w badanie

Eksperti panelu zaangażowani przy opracowaniu diagnoz i identyfikacji technologii reprezentowali następujące instytucje i przedsiębiorstwa:

- Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach,
- Fundację Rozwoju Kardiochirurgii im. prof. Zbigniewa Religi,
- Śląskie Centrum Chorób Serca,
- Narodowy Instytut Onkologii – Państwowy Instytut Badawczy Oddział w Gliwicach,
- Politechnikę Śląską,
- Krakowski Instytut Technologiczny – Sieć Badawczą Łukasiewicz,
- Centrum Leczenia Oparzeń im. dr Stanisława Sakiela w Siemianowicach Śląskich,
- Innovations for Heart and Vessels Sp. z o.o.,
- EGZOTech sp. z o.o.

Ponadto w proces badawczy zaangażowani byli członkowie Krajowego Klastra Kluczowego MedSilesia – Śląska Sieć Wyrobów Medycznych³.

MedSilesia zapewnia skuteczną platformę współpracy – dialogu przedsiębiorstw, jednostek badawczo-rozwojowych oraz efektywne wykorzystanie i połączenie ich potencjałów w celu wdrażania innowacyjnych rozwiązań i technologii, transferu i absorpcji wiedzy, doświadczeń między współpracującymi podmiotami, a także podejmowania przez nich wspólnych działań i realizację wspólnych projektów mających wpływ na globalny łańcuch wartości.

Koordynator Klastra MedSilesia – Górnośląski Akcelerator Przedsiębiorczości i Rozwoju Sp. z o.o. zaangażował kilkadziesiąt podmiotów w konsultacje w zakresie opracowania diagnozy. Dodatkowo liderzy Grup Tematycznych działających w klastrze MedSilesia wypowiedzieli się w obszarze identyfikacji priorytetowych technologii woj. śląskiego dla obszaru technologicznego medycyna. Liderzy zaangażowanych w ramach grup tematycznych to:

- Technomex Sp. z o.o.
- Egerton Sp. z o.o.
- GRAYLIGHT IMAGING Sp. z o.o.
- 2KMM Sp. z o.o.
- Revolve Healthcare Sp. z o.o.
- F.R.K. „INTRA-CORDIS” Sp. z o.o.
- Śląski Park Technologii Medycznych Kardio-Med Silesia Sp. z o.o.
- GABOS Software Sp. z o.o.

³ www.medsilesia.com

Technologie dla energetyki

Autorzy

Patryk Białas^{*}

Agnieszka Zięcina^{*}

Anna Gorczyca^{*}

Stanisław Grygierczyk^{*}

Adam Jankowski^{**}

Marcin Fice^{***}

Marek Rojczyk^{***}

^{*}Park Naukowo-Technologiczny Euro-Centrum

^{**}Pracownia Planowania Energetycznego

^{***}Politechnika Śląska



Fundusze Europejskie
dla Śląskiego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Województwo
Śląskie

3.1. Identyfikacja obszarów technologicznych, grup technologicznych i technologii

3.1.1. Opis metodologii

Park Naukowo-Technologiczny Euro-Centrum zrealizował zadanie identyfikacji kluczowych obszarów technologicznych wspierających rozwój energetyki oraz proces dekarbonizacji. Proces ten wymagał zastosowania kompleksowej metodyki obejmującej wykorzystanie kilku wzajemnie uzupełniających się metod badawczych, zgodnie z zasadą triangulacji. Poniżej przedstawiono zastosowane podejście metodologiczne.

1. Analiza danych zastanych (desk research)

Cel: Zgromadzono i przeanalizowano istniejące dane, takie jak raporty rynkowe, publikacje naukowe, analizy patentowe, plany inwestycyjne czy dokumenty strategiczne dotyczące rozwoju sektora energetycznego.

Zakres: Analiza objęła globalne trendy technologiczne, przy czym szczególną uwagę poświęcono lokalnej specyfice, uwzględniając potencjał regionu, w którym funkcjonuje Park Naukowo-Technologiczny Euro-Centrum. W procesie uwzględniono m.in. dane dotyczące efektywności technologicznej, innowacyjności oraz wpływu na środowisko.

Korzyści: Metoda umożliwiła identyfikację istniejących rozwiązań technologicznych, określenie potencjału rynkowego oraz wskazanie obszarów wymagających dalszych badań. Analiza desk research dostarczyła danych ilościowych, które stanowiły solidną podstawę dla dalszych etapów procesu.

2. Warsztaty i panele eksperckie

Cel: Zorganizowano dyskusje z udziałem przedstawicieli świata nauki, przemysłu, administracji publicznej oraz innych interesariuszy zaangażowanych w rozwój energetyki.

Zakres warsztatów obejmował:

- identyfikację kluczowych wyzwań technologicznych i rynkowych,
- ocenę potencjału innowacyjnego poszczególnych technologii,
- wypracowanie wspólnej wizji rozwoju.

Korzyści: Dyskusje prowadzone podczas warsztatów umożliwiły uzyskanie wiedzy eksperckiej oraz wygenerowanie nowych pomysłów. Metoda dostarczyła danych jakościowych i pozwoliła na ocenę wyników desk research z perspektywy praktyków i decydentów.

3. Zasada triangulacji metod

Aby zapewnić wysoką jakość i rzetelność wyników zastosowano zasadę triangulacji. Polegała ona na wykorzystaniu wyników pochodzących z co najmniej dwóch różnych metod badawczych oraz ich wzajemnej weryfikacji. Wyniki desk research zostały porównane z opiniami uczestników warsztatów eksperckich. Triangulacja pozwoliła na:

- zminimalizowanie ryzyka błędów przez porównanie danych z różnych źródeł,
- uzyskanie bardziej kompleksowego obrazu badanego zjawiska,
- identyfikację nowych, nieoczywistych perspektyw.

4. Proces badawczy

- definicja celu badań: zakres badania został precyzyjnie określony jako identyfikacja technologii wspierających dekarbonizację energetyki,
- kryteria oceny technologii: potencjał rynkowy, stopień dojrzałości technologicznej i wpływ środowiskowy,
- zbieranie danych: przeprowadzono desk research oraz zorganizowano warsztaty i wywiady,
- analiza danych: zidentyfikowano wzorce, trendy i obszary wymagające dalszych badań,
- synteza wyników: połączono wyniki otrzymane za pomocą różnych metod, wypracowując wspólne wnioski,
- opracowanie raportu: przygotowano szczegółowy raport zawierający wyniki i rekomendacje.

5. Oczekiwane rezultaty

W wyniku zastosowania opisanej metodyki Park Naukowo-Technologiczny Euro-Centrum opracował:

- informacje o kluczowych obszarach technologicznych wspierających rozwój energetyki,
- najbardziej obiecujące technologie do dalszego rozwoju i komercjalizacji,
- mapę drogową (jako wdrażanie nowych technologii i strategii wspierania innowacji w energetyce).

3.1.2. Zakres obszaru technologicznego

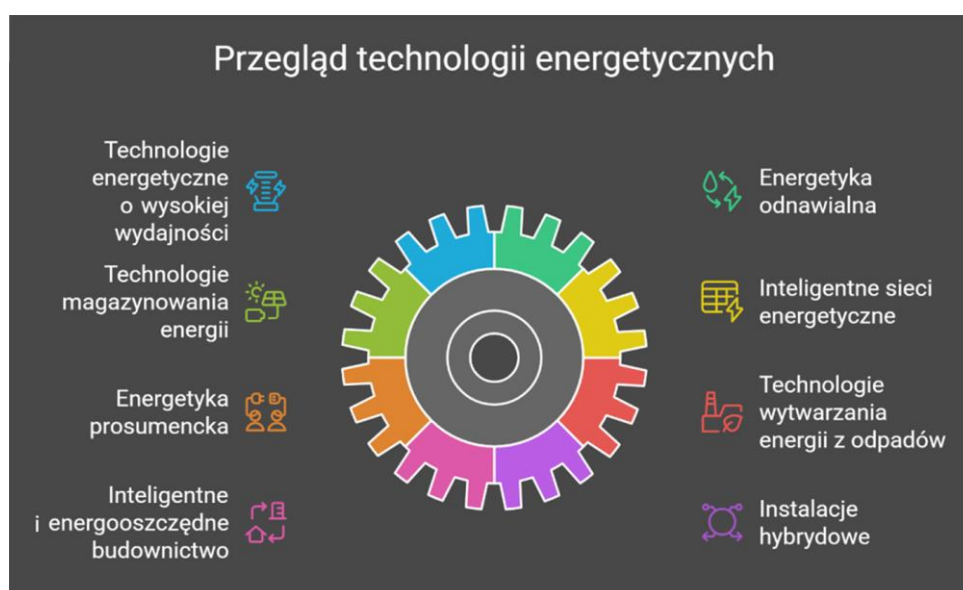
Zakres obszaru technologicznego – Energetyka

Poziom 1: Obszar technologii

Energetyka, jako kluczowa dziedzina gospodarki woj. śląskiego, obejmuje działania badawcze i wdrożeniowe mające na celu transformację energetyczną regionu w kierunku gospodarki niskoemisyjnej. Obszar ten koncentruje się na nowoczesnych technologiach wytwarzania, przesyłania, magazynowania energii oraz ich integracji w systemach inteligentnych i dystrybucji do odbiorców końcowych. Ważnym elementem pozostaje odpowiednie planowanie, dzięki wykorzystaniu nowoczesnych technologii (Przemysł 4.0), szczególnie w zbieraniu informacji (z systemów sterujących i serwerów, oczujnikowanie), przetwarzaniu (odpowiednie algorytmy samouczące) oraz w elementach wykonawczych (sterowanie lub bazująca na systemie inteligentnym i doradczym rekomendacja działań).

Poziom 2: Grupy technologii

1. Technologie pozwalające na dekarbonizację istniejących sektorów.
2. Energetyka odnawialna.
3. Technologie magazynowania energii.
4. Inteligentne sieci energetyczne (smart grids).
5. Energetyka prosumencka.
6. Technologie wytwarzania energii z odpadów.
7. Inteligentne i energooszczędne budownictwo.
8. Instalacje hybrydowe łączące różne źródła energii.



Rys. 3.1. Przegląd technologii energetycznych (wygenerowany przy pomocy Napkin AI)

Tabela 3.1. Macierz zgodności technologicznej dla woj. śląskiego

Technologia	Zgodność z celami klimatycznymi UE	Zgodność z regionalną strategią Śląska	Poziom gotowości technologicznej (TRL)	Potencjalni beneficjenci
Wodór w energetyce	Wysoka (Fit for 55)	Wysoka (Strategia Zielone Śląskie 2030)	Średnia (TRL 6–8)	Przemysł chemiczny, transport, energetyka
Magazynowanie energii (baterie, P2X)	Wysoka (Green Deal)	Wysoka	Wysoka (TRL 7–9)	Przemysł, sieci elektroenergetyczne, prosumenci
Smart grids (inteligentne sieci)	Średnia	Wysoka	Średnia (TRL 7–8)	Energetyka, gminy, operatorzy systemów przesyłowych
Fotowoltaika (PV)	Wysoka	Wysoka	Bardzo wysoka (TRL 9)	Prosumenci, przemysł, gminy
CCS (ang. <i>carbon capture and storage</i>)	Średnia	Średnia	Niska (TRL 4–6)	Przemysł ciężki (hutnictwo, cementownie)

Grupa technologii: Technologie pozwalające na dekarbonizację istniejących sektorów

Opis i zakres

Wysokosprawne technologie energetyczne stanowią innowacyjne podejście do optymalizacji procesów wytwarzania i przetwarzania energii, zwłaszcza w energetyce zawodowej. Rozwój tych technologii koncentruje się na:

- Budowaniu zaawansowanych cykli kombinowanych – takich jak obiegi parowo-gazowe, które łączą zalety turbin gazowych i parowych, pozwalając na uzyskanie sprawności energetycznej przekraczającej 60%.
- Wykorzystywaniu kotłów i palenisk o wysokiej sprawności energetycznej, których innowacyjne konstrukcje minimalizują straty ciepła i zmniejszają emisję gazów cieplarnianych.
- Rozwoju nowych materiałów – materiały o wyższej odporności na temperaturę i korozję, np. stal żaroodporna i nadstopy niklu zapewniają większą trwałość urządzeń (np. turbin gazowych, kotłów odzyskowych, rurociągów i innych elementów konstrukcyjnych) oraz zwiększają ich sprawność.
- Szerszej implementacji kogeneracji i trigeneracji przez stosowanie m.in. silników spalinowych (jednoczesna produkcja ciepła, chłodu i energii elektrycznej), turbin parowych i ogniw paliwowych. Połączenie procesów daje oszczędność paliwa, zmniejszenie emisji, a także wysoką sprawność skumulowaną.
- Zastosowaniu pomp ciepła nowej generacji – urządzeń o wysokim współczynniku efektywności (COP) i zdolności pracy w szerokim zakresie temperatur, które wykorzystują ekologiczne czynniki robocze, charakteryzujące się stabilną, cichszą pracą po spełnieniu warunku właściwego zaprojektowania, doboru i instalacji.
- Zastosowaniu technologii CCS – wychwyt CO₂ w instalacjach energetycznych (a) przed procesem spalania – m.in. układy parowo-gazowe zintegrowane ze zgazowaniem węgla, (b) po procesie spalania – w konwencjonalnych obiektach energetycznych, (c) oczyszczanie i sprężanie CO₂ z procesów spalania w atmosferze O₂/CO₂ (tzw. oxy-spalanie) i procesów przemysłowych oraz jego magazynowanie w głębokich formacjach geologicznych. CO₂ wykorzystuje się jako surowiec do produkcji paliw syntetycznych, chemikaliów lub materiałów budowlanych. Technologia CCS jest szczególnie ważna w sektorach trudnych do dekarbonizacji (także na Śląsku), takich jak przemysł ciężki (zwłaszcza hutnictwo). Ze względu na zatłaczanie CO₂ do górotworu konieczne jest szczególnie dokładne monitorowanie składowiska, aby zapewnić jego trwałość i bezpieczeństwo.

Technologie power-to-heat w efektywny sposób mogą wykorzystać wytworzoną już przy pomocy technologii odnawialnych źródeł energii (OZE) energię elektryczną. W skład technologii i urządzeń określanych jako P2H wchodzi wymienione już wcześniej technologie, takie jak: kotły elektrodowe, kotły oporowe, pompy ciepła, magazyny ciepła. Zastosowanie tych technologii umożliwia wykorzystanie energii pochodzącej z OZE, redukcję emisji gazów cieplarnianych czy poprawę

efektywności energetycznej skumulowanej, przez relatywnie wysoką sprawność przetwarzania. Technologie te wspierają efektywne wykorzystanie zarówno paliw kopalnych, jak i odnawialnych źródeł energii elektrycznej, zmniejszają emisję zanieczyszczeń i stanowią pomost w przejściu od energetyki konwencjonalnej do odnawialnej. Przykładem zastosowania wysokosprawnych technologii energetycznych są nowoczesne bloki energetyczne z turbinami gazowymi, które wykorzystują odpadowe ciepło do generowania pary napędzającej turbinę parową lub wykorzystanie nadmiaru energii elektrycznej z OZE do wytwarzania i magazynowania ciepła.

Uzasadnienie wyboru

Woj. śląskie, będące historycznie centrum energetyki konwencjonalnej, stoi przed wyzwaniem transformacji sektora energetycznego. Konieczność zmniejszenia emisji CO₂ oraz poprawa efektywności energetycznej są kluczowe dla realizacji celów polityki klimatycznej i ekonomicznej regionu.

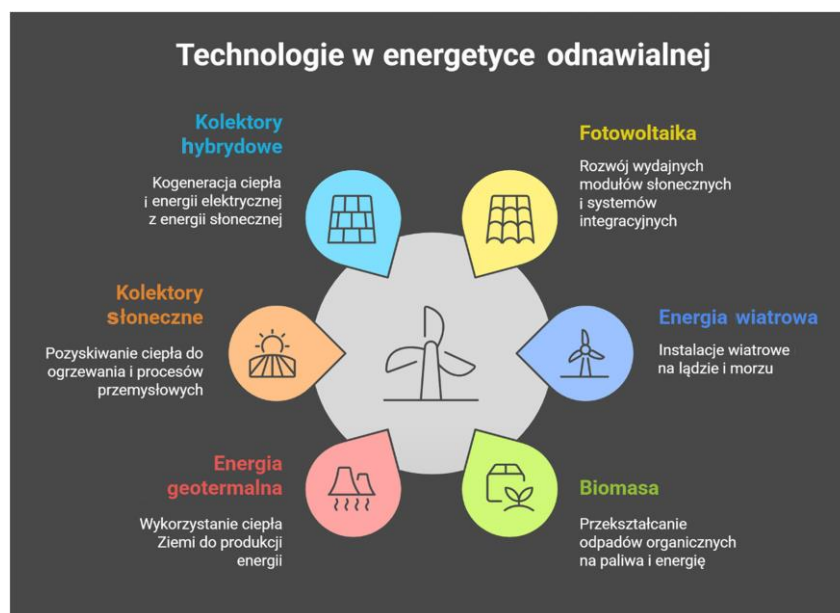
Rozwój i wdrożenie tych technologii w regionie wzmacnia dodatkowo lokalny przemysł maszynowy i chemiczny, tworząc miejsca pracy w branżach wysokotechnologicznych. Przykłady takich inwestycji, jak bloki energetyczne klasy 900 MW w Jaworznie czy blok parowo-gazowy, który PGE Polska Grupa Energetyczna buduje w Rybniku, pokazują potencjał praktycznego zastosowania wysokosprawnych rozwiązań, co stanowi dowód skuteczności i opłacalności tej grupy technologii.

Grupa technologii: Energetyka odnawialna

Opis i zakres

Energetyka odnawialna obejmuje technologie wykorzystujące odnawialne źródła energii, takie jak energia słoneczna, wiatrowa, wodna, geotermalna czy biomasa. Główne kierunki rozwoju w tej grupie to:

- fotowoltaika (PV) – rozwój wydajnych modułów fotowoltaicznych i systemów integrujących energię słoneczną w budynkach i instalacjach przemysłowych,
- energia wiatrowa – instalacje onshore i offshore,
- biomasa, bioolej, biogaz oraz wodór – rozwój technologii przetwarzania odpadów organicznych (oraz wodoru) na paliwa i energię elektryczną,
- energia geotermalna – instalacje geotermalne wykorzystujące ciepło Ziemi w różnej formie (wprost lub np. przez dolne źródło pomp ciepła) rozwijają się dynamicznie w całym kraju,
- kolektory słoneczne (ST) – pozyskiwanie ciepła, ogrzewania, wsparcie wytwarzania ciepła procesowego w przemyśle (SHIP), wsparcie wytwarzania ciepła w instalacjach ciepła sieciowego,
- kolektory hybrydowe (PVT) – kogeneracja słoneczna pozwalająca na pozyskiwanie ciepła i energii elektrycznej z jednej instalacji.



Rys. 3.2. Technologie w energetyce (wygenerowany przy pomocy Napkin AI)

Energetyka odnawialna pozwala na produkcję energii elektrycznej, ciepła oraz chłodu w sposób zrównoważony i przyjazny dla środowiska. Energia słoneczna i wiatrowa zależna jest głównie od czynników atmosferycznych, dlatego niezbędny jest rozwój magazynów energii i ciepła, które pozwalają pokryć zapotrzebowanie na energię elektryczną i ciepło w niesprzyjających warunkach pogodowych (brak wiatru czy słońca).

Uzasadnienie wyboru

Woj. śląskie, mimo ograniczeń wynikających z warunków naturalnych, posiada potencjał do rozwoju energetyki odnawialnej, również w obszarze wykorzystania potencjału terenów i warunków przemysłowych, w tym pogórnich. Wzrost inwestycji w OZE przyczynia się do poprawy jakości powietrza oraz zmniejszenia zależności od paliw kopalnych. Odnawialne i odpadowe źródła ciepła są kluczowym komponentem transformacji systemów ciepłowniczych województwa. Technologie te są wspierane przez krajowe i unijne programy finansowania, takie jak Europejski Zielony Ład, co dodatkowo motywuje do ich implementacji.

Ze względu na dużą różnorodność środowiskową i gospodarczą, woj. śląskie dysponuje znacznym potencjałem rozwojowym energetyki odnawialnej, który obejmuje:

- dużą dostępność terenów przemysłowych: możliwość budowy farm fotowoltaicznych,
- dostęp do zasobów biomasy: wykorzystanie odpadów przemysłowych, rolniczych i komunalnych,
- dostęp do znacznych przewyższeń (Beskid Śląski) – elektrownie szczytowo-pompowe,
- możliwości integracji z lokalnym przemysłem: przekształcenie infrastruktury przemysłowej na potrzeby produkcji komponentów OZE,
- istniejącą lokalnie bazę producentów elementów instalacji OZE,
- możliwość współpracy w działaniach B + R z instytucjami naukowymi.

Przykłady z regionu, takie jak budowa wielkoskalowej fotowoltaiki i mikroinstalacji PV, wykorzystanie kolektorów słonecznych do pozyskiwania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.) i wsparcia ogrzewania pokazują rosnące zaangażowanie w rozwój tej grupy technologii. Oczekuje się, że inwestycje w OZE będą kluczowe dla osiągnięcia celów z zakresu neutralności klimatycznej.

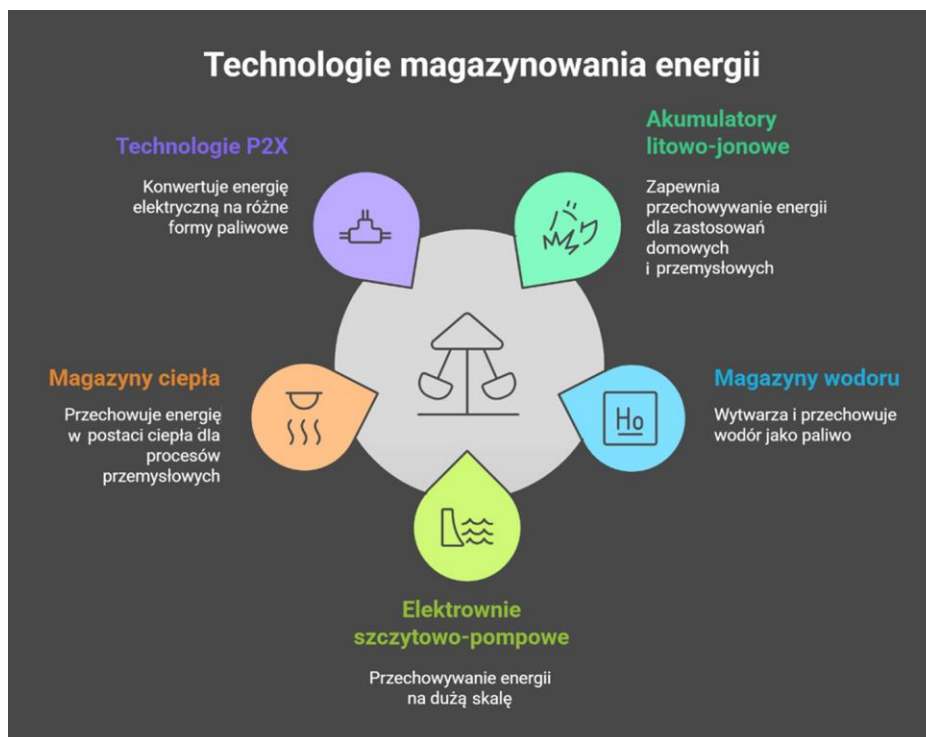
Grupa technologii: Technologie magazynowania energii

Opis i zakres

Technologie magazynowania energii odgrywają kluczową rolę w stabilizacji systemów energetycznych oraz integracji odnawialnych źródeł energii. Obejmują one:

- akumulatory litowo-jonowe – systemy wysokiej pojemności dla domowych i przemysłowych instalacji,
- magazyny wodoru – technologie wytwarzania, przechowywania i konwersji wodoru jako paliwa przyszłości,
- elektrownie szczytowo-pompowe – tradycyjne i niezawodne metody magazynowania dużych ilości energii,
- magazyny ciepła – systemy przechowujące energię w postaci ciepła, przydatne w przemysłowych procesach technologicznych oraz w sieciach ciepłowniczych,
- technologie konwersji Power-to-X (P2X) – Power-to-Gas (P2G): konwersja energii elektrycznej na wodór lub metan; Power-to-Heat (P2H): przetwarzanie nadwyżek energii na ciepło dla systemów ciepłowniczych; Power-to-Liquid (P2L): produkcja paliw syntetycznych z wykorzystaniem energii elektrycznej.

Technologie te umożliwiają efektywne zarządzanie energią w systemach opartych na OZE, redukując wahania produkcji oraz dostosowując podaż do zapotrzebowania.



Rys. 3.3. Technologie magazynowania energii (wygenerowany przy pomocy Napkin AI)

Uzasadnienie wyboru

Rozwój technologii magazynowania energii jest kluczowy dla stabilności sieci energetycznych i zapewnienia bezpieczeństwa zaopatrzenia odbiorców w ciepło, jak również znacznego obniżenia kosztów pozyskiwania energii w trakcie eksploatacji. Zdolność przechowywania nadwyżek energii z OZE oraz ich wykorzystania w okresach szczytowego zapotrzebowania, stanowi fundament transformacji energetycznej regionu.

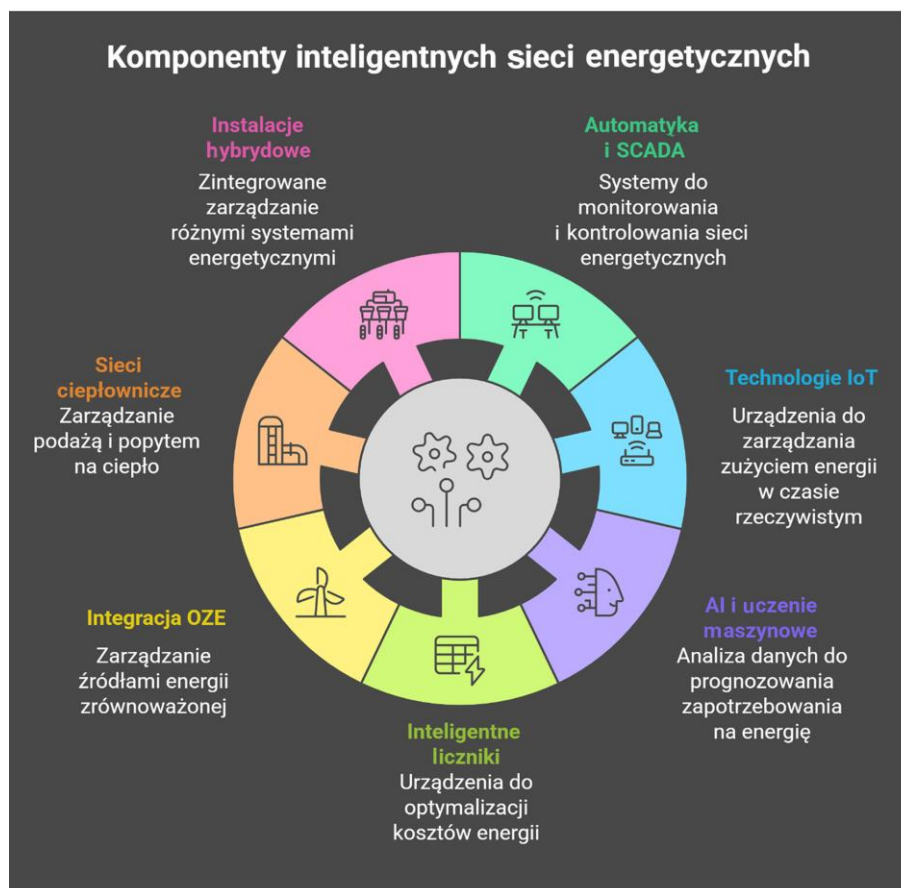
Województwo dysponuje potencjałem do wykorzystania istniejących zasobów przemysłowych w produkcji komponentów magazynów energii, co wspiera lokalny przemysł. Technologie te są niezbędne dla stworzenia nowoczesnego systemu energetycznego i podnoszą konkurencyjność regionu.

Grupa technologii: Inteligentne sieci energetyczne (smart grids)

Opis i zakres

Inteligentne sieci energetyczne integrują zaawansowane systemy zarządzania energią, technologie informatyczne oraz automatyzacji w celu poprawy efektywności i niezawodności sieci elektroenergetycznych. Kluczowe elementy tych sieci to:

- systemy automatyki i SCADA – monitorowanie, dynamiczna kontrola przepływów energii i szybka reakcja na zmiany w sieci,
- technologie internetu rzeczy (IoT) – monitorowanie i zarządzanie zużyciem energii w czasie rzeczywistym,
- sztuczna inteligencja (AI) i uczenie maszynowe: analiza danych w celu prognozowania zapotrzebowania na energię oraz identyfikacji anomalii w sieci,
- inteligentne liczniki – umożliwiają bieżące monitorowanie zużycia i optymalizację kosztów,
- integracja OZE – zarządzanie zmiennymi źródłami energii w systemach rozproszonych z wykorzystaniem magazynów energii,
- inteligentne sieci ciepłownicze – zarządzanie popytem i podażą ciepła w silnie rozwiniętych systemach ciepłowniczych województwa,
- instalacje hybrydowe z inteligentnym sterowaniem pracą instalacji.



Rys. 3.4. Komponenty inteligentnych sieci energetycznych (wygenerowany przy pomocy Napkin AI)

Uzasadnienie wyboru

Smart grid jest fundamentem przyszłej energetyki woj. śląskiego, umożliwiając integrację odnawialnych źródeł energii i rozwój energetyki prosumenckiej. Technologie te wspierają efektywne zarządzanie energią, redukcję strat w przesyle oraz optymalizację kosztów dla odbiorców końcowych.

Implementacja inteligentnych sieci w regionie wspiera lokalny przemysł technologii informacyjno-komunikacyjnych (ang. *Information and Communication Technology*, ICT) i tworzy miejsca pracy w sektorze nowoczesnych technologii. Woj. śląskie może stać się liderem w wykorzystywaniu smart grid w skali kraju.

Sieć elektroenergetyczna w woj. śląskim jest bardzo rozbudowana, przede wszystkim ze względu na skoncentrowane wytwarzanie energii dla całego kraju oraz obszarów przemysłowych. Jest to zatem doskonały poligon dla wdrażania inteligentnych sieci elektroenergetycznych.

Woj. śląskie jest drugim (po woj. mazowieckim) regionem najlepiej wyposażonym w systemy ciepłownicze w Polsce. Ich modernizacja i informatyzacja dają szansę na rozwój wykorzystania ciepła odpadowego i odnawialnego, produkowanego w oparciu o lokalny potencjał przemysłowy.

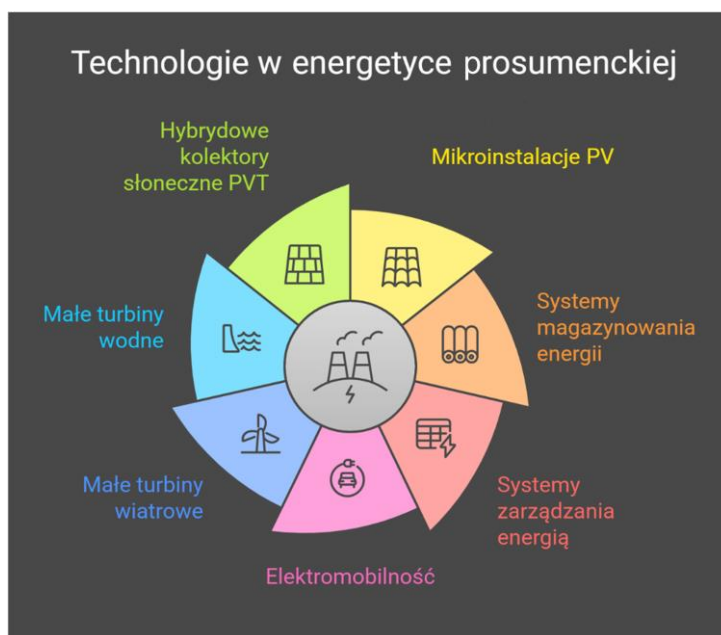
Grupa technologii: Energetyka prosumencka

Opis i zakres

Energetyka prosumencka w zakresie wytwarzania energii elektrycznej promuje lokalne wytwarzanie energii przez odbiorców końcowych i jej wykorzystanie na potrzeby własne. Kluczowe technologie stanowią:

- mikroinstalacje (PV) – małe systemy fotowoltaiczne montowane na dachach lub elewacjach budynków mieszkalnych i komercyjnych lub w ich sąsiedztwie,
- systemy magazynowania energii – integracja akumulatora energii elektrycznej z instalacjami PV, umożliwiającą jej użycie poza godzinami jej produkcji,

- systemy zarządzania energią – technologie umożliwiające optymalizację zużycia i minimalizację kosztów energii,
- elektromobilność – technologie integracji pojazdów elektrycznych: Vehicle-to-Home (V2H) i Vehicle-to-Grid (V2G); pojazdy elektryczne jako mobilne magazyny energii wspierające bilansowanie energetyczne gospodarstwa domowego lub sieci,
- małe turbiny wiatrowe,
- małe turbiny wodne,
- hybrydowe kolektory słoneczne (ang. *Photovoltaic Thermal*, PVT) – forma instalacji kogeneracyjnej, wykorzystujące promieniowanie słoneczne.



Rys. 3.5. Technologie w energetyce prosumenckiej (wygenerowany przy pomocy Napkin AI)

Uzasadnienie wyboru

Woj. śląskie może czerpać korzyści z rozwoju energetyki prosumenckiej, m.in. przez poprawę jakości powietrza i zmniejszenie obciążeń sieci elektroenergetycznej. Rozwój tej grupy technologii wspiera decentralizację energetyki i angażuje mieszkańców regionu w realizację procesu transformacji energetycznej.

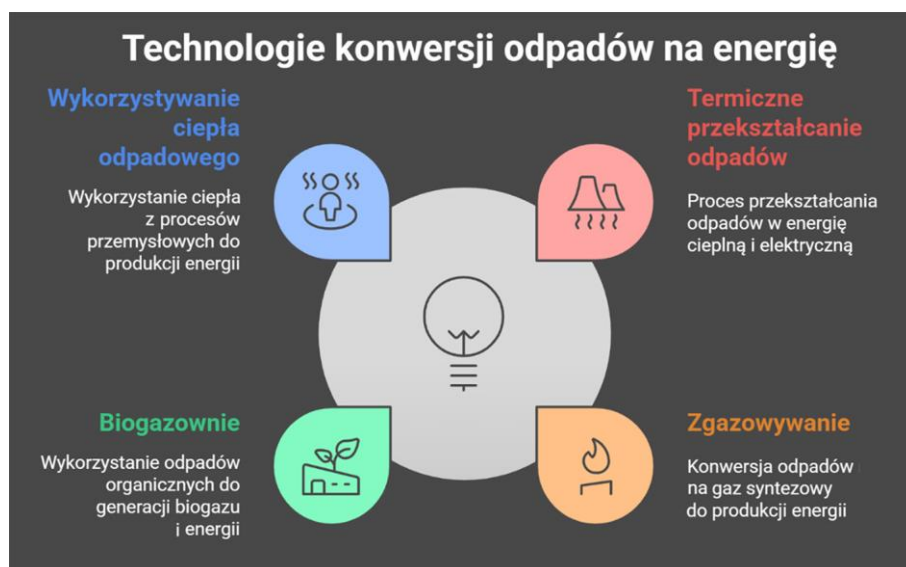
Dzięki wsparciu finansowemu oraz rosnącej świadomości ekologicznej technologie te stają się coraz bardziej popularne, co wskazuje na ich duży potencjał rozwojowy w regionie.

Grupa technologii: Technologie wytwarzania energii z odpadów

Opis i zakres

Technologie wytwarzania energii z odpadów wpisują się w gospodarkę o obiegu zamkniętym i obejmują procesy przekształcania odpadów organicznych i nieorganicznych w energię cieplną oraz elektryczną. Najważniejsze metody to:

- termiczne przekształcanie odpadów – generowanie energii przez wysokotemperaturowe przetwarzanie odpadów komunalnych,
- zgazowanie – konwersja odpadów na gaz syntezowy wykorzystywany do produkcji energii,
- biogazownie – wykorzystanie roślin energetycznych i odpadów organicznych do wytwarzania biogazu i energii elektrycznej,
- wykorzystywanie ciepła odpadowego.



Rys. 3.6. Technologie konwersji odpadów na energię (wygenerowany przy pomocy Napkin AI)

Uzasadnienie wyboru

Wytwarzanie energii z odpadów przyczynia się do rozwiązania problemu gromadzenia odpadów, jednocześnie wspierając rozwój gospodarki cyrkularnej. Technologie te są zgodne z celami redukcji emisji i ograniczania odpadów.

Woj. śląskie, z dużą ilością generowanych odpadów, wykazuje potencjał do rozwoju tego sektora. Przykłady instalacji biogazowych i instalacji termicznego przekształcania odpadów pokazują skuteczność tych rozwiązań.

Grupa technologii: Inteligentne i energooszczędne budownictwo

Opis i zakres

Grupa technologii związana z inteligentnym i energooszczędnym budownictwem odgrywa kluczową rolę w realizacji celów transformacji energetycznej woj. śląskiego. Skupia się na rozwoju nowych materiałów budowlanych, systemów ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji (ang. *Heating, Ventilation, Air Conditioning*, HVAC) oraz rekuperacji, a także zaawansowanych technologii zarządzania energią w budynkach, przy jednoczesnym wykorzystaniu IoT i AI.

Przykłady technologii:

1. Systemy zarządzania energią w budynkach (ang. *Building Energy Management Systems*, BEMS): technologie te wykorzystują IoT do monitorowania i optymalizacji zużycia energii w czasie rzeczywistym. Dzięki zastosowaniu czujników, algorytmów uczenia maszynowego oraz danych zewnętrznych (np. prognoz pogody), systemy te redukują zużycie energii, co prowadzi do obniżenia kosztów operacyjnych i emisji CO₂.
2. Innowacyjne materiały budowlane: rozwój materiałów o dobrych właściwościach termoizolacyjnych, takich jak aerożele, panele próżniowe czy materiały zmiennofazowe (ang. *phase change materials*, PCM), umożliwia zmniejszenie strat energii w budynkach. Materiały te są nie tylko energooszczędne, ale również ekologiczne, zgodnie ze strategią zrównoważonego rozwoju.
3. Technologie HVAC z funkcjami inteligentnego zarządzania: nowoczesne systemy ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji wyposażone w czujniki i oprogramowanie AI umożliwiają dostosowanie warunków klimatycznych panujących w budynku do potrzeb użytkowników, jednocześnie minimalizując zużycie energii.
4. Zintegrowane systemy fotowoltaiczne i kolektorów słonecznych (ang. *building integrated photovoltaics*, BIPV; *building integrated solar thermal*, BIST): instalacje fotowoltaiczne i ST wbudowane w strukturę budynków (np. fasady, dachy) nie tylko generują energię elektryczną

i ciepło, ale także pełnią funkcje konstrukcyjne i estetyczne, wspierając ideę budynków zeroemisyjnych.

5. Technologie magazynowania energii w budynkach: magazyny energii, takie jak akumulatory litowo-jonowe, wodne i zmiennofazowe magazyny ciepła czy technologie wodorowe, umożliwiając efektywne wykorzystanie energii odnawialnej w czasie rzeczywistym oraz zwiększając niezależność energetyczną użytkowników.



Rys. 3.7. Technologie dla zrównoważonego budownictwa (wygenerowany przy pomocy Napkin AI)

Uzasadnienie wyboru

Wybór inteligentnego i energooszczędnego budownictwa jako kluczowej grupy technologii w ramach obszaru energetyka wynika z jej dużego wpływu na zmniejszenie zużycia energii, redukcję emisji gazów cieplarnianych oraz poprawę jakości życia mieszkańców. Woj. śląskie, jako region o wysokim udziale infrastruktury przemysłowej i miejskiej, wymaga transformacji w kierunku konstruowania budynków inteligentnych, które są bardziej zrównoważone i efektywne energetycznie. Inwestycje w tę grupę technologii przyczynią się również do rozwoju lokalnych innowacji, tworzenia miejsc pracy w sektorach zaawansowanych technologii oraz poprawy konkurencyjności regionu na tle innych obszarów.

Poziom 3: Technologie:

Podział technologii dla energetyki na technologie badawcze i inżynieryjne lub wdrożeniowe

Technologie badawcze:

1. Technologie pozwalające na dekarbonizację istniejących sektorów:

- badania nad nowymi materiałami i technologiami zwiększającymi efektywność energetyczną,
- badania nad turbinami o ultrawysokiej sprawności (> 65%), wykorzystującymi wodór lub mieszanki innych gazów,
- badania nad optymalizacją procesów wytwarzania energii w konwencjonalnych elektrowniach,
- badania nad systemami samonaprawiającymi – badania nad urządzeniami zdolnymi do wykrywania i naprawy uszkodzeń w czasie rzeczywistym.

2. Technologie wytwarzania ogniw paliwowych:

- badania nad nowymi rodzajami ogniw paliwowych i materiałami zwiększającymi ich wydajność i trwałość,
- badania nad technologiami produkcji wodoru jako paliwa.

3. Energetyka odnawialna:

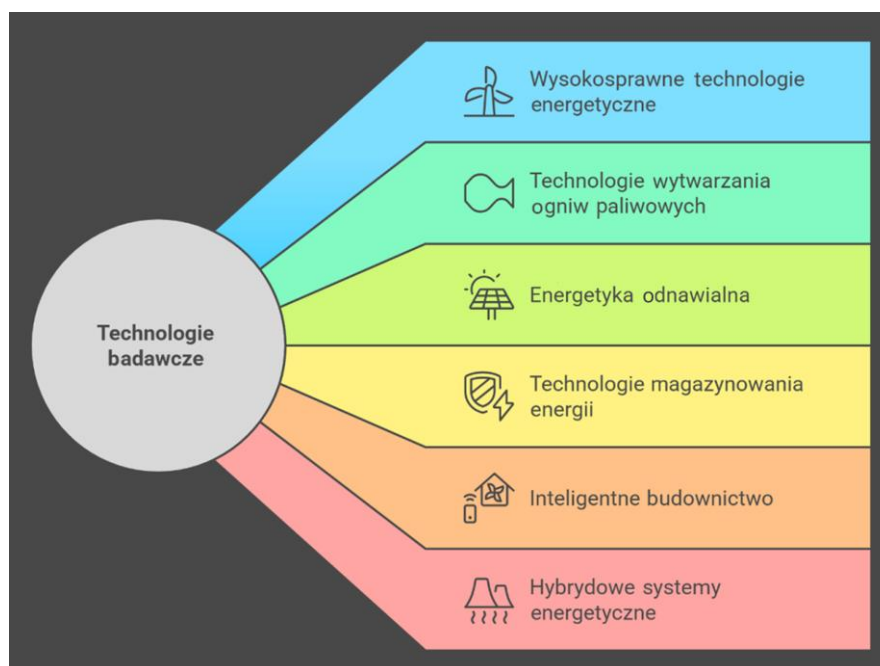
- badania nad nowymi materiałami i konstrukcjami dla fotowoltaiki, kolektorów słonecznych, kolektorów hybrydowych PVT, turbin wiatrowych i biomasowych,
- badania nad technologią produkcji paliw odnawialnych,
- badania nad metodami zwiększania efektywności konwersji energii słonecznej i wiatrowej.

4. Technologie magazynowania energii:

- badania nad nowymi materiałami i systemami przechowywania energii, np. bateriami i magazynami wodoru,
- badania nad materiałami zmiennofazowymi (PCM) – zastosowanie w magazynowaniu ciepła w wysokosprawnych systemach energetycznych,
- badania nad superkondensatorami i magazynami hybrydowymi – rozwój urządzeń łączących cechy akumulatorów i superkondensatorów,
- badania nad bioetanołem i biopaliwami II generacji – przetwarzanie odpadów organicznych, takich jak odpady komunalne i rolnicze na paliwa ciekłe.

5. Inteligentne i energooszczędne budownictwo:

- badania nad nowymi materiałami budowlanymi oraz technologiami HVAC,
- badania nad nowymi materiałami dla termochemicznego magazynowania ciepła oraz innowacyjnych konstrukcji zasobników ciepła dla budownictwa energooszczędnego,
- rozwój inteligentnych systemów zarządzania budynkami,
- badania nad zaawansowanymi algorytmami optymalizacji – wykorzystanie sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego do projektowania systemów o maksymalnej efektywności,
- badania nad instalacjami hybrydowymi, które łączą różne technologie wytwarzania ciepła i energii elektrycznej, magazynów energii i automatyki sterującej, pozwalające na stworzenie efektywnej instalacji energetycznej i cieplnej, wykorzystujące optymalne dla danych warunków konfiguracje.



Rys. 3.8. Podział technologii dla energetyki (wygenerowany przy pomocy Napkin AI)

Technologie inżynieryjne/wdrożeniowe:**1. Technologie pozwalające na dekarbonizację istniejących sektorów:**

- implementacja zaawansowanych cykli kombinowanych i wysokosprawnych kotłów w elektrowniach,
- instalacje wychwytywania CO₂ w hutnictwie i cementowniach w celu redukcji emisji związanych z procesami przemysłowymi.

2. Technologie wytwarzania ogniw paliwowych:

- wdrożenie i komercjalizacja technologii ogniw paliwowych i systemów zasilania wodorowego,
- tworzenie infrastruktury tankowania wodoru i wdrażanie wodoru jako paliwa w transporcie publicznym (np. w autobusach aglomeracji śląskiej).

3. Energetyka odnawialna:

- instalacja systemów PV, turbin wiatrowych, elektrowni wodnych i biomasowych,
- odnawialne źródła ciepła, np. biomasowe, kolektory słoneczne i kolektory hybrydowe PVT, wykorzystujące zasoby geotermalne wód kopalnianych,
- źródła wykorzystujące ciepło odpadowe, np. z gospodarki wodno-ściekowej z intensywnie zaludnionych rejonów województwa, stosujące e-paliwa odnawialne wytwarzane w regionie,
- wdrożenie systemów kogeneracyjnych opartych na gazie i biomasie w elektrociepłowniach miejskich i przemysłowych,
- budowa i eksploatacja farm opartych na energii odnawialnej.

4. Energetyka prosumencka:

- montaż mikroinstalacji PV, turbin wiatrowych, kolektorów słonecznych i kolektorów hybrydowych PVT oraz systemów magazynowania w gospodarstwach domowych,
- implementacja systemów inteligentnego zarządzania energią.

5. Technologie inteligentnych sieci (smart grids):

- wdrożenie systemów automatyki i technologii ICT w sieciach elektroenergetycznych,
- integracja OZE z sieciami elektroenergetycznymi przy użyciu zaawansowanych platform analitycznych.

6. Technologie magazynowania energii:

- budowa systemów baterii litowo-jonowych, akumulatorów przepływowymi i magazynów ciepłych,
- wykorzystanie podziemnych formacji geologicznych w regionie (np. pustych wyrobisk kopalnianych) jako potencjalnych magazynów ditlenku węgla.

7. Technologie wytwarzania energii z odpadów:

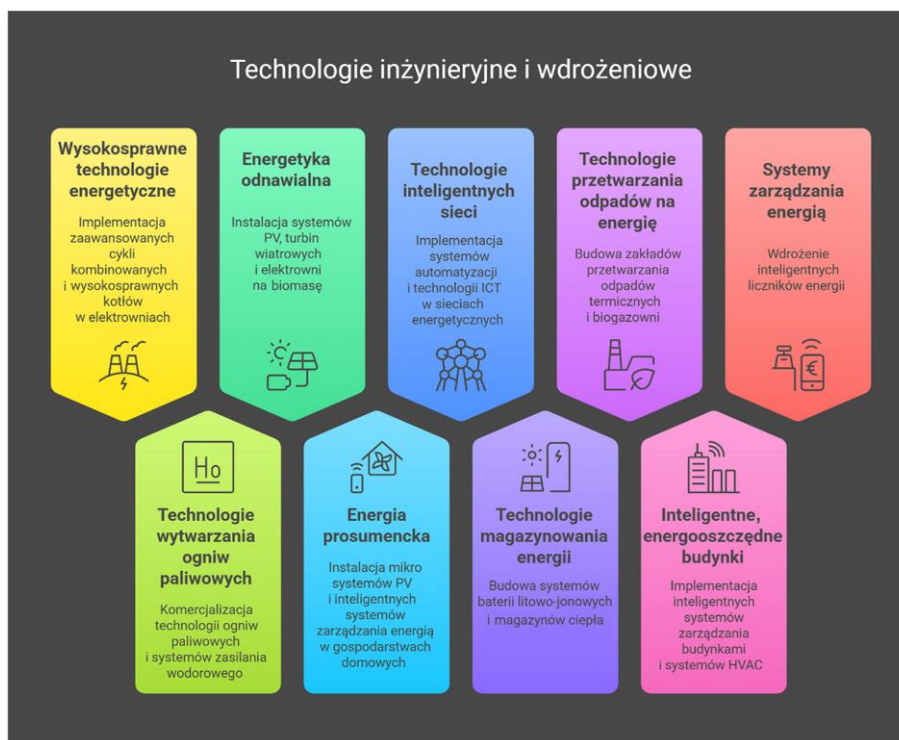
- budowa instalacji do termicznego przetwarzania odpadów (spalarnie, gazyfikatory),
- instalacja biogazowni komunalnych i rolniczych.

8. Inteligentne i energooszczędne budownictwo:

- wdrożenie inteligentnych systemów zarządzania budynkiem,
- implementacja systemów HVAC i kolektorów słonecznych w budynkach.

9. Systemy zarządzania energią:

- wdrażanie inteligentnych liczników energii,
- optymalizacja zarządzania energią za pomocą systemów IoT i AI/ML.



Rys. 3.9. Technologie inżynieryjne i wdrożeniowe (wygenerowany przy pomocy Napkin AI)

3.1.3. Analiza konkurencyjności obszaru technologicznego

3.1.3.1. Opis przyjętych metod

Źródła danych: wskaźniki ekonomiczne danej branży, dane ze światowych baz danych, analizy dokumentów dotyczących badań danej branży/sektora/obszaru technologicznego, dane statystyczne monitorowane przez Obserwatoria Specjalistyczne.

Analiza pięciu sił Portera wykonywana jest przy wykorzystaniu narzędzi ilościowych i jakościowych. Wśród narzędzi ilościowych wskazane jest wykorzystywanie zbiorów danych umożliwiających dokonanie diagnozy aktualnej sytuacji, określenie trendów rozwojowych pozwalających na postawienie hipotez odnoszących się do przyszłości sektora, jak również możliwych do wykorzystania w ramach monitorowania procesów zachodzących w sektorze. Wśród zasad selekcji źródeł jako pierwszorzędne należy wskazać:

- posługiwanie się źródłami cechującymi się ciągłością: dostępność danych dla różnych okresów wraz z relatywną stabilnością metodologii gromadzenia i prezentowania danych,
- wykorzystywanie źródeł opisujących zjawiska w różnych skalach przestrzennych – począwszy od lokalnej, a na globalnej skończywszy, co z jednej strony pozwala na identyfikację specyfiki danego obszaru, zaś z drugiej wspiera prognozowanie zmian powiązanych ze zmianami globalnymi,
- sięganie do źródeł firmowanych przez różne podmioty w celu ich komplementarnego wykorzystywania oraz weryfikowania, w tym dla unikania ryzyka posługiwania się danymi „stronniczymi”,
- wykorzystywanie źródeł pozwalających na opisywanie i badanie różnych typów podmiotów reprezentujących wszystkie siły otoczenia sektorowego (aktualni konkurenci, potencjalni konkurenci, dostawcy, nabywcy, producenci substytutów); opis ten może dotyczyć potencjału kadrowego, majątku, a przede wszystkim nakładów na inwestycje i innowacje (np. dane GUS dla odpowiednich PKD).

Użyteczność narzędzi jakościowych widoczna jest zwłaszcza w kontekście:

- oceny i selekcji czynników zbadanych w ramach badań ilościowych,
- weryfikacji trendów wyłaniających się z badań ilościowych – utrzymania oraz ewentualnego ich wzmocnienia bądź wygaszenia,

- stawiania hipotez na temat pojawiania się oraz tempa rozwoju zjawisk/procesów zależkowych,
- rozpoznawania podmiotów, które powinny być uwzględnione w analizie otoczenia sektorowego, w szczególności podmiotów mogących pełnić funkcje leaderskie w procesach przemian, relacji między podmiotami (neutralność, współpraca, konflikt); interesujące jest także badanie roli podmiotów w łańcuchach wartości dodanej na potrzeby analizy otoczenia sektorowego, szczególnie w generowaniu innowacji i rozwoju technologicznego,
- poszerzenia myślenia o sektorze i uwzględnienia podmiotów, które mogą stawać się ważnymi „aktorami” rozwoju technologicznego w sektorze; na pierwszy plan wysuwa się tutaj rola podmiotów nauki, B + R + I, ale także sektora obywatelskiego mogącego być sojusznikiem lub oponentem planowanych i wprowadzanych zmian w sektorze,
- bieżącej oceny zapotrzebowania na energię na poziomie lokalnym i monitorowania skuteczności wdrażanych rozwiązań.

3.1.3.2. Analiza warunków popytu na technologie w ramach obszaru technologicznego

Identyfikacja podmiotów gospodarczych wdrażających nowe technologie

Woj. śląskie wyróżnia się wysoką aktywnością podmiotów gospodarczych w zakresie wdrażania innowacyjnych technologii w obszarze energetyki. Kluczowe podmioty to zarówno duże firmy, takie jak: Grupa TAURON Polska Energia SA, Fortum Power and Heat Polska Sp. z o.o. czy PGE Polska Grupa Energetyczna SA, jak i te mniejsze – Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej (PEC): PEC Gliwice, PEC Bytom, Veolia Energia Polska SA, Dalkia Polska Energia SA. Do podmiotów tych należą także firmy technologiczne, w tym start-upy i spin-offy uczelniane, szczególnie dotyczące technologii informatycznych (Askom, Koltech), ale również magazynów energii (BMZ Poland, Eneris Batteries & Recycling) czy produkcji urządzeń dla energetyki odnawialnej (Pomar Energy, KENO). Aktywność tych jednostek opiera się na rozwijaniu technologii związanych z odnawialnymi źródłami energii, efektywnością energetyczną, magazynowaniem energii oraz inteligentnymi sieciami. Znaczną rolę odgrywają także jednostki badawczo-rozwojowe, współpracujące z lokalnymi dostawcami technologii.

Dane statystyczne potwierdzające przewagę regionu

W latach 2011–2023 liczba podmiotów gospodarczych w sekcji PKD „Wytwarzanie i zaopatrywanie w energię” wzrosła z 340 do 1102, co wskazuje na silną dynamikę rozwoju tego sektora w regionie. Dodatkowo woj. śląskie wytwarza około 13% energii końcowej w skali kraju, co podkreśla jego strategiczną rolę w krajowym systemie energetycznym. Produkcja energii elektrycznej w regionie wyniosła w 2022 r. 23 648 GWh, przy zużyciu na poziomie 27 110 GWh, co pokazuje wyraźne zapotrzebowanie na nową moc wytwórczą.

Zmiany rynkowe i trendy technologiczne

Transformacja energetyczna w woj. śląskim generuje nowe wymagania technologiczne. Malejący udział sektora górnictwa w zatrudnieniu oraz wartości dodanej brutto na rzecz przetwórstwa przemysłowego świadczy o zmieniającej się strukturze gospodarki regionu. Rośnie znaczenie technologii komplementarnych, takich jak wysokosprawna poligeneracja, energetyka rozproszona, inteligentne sieci energetyczne oraz budownictwo efektywne energetycznie. Społeczne zainteresowanie ochroną środowiska, cyfryzacją i zrównoważonym rozwojem dodatkowo wzmacnia zapotrzebowanie na innowacje w energetyce. Rośnie także zainteresowanie wdrażaniem rozwiązań energetyki rozproszonej.

Branże rozwijające obszar technologiczny

Energetyka w woj. śląskim jest wspierana przez przemysł przetwórczy, budownictwo oraz sektor technologii informacyjnych. Duże grupy energetyczne współpracują z uczelniami technicznymi i instytutami badawczymi, co tworzy przestrzeń do rozwijania innowacji. Aktywność w tym zakresie wykazuje m.in. Politechnika Śląska, znana z licznych zgłoszeń patentowych w obszarze energetyki i technologii związanych z efektywnością energetyczną.

Opis rynku i popytu na technologie

Liczba osób pracujących w sektorze energetycznym w woj. śląskim w 2021 r. wyniosła 14 526, a przychody sektora osiągnęły wartość 36,9 mld PLN, co oznacza wzrost o 64% rok do roku. Przemysł zgłasza zapotrzebowanie na:

- czyste technologie ograniczające emisję gazów cieplarnianych,
- magazynowanie energii i rozwój OZE,
- rozwój inteligentnych systemów zarządzania energią; zmieniające się preferencje konsumentów oraz regulacje prawne, takie jak Europejski Zielony Ład, napędzają inwestycje w obszarze innowacji technologicznych.

Opis konkurencji

Rynek energetyczny woj. śląskiego cechuje wysoki poziom konkurencji wynikający z obecności dużych grup energetycznych i dynamicznie rozwijającego się sektora małych i średnich przedsiębiorstw (MŚP). Start-upy oraz spin-offy uczelniane coraz częściej współzawodniczą z dojrzałymi podmiotami w zakresie wdrażania nowoczesnych rozwiązań technologicznych, co pozytywnie wpływa na dynamikę rynkową.

3.1.3.3. Identyfikacja możliwości pojawienia się nowych technologii, produktów i usług

Opis przewag B + R + I obszaru w odniesieniu do kraju/UE

Woj. śląskie dysponuje rozwiniętym zapleczem badawczo-rozwojowym oraz wysoko rozwiniętą infrastrukturą przemysłową, co zapewnia dogodne warunki do rozwoju innowacyjnych technologii. Region wyróżnia się także wysokim poziomem inwestowania w nauki inżynierskie i techniczne, które stanowią podstawę transformacji energetycznej w zgodzie z priorytetami krajowymi i unijnymi.

Identyfikacja potencjału B + R + I

Woj. śląskie wykazuje znaczną dynamikę wzrostu liczby podmiotów badawczo-rozwojowych (o 35% w latach 2018–2022). Kluczowe kierunki badań obejmują:

- nowoczesne systemy energetyczne (w tym technologie oczyszczania spalin, CCS, OZE),
- inteligentne sieci energetyczne (smart grids),
- materiały przyszłości (materiały o wysokiej wytrzymałości, nowe technologie dla magazynowania energii),
- Przemysł 4.0 (automatyzacja procesów, IoT w energetyce),
- zrównoważona mobilność.

Przykłady wdrożeń obejmują inwestycje w inteligentne zarządzanie energią w budynkach oraz rozwój regionalnych instalacji OZE, takich jak farmy fotowoltaiczne i wiatrowe, instalacje kolektorów słonecznych i magazynowania ciepła.

Projekty i działania związane ze specyfiką poprzemysłową regionu:

- wykorzystanie wód kopalnianych, Główny Instytut Górnictwa – Państwowy Instytut Badawczy (GIG-PIB), Dalkia Polska Energia SA, PEC,
- Coal-to-Nuclear, prof. Ł. Bartela (Politechnika Śląska),
- wykorzystanie metanu kopalnianego, Dalkia Polska Energia SA,
- skala zurbanizowania regionu,
- energia odpadowa, PEC Gliwice i PEC Bytom.

Wskazanie kluczowych podmiotów

W rozwój technologii dla energetyki zaangażowane są m.in.:

- uczelnie: Politechnika Śląska (status uczelni badawczej), Uniwersytet Śląski, Uniwersytet Ekonomiczny – programy badawcze w zakresie OZE, inteligentnych sieci i Przemysłu 4.0,
- instytuty badawcze: Instytut Technik Innowacyjnych EMAG, GIG-PIB, Instytut Technologii Paliw i Energii, Śląskie Centrum Naukowo-Technologiczne Przemysłu Lotniczego, Centrum Badawczo-Rozwojowe Elektromobilności i Magazynowania Energii,

- przedsiębiorstwa: Pro Novum Sp. z o.o. (modernizacja urządzeń energetycznych), TAURON Polska Energia (projekty w obszarze energii rozproszonej i odnawialnej),
- klastry: Klaster 3W (woda, węgiel, wodór), Śląski Klaster Energii.

Identyfikacja rozwijanych unikatowych rozwiązań/technologii

Region śląski rozwija technologie wyprzedzające, takie jak:

- wodór jako paliwo przyszłości: rozwój instalacji do produkcji i magazynowania wodoru,
- zaawansowane systemy magazynowania energii: baterie i magazyny ciepła o dużej pojemności,
- infrastruktura smart grid: integracja OZE i dynamiczne zarządzanie energią,
- technologie dekarbonizacji: rozwój efektywnych metod CCS i CCU (wykorzystanie CO₂ dla produkcji paliw syntetycznych – nowa infrastruktura badawcza w Instytucie Technologii Paliw i Energii),
- technologie i rozwiązania dotyczące wykorzystywania biogazu: rozwój stabilnego źródła energii w oparciu o produkty uboczne procesów produkcyjnych zgodnie z ideą gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ).

Analiza najnowszych osiągnięć naukowych i technologicznych

Do najnowszych osiągnięć należą:

- rozwój technologii ogniw paliwowych i instalacji wodorowych (projekty wspierane przez Horizon Europe),
- zastosowanie sztucznej inteligencji do optymalizacji zużycia energii i prognozowania zapotrzebowania (projekty Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, NCBiR),
- nowe metody przetwarzania biomasy na biopaliwa drugiej generacji.

Przykłady praktycznych zastosowań technologii/wyników B + R w regionie

- termomodernizacja budynków publicznych: realizacja projektów w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój (POIR) i Regionalnego Programu Województwa Śląskiego 2014–2020 (RPO WSL), takich jak kompleksowa modernizacja budynków w Katowicach i Gliwicach,
- farmy fotowoltaiczne: projekty realizowane przez TAURON w ramach Funduszu Sprawiedliwej Transformacji,
- innowacje w transporcie publicznym: rozwój infrastruktury dla autobusów elektrycznych w ramach Interreg i Horizon Europe,
- identyfikacja sieci współpracy akcelerujących rozwój technologii i wdrożeń technologicznych.

W regionie działają liczne sieci współpracy, takie jak:

- klastry i konsorcja: Śląski Klaster Energii, współpraca między Politechniką Śląską a TAURON Polska Energia,
- platformy badawcze: inicjatywy w ramach projektów Horizon 2020 (np. infrastruktura dla energetyki rozproszonej),
- sieci międzynarodowe: partnerstwa w ramach Interreg (Polska, Czechy, Słowacja) oraz Horizon Europe.

3.1.3.4. Identyfikacja możliwości pojawienia się substytutów dla rozwijanych technologii, produktów, usług

1. Identyfikacja istniejących barier wejścia nowych technologii na rynek

Rozwój nowych technologii energetycznych w woj. śląskim napotyka szereg barier:

- Regulacje i biurokracja: brak spójnej strategii transformacji energetycznej na poziomie krajowym i regionalnym oraz przeregulowany rynek energii są przeszkodami dla wdrażania innowacji technologicznych. Jak wskazuje prezes Mariusz Caliński z Fortum Marketing and Sales Polska, zmiany w sektorze energetycznym często wynikają z czynników rynkowych, a nie świadomej koordynacji działań.

- Niedostateczna infrastruktura sieciowa: problemy z przepustowością sieci elektroenergetycznych ograniczają możliwości przyłączenia nowych źródeł energii, co podkreślił prezes Andrzej Modzelewski z E.ON Polska. Modernizacja infrastruktury dystrybucyjnej jest kluczowym wyzwaniem. W sytuacji zakładanej likwidacji elektrowni węglowych, problem ten będzie występował w zróżnicowanej skali, zależnej od geografii i poziomu wyprowadzenia.
- Koszty technologii i brak stabilności finansowej: mimo spadku cen technologii magazynowania energii, takich jak akumulatory litowo-jonowe, ich wdrożenie na szeroką skalę nadal stanowi wyzwanie. Dodatkowym problemem są ograniczenia w finansowaniu projektów energetycznych, powodowane brakiem środków unijnych i krajowych, na co wskazuje raport za lata 2021–2022.

2. Identyfikacja podmiotów wprowadzających rewolucyjne rozwiązania/technologie

Dane z rynku krajowego oraz regionalnego pokazują wzrost aktywności następujących podmiotów:

- Respect Energy Holding: koncentruje się na rozwoju magazynów energii, co poprawia ekonomikę inwestycji w OZE. W 2024 r. firma podjęła liczne projekty przygotowawcze w tym zakresie,
- start-upy rozwijające nowe technologie: w woj. śląskim powstają innowacyjne firmy technologiczne w obszarze energetyki, których działalność jest ukierunkowana m.in. na biogaz czy technologie wodorowe, mogące pełnić rolę substytutów dla obecnych rozwiązań,
- główne firmy energetyczne (np. PGE Polska Grupa Energetyczna SA, E.ON Polska): PGE dynamicznie rozwija projekty morskiej i lądowej energetyki wiatrowej oraz planuje budowę magazynów energii na skalę przemysłową.

3. Identyfikacja technologii zastępujących dotychczas rozwijane technologie

Rozwój substytutów dla obecnych technologii energetycznych obejmuje:

- magazyny energii: spadek cen tych technologii, wzrost zmienności cen energii i nowe usługi systemowe znacząco poprawiają ich opłacalność; prezes Sebastian Jabłoński z Respect Energy podkreślił, że masowe instalacje mogą rozpocząć się w 2026 r.,
- energię wodorową: rozwój technologii zielonego wodoru jako paliwa zastępczego dla konwencjonalnych źródeł energii, szczególnie w transporcie i przemyśle,
- morską i lądową energetykę wiatrową: projekty takie jak Baltic Power (1,2 GW) są kluczowe w zastępowaniu węglowych źródeł energii,
- inteligentne sieci i taryfy dynamiczne: rozwój technologii smart grids i ofert dla prosumentów poprawia elastyczność i efektywność zużycia energii: wprowadzenie taryf dynamicznych w 2024 r. to pierwszy krok w kierunku powszechnej adaptacji tych rozwiązań,
- elektrownie jądrowe: budowa pierwszej polskiej elektrowni atomowej w woj. pomorskim o mocy 3,75 GW, zaplanowana na lata 2030–2040, zmieni strukturę miksu energetycznego na korzyść źródeł zeroemisyjnych.

Wnioski

Woj. śląskie stoi przed wyzwaniem transformacji energetycznej, wymagającym przezwyciężenia barier rynkowych i regulacyjnych oraz podjęcia inwestycji w substytucyjne technologie. Skuteczna implementacja wymaga synergii między sektorem publicznym, prywatnym i naukowo-badawczym.

3.1.3.5. Identyfikacja zależności i łańcuchów wartości w ramach technologii

Rozwój technologii dla energetyki w woj. śląskim opiera się na złożonym systemie współzależności między podmiotami lokalnymi, krajowymi i międzynarodowymi. W regionalnym ekosystemie dominują dwa typy podmiotów: rywalizujące oraz współpracujące.

Podmioty rywalizujące:

- międzynarodowe koncerny energetyczne: duże firmy, np. Siemens, General Electric czy Schneider Electric, konkurują z lokalnymi dostawcami technologii w takich obszarach, jak: inteligentne sieci energetyczne, odnawialne źródła energii czy systemy zarządzania energią,
- producenci komponentów energetycznych z innych regionów Polski i Europy: rywalizacja dotyczy szczególnie sektora fotowoltaiki, pomp ciepła oraz technologii magazynowania energii.

Podmioty współpracujące:

- instytucje naukowo-badawcze: Politechnika Śląska, Centrum Materiałów Polimerowych PAN oraz inne ośrodki badawcze w regionie wspierają lokalne firmy w zakresie transferu technologii i jej rozwoju,
- samorządy i jednostki wsparcia biznesu: Katowicka Specjalna Strefa Ekonomiczna (KSSE) oraz gminy i powiaty oferują zachęty inwestycyjne oraz wsparcie dla start-upów technologicznych,
- przedsiębiorstwa energetyczne i okołoenenergetyczne: firmy, np. TAURON Polska Energia SA, spółki Grupy Kapitałowej JSW Węglukoks Energia Sp. z o.o., Fortum Silesia SA, Veolia Energia Polska SA, Dalkia Polska Energia SA czy Sunex SA często działają w synergii, szczególnie w zakresie wdrażania zielonych technologii i projektów pilotażowych,
- organizacje międzynarodowe: programy wsparcia UE, takie jak Horizon Europe, oferują możliwości współpracy z podmiotami z innych krajów UE, co wzmacnia lokalny potencjał innowacyjny.

Identyfikacja czynników zakłócających i wspierających rozwój technologii w ramach obszaru technologicznego**Czynniki wspierające:**

- dostęp do zasobów naturalnych i surowcowych: woj. śląskie jako historyczne centrum wydobywania węgla kamiennego posiada doświadczenie w gospodarowaniu surowcami energetycznymi, co umożliwia transformację w kierunku zaawansowanych technologii przetwarzania surowców,
- rozwinięty przemysł energetyczny: obecność kluczowych firm z sektora energetyki, takich jak TAURON Polska Energia SA, PGE Polska Grupa Energetyczna SA, Fortum Silesia SA, Veolia Energia Polska SA, Dalkia Polska Energia SA, wspiera rozwój innowacyjnych rozwiązań technologicznych,
- infrastruktura badawczo-rozwojowa: rosnące nakłady na B+R w regionie, sięgające niemal 3 mld PLN w 2021 r., sprzyjają powstawaniu nowych technologii energetycznych,
- wsparcie polityczne i regulacyjne: zgodność z polityką UE dotyczącą zielonej transformacji oraz lokalne programy wsparcia dla MŚP działających w obszarze energetyki odnawialnej,
- międzynarodowe inwestycje: przykładem jest fabryka separatorów do akumulatorów litowo-jonowych, SK IE Technology z siedzibą na terenie KSSE, która wspiera rozwój zaawansowanych technologii.

Czynniki zakłócające:

- zależność od tradycyjnych surowców: duże znaczenie węgla kamiennego w regionie ogranicza szybkość transformacji energetycznej,
- niedobór wykwalifikowanej kadry: starzenie się populacji oraz niedostosowanie programów edukacyjnych do potrzeb współczesnego rynku pracy w obszarze zaawansowanych technologii,
- wahania na międzynarodowych rynkach energii: wzrost cen surowców i niepewność regulacyjna wpływają na stabilność lokalnych podmiotów energetycznych,
- brak wystarczającej integracji z globalnymi łańcuchami wartości: ograniczony eksport lokalnych technologii energetycznych zmniejsza udział województwa w międzynarodowym rynku,
- niska efektywność współpracy międzysektorowej: fragmentacja środowiska biznesowego i brak silnych partnerstw między sektorem prywatnym a publicznym.

3.1.3.6. Intensywność konkurencji na rynku wdrażania technologii**Opis charakteru rynku w obrębie obszaru technologicznego, z uwzględnieniem zasad konkurencji**

Rynek technologii dla energetyki w woj. śląskim cechuje wysoka konkurencja, wynikająca z dużej liczby podmiotów działających w tym sektorze, zróżnicowanego poziomu ich zaawansowania technologicznego oraz dynamicznych zmian regulacyjnych i rynkowych. Województwo to jest jednym z głównych centrów przemysłowych Polski, z długą tradycją działalności w sektorze energetycznym i wydobywczym.

Konkurencja na rynku wdrażania technologii energetycznych jest kształtowana przez trzy kluczowe czynniki:

1. Przewaga dużych przedsiębiorstw: dominująca rola podmiotów, np. TAURON Polska Energia SA, Jastrzębska Spółka Węglowa SA, PGNiG Termika Energetyka Przemysłowa SA oraz Węglkokoks Energia SA, wpływa na strukturę rynku. Duże firmy dysponują znacznymi zasobami finansowymi i badawczo-rozwojowymi, co pozwala im dyktować standardy technologiczne i korzystać z efektów skali.
2. Rola małych i średnich przedsiębiorstw: MŚP, takie jak Sunex SA lub Hewalex, odgrywają istotną rolę w dostarczaniu innowacyjnych rozwiązań, zwłaszcza w obszarze energii odnawialnej i efektywności energetycznej. Ich obecność zwiększa dynamikę konkurencji, ale ograniczone zasoby mogą utrudniać skalowanie działalności.
3. Wpływ regulacji i polityki publicznej: polityka związana z dekarbonizacją, efektywnością energetyczną i wspieraniem odnawialnych źródeł energii kształtuje preferencje rynkowe, często determinując kierunki inwestycji i wdrożeń.

Współpraca różnych podmiotów we wdrażaniu technologii

Współpraca między podmiotami na rynku wdrażania technologii energetycznych w regionie śląskim jest zróżnicowana, od strategicznych partnerstw po sporadyczne kooperacje projektowe. Cechuje ją:

1. Silne powiązanie dużych przedsiębiorstw z instytutami badawczymi: przykładem jest współpraca TAURON Polska Energia SA z uczelniami wyższymi (np. Politechniką Śląską), w zakresie badań nad efektywnością energetyczną i technologiami odnawialnymi.
2. Kooperacja w ramach klastrów energetycznych: województwo wspiera inicjatywy, takie jak Śląski Klaster Energii, który skupia firmy, jednostki naukowe i samorządy, promując wymianę wiedzy i wspólne projekty rozwojowe.
3. Ograniczone możliwości współpracy MŚP: choć MŚP są motorem innowacji, ich zdolność do nawiązywania współpracy z większymi podmiotami często ogranicza brak zasobów lub doświadczenia w zarządzaniu projektami badawczo-rozwojowymi.

Przykłady dobrych i złych praktyk z perspektywy komercjalizacji i wdrażania technologii

Dobre praktyki:

- inwestycje SK IE Technology: utworzenie fabryk separatorów do akumulatorów litowo-jonowych w Dąbrowie Górniczej pokazuje skuteczność wspierania inwestorów zagranicznych w tworzeniu lokalnych centrów innowacji,
- działalność JSW Nowe Projekty SA: projekty, takie jak EKomPell pokazują, jak zrównoważone wykorzystanie lokalnych zasobów może prowadzić do komercjalizacji nowych produktów energetycznych.

Złe praktyki:

- brak integracji działań MŚP z dużymi firmami: mniejsze podmioty często napotykają trudności we wprowadzaniu innowacji na szeroką skalę ze względu na brak wsparcia ze strony większych „graczy”,
- niewystarczające wsparcie dla start-upów: brak odpowiednich mechanizmów finansowych i inkubatorów dla firm rozpoczynających działalność w sektorze technologii energetycznych ogranicza ich rozwój i komercjalizację pomysłów,
- opis podaży i popytu prac B + R + I oraz ich wyników.

Podaż: w Polsce woj. śląskie jest jednym z liderów pod względem nakładów na badania i rozwój (B + R). W 2021 r. wyniosły one prawie 3 mld PLN, a znaczna część tych środków była przeznaczona na technologie energetyczne. Instytucje badawcze, takie jak Politechnika Śląska oraz duże

przedsiębiorstwa, np. Greenevia lub TAURON Polska Energia SA, aktywnie uczestniczą w projektach badawczych⁴.

Popyt: popyt na wyniki B+R+I w sektorze energetycznym jest wysoki, szczególnie w takich obszarach, jak efektywność energetyczna, odnawialne źródła energii i magazynowanie energii; dynamiczny wzrost liczby inwestycji w instalacje fotowoltaiczne i technologie magazynowania energii podkreśla zapotrzebowanie na innowacyjne rozwiązania.

Rezultaty: wyniki badań prowadzą do realnych wdrożeń technologicznych, co potwierdzają sukcesy niektórych firm (np. Sunex SA) czy inwestycje zagraniczne w regionie. Mimo to, aby w pełni wykorzystać istniejący potencjał, konieczne jest dalsze rozwijanie mechanizmów wspierających komercjalizację wyników badań.

3.1.3.7. Podsumowanie

Analiza pięciu sił Portera wskazuje na znaczący potencjał technologiczny w obszarze energetyka, a jednocześnie na korzystne warunki popytu na technologie oraz wysoki poziom zależności w łańcuchach wartości w procesie rozwoju technologii.

Kluczowymi podmiotami są producenci energii, dystrybutorzy, podmioty przesyłające energię oraz kreatorzy rozwiązań technologicznych w sektorze. Intensywność relacji między podmiotami w znacznym stopniu jest uzależniana od innych podmiotów działających w sektorze oraz w jego otoczeniu. Do innych czynników, od których sektor jest zależny, zaliczono uwarunkowania: polityczne, społeczne, środowiskowe oraz gospodarcze.

Do znaczących czynników wpływających na obszar zaliczono: cenę, popyt i podaż na energię, otwartość na współpracę w sektorze, współpracę z otoczeniem, poziom informacji.

Ocena została przeprowadzona podczas warsztatów foresightowych w oparciu o internetową ankietę pogłębiającą.

Tabela 3.2. Podsumowanie analizy pięciu sił Portera dla obszaru technologicznego technologie dla energetyki

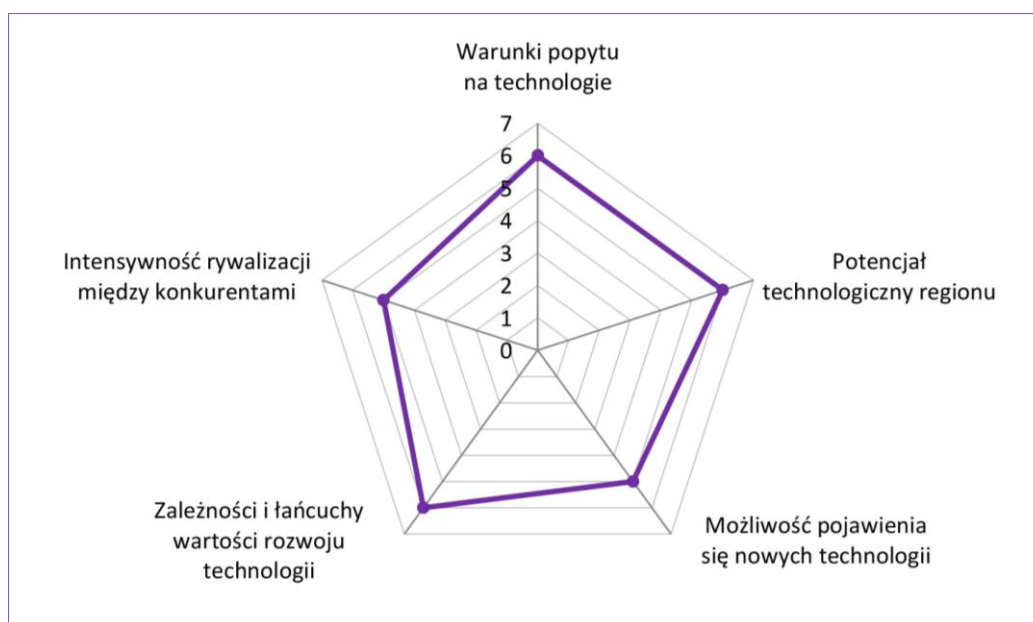
Analiza pięciu sił Portera		Ocena w skali 1–7
1. Potencjał technologiczny regionu		
Potencjał technologiczny regionu – siła podmiotów sektora energetyki w woj. śląskim – ocena ogólna		6
Czynniki szczegółowe		
1	Producenci energii	7
2	Podmioty przesyłające energię	6
3	Podmioty magazynujące energię	5
4	Podmioty dystrybuujące energię	6
5	Podmioty kreujące rozwiązania technologiczne w sektorze	6
2. Możliwości pojawienia się nowych technologii (substytutów) – ocena ogólna		5
Czynniki szczegółowe		
1	Potrzeby kapitałowe (koszty tworzenia nowych zdolności produkcyjnych, działalności B + R)	5
2	Zasoby podmiotów obecnych w branży i ich koszty – przewaga w zakresie kosztów	6
3	Poziom rozwoju technologii, know-how	6
4	Postęp technologiczny i związane z tym ryzyko utraty know-how	6
5	Bariery wyjścia (koszty wycofania się z rynku)	5
6	Polityka państwa (system koncesji, cła i bariery pozataryfowe, wymogi formalne)	5
7	Lojalność klientów	5
8	Zainteresowanie substytucją ze strony odbiorców	6
9	Wrażliwość cenowa nabywców (klientów)	6
10	Koszty zmiany dostawy przy zmianie danego produktu na substytut (koszty przestawienia, zmiana jakości, koszty logistyki i sprzedaży)	6
11	Ostrość walki konkurencyjnej wśród dostawców substytutów (ich liczba, koncentracja podaży, agresywność)	6
12	Szybkość i głębokość zmian technologicznych	5
3. Intensywność rywalizacji między konkurentami – ocena ogólna		5
Czynniki szczegółowe		
1	Tempo wzrostu sektora (wielkość i zmiany popytu)	5

⁴ <https://funduszeue.slaskie.pl/file/download/10511>

Analiza pięciu sił Portera		Ocena w skali 1–7
2	Stopień koncentracji podaży (liczba konkurentów, wielkość firm, zmiany koncentracji, połączenia)	5
3	Stopień zróżnicowania produktów (łatwość różnicowania, relacje ceny do jakości)	6
4	Wysokość kosztów stałych	6
5	Bariery wyjścia z sektora (stopień specjalizacji aktywów, koszty wycofania się z rynku)	6
4. Zależności i łańcuchy wartości rozwoju technologii		
Intensywność relacji między podmiotami – proszę określić siłę w zakresie sektora energetyki		
– ocena ogólna		6
Czynniki szczegółowe		
1	Zależność od innych podmiotów w sektorze	6
2	Zależność od podmiotów spoza sektora	5
3	Zależność od uwarunkowań politycznych	6
4	Zależność od uwarunkowań społecznych	6
5	Zależność od uwarunkowań środowiskowych	6
6	Zależność od uwarunkowań gospodarczych	6
5. Warunki popytu na technologie w sektorze energetyki – ocena ogólna		6
Czynniki szczegółowe		
1	Cena	6
2	Popyt na energię	6
3	Podaż	6
4	Otwartość na współpracę w sektorze	6
5	Otwartość na współpracę z otoczeniem	6
6	Poziom informacji	6

Ocena siły według skali: 1 – bardzo słaba, 2 – słaba, 3 – umiarkowanie słaba, 4 – neutralna, 5 – umiarkowanie znacząca, 6 – znacząca, 7 – bardzo znacząca.

Podsumowanie analizy z wykorzystaniem podejścia pięciu sił Portera wymaga dokonania wartościowania z wykorzystaniem skali siedmiostopniowej oraz zestawienia na wykresie radarowym.



Rys. 3.10. Ocena pięciu sił Portera dla obszaru technologicznego technologii dla energetyki

W oparciu o analizę konkurencji do ramowych rekomendacji w zakresie kształtowania siły sektora należy zaliczyć:

- wzmacnianie relacji w sektorze oraz ułatwianie współpracy i przepływu informacji,
- poprawę potencjału kapitałowego sektora,
- budowanie systemu relacji sektora uwzględniającego wpływy polityczne, społeczne, gospodarcze oraz środowiskowe,
- budowanie systemu B + R (w tym w przedsiębiorstwach sektora) oraz wsparcie implementacji nowych rozwiązań w podmiotach sektora.

3.2. Uwarunkowania rozwoju obszaru technologicznego – analiza PESTEL

Tabela 3.3. Podsumowanie analizy PESTEL dla obszaru technologicznego technologii dla energetyki

Obszar analizy	Nazwa czynnika	Charakter czynnika
Polityczny	Opóźnienie w opracowaniu ostatecznej wersji KPEIK	–
	Brak dostosowania PEP2040 do obecnych realiów	–
	Brak przyjętej strategii dla ciepłownictwa	–
	Brak ustawodawstwa i terminowej implementacji prawa UE (np. ustawa wiatrakowa, dyrektywa rynkowa, RED III)	–
	Rozbicie kompetencji w zakresie transformacji energetycznej między MRiT, MKiŚ i MP	–
	Wielkość wydobycia i zastosowanie węgla w gospodarce	–
	Polityka europejska ukierunkowana na rozwój zrównoważony	+
	Polityka regionu w kierunku rozwoju zrównoważonego	+
	Efektywność i skuteczność polityki dotacyjnej w zakresie energetyki	–
	Wdrażanie polityki zrównoważonego rozwoju w strategiach regionalnych i lokalnych	+
	Clean Industrial Deals jako źródło wsparcia i finansowania transformacji	+
	Prywatyzacja sektora energetycznego	+
	Rola lokalnego planowania klimatyczno-energetycznego	+
	Rosnące ceny energii	–
Ekonomiczny	Traktowanie prądu jako produktu	+
	Konkurencyjność energii ze źródeł odnawialnych	–
	Znaczenie śladu węglowego w kształtowaniu cen produktu	+
	Poziom i dostępność świadczenia usług – elastyczność KSE	+
	Potencjał inwestycyjny samorządów lokalnych	–
	Świadomość ekonomiczna i przekonania społeczne	+
	Poziom kompetencji pracowników	–
	Potencjał lokalnego kapitału społecznego i ludzkiego	+
	Poziom partycypacji społeczności lokalnych w procesie transformacji	–
	Poziom świadomości w zakresie korzyści ekonomicznych wynikających z transformacji	–
	Zmiany w zakresie ekonomiki źródeł ciepła dla gospodarstw domowych	+
	Transformacja górnictwa – efektywne wykorzystanie funduszu transformacji	+
	Poziom kosztów OZE – infrastruktura	–
	Poziom kosztów OZE – wytwarzanie	+
	Poziom kosztów wytwarzania energii	–
	Znaczenie kosztów energii jako czynnika konkurencyjności gospodarek	+
	Zdolność do zintegrowanej alokacji środków wsparcia inwestycyjnego	+
	Potrzeba szybkiego realizowania projektów w zakresie modernizacji infrastruktury nowoczesnego przemysłu	+
	Poziom kosztów wytwarzania energii przez synergię i dywersyfikację	+
	Udział OZE zdeterminowany chęcią obniżenia opłat środowiskowych	+
	Poziom kosztów i poprawa bezpieczeństwa dzięki rozwiązaniom hybrydowym	+
	Poziom efektywności kosztowej wdrażania inwestycji energetycznych w zakresie produkcji energii	+
	Poziom efektywności kosztowej wdrażania rozwiązań cyfrowych w zakresie produkcji energii	+
	Rosnące koszty pośrednie w zakresie inwestycji obniżające atrakcyjność inwestycyjną	–
	Poziom efektywności kosztowej wdrażania inwestycji energetycznych w zakresie racjonalizacji zużycia energii	+
	Realizacja zasady „po pierwsze efektywność energetyczna” w gospodarce	+
	Odejście od polityki nieograniczonego wzrostu gospodarczego w kształtowaniu polityk publicznych	+
	Wdrożenie mechanizmów rynkowych przez lokalne taryfy czasu rzeczywistego na energię	+
	Otwarcie relacji rynkowych w zakresie usług lokalnego bilansowania sieci obciążeniem	+
	Integracja i wdrożenie relacji wolnorynkowych na wszystkich rynkach energii (elektrycznym, paliwowym i ciepłym)	+
Społeczny	Zjawisko ubóstwa energetycznego	–
	Struktura osadnictwa – konurbacja	+
	Rosnąca współpraca międzygminna w układach lokalnych	+
	Poziom świadomości społeczeństwa w zakresie zmian klimatu	+
	Akceptacja i zaangażowanie społeczne w realizację inwestycji	+

Obszar analizy	Nazwa czynnika	Charakter czynnika
Technologiczny	Jakość warunków życia	+
	Realizacja w regionie polityki sprawiedliwej transformacji	+
	Transformacja górnictwa i zagospodarowanie potencjału pracowników	+
	Rozproszone źródła energii	+
	Dostosowywanie rozwiązań technologicznych do specyfiki lokalnej	+
	Efektywność technologii energetycznych	+
	Wdrażanie rozwiązań hybrydowych w energetyce	+
	Wdrażanie technologii obiegu zamkniętego	+
	Optymalizacja wykorzystania systemów ciepłowniczych	+
	Poziom wykorzystania dostępnych różnorodnych technologii	+
	Rozwój energetyki rozproszonej	–
	Wdrażanie rozwiązań smart w politykach lokalnych i regionalnej	–
	AI i jej wdrażanie w sektorze	+
	Potrzeba koordynacji rozwoju infrastruktury w czasie i przestrzeni	+
	Potrzeba i nacisk na obniżenie kosztów wytwarzania energii	+
Środowiskowy	Dostępność i koszty technologii wytwarzania energii	–
	Dostępność i koszty technologii oszczędzania energii	–
	Technologie pozwalające na dekarbonizację istniejących sektorów	–
	Poziom wykorzystania źródeł odnawialnych w miksie energetycznym	–
	Wdrażanie zasad gospodarki o obiegu zamkniętym	+
	Postrzeganie niskiej emisji jako elementu jakości życia mieszkańców	+
	Wdrażanie zasad zrównoważonego rozwoju w gospodarce	+
	Realizacja koncepcji postgrowth (postwzrost)	+
	Poziom powszechnego kształcenia ekologicznego, pozwalający na rozumienie relacji między technologią, ekonomią, środowiskiem i klimatem, zdrowiem oraz dobrobytem jednostki	+
	Znaczenie planowania miejscowego dla kształtowania warunków gospodarczych	+
Prawny	Poziom ograniczeń i barier administracyjno-prawnych w zakresie wdrażania rozwiązań innowacyjnych	–
	Stabilność i przewidywalność regulacji	–
	Zmiana prawa energetycznego	+
	Rola regionalnego i lokalnego planowania klimatyczno-energetycznego	0
	Prywatyzacja sektora energetycznego	–
	Poziom implementacji rozwiązań innowacyjnych, np. „piaskownic” regulacyjnych	–
	Szybkość zmian legislacyjnych w odpowiedzi na nowe uwarunkowania	–
	Poziom implementacji rozwiązań i mechanizmów umożliwiających przemysłowi aktywny udział w rynku energii i zmniejszenie kosztów energii	–
	Regulacje UE w zakresie zasad gospodarowania i korzystania z zasobów środowiska	+
	Stopień reakcji systemu prawnego na zmiany uwarunkowań	–

Objaśnienie: ocena charakteru czynnika: sprzyjający – „+”; hamujący – „–”; neutralny – „0”.

3.3. Ocena obszaru technologicznego – analiza SWOT

Każdy czynnik z analizy PESTEL został oceniony pod kątem jego wpływu na obszar technologiczny, co pozwoliło określić, czy stanowi on szansę rozwojową, czy też zagrożenie dla działalności. Pozytywne aspekty otoczenia trafiły do kategorii szans (Opportunities), natomiast negatywne zostały sklasyfikowane jako zagrożenia (Threats). Dodatkowo, jeśli dany czynnik PESTEL wskazywał na wewnętrzne atuty obszaru technologicznego, wzmacniał jego mocne strony (Strengths), natomiast trudności w dostosowaniu się do zmian zostały wskazane jako słabości (Weaknesses). Po selekcji czynników dokonano ich konsolidacji, grupując podobne elementy i priorytetyzując te, które mają największy wpływ na strategię obszaru. Takie podejście pozwoliło na efektywne przejście od szerokiej analizy makrootoczenia do konkretnych działań strategicznych, wspierając świadome zarządzanie obszarem technologicznym.

Tabela 3.4. Czynniki SWOT dla obszaru technologicznego technologie dla energetyki

Silne strony		Słabe strony	
S1	Silne podmioty wytwarzające energię	W1	Silne lobby węglowe – opóźniające zmianę i transformację energetyczną
S2	Potencjał naukowy i badawczy regionu	W2	Wizerunek regionu jako obszaru starego przemysłu węglowego
S3	Zachodzące procesy transformacji	W3	Słaby sektor OZE
S4	Doświadczenia w zakresie restrukturyzacji regionu	W4	Niewystarczająca świadomość społeczna w zakresie znaczenia i roli procesu transformacji
S5	Przyjęta i wdrażana polityka transformacji regionu	W5	Niewystarczające działania w zakresie zmiany społecznej i systemu kształcenia ukierunkowanego na procesy transformacji
S6	Współpraca wewnątrz sektora i międzysektorowa	W6	Niekorzystne tendencje demograficzne
S7	Istniejąca rozwinięta infrastruktura energetyczna	W7	Niskie tempo inwestycji w zakresie unowocześniania sektora
S8	Silny sektor przemysłowy	–	–
S9	Rozwijające się nowoczesne gałęzie przemysłu oparte na technologiach i innowacjach	–	–
S10	Znaczący kapitał społeczny i ludzki	–	–
S11	Wysokie kompetencje pracowników w regionie	–	–
S12	Silna pozycja regionu w debacie politycznej na szczeblu krajowym i europejskim	–	–
S13	Duży rynek konsumentów	–	–
S14	Koncentracja źródeł wytwórczych i odbiorczych energii	–	–
S15	Znaczny zasób terenów poprzemysłowych z możliwością przeznaczenia na rozwój OZE	–	–
Szanse		Zagrożenia	
O1	Konkurencyjność energii ze źródeł odnawialnych	T1	Zjawisko ubóstwa energetycznego
O2	Poziom i dostępność świadczenia usług – elastyczność KSE	T2	Zmiany demograficzne, w tym starzenie się społeczeństwa
O3	Świadomość ekonomiczna i przekonania społeczne	T3	Procesy migracyjne
O4	Poziom kompetencji pracowników	T4	Dostępność i koszty technologii wytwarzania energii
O5	Poziom świadomości w zakresie korzyści wynikających z transformacji	T5	Rosnące ceny energii
O6	Potrzeba szybkiego realizowania projektów w zakresie modernizacji	T6	Niski potencjał inwestycyjny niektórych samorządów lokalnych
O7	Poziom powszechnego kształcenia ekologicznego, pozwalający na rozumienie relacji między technologią, ekonomią, ekologią, zdrowiem i dobrobytem jednostki	T7	Poziom kosztów OZE – infrastruktura
O8	Wdrażanie zasad gospodarki obiegu zamkniętego	–	–
O9	Polityka regionu w kierunku zrównoważonego rozwoju	–	–
O12	Poziom implementacji rozwiązań i mechanizmów umożliwiających przemysłowi aktywny udział w rynku energii i zmniejszenie kosztów energii	–	–
O11	Znaczenie planowania miejscowego dla kształtowania warunków gospodarczych	–	–

Podsumowanie analizy SWOT

W oparciu o czynniki analizy SWOT wskazano działania skierowane m.in. na wzmocnienie nisz technologicznych lub wyłaniających się nowych technologii w obszarze technologie dla energetyki.

Podsumowanie analizy znajduje się w tabeli 3.5.

Tabela 3.5. Identyfikacja wyzwań i działań

Wyzwanie	Odpowiedź	Propozycja działań
Budowanie świadomości	S2, S5, S10 W2, W4 O3, O7 T3	– działania edukacyjne i promocyjne
Rozwój systemu kształcenia	S2, S5 O3–O4 W5 T2	– działania edukacyjne i promocyjne – foresight rynku pracy – wsparcie uczelni wyższych w kreowaniu nowych kierunków kształcenia
Rozwój współpracy wewnątrz sektora	S1, S6, S8 W5 T4, T6	– budowanie platform współpracy – wdrażanie narzędzi finansowych premiujących współpracę oraz rozwiązania sieciowe i klastrowe
Rozwój współpracy międzysektorowej	S1, S6, S8 W5 T4, T6	– budowanie platform współpracy – wdrażanie narzędzi finansowych premiujących współpracę i rozwiązania sieciowe i klastrowe
Wzmacnianie efektywności transformacji społeczno-gospodarczej w regionie	S2, S6 W1, W3, W7 O4, O6 T3, T4	– działania informacyjne i promocyjne – ułatwianie budowania partnerstw – dzielenie się doświadczeniami – obniżanie kosztów
Budowanie narzędzi finansowych i organizacyjnych wzmacniających transformację oraz rozwój technologii	S2 W4, W6 O2 T4–T5	– ułatwianie budowania partnerstw – obniżanie barier administracyjnych – rozwój systemu wsparcia finansowego
Budowanie narzędzi finansowych i organizacyjnych ułatwiających dostosowanie do zmiany na rynku energii	S5, S8 W6 O2 T4–T5	– ułatwianie budowania partnerstw – obniżanie barier administracyjnych – rozwój systemu wsparcia finansowego
Ułatwienia prawne i regulacyjne	S4–S5 W3, W6 O1, O11 T6	– uczestnictwo w debacie publicznej, konsultacjach społecznych projektów aktów prawnych – działania lobbingsowe
Rozwój systemu planowania w administracji	S4–S5 W3, W6 O1, O11 T6	– podnoszenie kompetencji pracowników administracji – dialog międzysektorowy
Wzmocnienie działań lobbingsowych w zakresie wdrażania instrumentów transformacji	S8, S13 O9 W4 T7	– wspieranie i formalizacja współpracy międzysektorowej i wewnątrzsektorowej
Modernizacja infrastruktury energetycznej	S8, S13 W4 O2 T4	– rozwój narzędzi wsparcia finansowego – obniżanie kosztów – sieciowanie i współpraca
Unowocześnianie przemysłu w regionie	S8, S9, S13 W4 O10 T4	– podnoszenie kompetencji – implementacja technologii – rozwój sektora przemysłu i B + R
Wykorzystanie technologii cyfrowych i AI w zarządzaniu sektorem	S8, S9 W4 O4 T4	– podnoszenie kompetencji – implementacja technologii – rozwój sektora przemysłu i B + R

Literatura

Dokumenty strategiczne

PEP (2021): Polityka energetyczna Polski do 2040 roku. M. P. 2021 poz. 264.

Program (2019): Program Rozwoju Technologii Województwa Śląskiego na lata 2019–2030. Katowice, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego, <https://ris.slaskie.pl/pl/program-rozwoju-technologii-wojewodztwa-slaskiego-na-lata-2019--2030.html?vid=281>.

Strategia (2020): Strategia Rozwoju Województwa Śląskiego „Śląskie 2030”. Katowice, Zarząd Województwa Śląskiego, <https://www.slaskie.pl/content/strategia-rozwoju-wojewodztwa-slaskiego-slaskie-2030>.

Dyrektywy, ustawy, rozporządzenia i komunikaty krajowe i unijne

Dyrektywa (2018): Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/2001 z dnia 11 grudnia 2018 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych. Dz. U. UE. L 328 z późn. zm., https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:02018L2001-20240716&qid=1732810558653#art_2.

Dyrektywa (2019): Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/944 z dnia 5 czerwca 2019 r. w sprawie wspólnych zasad rynku wewnętrznego energii elektrycznej oraz zmieniająca dyrektywę 2012/27/UE. Dz. U. UE. L. 158 z późn. zm., <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/ALL/?uri=CELEX%3A32019L0944>.

Ustawa (2015): Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii. Dz. U. 2015 poz. 478, z późn. zm.

Raporty i opracowania

Raport (2014–2024): Raport specjalistyczny dla obszaru technologicznego: Technologie dla energetyki. Raport w ramach „Sieci Regionalnych Obserwatoriów Specjalistycznych” opracowany został przez: Park Naukowo-Technologiczny Euro-Centrum, <https://ris.slaskie.pl/pl/so-ris-energetyka-raporty-roczne-1.html>

Transformacja energetyczna Śląska – wyzwania i możliwości. Zabrze, Instytut Technologii Paliw i Energii.

Lista podmiotów zaangażowanych w badanie

Instytucje regionalne

- Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego
- Rada ds. Energii przy Śląskim Związku Gmin i Powiatów

Uczelnie i jednostki badawcze (i ich przedstawiciele)

- Główny Instytut Górnictwa – Państwowy Instytut Badawczy
- Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach – Marcin Baron
- Uniwersytet Śląski w Katowicach – Piotr Skubała
- Uniwersytet Śląski w Katowicach – Łukasz Trembaczowski
- Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy – Agnieszka Sobol
- Uniwersytet Śląski w Katowicach – Robert Radek
- Politechnika Śląska – Marcin Fice
- Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych – Piotr Cofałka
- Instytut Technologii Paliw i Energii – Jarosław Zuwała

Klasy, IOB, organizacje pozarządowe i organizacje zrzeszające przedsiębiorców

- Fundacja na Rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii – Szymon Liszka
- Fundacja Frank Bold – r.pr. Miłosz Jakubowski i r.pr. Agnieszka Stupkiewicz
- Fundacja Ekologiczna „Ekoterm Silesia” – Marek Rojczyk
- Stowarzyszenie Elektryków Polskich oddział w Gliwicach – Marcin Fice

Przedsiębiorcy

- Komfort International s.c. – A. J. Starościk
- Landis+Gyr Sp. z o.o. – Marek Domagała
- Ferox Energy Systems Sp. z o.o. – Tomasz Swoboda
- OpenAir – Paweł Wyszomirski
- Consulnet – Jarosław Tworóg
- MaGreMo – Grzegorz Kazimierski
- Usługi doradztwa i pośrednictwa – Krzysztof Heller
- Pracownia Planowania Energetycznego – Adam Jankowski

Technologie dla ochrony środowiska

Autorzy

Beata Kończak*
Elżbieta Uszok*
Małgorzata Białowas*
Marcin Głodniok*
Karolina Jąderko-Skubis*
Mariusz Kruczek*
Aleksa Warzecha*
Marta Wiesner-Sękała*
Piotr Zawadzki*
Paweł Zawartka*

*Główny Instytut Górnictwa –
Państwowy Instytut Badawczy



Fundusze Europejskie
dla Śląskiego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Województwo
Śląskie

4.1. Identyfikacja obszarów technologicznych, grup technologicznych i technologii

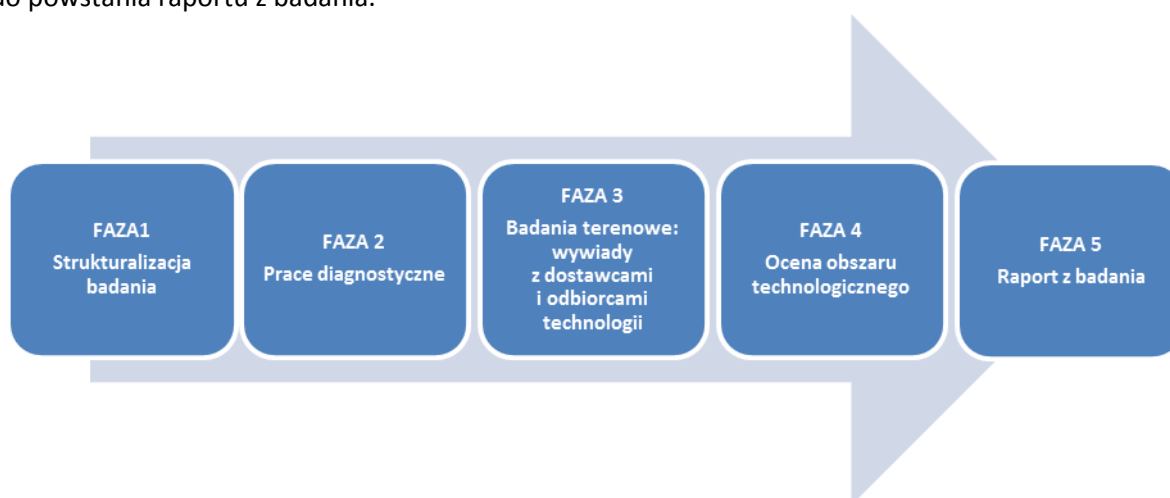
4.1.1. Opis metodologii

Zakres i specyfika problematyki związanej z identyfikacją obszarów technologicznych, grup technologicznych i technologii wymagają przyjęcia wielowymiarowego podejścia badawczego, uwzględniającego różne źródła danych oraz perspektywy oceny. Istotne jest zastosowanie komplementarnych metod i technik badawczych w celu rozpoznania potencjału rynku nowych technologii oraz potrzeb ich wdrażania, aby stworzyć portfolio regionalnych technologii ochrony środowiska. Ramowymi działaniami realizowanymi w procesie badawczym są:

1. Identyfikacja technologii dla ochrony środowiska wraz z analizą ich konkurencyjności z zastosowaniem modelu pięciu sił Portera.
2. Dokonanie oceny obszaru technologicznego z wykorzystaniem narzędzi strategicznych PESTEL i SWOT.

Takie podejście warunkuje kolejność realizacji poszczególnych analiz i metod zbierania danych w taki sposób, aby w pełni wykorzystać wiedzę gromadzoną w kolejnych fazach badania. Metodologia badania obejmuje procedurę triangulacji, co zapewni wysoką jakość prowadzonych badań i ograniczenie błędu pomiaru. Uwzględnienie w jednym badaniu różnych źródeł danych i informacji oraz metod badawczych pozwala na zminimalizowanie ryzyka wpływu określonego kontekstu oraz zobiektywizowanie danych. Triangulacja umożliwia zredukowanie obciążenia błędem wynikającym z niedających się wyeliminować ograniczeń i wad poszczególnych metod.

Proces badawczy tworzy ciąg logiczny następujących po sobie działań, które w efekcie doprowadzą do powstania raportu z badania.



Rys. 4.1. Schemat działań prowadzących do powstania raportu z badań

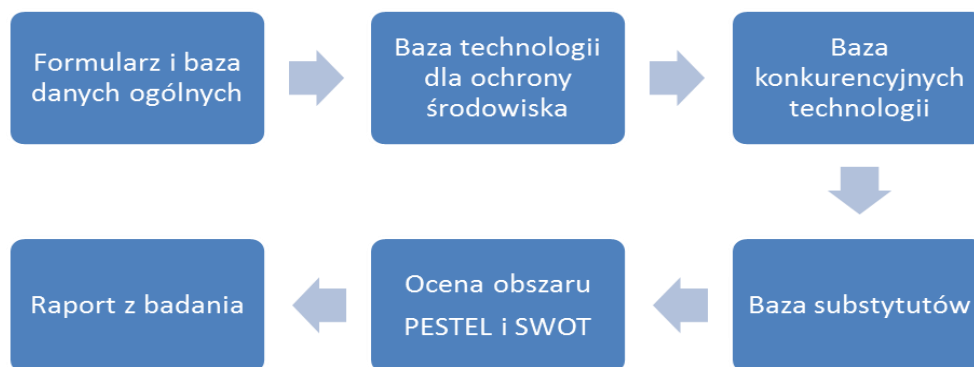
FAZA 1 – Strukturalizacja badania

Faza strukturalizacji badania jest niezbędna dla prawidłowego przebiegu jego etapów, ponieważ pozwala na ustalenie podziału zadań między członków zespołu oraz szczegółowe ustalenie zakresu prac każdej osoby, a także czasu na wykonanie każdego zadania. W ramach tej fazy przeprowadzono analizę dostępności danych zastanych oraz analizę danych i dokumentów niezbędnych do oceny obszaru obejmującego technologie dla ochrony środowiska wraz z opracowaniem formularzy do pracy eksperckiej.

FAZA 2 – Prace diagnostyczne

Diagnoza w obszarach powiązanych z inteligentnymi specjalizacjami będzie prowadzona głównie w oparciu o dane zastane – opracowania, raporty, analizy, akty prawne dotyczących zagadnień związanych z rozwojem technologii dla ochrony środowiska, trendów, osiągnięć, uwarunkowań,

potencjału B+R+I. Etapowo, w ramach zaplanowanych działań, ich wyniki będą przedstawiane w postaci wielowymiarowej regionalnej bazy technologii dla ochrony środowiska w ujęciu rynkowym.



Rys. 4.2. Rezultaty prowadzonych prac

FAZA 3 – Prace terenowe

Przyjęto założenie, że uzyskane dane i informacje z analizy danych zastanych będą konfrontowane z wynikami badań terenowych pozyskanymi od różnych niezależnych od siebie respondentów. W ramach badania zostaną przeprowadzone:

- wywiady pogłębione z dostawcami technologii: przedstawiciele regionalnych uczelni i jednostek naukowo-badawczych zajmujących się rozwojem technologii dla ochrony środowiska,
- wywiady pogłębione z przedsiębiorcami w celu rozpoznania potrzeb w zakresie rozwoju technologii dla ochrony środowiska,
- panele ekspertów z udziałem ekspertów z zakresu ochrony środowiska.

FAZA 4 – Ocena obszaru technologicznego

Dokonanie oceny obszaru technologicznego z uwzględnieniem zdiagnozowanego krajobrazu technologicznego stanowi syntetyczny opis czynników zewnętrznych i wewnętrznych wpływających na rozwój technologii dla ochrony środowiska w woj. śląskim. Wykorzystane narzędzia strategiczne PESTEL i SWOT pozwolą na wskazanie wyzwań i działań dla wzmocnienia nisz technologicznych.

FAZA 5 – Raport końcowy

Wyniki analiz oraz wnioski z wcześniejszych etapów badania zostaną przedstawione w raporcie zawierającym wyniki analiz z różnych źródeł oraz badań terenowych. Wyniki badania będą przedstawione w formie syntetycznych opisów, m.in. w postaci tabel, wykresów, grafik i map tak, aby zwiększyć czytelność i atrakcyjność raportu.

4.1.2. Zakres obszaru technologicznego

4.1.2.1. Biotechnologie w ochronie środowiska

Biotechnologia znajduje szerokie zastosowanie w ochronie środowiska. Procesy biologiczne znajdują bowiem zastosowanie w różnych technologiach, co pokazuje ich komplementarność z innymi grupami technologicznymi. Biotechnologia w ochronie środowiska jest wykorzystywana głównie do poprawy jakości wody, gleby, powietrza, a także do redukcji negatywnego wpływu działalności człowieka na środowisko. Analizowany region, ze względu na wysokie uprzemysłowienie, jest właściwym miejscem do wypracowania i wdrażania nowych rozwiązań technologicznych opartych na procesach biologicznych, stanowiąc jednocześnie jeden z perspektywicznych obszarów rozwoju.

Wdrażane są nowe rozwiązania, w szczególności w obszarze biopreparatów do bioremediacji i fitoremediacji gruntów, oczyszczania ścieków i powietrza. W obliczu nowych wymogów UE, rozwój biotechnologii w gospodarce wodno-ściekowej wskazywany jest jako priorytetowy i obiecujący, mający duży wpływ na rozwój technologiczny województwa. Potwierdzają to liczne inicjatywy badawcze uczelni i jednostek naukowych w regionie, ukierunkowane na poszukiwanie rozwiązań

i technologii oczyszczania ścieków oraz uzdatniania wód z substancji, które są lub będą w przyszłości objęte regulacjami prawnymi. Wysoki potencjał wykazują biologiczne metody oczyszczania (biooczyszczanie), w tym ścieków, m.in. z wykorzystaniem immobilizowanych biopreparatów, biooczyszczania powietrza (fylloremediacja, bioreaktory do oczyszczania powietrza). Widoczna jest także aktywność jednostek naukowych i uczelni w obszarze biodetekcji, w szczególności do zastosowań w gospodarce wodno-ściekowej, a rozwiązania w tym zakresie są oparte głównie na pomiarach aktywności oddechowej.

W analizowanej grupie biotechnologii w ochronie środowiska wyszczególniono pięć podgrup technologicznych, tj. biorafinacja, biopreparaty, biodetekcja, biooczyszczanie i bioprodukty. Najwięcej technologii zidentyfikowano w podgrupach biopreparatów i biooczyszczania. Są to w większości technologie produktu, obejmujące najczęściej biopreparaty do bioremediacji, oczyszczania ścieków, fitoremediacji gruntów (biopreparaty bakteryjne lub bakteryjno-grzybowe) jako technologie bazowe, w fazie wzrostu popularności/dojrzałości, o charakterze niszowym. W kontekście rozwoju technologicznego w działalności jednostek naukowych widoczny jest trend w obszarze immobilizowanych biopreparatów, w szczególności do usuwania zanieczyszczeń z wody i gleby (immobilizowane mikroorganizmy lub enzymy do usuwania zanieczyszczeń, np. biopreparat do oczyszczania ścieków w postaci Bio-Gąbki), które wykazują potencjał jako technologie przełomowe w analizowanym obszarze. Technologie przełomowe zidentyfikowano także w grupie biopreparatów do biodegradacji ksenobiotyków (np. szczepionka bakteryjna do fylloremediacji). W województwie zidentyfikowano również szereg oferowanych przez przedsiębiorców rozwiązań w postaci technologii produktu, wykorzystujących proces biostabilizowania w substancjach żelujących lub na innych nośnikach, w biopreparatach do bioremediacji gruntów oraz biopreparatach nawozowych i kondycjonujących rośliny.

W podgrupie biooczyszczania zidentyfikowano także szereg technologii wykorzystujących układy biologiczne, m.in. do oczyszczania powietrza, np. technologię oferowaną przez przedsiębiorcę z woj. śląskiego – bioreaktory do oczyszczania powietrza (technologia bazowa, niszowa, dojrzała), ale także technologie eksperymentalne, w fazie wprowadzania, opracowywane przez jednostki naukowe/uczelnie (np. fylloremediacja). Technologia oczyszczania powietrza z wykorzystaniem części nadziemnych roślin (tzw. fyllosfery), głównie drzew i krzewów wraz z zamieszkującymi je mikroorganizmami, wykazuje wysoki potencjał biotechnologiczny jako naturalne filtry powietrza. Technologię tę można określić jako technologię przełomową. W obszarze gospodarki wodno-ściekowej istotną grupę technologii stanowią biologiczne metody oczyszczania ścieków, w tym metoda granulowanego osadu czynnego oraz Anammox (technologia ta została wdrożona w kilku lokalizacjach, m.in. w oczyszczalniach w Bielsku-Białej, Krakowie, Oświęcimiu i Gdyni), a także technologie oparte na wykorzystaniu enzymów w procesach technologicznych – zielona kataliza (technologie przełomowe). Opracowywane są także technologie biodetekcji (przez jednostki naukowe i uczelnie), w tym przenośny system do analizy i transportu próbek biologicznych oparty na pomiarze aktywności oddechowej mikroorganizmów oraz automatyczny biodetektor toksyczności ogólnej wody z wykorzystaniem pomiaru aktywności metabolicznej konsorcjów bakterii nityfikacyjnych. Wśród zidentyfikowanych technologii w woj. śląskim, warta uwagi jest technologia biorafinacji owsa opracowana przez śląskiego przedsiębiorcę, ale we współpracy z uczelnią spoza województwa. Technologię tę można zaliczyć do technologii niszowych, będących w fazie wzrostu i popularności. Należy jednak zwrócić uwagę na wysoki potencjał technologii biorafinacji materiałów roślinnych w kontekście rozwoju współczesnej gospodarki. Widoczny trend w kierunku zrównoważonej produkcji, efektywnego wykorzystania zasobów naturalnych oraz redukcji negatywnego wpływu na środowisko powoduje, że ta grupa technologii może stanowić nie tylko technologie niszowe, ale także krytyczne i przełomowe. W podgrupie bioproduktów zidentyfikowano głównie technologie eksperymentalne, w fazie wprowadzania, stosowane jako technologie materiałowe, technologie działania i produktu, głównie jako technologie niszowe, w tym krytyczne. W ramach tej grupy wskazano m.in. biopodłoża (na bazie odpadów biodegradowalnych do adaptacji roślin na terenach zdegradowanych), biokompozyty (na bazie polimerów biodegradowalnych), biosurowce (bezodpadowa produkcja celulozy konopnej, hodowla biomasy mikroglonów).

4.1.2.2. Zielona chemia

Zielona chemia to nowa grupa technologii, których wprowadzenie na rynek stanowi odpowiedź na zmieniające się preferencje konsumentów oraz nowe regulacje prawne wpływające na ograniczenie stosowania „tradycyjnych”, szkodliwych substancji chemicznych. Sprzyja to intensywnemu rozwojowi zielonej chemii, w tym technologii biomateriałów (biodegradowalnych spoin, powłok hydrofobowych, opakowań, tuszy i materiałów do druku 3D) oraz zielonych preparatów chemicznych (kosmetycznych, nawozowych itp.).

W grupie technologii zielona chemia zidentyfikowano podgrupę biomateriały, obejmującą osiem technologii: biopolimery, biodegradowalne włókna i włókniny, biomembrany, bionośniki i biokształtki, biodegradowalne powłoki do impregnacji i zielone nawozy.

Technologie biopolimerów to technologie bazowe, będące w fazie wprowadzania na rynek, obejmujące zarówno technologie materiałowe, jak i technologie działania. Zidentyfikowano technologie niszowe, takie jak technologia wytwarzania poli(γ -butyrolaktonu). Nie zidentyfikowano technologii krytycznych.

Technologie krytyczne zidentyfikowano w technologiach włókien i włóknin, biodegradowalnych powłok i spoin oraz zielonych nawozów. Opracowywane technologie zielonych nawozów obejmujące innowacyjne mikrokomponenty nawozowe pozwalające na zmniejszenie strategicznych zależności UE od rynku nawozowego spoza UE. Podobnie wykorzystanie innowacyjnych, biodegradowalnych powłok i spoin w przemyśle opakowaniowym, transportowym czy spożywczym wpłynie na ograniczenie zapotrzebowania na tworzywa sztuczne i materiały wytwarzane w oparciu o tworzywa sztuczne, które często stanowią obecnie materiały spoza UE.

W podgrupie technologii biomateriały większość technologii znajduje się dopiero w fazie eksperymentalnej i wprowadzania na rynek. Wyjątkiem są technologie biodegradowalnych powłok. Opracowana przez jednostkę naukową (Główny Instytut Górnictwa – Państwowy Instytut Badawczy) technologia hydrofobowej powłoki do powlekania tektury, papieru, materiałów transportowych i opakowań znalazła zastosowanie na rynku zagranicznym (wdrożenie w Czechach). W podgrupie technologii zielone preparaty chemiczne (obejmującej pięć technologii) zidentyfikowano bazowe i niszowe technologie, takie jak biodegradowalne tusze, kosmetyki i zielone preparaty do remediacji. Część technologii znajduje się w fazie wzrostu i popularności. Technologie biodegradowalnych kosmetyków i zielonych preparatów do remediacji są w fazie dojrzałości technologicznej.

4.1.2.3. Technologie poprawy jakości terenów zdegradowanych

Względy efektywności ekonomicznej, ekologicznej i konieczność wdrażania nowych modeli gospodarczych oraz gospodarka o obiegu zamkniętym (GOZ) kierunkują rozwój technologii poprawy jakości terenów zdegradowanych na technologie integrujące postęp w dziedzinie nauk inżynierijno-technicznych, nauk rolniczych i biotechnologii. W celu zminimalizowania ryzyka dla zdrowia ludzi i degradacji środowiska rozwijane są technologie rekultywacji i bioremediacji z wykorzystaniem rozwiązań opartych na naturze (np. biopodłoża, biostymulacja, mokradła, bariery reaktywne, wykorzystanie roślinności), często z wykorzystaniem odpadów. Jednocześnie postęp w technologiach informacyjno-komunikacyjnych znajduje zastosowanie w nowych systemach kontrolno-pomiarowych monitorujących procesy remediacji. Ze względu na częste wykorzystywanie technologii produktu w procesach remediacyjnych i rekultywacyjnych na terenach zdegradowanych dana grupa technologiczna wykazuje wysoką komplementarność z grupą biotechnologii. Większość produktów, takich jak granulaty, nawozy, sorbenty i inne środki do remediacji, ma charakter ekologiczny i jest zdolna do rozkładu bez dalszego zanieczyszczania środowiska, zgodnie z nowymi wymogami UE.

W analizowanej grupie technologii poprawy jakości terenów zdegradowanych w woj. śląskim zidentyfikowano sześć podgrup technologicznych, w tym: remediację gruntów (5%), remediację wód (15%), rekultywację gruntów (80%), remediację zbiorników (5%), systemy kontrolno-pomiarowe (5%) oraz środki do remediacji (30%), które obejmują dwadzieścia wyodrębnionych technologii. Największą podgrupą technologiczną są technologie rekultywacji gruntów skupione przede wszystkim na rozwiązaniach produktu lub działania, np. rekultywacja połączona z biostymulacją,

która polega na regulacji kwasowości gruntów przez inwentaryzację chemicznego składu gleby i użycia preparatu biostymulującego lub substancji humusowych do neutralizacji pH podłoża; rekultywacja z wykorzystaniem zabiegów technicznych, włączając modyfikację środowiska gruntowo-wodnego przy użyciu rozwiązań hydraulicznych, fizycznych, pneumatycznych lub technologii PBR; rekultywacja gruntów z wykorzystaniem roślinności niskiej, produktów glebotwórczych z wysoką zawartością próchnicy, używanych jako komponent dla sadzonek i roślinności niskiej, co ma na celu utworzenie systemów korzennych pozwalających na ich szybki rozwój odpowiadający potrzebie stabilizacji gruntów czy usuwania zanieczyszczeń z głębszych warstw glebowych. Jedną z nowszych technologii w tej dziedzinie jest technologia hydrohumusowania, która skupia się na zapewnieniu zawiesiny wodnej bogatej w mieszaninę składników humusowych w niepłodnym środowisku glebowym, które składa się z piasku lub gliny. Mieszanka ta zapewnia odpowiednie warunki do zakorzeniania się i wzrostu roślinności. Technologie rekultywacyjne są obecnie w fazie wzrostu i popularności, a większość z nich ma charakter niszowy i bazowy.

W podgrupie środków do remediacji, która odpowiada za około 30% rozwiązań technologicznych dotyczących poprawy terenów zdegradowanych, przeważają środki do usuwania zanieczyszczeń (przede wszystkim ropopochodnych) oraz do usuwania metali ciężkich. Tymi rozwiązaniami są technologie produktu funkcjonujące jako technologie bazowe i niszowe, których wiek rynkowy ma szeroki zakres, jeżeli uwzględnić technologie o charakterze ekologicznym oraz te, które były produkowane, zanim zaczęły obowiązywać ustawy dotyczące ochrony środowiska. Starsze preparaty w fazie dojrzałości i schyłku nadal są używane na świecie, lecz coraz rzadziej w Europie ze względu na zaostrzenie w ostatnich latach regulacji dotyczących ich stosowania. Podgrupa ta wzajemnie uzupełnia się z grupą biotechnologii, jako że większość preparatów wytwarzanych obecnie jest nastawiona na biodegradowalność. Nowe technologie są w większości eksperymentalne, w fazie wprowadzania, należą do nich zarówno technologie niszowe (sorbenty węglowe), jak i krytyczne (granulaty na bazie osadów ściekowych i odpadów celulozowych). O ile te pierwsze mogą mieć zastosowanie do wytwarzania energii termicznej, o tyle te drugie mogą być używane na bardzo szeroką skalę do budowy krytycznych elementów infrastruktury, takich jak drogi.

Mniej postępową, lecz nadal rozwijającą się podgrupą technologii, jest remediacja wód, która dzieli się głównie na bariery reaktywne i mokradła. Bariery reaktywne to technologie bazowe, będące obecnie w fazie popularności zarówno w woj. śląskim, jak i poza nim. Mniej popularne są mokradła, które są technologią eksperymentalną w fazie wprowadzania i opierają się na technologii produktu. Obie technologie mają charakter niszowy pod względem wpływu na krajobraz technologiczny.

Najmniejszy udział w grupie technologii ma remediacja gruntów, remediacja zbiorników oraz systemy kontrolno-pomiarowe. Remediacja zarówno wód, jak i gruntów opiera się na technologiach bazowych o charakterze niszowym i mających zastosowanie przede wszystkim jako technologie produktu. Przykładem są biopodłoża do remediacji gruntu oparte na mieszkankach z odpadów biodegradowalnych do tworzenia podłoża do adaptacji roślin lub – w przypadku wód – remediacja biologiczna zbiorników wodnych z zastosowaniem roślinności zanurzonej. Biopodłoża do remediacji zbiorników wodnych wiążą chemicznie fosfor w osadach dennych lub stanowią bioreaktory z funkcją dotleniania i filtracji tych zbiorników.

Systemy kontrolno-pomiarowe są natomiast w fazie eksperymentalnej, aczkolwiek ze względu na wzrastający wymóg monitoringu środowiska i zapobiegania jego zanieczyszczaniu, technologie te są obecnie w fazie wzrostu i popularności, co sprawia, że firmy są skupione na ciągłym rozwoju usług i rozwiązań ze względu na wysoki poziom konkurencji.

4.1.2.4. Technologie gospodarowania odpadami

Spółeczeństwo i przedsiębiorstwa coraz częściej poszukują ekologicznych rozwiązań. Obecnie nacisk jest kładziony na implementację technologii umożliwiających sprawne przekształcanie odpadów w produkty materiałowe do zastosowań przemysłowych, w tym budowlanych, np. kruszywa syntetyczne. Równie ważne są technologie przekształcania odpadów organicznych w materiały nawozowe lub w substytuty gleby. Wytwarza się tu bowiem synergia z technologiami służącymi

poprawie jakości gruntów, do czego takie materiały mogą być wykorzystywane. Istotne są również technologie separacji odpadów, np. technologia separacji papieru lub metali i tworzyw sztucznych. Ze względu na rosnące zapotrzebowanie na energię promuje się również wdrażanie technologii zagospodarowania odpadów umożliwiających odzysk energii, np. w sektorze oczyszczania ścieków, gdzie powstające osady ściekowe przed ostatecznym zagospodarowaniem poddaje się fermentacji z odzyskiem biogazu.

Grupa technologii technologie gospodarowania odpadami obejmuje podgrupy technologii ukierunkowane na: odzysk, recykling, unieszkodliwianie, separację oraz pozyskiwanie energii z odpadów. Wybór tych technologii opiera się na kluczowych elementach zrównoważonego rozwoju, takich jak ograniczanie zużycia zasobów naturalnych, zmniejszanie ilości odpadów trafiających na składowiska, redukcja emisji gazów cieplarnianych.

Poniżej przedstawiono szczegółowy opis wybranych technologii z podziałem na kategorie oraz uzasadnienie ich wyboru.

Grupa technologii związana z gospodarką odpadami obejmuje szeroki wachlarz rozwiązań ukierunkowanych na efektywne: przetwarzanie, odzysk, recykling oraz pozyskiwanie energii z odpadów. Zidentyfikowano cztery główne podgrupy technologiczne, w ramach których wyróżniono łącznie dziesięć kluczowych technologii. Technologie te przyczyniają się do minimalizacji negatywnego wpływu odpadów na środowisko, efektywnego wykorzystywania surowców wtórnych oraz wspierają realizację założeń gospodarki o obiegu zamkniętym.

Najliczniejsza podgrupa technologii to technologie odzysku i recyklingu. Obejmuje ona pięć technologii stosowanych do przekształcania odpadów w wartościowe materiały wtórne lub surowce. Są to:

- Kruszywa z odpadów – przetwarzanie odpadów budowlanych na kruszywa wtórne, które znajdują zastosowanie w budownictwie, np. w produkcji betonu czy nawierzchni drogowych, co pozwala na ograniczenie eksploatacji zasobów naturalnych.
- Materiały z odpadów – wykorzystanie różnorodnych odpadów (takich jak plastik, szkło, papier) do produkcji nowych materiałów, np. kompozytów i biokompozytów, płyt kompozytowych o parametrach płyt wiórowych (ang. *oriented strand board*, OSB) czy materiałów izolacyjnych, co wspiera redukcję odpadów na składowiskach.
- Recyklaty i regranulaty, będące produktami recyklingu tworzyw sztucznych, są używane do produkcji nowych wyrobów, np. opakowań czy elementów przemysłowych.
- Nawozy i środki wspomagające uprawę roślin to technologie polegające na przetwarzaniu bioodpadów na kompost, biowęgiel czy inne nawozy organiczne, poprawiające jakość gleby i ograniczające konieczność stosowania nawozów chemicznych.
- Materiały płynne z odpadów to technologia pozyskiwania płynnych surowców (takich jak oleje czy biooleje) z odpadów plastikowych, organicznych lub spożywczych, które mogą być wykorzystywane jako paliwa alternatywne.

Wśród tych rozwiązań można odnaleźć technologie bazowe (50%), kluczowe (33%) oraz eksperymentalne (17%), co oznacza, że są szeroko stosowane w sektorze i stanowią ważny czynnik konkurencyjności. Biorąc pod uwagę wiek rynkowy, wyróżnione technologie w większości są w fazie wprowadzania (50%) lub wzrostu i popularności (33%). W tej grupie dominują technologie materiałowe i produktu (po 50%), wśród których można odnaleźć przykłady technologii niszowych oraz przełomowych.

Kolejna podgrupa to technologie unieszkodliwiania odpadów. Obejmuje ona jedną kluczową technologię neutralizacji i stabilizacji odpadów w celu minimalizacji ich toksycznego wpływu na środowisko. W tej podgrupie najistotniejsza jest stabilizacja odpadów, która opiera się na procesach chemicznych, fizycznych i biologicznych, zmniejszających toksyczność odpadów, co pozwala na ich bezpieczne składowanie lub dalsze przetwarzanie. Przykładowe rozwiązanie reprezentuje grupę kluczowych technologii, będących w fazie wprowadzania. Stabilizacja odpadów w kontekście ich unieszkodliwiania uznawana jest za technologię niszową, ukierunkowane zarówno na specyficzny sektor, jak i sposób prowadzenia procesu.

Podgrupa technologie pozyskiwania paliw z odpadów obejmuje trzy główne technologie umożliwiające wykorzystywanie odpadów jako surowca energetycznego w celu wytwarzania ciepła, energii elektrycznej lub paliw. Pierwszą z nich jest zgazowanie odpadów, czyli proces przekształcania odpadów w gaz syntezowy, który może być wykorzystywany do produkcji energii lub jako surowiec w przemyśle chemicznym. Zmniejsza to ilość odpadów na składowiskach przy jednoczesnym pozyskiwaniu energii. Sucha fermentacja odpadów to kolejna technologia beztlenowego rozkładu odpadów organicznych prowadzącego do wytwarzania biogazu, który może być wykorzystywany w elektrociepłowniach lub jako paliwo. Trzecią tego typu technologią jest kompostowanie odpadów, czyli proces biologiczny przekształcający bioodpady w kompost, który jest wartościowym nawozem organicznym, wspierającym rolnictwo i rekultywację gleb. Rozwiązania te są zaliczane do technologii bazowych (67%) oraz kluczowych (33%), a także kwalifikowane do różnych etapów rozwoju (wprowadzania, wzrostu i popularności, dojrzałości) stąd stanowią obszar potencjalnych prac badawczo-rozwojowych. Jako technologie działania są oparte na określonej metodzie przygotowania bądź prowadzenia procesu (100% przypadków).

Podgrupa technologie separacji odpadów obejmuje trzy główne technologie wydzielania i przygotowywania odpadów do dalszego przetwarzania lub recyklingu. Najważniejsza technologia to hybrydowa mechaniczna separacja odpadów, czyli mechaniczne procesy separacji, takie jak sortowanie optyczne, przesiewanie czy separacja magnetyczna. Zwiększają one efektywność recyklingu i ograniczają ilość zmieszanych odpadów. Kolejną technologią z tej podgrupy jest separacja i standaryzacja odpadów. Są to procesy polegające na dostosowywaniu odpadów do dalszego przetwarzania, np. przez usuwanie zanieczyszczeń lub homogenizację materiałów. W tej podgrupie znajdują się technologie odpowiadające za konkretny proces (100% technologii działania), zgodne z oceną wieku rynkowego – będące w fazie wprowadzania (100%), czyli charakteryzujące się początkowym rozwojem oraz realizacją w analizowanym obszarze prac B + R + I.

Technologie zidentyfikowane w obszarze gospodarki odpadami obejmują zarówno rozwiązania wspierające recykling i odzysk surowców, jak i te umożliwiające pozyskiwanie energii z odpadów. Dzięki ich zastosowaniu możliwe jest zmniejszenie negatywnego wpływu odpadów na środowisko, ograniczenie zużycia zasobów pierwotnych oraz zamknięcie obiegu materiałowego w gospodarce. Wprowadzenie tych technologii na szeroką skalę stanowi kluczowy krok w stronę zrównoważonego rozwoju.

W trakcie przeprowadzonych wywiadów stwierdzono, że głównymi kierunkami prac badawczo-rozwojowych i innowacyjnych (B + R + I) w regionie są technologie odzysku energii z odpadów oraz technologie monitorowania składowisk odpadów. Wskazane obszary stanowią kluczowy element rozwoju grupy technologii, gdzie kładzie się nacisk na innowacyjne podejście w zakresie zrównoważonego zarządzania odpadami oraz efektywności energetycznej.

4.1.2.5. Technologie wody i ścieków

W ostatnich latach problem z dostępem do czystej wody, jak również światowy kryzys wodny oraz nowe regulacje prawne w gospodarce wodno-ściekowej spowodowały, podejmowanie decyzji przez podmioty sektora o wdrażaniu innowacji w obszarze technologii oczyszczania ścieków przemysłowych, komunalnych, odcieków, odsalania czy kondycjonowania wody i stosowanie akwaponiki. Kryzys surowcowy prowadzi do rozwijania rozwiązań z zakresu odzysku surowców ze ścieków. Konieczność poprawy jakości wód wynikająca z przepisów prawnych UE jest czynnikiem determinującym rozwój technologii monitoringu jakości wód.

W grupie technologicznej technologie wody i ścieków zidentyfikowano osiem podgrup technologicznych oraz 26 technologii/rozwiązań (tab. 4.1). Wybór podgrup technologicznych oraz poszczególnych technologii był skoncentrowany głównie na wytypowaniu rozwiązań zmierzających do poprawy jakości ścieków, eliminacji substancji specyficznych oraz odzysku wody i cennych składników ze ścieków. Wybrane technologie są wykorzystywane do oczyszczania ścieków, redukcji zanieczyszczeń, a w konsekwencji do poprawy jakości wody w zrównoważony sposób. Spośród rozpoznanych innowacyjnych rozwiązań dominują technologie oczyszczania ścieków komunalnych

(31%), technologie oczyszczania ścieków przemysłowych (27%), technologie uzdatniania i kondycjonowania wody oraz technologie odsalania (12%).

W podgrupie technologicznej technologie oczyszczania ścieków komunalnych dominują głównie urządzenia/rozwiązania technologiczne ukierunkowane na zastosowanie w oczyszczalniach ścieków komunalnych (np. złoża biologiczne, granulowany osad czynny oraz reaktory biologiczne). Są to również rozwiązania skupiające się na eliminacji substancji specyficznych, np. zawiesin (osadniki), tłuszczów (separatorów tłuszczów) oraz substancji farmaceutycznych (ozonowanie ścieków), dlatego ich zaklasyfikowanie do tej podgrupy jest uzasadnione.

Drugą dominującą podgrupą technologiczną (27%) jest podgrupa technologie oczyszczania ścieków przemysłowych. Przykładami rozwiązań są technologie membranowe, kataliza i zaawansowane utlenianie oraz oczyszczanie ścieków agresywnych. Większość technologii w tej podgrupie to technologie eksperymentalne na etapie wprowadzania. W tej podgrupie zidentyfikowano jedną technologię krytyczną (technologia oczyszczania wód powstających w procesie podziemnego zgazowania węgla). O wyborze tej technologii zdecydował m.in. wysoki stopień zanieczyszczenia wód (np. benzenem, antracenenem, naftalenem), znajdujących się na liście substancji priorytetowych Ramowej Dyrektywy Wodnej UE.

Trzecią dominującą podgrupą technologiczną (po 12%) są podgrupy technologie uzdatniania i kondycjonowania wody i technologie odsalania. Przykładem takiego rozwiązania jest elektroniczny uzdatniacz wody. Rozwiązanie to wybrano, ponieważ w odróżnieniu od innych metod kondycjonowania, nie jest oparte na wykorzystywaniu odczynników chemicznych. W podgrupie dominują membranowe technologie odsalania, w tym technologie odsalania wód kopalnianych. Stwierdzono, że technologie odsalania wód kopalnianych są obecnie technologiami krytycznymi (zaawansowany recykling i przetwarzanie ścieków), ponieważ stanowią nowatorskie technologie i procesy pozwalające na wykorzystanie nowego źródła surowców krytycznych w modelu gospodarki o obiegu zamkniętym.

W podgrupie technologicznej technologia oczyszczania odcieków zidentyfikowano jedną technologię działania, tj. deamonifikacja. Technologia ta została wybrana, ponieważ jest ukierunkowana na obniżanie stężenia azotu ogólnego w odciekach (dodatkowy ładunek zanieczyszczeń zawracany do głównego ciągu oczyszczania), co istotnie usprawnia pracę oczyszczalni ścieków komunalnych. Ponadto technologia ta jest jedną z odpowiedzi na zaostroszone wymogi stawiane oczyszczalniom (nowa dyrektywa ściekowa).

W podgrupie technologicznej technologia odzysku surowców ze ścieków przemysłowych wyróżniono dwie technologie działania, tj. odzysk kwasu borowego oraz odzysk siarczanu sodu. Są to technologie odzyskiwania cennych składników ze ścieków, które wspierają realizację koncepcji gospodarki obiegu zamkniętego, co uzasadnia potrzebę ich stosowania.

W podgrupie technologicznej technologia akwaponiczna zidentyfikowano jedną technologię (farmę wertykalną), która pod względem efektywności została zaklasyfikowana jako eksperymentalna, jednak obecnie jest już w fazie wprowadzania. Rozwiązanie to opiera się na technologii działania i maksymalizuje hodowlę oraz system upraw, wykorzystując przestrzeń w pionie. Rozwiązanie to wybrano, ponieważ w odróżnieniu od klasycznych upraw, farmy wertykalne są w pełni zautomatyzowane i pozwalają zaoszczędzić do 95% wody.

W podgrupie technologicznej monitoring jakości wód zidentyfikowano jedną technologię (smart monitoring). Technologię tę wybrano, ponieważ ułatwia ona zarządzanie zasobami wodnymi (monitorowanie temperatury zbiorników wodnych).

Pod względem efektywności poszczególnych podgrup technologicznych dominują technologie bazowe (46%), np. złoża biologiczne, preparaty do uzdatniania i kondycjonowania wody. Technologie eksperymentalne (np. usuwanie farmaceutyków) stanowią 42% ogółu technologii sklasyfikowanych w kryterium efektywności. Około 38% technologii osiągnęło już fazę dojrzałości, a 35% jest w fazie wprowadzania. Coraz większą popularność (27% technologii) osiągają technologie odsalania, usuwania farmaceutyków czy doczyszczania odcieków pofermentacyjnych. Spośród

zidentyfikowanych unikatowych rozwiązań/technologii, które mają wpływ na krajobraz technologiczny, 12% to technologie krytyczne (złoża filtracyjne, technologie oczyszczania wód powstających w procesie podziemnego zgazowania węgla i technologie odsalania).

Z przeprowadzonych wywiadów wynika, że dwoma podstawowymi czynnikami wpływającymi na rozwój technologiczny są rosnąca świadomość ponownego wykorzystania surowców oraz nowe regulacje prawne, w tym kształtowanie polityki europejskiej. Z udzielonych odpowiedzi wynika, że ankietowani znają lub śledzą zmiany technologiczne w obszarze technologii wody i ścieków. W ramach tej technologii częściej mówi się o rozwoju technologicznym (np. zmiana mocy urządzeń, alternatywne materiały) niż o zmianach technologicznych. Ankietowani są również zgodni co do pozytywnego wpływu konkurencji jako czynnika warunkującego rozwój oferowanych usług/rozwiązań. Konkurencja napędza do działania i nie pozwala „zadomowić się” w danym rozwiązaniu. Co więcej, niektóre z udzielonych odpowiedzi wskazują na korzyści z podejmowanej współpracy z hipotetycznymi konkurentami, np. w obszarze rozwoju nowych rozwiązań. Wyniki ankiet wskazują na zachodzące (w perspektywie do 2050 r.) zmiany na rynku technologii. Wynikają one m.in. z trwającego procesu transformacji gospodarczej w regionie oraz światowego ubóstwa wodnego. Nowe regulacje prawne wpływają silnie na rozwój w obszarze technologii wody i ścieków, ponieważ przyczyniają się do opracowania rozwiązań dążących do samowystarczalności energetycznej oraz do odzysku wody ze ścieków do takiego stanu, aby była ona zdatna do spożycia przez ludzi. W zakresie technologii wody i ścieków powinno kłaść się szczególny nacisk na rozwijanie kierunków oczyszczania i uzdatniania wody odzyskanej ze ścieków.

4.1.2.6. Technologie ochrony powietrza

Technologie ochrony powietrza stanowią kluczowy obszar rozwoju ze względu na wysoki poziom zanieczyszczeń wynikający z dużego uprzemysłowienia regionu. Proces rozwoju innowacji na tym obszarze napędzany jest głównie przez potrzebę poprawy jakości życia mieszkańców, spełnienia wymogów prawnych, wspierania zrównoważonego rozwoju regionu oraz procesu transformacji przemysłowej i energetycznej⁵. Zidentyfikowane technologie o wysokim potencjale rozwoju w regionie zostały podzielone na pięć głównych grup: technologie monitoringu jakości powietrza, technologie oczyszczania spalin, technologie oczyszczania powietrza, systemy wentylacji i technologie ochrony powietrza. Technologie w obszarze ochrony powietrza zostały wybrane na podstawie aktualnej bazy patentowej, realizowanych w regionie projektów w skali lokalnej, regionalnej i międzynarodowej oraz przeprowadzonych wywiadów z jednostkami B + R.

Obecny rynek technologii ochrony powietrza w regionie kształtują innowacje z zakresu oczyszczania spalin, oczyszczania powietrza, wychwytywania CO₂, inteligentnych systemów monitorowania powietrza, filtracji powietrza, systemów wentylacji oraz fotokatalizy. Na szczególną uwagę zasługują rozwijające się technologie wykorzystujące procesy biooczyszczania powietrza. Są to technologie niszowe, takie jak fylloremediacja, żywe zielone ściany, bioreaktory oraz samowystarczalne, inteligentne moduły zielonej infrastruktury miejskiej. Do technologii niszowych można również zaliczyć rozwijane w regionie pulsacyjne systemy wentylacji, hybrydowe systemy zraszania redukujące zapylenie czy rozwiązania oparte na ekologicznych słupach energetycznych. Jednostki naukowe zlokalizowane w regionie rozwijają technologie deep tech z zakresu oczyszczania spalin z użyciem katalizatora oraz przez recykling metanu (np. technologia unieszkodliwiania metanu w oparciu o katalizator platynowy z wartością dodaną w postaci odzysku energii odpadowej). Rozwijane są także technologie oczyszczania powietrza w oparciu o fotokatalizę (fotokatalityczne i kontrolowane temperaturą oczyszczanie powietrza z VOC i NO_x w ramach projektu Photo-PURE). Zaobserwowano, że pandemia COVID-19 przyczyniła się do rozwoju różnych systemów oczyszczania powietrza w kraju i regionie, w tym zapewniających eliminację drobnoustrojów (m.in. oczyszczacz ULI opracowany w Politechnice Śląskiej w Gliwicach). Ze względu na specyfikę regionu i jego wysoki stopień uprzemysłowienia rozwijane są nowoczesne technologie wychwytu CO₂ ze spalin (np. wychwytywanie ditlenku węgla z mieszanin gazowych metodą próżniowej adsorpcji

⁵ Regionalny Plan Sprawiedliwej Transformacji Województwa Śląskiego 2030.

zmiennociśnieniowej) oraz technologie oczyszczania spalin z wykorzystaniem sorbentów (np. technologia usuwania CO₂ ze spalin przemysłowych w oparciu o sorbent na bazie związków żelaza). W regionie znajdują się również podmioty oferujące dojrzałe technologie w zakresie systemów do wentylacji i filtracji powietrza w halach przemysłowych. Coraz bardziej popularne staje się wdrażanie urządzeń antysmogowych w newralgicznych punktach miasta, w celu skutecznego zmniejszania poziomu smogu (np. filtrator antysmogowy Atanox). Z kolei cyfrowe technologie oraz rozwój sztucznej inteligencji w regionie sprzyjają opracowywaniu zaawansowanych urządzeń, czujników i oprogramowań do pomiaru oraz sygnalizowania jakości powietrza przy wykorzystaniu bezałogowych urządzeń (np. narzędzie informatyczne prognozujące jakość powietrza w regionie – InfoSMOG-MED, pyłomierz Dust Air). W fazie wzrostu i popularności znajdują się technologie oparte na czujnikach jakości powietrza wykorzystywanych w monitoringu oraz nowoczesne technologie wychwytu CO₂, które mogą być rozpatrywane w kategorii technologii przełomowych. Rosnąca świadomość społeczna, wspieranie działań publicznych i transformacja energetyczna sprzyjają dalszemu rozwojowi innowacji w tym obszarze. Podmioty gospodarcze z branży technologii dla ochrony środowiska dostrzegają bardzo duży potencjał w rozwoju technologii opartych na monitorowaniu powietrza, z wykorzystaniem rozwiązań IoT oraz inteligentnych systemów automatyki. Ponadto nowa polityka klimatyczno-energetyczna realizowana w Polsce i w Europie wywiera silny wpływ na rozwój niskoemisyjnej technologii grzewczej w regionie i wspiera przedsiębiorców z branży urządzeń grzewczych⁶ (np. technologie oparte na ekologicznych kotłach). Jednostki badawcze z regionu wskazują również na potencjał rozwoju technologii wodorowych, szczególnie w kontekście zrównoważonej transformacji energetycznej i ochrony powietrza. Obszar ten wymaga nadal intensywnego wsparcia, mimo powołania Śląsko-Małopolskiej Doliny Wodorowej.

Podsumowując, jako jedne z kluczowych technologii, szczególnie w kontekście zrównoważonego rozwoju, redukcji emisji zanieczyszczeń i poprawy jakości powietrza, należy rozpatrywać stosowanie technologii: monitoringu powietrza, oczyszczania spalin, technologie oczyszczania powietrza oparte na hybrydowych systemach zraszania używanych do redukcji zapylenia, sorbenty, zielone dachy, technologie eliminacji drobnoustrojów, systemy wentylacji nawiewno-wywiewnej, a także urządzenia oraz systemy recyklingu i regeneracji.

4.1.2.7. Technologie zarządzania środowiskiem

Zapotrzebowanie na technologie zarządzania środowiskiem w woj. śląskim wzrasta w odpowiedzi na potrzebę redukcji emisji zanieczyszczeń, poprawy efektywności energetycznej oraz zrównoważonego zarządzania zasobami naturalnymi. W regionie obserwuje się rosnącą świadomość społeczną i przedsiębiorczą w zakresie zrównoważonego rozwoju, rozwijają się technologie związane z obszarem energetyki i zielonej transformacji, geoinformacji i technologii satelitarnych, a także koncepcja inteligentnego miasta (ang. *smart city*).

W grupie technologicznej technologie zarządzania środowiskiem zidentyfikowano siedem podgrup technologicznych oraz 14 technologii/rozwiązań (tab. 4.1). O wyborze technologii zarządzania środowiskiem decydowało skuteczne rozwiązywanie przez nie kluczowych problemów związanych z ochroną środowiska, efektywnością energetyczną, zrównoważonym rozwojem oraz zmianami klimatu.

Cyfryzacja odgrywa także kluczową rolę w ochronie środowiska, ponieważ umożliwia bardziej efektywne, precyzyjne i zrównoważone zarządzanie zasobami naturalnymi oraz monitorowanie i analizowanie wpływu działalności gospodarczej na środowisko. Wprowadzenie nowoczesnych technologii cyfrowych ma ogromny wpływ na poprawę efektywności działań proekologicznych oraz wspiera podejmowanie decyzji w zakresie ochrony środowiska. Spośród rozpoznanych innowacyjnych rozwiązań dominują systemy sterowania i optymalizacji procesów technologicznych (22%), technologie inteligentnego miasta, technologie informacyjno-komunikacyjne (ICT) w ochronie środowiska oraz inteligentna infrastruktura ochrony środowiska (po 16,7%).

⁶ Mapa drogowa dotycząca przygotowania i wdrażania studiów wykonalności inwestycji badawczo-rozwojowych i innowacyjnych dla branży producentów niskoemisyjnych urządzeń grzewczych do 2030 r.

Systemy sterowania i optymalizacji procesów technologicznych umożliwiają efektywne zarządzanie procesami przemysłowymi, które zmniejszają zużycie energii, materiałów i wody oraz ograniczają emisję odpadów i zanieczyszczeń. Systemy te pozwalają na optymalizację produkcji w czasie rzeczywistym, co prowadzi do mniejszych strat surowców i energii, a także do poprawy efektywności procesów przemysłowych. Wśród przykładów można odnaleźć inteligentne platformy optymalizacji energii, zintegrowany system dyspozytorski oraz oprogramowanie dla górotworów. Technologie te reprezentują przede wszystkim fazę dojrzałości i są zaliczane do technologii działania.

Podgrupa technologiczna technologie inteligentnego miasta obejmuje systemy integrujące technologie ICT oraz czujniki i systemy monitorowania dla efektywnego zarządzania infrastrukturą, ruchem drogowym, energetyką, wodą oraz odpadami. Technologie te pozwalają na tworzenie miast bardziej ekologicznych, oszczędnych i przyjaznych dla mieszkańców. W praktyce widać coraz większe zainteresowanie tymi technologiami, a wśród przykładowych wdrożeń na Śląsku można wyróżnić np. systemy zarządzania budynkami czy systemy smart cities. Są to przede wszystkim technologie kluczowe w fazie dojrzałości, mające konkretne zastosowania (technologie działania) i wysoki potencjał zastosowania.

Technologie informacyjno-komunikacyjne w ochronie środowiska odgrywają kluczową rolę w zarządzaniu danymi, analizie oraz rozwiązywaniu problemów środowiskowych. Technologie te obejmują m.in. platformy do zarządzania danymi, aplikacje do monitorowania zasobów oraz narzędzia wspierające komunikację i współpracę w zakresie ochrony środowiska. Technologie te wspomagają zarządzanie środowiskiem przez integrację różnych systemów, analizę dużych zbiorów danych oraz udostępnianie wyników w przystępny sposób (np. baza danych zanieczyszczeń i baza danych składowisk). Wśród tych technologii dominują technologie eksperymentalne, będące efektem prac B + R, nastawione na rozwiązanie konkretnego problemu. Oznacza to, że często są to technologie w fazie wprowadzania dla wyselekcjonowanej grupy odbiorców.

Podgrupa inteligentna infrastruktura ochrony środowiska obejmuje zaawansowane systemy technologii, które integrują narzędzia cyfrowe, czujniki, IoT, AI oraz big data w celu monitorowania, zarządzania i optymalizacji zasobów naturalnych oraz procesów związanych z ochroną środowiska. Jest to kompleksowy sposób monitorowania, analizowania i reagowania na zmiany w środowisku w czasie rzeczywistym służący poprawie efektywności zarządzania zasobami oraz minimalizowania negatywnego wpływu działalności człowieka na ekosystemy. Inteligentna infrastruktura pozwala na lepszą kontrolę miejskiej i przemysłowej infrastruktury (np. transport, oświetlenie, sieci wodociągowe), wspierając redukcję zanieczyszczeń, zmniejszenie zużycia zasobów oraz zwiększenie efektywności energetycznej. Do przykładów takich rozwiązań należą m.in. system obserwacji sejsmologicznej i płyty europejskiej oraz systemy oceny jakości wód powierzchniowych. W tej podgrupie dominują technologie działania, które – w zależności od obszaru działania – są w fazie wprowadzania lub wzrostu popularności. Oznacza to, że często są to rozwiązania eksperymentalne, nastawione na stworzenie technologii deep tech i krytycznych.

Przestrzenne systemy wspomagania decyzji czy systemy informacji geograficznej (GIS) umożliwiają analizowanie, przetwarzanie i wizualizowanie danych przestrzennych, co wspiera podejmowanie decyzji dotyczących zarządzania środowiskiem, planowania przestrzennego, ochrony zasobów naturalnych i zarządzania kryzysowego. Dzięki tym technologiom możliwe jest lepsze planowanie urbanistyczne, monitorowanie stanu środowiska oraz podejmowanie decyzji, które wspierają zrównoważony rozwój regionów. Do najbardziej rozpoznawalnych przykładów na Śląsku należą systemy zarządzania terenami pogórnymi czy Otwarty Regionalny System Informacji Przestrzennej – technologie kluczowe, będące w fazie dojrzałości oraz mające zastosowanie do konkretnych zadań/procesów.

Podgrupa technologie satelitarne w ochronie klimatu i środowiska obejmuje technologie satelitarne pozwalające na globalne monitorowanie stanu środowiska, zmian klimatycznych, jakości powietrza, wód, gleby oraz innych parametrów ekologicznych. Dzięki precyzyjnym danym satelitarnym jest możliwe wykrywanie zmian w czasie rzeczywistym oraz prognozowanie potencjalnych zagrożeń ekologicznych. Metody teledetekcji w monitorowaniu wód czy metody teledetekcji w monitorowaniu

gleby są przykładem technologii zaliczanej do ww. podgrupy. Technologie te mają istotny wpływ na krajobraz technologiczny, ponieważ dotyczą niszowych obszarów lub technologii typu deep tech. Jako innowacyjne rozwiązania, mające konkretne zastosowanie, są efektem prac badawczo-rozwojowych i znajdują się na wczesnym etapie wdrażania.

Systemy monitorowania i prognozowania stanu i jakości środowiska obejmują systemy pozwalające na monitorowanie jakości powietrza, wody, gleby, hałasu oraz innych parametrów środowiskowych w czasie rzeczywistym. W połączeniu z zaawansowaną analityką umożliwiają prognozowanie zagrożeń ekologicznych oraz wspierają podejmowanie szybkich i skutecznych działań interwencyjnych. Wśród przykładów technologii niszowych, ale ukierunkowanych na wspieranie procesów, jest system obejmujący zarządzanie ryzykiem środowiskowym w trakcie i po zamknięciu kopalń. System, który może być zaliczony do technologii bazowych w woj. śląskim, wzbudza coraz szersze zainteresowanie i akceptację odbiorców, mimo że pochodzą oni z wyselekcjonowanego obszaru działalności.

Z przeprowadzonych wywiadów wynika także, że oferta jednostek naukowych z woj. śląskiego coraz częściej jest ukierunkowana na rozwiązania ICT, a te z kolei wspierają samorządy w zwiększaniu odporności miast na zmiany klimatu. Innym kierunkiem prac B+R+I zyskującym popularność w obszarze technologii zarządzania środowiskiem są zintegrowane systemy monitoringu (powietrza, wody, gleby), mające na celu informowanie o kluczowych parametrach oraz ostrzeganie o zanieczyszczeniach. Takie systemy umożliwiają skuteczną reakcję na niekorzystne zmiany w środowisku, ostrzegają przed potencjalnymi zagrożeniami ekologicznymi oraz wspierają politykę ochrony środowiska. Zastosowanie takich technologii ma kluczowe znaczenie dla zrównoważonego rozwoju i poprawy jakości życia, zwłaszcza w obliczu rosnących zagrożeń związanych z degradacją środowiska.

Tabela 4.1. Grupy i podgrupy technologii dla ochrony środowiska wraz z ich oceną

Obszar technologiczny	Grupa technologii/ podgrupa technologii	Technologie	Efektywność			Wiek rynkowy			Zastosowanie			Wpływ na krajobraz technologiczny				
			technologia bazowa	technologia kluczowa	technologia eksperymentalna	faza wprowadzania	faza wzrostu i popularności	faza dojrzałości	faza schyłkowa	technologia materiałowa	technologia działania	technologia produktu	technologia niszowa	technologia krytyczna	technologia przełomowa (zaburzająca – disruptive)	technologia deep tech
Technologie dla ochrony środowiska	3.1. Biotechnologie w ochronie środowiska															
	3.1.1. Biorafinacja	Biorafinacja materiałów roślinnych		x			x					x	x	x	x	
	3.1.2. Biopreparaty	Biopreparaty do bioremediacji	x					x				x	x			
		Biopreparaty do oczyszczania ścieków	x					x				x	x			
		Biopreparaty nawozowe i kondycjonujące rośliny	x					x				x	x			
		Immobilizowane biopreparaty			x	x						x	x		x	
		Biopreparaty do fitoremediacji gruntów	x				x					x	x			
		Biopreparaty do biodegradacji ksenobiotyków			x	x					x	x	x		x	
	3.1.3. Biodetekcja	Biodetektor aktywności osadów w oczyszczalni ścieków	x					x				x	x			
		Biodetektor toksyczności	x			x					x		x			
	3.1.4 Biooczyszczanie	Biooczyszczanie powietrza/fylloremediacja	x				x				x		x	x	x	
		Biooczyszczanie ścieków	x				x				x		x		x	
		Zielona kataliza			x	x					x		x		x	
	3.1.5. Bioprodukty	Biosurowce			x	x					x	x		x	x	x
		Biokompozyty			x	x					x			x	x	
	3.2. Zielona chemia															
	3.2.1. Biomateriały	Biopolimery	x				x				x			x		
		Biodegradowalne włókna i włókniny			x	x					x	x	x	x	x	
		Biomembrany, bionośniki i biokształtki			x	x					x	x	x	x		
		Biodegradowalne powłoki do impregnacji	x				x				x				x	
		Zielone nawozy			x	x						x			x	
		Biodegradowalne spoiny			x	x					x				x	x
	3.2.2. Zielone preparaty chemiczne	Biodegradowalne tusze	x				x				x			x		
		Biodegradowalne kosmetyki	x					x					x	x		
		Zielone preparaty do remediacji	x					x					x	x		
	3.3. Technologie poprawy jakości terenów zdegradowanych															
3.3.1. Remediacja gruntów	Biopodłoża do remediacji	x				x						x	x			
	Hydrohumusowanie	x					x					x		x		
3.3.2. Remediacja wód	Bariery reaktywne	x				x						x		x		
	Mokradła				x		x					x	x			
3.3.3. Rekultywacja gruntów	Rekultywacja z wykorzystaniem zabiegów technicznych	x					x					x		x		

Obszar technologiczny	Grupa technologii/ podgrupa technologii	Technologie	Efektywność			Wiek rynkowy			Zastosowanie			Wpływ na krajobraz technologiczny				
			technologia bazowa	technologia kluczowa	technologia eksperymentalna	faza wprowadzania	faza wzrostu i popularności	faza dojrzałości	faza schyłkowa	technologia materiałowa	technologia działania	technologia produktu	technologia niszczenia	technologia krytyczna	technologia przełomowa (zaburzająca – disruptive)	technologia deep tech
		Rekultywacja z biostymulacją gruntów			x		x					x	x			
		Rekultywacja gruntów z wykorzystaniem roślinności niskiej	x				x					x	x			
	3.3.4. Remediacja zbiorników	Rekultywacja zbiorników z wykorzystaniem roślinności	x				x				x		x			
	3.3.5. Systemy kontrolno-pomiarowe	Laserowe badania terenu			x	x					x					x
	3.3.6. Środki do remediacji	Środki do usuwania ropopochodnych			x		x					x	x			
		Środki do usuwania metali ciężkich			x	x						x		x		
	3.4. Technologie gospodarowania odpadami															
	3.4.1. Technologie odzysku i recyklingu	Kruszywa z odpadów		x			x			x			x			
		Nawozy i środki wspomagające uprawę roślin		x			x					x	x			
		Materiały z odpadów	x			x						x			x	
		Recyklaty i regranulaty	x					x		x					x	
		Biopaliwa z odpadów			x	x						x		x		
		Materiały płynne z odpadów	x			x				x			x			
	3.4.2. Technologie unieszkodliwiania odpadów	Stabilizacja odpadów		x		x					x		x			
	3.4.3. Technologie separacji odpadów	Hybrydowa mechaniczna separacja odpadów	x			x					x		x			
		Separacja i standaryzacja odpadów	x			x					x		x			
		Separacja termiczna odpadów		x		x					x					
	3.4.4. Technologie pozyskiwania paliw z odpadów	Zgazowanie odpadów	x			x					x		x			
		Sucha fermentacja odpadów	x				x				x			x		
		Kompostowanie odpadów		x				x			x		x			
	3.5. Technologie wody i ścieków															
	3.5.1 Technologie oczyszczania ścieków komunalnych	Złoża biologiczne	x					x				x	x			
		Granulowany osad		x			x				x		x			
		Złoża filtracyjno-sorpcyjne	x			x					x			x		
		Separatory tłuszczów	x					x				x	x			
		Reaktory biologiczne	x					x				x	x			
		Osadniki	x					x				x	x			
		Systemy zagospodarowania deszczówki	x					x				x	x			
		Technologie usuwania farmaceutyków			x		x				x		x			
	3.5.2. Technologie oczyszczania ścieków przemysłowych	Separatory substancji ropopochodnych	x					x				x	x			
		Neutralizatory	x					x				x	x			
		Technologie membranowe			x	x					x		x			
		Kataliza i zaawansowane utlenianie			x	x						x	x			

Obszar technologiczny	Grupa technologii/ podgrupa technologii	Technologie	Efektywność			Wiek rynkowy			Zastosowanie			Wpływ na krajobraz technologiczny					
			technologia bazowa	technologia kluczowa	technologia eksperymentalna	faza wprowadzania	faza wzrostu i popularności	faza dojrzałości	faza schyłkowa	technologia materiałowa	technologia działania	technologia produktu	technologia niszowa	technologia krytyczna	technologia przełomowa (zaburzająca – disruptive)	technologia deep tech	
		Technologia oczyszczania wód powstających w procesie podziemnego zgazowania węgla			x	x					x		x				
		Oczyszczanie ścieków agresywnych			x		x				x		x				
		Technologia oczyszczania ścieków odpadowych uzdrowiskowych			x	x					x		x				
	3.5.3. Technologie uzdatniania i kondycjonowania wody	Preparaty do uzdatniania	x					x				x	x				
		Elektroniczne uzdatniacze wody		x				x				x		x			
		Preparaty do kondycjonowania wody	x					x				x	x				
	3.5.4. Technologia oczyszczania odcieków	Deamonifikacja			x		x				x		x				
	3.5.5. Technologie odsalania	Technologie usuwania chlorków i siarczanów ze ścieków przemysłowych			x	x					x		x				
		Membranowe technologie odsalania	x			x					x			x			
		Technologie odsalania wód kopalnianych		x			x				x		x				
	3.5.6. Technologia odzysku surowców ze ścieków przemysłowych	Odzysk kwasu borowego			x	x					x		x				
		Odzysk siarczanu sodu			x		x				x		x				
	3.5.7. Technologia akwaponiczna	Farma wertykalna			x	x					x		x				
	3.5.8. Monitoring jakości wód	Smart monitoring	x					x					x	x			
	3.6. Technologie ochrony powietrza																
	3.6.1. Monitoring jakości powietrza	Czujniki jakości powietrza		x					x				x			x	
		Oprogramowanie do monitorowania jakości powietrza		x				x				x			x		
	3.6.2. Technologie oczyszczania spalin	Sorbenty do oczyszczania spalin		x							x				x		
		Oczyszczanie spalin z użyciem katalizatora		x					x			x					x
		Technologie wychwytu CO ₂		x				x				x				x	
	3.6.3. Technologie oczyszczania powietrza	Hybrydowy system zraszania do redukcji zapylenia		x				x				x		x			
		Filtry powietrza	x						x				x		x		
		Sorbenty do oczyszczania powietrza		x					x			x			x		
		Fotokatalizatory do oczyszczania powietrza			x			x				x					x
		Zielone dachy		x				x				x			x		
		Technologie eliminacji drobnoustrojów		x					x			x			x		
		Żywe, zielone ściany	x					x				x			x		
		Suche skrubery	x						x			x				x	
	3.6.4 Systemy wentylacji	Systemy wentylacji nawiewno-wywiewnej		x					x			x			x		
		Pulsacyjna wentylacja			x	x						x			x		
	3.6.5. Urządzenia i systemy recyklingu oraz regeneracji	Ekologiczne kotły	x						x				x		x		
		Ekologiczne słupy energetyczne		x			x						x	x			
		Unieszkodliwianie metanu		x				x					x			x	

Obszar technologiczny	Grupa technologii/ podgrupa technologii	Technologie	Efektywność			Wiek rynkowy			Zastosowanie			Wpływ na krajobraz technologiczny				
			technologia bazowa	technologia kluczowa	technologia eksperymentalna	faza wprowadzania	faza wzrostu i popularności	faza dojrzałości	faza schyłkowa	technologia materiałowa	technologia działania	technologia produktu	technologia niszowa	technologia krytyczna	technologia przełomowa (zaburzająca – disruptive)	technologia deep tech
		Regeneracja katalizatorów		x				x			x			x		
		Recykling metanu		x			x			x						x
	3.7. Technologie zarządzania środowiskiem															
	3.6.1 Systemy sterowania i optymalizacji procesów technologicznych	Inteligentne platformy optymalizacji energii		x			x	x			x			x		
		Zintegrowany system dyspozytorski	x					x			x		x			
		Oprogramowanie dla górotworów			x	x		x			x			x		
	3.6.2 Technologie inteligentnego miasta	Systemy zarządzania budynkami		x				x			x		x	x		
		Systemy smart cities		x				x			x			x		
	3.6.3 Przestrzenne systemy wspomagania decyzji	Systemy zarządzania terenami pogórnymi		x				x			x			x		
		Otwarty Regionalny System Informacji Przestrzennej		x				x			x			x		
	3.6.4 Technologie satelitarne w ochronie klimatu i środowiska	Metody teledetekcji w monitorowaniu wód		x		x					x				x	
		Metody teledetekcji w monitorowaniu gleby		x			x				x		x			
	3.6.5 Systemy monitorowania i prognozowania stanu oraz jakości środowiska	Zarządzanie ryzykiem środowiskowym w trakcie i po zamknięciu kopalń	x				x				x		x			
	3.6.6 Inteligentna infrastruktura ochrony środowiska	System obserwacji sejsmologicznej i płyty europejskiej			x	x					x					x
		Systemy oceny jakości wód powierzchniowych		x		x	x				x			x		
	3.6.7 Technologie informacyjno-komunikacyjne (ICT) w ochronie środowiska	Baza danych zanieczyszczeń			x	x					x		x			
		Baza danych składowisk			x	x					x		x			

4.1.3. Analiza konkurencyjności obszaru technologicznego

4.1.3.1. Analiza warunków popytu na technologie w ramach obszaru technologicznego

4.1.3.1.1. Biotechnologie w ochronie środowiska

Biotechnologie w ochronie środowiska są oparte na zintegrowanym wykorzystywaniu biochemii, mikrobiologii i inżynierii. Ze względu na ich przekrojowy charakter, są wykorzystywane i rozwijane w różnych branżach, np. w gospodarce wodno-ściekowej (oczyszczanie ścieków, w tym usuwanie mikrozanieczyszczeń), w inżynierii środowiska do usuwania zanieczyszczeń z wody, powietrza i gleby, w bioremediacji gruntów, w rolnictwie jako biopreparaty nawozowe i kondycjonujące, a także w obszarze biogospodarki, m.in. przez przekształcanie biomasy w pożądane bioprodukty. Rosnące potrzeby w zakresie zrównoważonego rozwoju, ochrony zasobów naturalnych i redukcji zanieczyszczeń w środowisku sprawiają, że istnieje pilna konieczność poszukiwania nowych metod opartych na procesach biologicznych, co tworzy popyt na biotechnologie. Podczas opracowywania nowych technologii środowiskowych uwidacznia się wyraźny trend wzrostowy zainteresowania wykorzystaniem procesów biotechnologicznych w inżynierii środowiska jako zielonych technologii. Są one bardziej przyjazne środowisku, co stwarza warunki dla popytu na innowacje w analizowanym obszarze biotechnologii. Wzrost restrykcyjności regulacji prawnych i wymagań branżowych dotyczących innowacji technologicznych, a także zmieniające się preferencje konsumentów, którzy wybierają bardziej ekologiczne i zrównoważone rozwiązania, stanowią dodatkowy czynnik pobudzający rozwój biotechnologii w ochronie środowiska. Należy zaznaczyć, że biotechnologie wykazują komplementarność z innymi poddanymi analizie podgrupami technologii, w tym z technologiami wody i ścieków, ochrony powietrza, poprawy jakości terenów.

Grupa biotechnologii w ochronie środowiska wykazuje znaczny potencjał badawczy w kierunku rozwoju technologicznego województwa zarówno w zakresie biodetekcji, biopreparatów, jak i technologii usuwania zanieczyszczeń z wody i gleby oraz oczyszczania ścieków (technologie biooczyszczania). Rozwiązania technologiczne oparte na procesach biologicznych stanowią alternatywę dla konwencjonalnych procesów fizykochemicznych jako bardziej ekologiczne i zrównoważone. Sprzyjają wdrażaniu zielonej gospodarki, nie tylko w obszarze środowiska, ale przede wszystkim pomagają w budowaniu potencjału gospodarczego regionu i realizacji założeń regionalnych dokumentów strategicznych oraz wymagań prawnych na szczeblu krajowym i międzynarodowym. Jak wynika z danych GUS dotyczących biotechnologii w Polsce w 2023 r., liczba przedsiębiorstw, które prowadziły działalność w tym obszarze wzrosła o 4,3% w stosunku do 2022 r. Nastąpił także wzrost nakładów wewnętrznych poniesionych na działalność B+R w biotechnologii o 20,1% w skali roku (GUS, 2024a). Według najnowszych danych GUS, „środowisko” jest czwartym w kolejności (na 11 wyszczególnionych) obszarem zastosowania biotechnologii przez podmioty prowadzące działalność B+R w zakresie biotechnologii w Polsce w 2022 r. (GUS, 2024b). Wskazuje to na rosnący potencjał wykorzystania procesów biotechnologicznych w ochronie środowiska oraz na perspektywę rozwoju tej grupy technologii, w skali kraju i województwa. Procesy biotechnologiczne są również wykorzystywane jako technologie alternatywne dla istniejących metod, będąc jednak bardziej przyjazne środowisku.

Zdecydowany charakter przemysłowy śląskiej gospodarki czyni województwo właściwym miejscem do wypracowywania i wdrażania nowych rozwiązań, w szczególności w obszarze biopreparatów do bioremediacji, oczyszczania ścieków, fitoremediacji gruntów, biodegradacji ksenobiotyków. W obszarze działalności przedsiębiorstw woj. śląskiego wysokim potencjałem opracowanych rozwiązań technologicznych (technologia produktu, technologia działania), a także przewagą technologiczną, charakteryzuje się podgrupa technologii biopreparaty, w szczególności do bioremediacji, oczyszczania ścieków oraz jako biopreparaty nawozowe i kondycjonujące. Są to w większości technologie produktu, bazowe (szeroko stosowane w sektorze), dojrzałe i niszowe. Wśród przedsiębiorstw oferujących tego typu technologie znajdują się np. GreenBack Sp. z o.o. Innovations for Nature czy Ekobak. Ten obszar badawczy rozwijany jest także przez prowadzące działalność w woj. śląskim jednostki naukowe, m.in. Główny Instytut Górnictwa – Państwowy Instytut

Badawczy (GIG-PIB) oraz uczelnie – Politechnikę Śląską, Politechnikę Częstochowską i Uniwersytet Śląski w Katowicach.

W obszarze działalności jednostek naukowych i uczelni w analizowanym regionie (GIG-PIB, Politechnika Śląska, Politechnika Częstochowska, Uniwersytet Śląski) jako jeden z głównych nurtów badawczych wskazywano rozwiązania biotechnologiczne w odpowiedzi na problem deficytu wody pitnej oraz regulacji prawnych w obszarze gospodarki wodno-ściekowej, m.in. dyrektywy o oczyszczaniu ścieków komunalnych, w tym wymogu oczyszczania czwartego stopnia (tj. usuwania szerokiego spektrum mikrozanieczyszczeń, m.in. farmaceutyków, barwników, pestycydów). Konieczność sprostania tym wymogom przyspiesza rozwój biotechnologii w gospodarce wodno-ściekowej, wpisując się w rozwój technologiczny województwa. W ślad za tym idzie również rosnący popyt na nowe technologie w szczególności wśród zakładów prowadzących działalność związaną z oczyszczaniem ścieków. Instytuty i uczelnie w analizowanym obszarze prowadzą samodzielną działalność choć, w nielicznych przypadkach współpracują z przedsiębiorstwami (Tychy, Lubliniec, Częstochowa), uczelniami spoza województwa (Wrocław, Gdańsk) lub przedsiębiorstwami spoza województwa (Nowy Sącz, Wrocław, Łeba).

Wysoki potencjał rozwojowy w zakresie biotechnologii w ochronie środowiska wykazują biologiczne metody oczyszczania (biooczyszczanie). Obok konwencjonalnych biologicznych metod oczyszczania ścieków na uwagę zasługują nowoczesne technologie, np. z wykorzystaniem immobilizowanych biopreparatów – obecnie obejmujące głównie technologie eksperymentalne w fazie wprowadzania, ale stanowiące perspektywiczny obszar badań w obszarze biotechnologicznych metod usuwania zanieczyszczeń, w tym mikrozanieczyszczeń (GIG-PIB, Uniwersytet Śląski). Należy także wymienić technologię Anammox opracowaną w Politechnice Śląskiej. Technologia ta dedykowana jest bocznym strumieniom ścieków zawierających wysokie stężenie azotu amonowego. Technologia wpisuje się w nowy trend odzysku azotu ze ścieków. W zakresie biooczyszczania powietrza zostały opracowane technologie, np. fyloremediacji (GIG-PIB, Politechnika Śląska) oraz bioreaktory do oczyszczania powietrza (Ekoinwentyka Sp. z o.o.). Zidentyfikowano także aktywność jednostek naukowych i uczelni w obszarze biodetekcji, w szczególności do zastosowań w gospodarce wodno-ściekowej (Uniwersytet Śląski, Politechnika Śląska, GIG-PIB).

4.1.3.1.2. Zielona chemia

W regionie zidentyfikowano podmioty gospodarcze (Ekob-TBA Sp. z o.o., GreenBack Sp. z o.o., Innovations for Nature, Silbo Sp. z o.o., Sanosil Polska Sp. z o.o.), które zajmują się opracowywaniem technologii z zakresu zielonej chemii, a część z nich zaliczana jest do technologii krytycznych, dotyczących wytwarzania materiałów bezpiecznych i zrównoważonych już na etapie projektowania. Zidentyfikowane podmioty gospodarcze samodzielnie opracowują i wdrażają technologie zielonej chemii. Obserwuje się jednak rosnącą aktywność regionalnych uczelni i instytutów badawczych (GIG-PIB, Uniwersytet Śląski, Politechnika Śląska, Politechnika Częstochowska, Uniwersytet Bielsko-Bialski, Uniwersytet im. Jana Długosza w Częstochowie) w zakresie rozwijania technologii z grupy zielonej chemii.

Jest to nowa, zidentyfikowana grupa technologii, której pojawienie się na rynku było odpowiedzią na zmieniające się preferencje konsumentów oraz nowe regulacje prawne wpływające na ograniczenie stosowania „tradycyjnych” szkodliwych substancji chemicznych i promujące rozwój zielonej chemii (Ahluwalia i Kidwai, 2004; Venkatesan, Sundarababu i Anandan, 2024). Do kluczowych regulacji zalicza się:

- Rozporządzenie REACH (ang. Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) – nakłada na przedsiębiorstwa obowiązek rejestracji, oceny, autoryzacji i ograniczenia stosowania substancji chemicznych⁷.
- Dyrektywa w sprawie ograniczenia stosowania niektórych niebezpiecznych substancji w sprzęcie elektrycznym i elektronicznym (ang. Restriction of Hazardous Substances, RoHS)⁸.

⁷ <https://www.gov.pl/web/chemikalia/reach>

⁸ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/ALL/?uri=CELEX:32011L0065>

- Rozporządzenie w sprawie produktów biobójczych (ang. Biocidal Products Regulation, BPR) – nakłada wymóg, aby produkty biobójcze były bezpieczne dla ludzi, zwierząt i środowiska⁹.
- Strategia ds. zrównoważonych chemikaliów (ang. Chemicals Strategy for Sustainability, CSS), będąca częścią Europejskiego Zielonego Ładu, promująca rozwój i stosowanie bezpiecznych i zrównoważonych chemikaliów¹⁰.
- Zakaz stosowania i wprowadzania na rynek trwałych i szkodliwych dla środowiska per- i polifluoroalkilowych substancji (ang. *Per- and Polyfluoroalkyl Substances*, PFAS) oraz kwasu perfluorooctanowego (ang. *Perfluorooctanoic Acid*, PFOA) (Wee i Aris, 2023), zmusza przemysł do poszukiwania bardziej bezpiecznej alternatywy.

Grupa technologii zielona chemia rozwija się z uwagi na występujący trend projektowania bezpieczniejszych chemikaliów, które mają minimalną toksyczność, a po użyciu rozkładają się na nieszkodliwe substancje. Wpływ na rozwój grupy ma również trend wykorzystywania surowców odnawialnych zamiast wyczerpywalnych.

Popyt na technologie z zakresu zielonej chemii kreują także konsumenci, którzy coraz częściej wybierają produkty ekologiczne – zarówno kosmetyki, jak i środki czystości. Rośnie świadomość ekologiczna społeczeństwa, co przekłada się na większe zapotrzebowanie na produkty oparte na zielonej chemii.

W ramach technologii zielonej chemii są opracowywane i wdrażane rozwiązania dedykowane w szczególności dla branży chemicznej i nawozowej, papierniczej i kosmetycznej, dla przemysłu opakowaniowego, transportowego, włókienniczego i tekstylnego oraz dla rolnictwa.

4.1.3.1.3. Technologie poprawy jakości terenów zdegradowanych

Rynek technologii remediacji i rekultywacji w woj. śląskim podlega zmianom. Głównymi czynnikami kształtującymi popyt i wdrażanie technologii poprawy jakości terenów zdegradowanych są: zmieniające się regulacje prawne, np. nowelizacja Ustawy z dnia 7 września 2007 r. o funkcjonowaniu górnictwa węgla kamiennego, dostępność terenów inwestycyjnych w woj. śląskim oraz ponadprzeciętny areał terenów zdegradowanych, często bardzo dobrze skomunikowanych, różnorodność form degradacji terenów, rosnąca świadomość inwestorów. Woj. śląskie w porównaniu do innych województw w kraju, ze względu na tradycje przemysłowe i górnicze, dysponuje największą liczbą terenów zdegradowanych. Zgodnie z bazą OPI TPP 2.0 opracowaną przez GIG-PIB w woj. śląskim w listopadzie 2023 r. znajdowało się 320 terenów pogórnicznych i 280 innych poprzemysłowych, a ich łączna powierzchnia wynosiła odpowiednio 5094 ha i 3698 ha.

Postępujący proces transformacji sektora wydobywczego w woj. śląskim, a także dostępność instrumentów finansowych w ramach programu Fundusze Europejskie dla Śląska 2021–2027 (m.in. FST, EFRR), może kształtować popyt na rynku technologii poprawy jakości terenów zdegradowanych. Kolejnymi instrumentami wsparcia są środki krajowe z Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (WFOŚiGW) w ramach obszaru dofinansowania Ochrona powierzchni ziemi oraz z Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOSiGW) w ramach aktualnych programów priorytetowych: Racjonalne gospodarowanie odpadami i ochrona powierzchni ziemi (Ochrona powierzchni ziemi, Usuwanie porzuconych odpadów, Zmniejszenie uciążliwości wynikających z wydobywania kopalin, Usuwanie wyrobów zawierających kreozot – pilotaż), Sprawiedliwa transformacja (Innowacje dla środowiska). Na podstawie danych GUS z zakresu ekonomicznych aspektów ochrony środowiska można też stwierdzić, że wydatki na ochronę gleb, wód podziemnych i powierzchniowych w kraju wykazują stały trend wzrostowy (GUS, 2023), co jest pozytywnym sygnałem dla rozwoju technologii rekultywacji i remediacji. Na koniec 2022 r. wydatki te wynosiły 295,9 mln PLN (w cenach bieżących) i zwiększyły się ponad czterokrotnie w stosunku do wartości nakładów w 2015 r., natomiast w strukturze wszystkich wydatków na ochronę środowiska wydatki na ochronę gleb oraz wód podziemnych i powierzchniowych stanowiły 2,1%.

⁹ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX%3A32012R0528>

¹⁰ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=celex%3A32009R1223>

Ze względu na historyczne i prawne uwarunkowania samorządy lokalne i spółki skarbu państwa, takie jak przedsiębiorstwa górnicze i energetyczne, są najczęściej dysponentami terenów zdegradowanych. Te podmioty są odbiorcami technologii dla poprawy jakości terenów i jednocześnie inwestorami zainteresowanymi przekształcaniem terenów zdegradowanych na potrzeby nowych funkcji lub zabezpieczeniem pod względem środowiskowym i zdrowotnym. Uwzględniając lokalizację występowania terenów zdegradowanych, są to głównie podmioty z subregionu zachodniego i centralnego.

Na popyt na tereny zdegradowane i na dedykowane technologie ma również wpływ działalność Katowickiej Specjalnej Strefy Ekonomicznej (KSSE) w województwie i zgłaszane przez nią zapotrzebowanie na nowe tereny dla rozwoju strefy, przy jednocześnie występującym deficycie terenów „łatwych”, tzw. green fields na terenach zurbanizowanych. Istotną barierą przejmowania terenów zdegradowanych wskazywaną przez KSSE, są głównie przepisy dotyczące pomocy publicznej uniemożliwiające przekazanie terenów pogórnich na cele komercyjne¹¹.

Rozstrzygnięcia polityczne określone w strategii UE Europejski Zielony Ład w zakresie wdrażania gospodarki obiegu zamkniętego, efektywności energetycznej czy cyfryzacji wymuszają nowy kierunek rozwoju technologii rekultywacji i remediacji. Istotnym wyzwaniem staje się opłacalność technologii przy jednoczesnym wyeliminowaniu wtórnego zanieczyszczenia środowiska, spowodowanego wytwarzaniem produktów ubocznych i długoterminowym ryzykiem wymywania zanieczyszczeń.

Podmioty znajdujące się w woj. śląskim, które rozwijają technologie poprawy jakości terenów zdegradowanych to przede wszystkim instytucje naukowe i uczelnie. Wiodącymi jednostkami są: GIG-PIB, Politechnika Śląska, Politechnika Częstochowska oraz Uniwersytet Śląski. Podmioty w sektorze gospodarczym wykazują niski potencjał do rozwoju technologii, wykorzystując powszechnie stosowane rozwiązania, produkty i technologie bazowe.

Regionalne jednostki naukowe plasują się w czołówce pod względem konkurencyjności w obszarze wynalazczości. W oparciu o dane patentowe dla podklasy Międzynarodowej Klasyfikacji Patentowej (MKP) – Regeneracja Zanieczyszczonych Gruntów (B09C) – jednostki wiodące pod względem nowych rozwiązań technologicznych na terenie Polski znajdują się głównie w województwach śląskim, małopolskim i wielkopolskim. Pod względem publikacyjnym wiodącymi uczelniami są Politechnika Śląska, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu oraz Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie. Na terenie woj. śląskiego najbardziej aktywnymi jednostkami naukowymi są Politechnika Śląska, Uniwersytet Śląski, Politechnika Częstochowska oraz GIG-PIB. Politechnika Śląska oraz GIG-PIB są liderami pod względem uzyskiwanych patentów, natomiast Uniwersytet Śląski oraz Politechnika Częstochowska przodują w zakresie technologii produktów. Większość obecnie wspieranych rozwiązań to technologie działania i produktu o charakterze bazowym i niszowym, będące w fazie popularności. Na rynku technologii poprawy jakości terenów zdegradowanych woj. śląskie ma obecnie dużą konkurencyjność, głównie województwa wielkopolskiego i warmińsko-mazurskiego w zakresie produktów i patentów oraz mazowieckiego w zakresie rozwiązań fizyczno-technicznych. Według raportu KPMG Global tech report 2024¹², który zawiera analizę globalnych trendów rozwojowych w obszarze technologii oczyszczania środowiska, trend ten jest w fazie dojrzałości i dla zagospodarowania terenów zanieczyszczonych rozwiązania technologiczne będą oparte głównie na biokatalizatorach oraz biologicznych procesach oczyszczania.

4.1.3.1.4. Technologie gospodarowania odpadami

Woj. śląskie, jako region o wysokim stopniu urbanizacji i intensywnie rozwiniętym przemyśle, zmagają się z licznymi wyzwaniami środowiskowymi, które tworzą specyficzne warunki dla wdrażania innowacyjnych technologii odpadowych. Dynamiczny rozwój gospodarki obiegu zamkniętego, potrzeba zmniejszenia emisji oraz konieczność efektywnego zarządzania zasobami stanowią kluczowe czynniki kształtujące popyt na rozwiązania technologiczne związane z odpadami.

¹¹ Śląskie Forum Sprawiedliwej Transformacji, 5 grudnia 2024 r., panel 3: Drugie „życie” terenów pogórnich i przemysłowych.

¹² <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmgsites/xx/pdf/2024/09/kpmg-global-tech-report-2024.pdf>

W regionie śląskim kluczowe branże wytwarzające odpady to przemysł węglowy, chemiczny, budowlany, motoryzacyjny oraz energetyczny. Największa ilość odpadów innych niż niebezpieczne powstała przy działalności produkcyjnej w następujących grupach odpadów: (I) Grupa 01 – Odpady powstające przy poszukiwaniu, wydobywaniu, fizycznej i chemicznej przeróbce rud oraz innych kopalin – 64,4%, (II) Grupa 10 – Odpady z procesów termicznych – 15,1%, (III) Grupa 19 – Odpady z instalacji i urządzeń służących zagospodarowaniu odpadów, z oczyszczalni ścieków oraz z uzdatniania wody pitnej i wody do celów przemysłowych – 10,6%¹³.

Znaczna część odpadów pochodzi również z gospodarstw domowych oraz z sektora komunalnego. W związku z tym podmioty działające w obszarze gospodarki odpadami obejmują zarówno zakłady przemysłowe, jak i wyspecjalizowane firmy zajmujące się zbiórką, transportem, selekcją, odzyskiem i unieszkodliwianiem odpadów. W regionie działają duże i małe przedsiębiorstwa, lokalne firmy odpowiedzialne za recykling, a także wyspecjalizowane zakłady energetyczne zajmujące się odzyskiem energii z odpadów. Jednostkami naukowymi realizującymi badania w grupie technologicznej technologii gospodarowania odpadami są m.in. GIG-PIB, Instytut Technologii Paliw i Energii (ITPE), Politechnika Śląska oraz Politechnika Częstochowska.

Popyt na usługi związane z gospodarką odpadami w woj. śląskim wzrasta, głównie w wyniku zaostrzających się norm środowiskowych, rosnącego nacisku na gospodarkę o obiegu zamkniętym oraz konieczności wdrażania efektywnych rozwiązań w zakresie recyklingu i odzysku surowców wtórnych. Coraz większą uwagę przykładana się do minimalizacji odpadów oraz ich segregacji, co z kolei stawia przed podmiotami odpowiedzialnymi za gospodarkę odpadami wyzwanie związane z innowacjami technologicznymi oraz inwestowaniem w nowoczesne instalacje. Samorządy lokalne, w związku z rosnącym zainteresowaniem ekologicznymi metodami zarządzania odpadami, poszukują również rozwiązań wspierających efektywność zbiórki i recyklingu.

W ostatnich latach w branży odpadowej obserwuje się kilka istotnych trendów w gospodarce odpadami: rozwój technologii odzysku energii z odpadów (w tym termiczne przetwarzanie odpadów), zwiększenie udziału recyklingu, gospodarka o obiegu zamkniętym, monitorowanie składowisk odpadów. Gospodarka odpadami w woj. śląskim jest obszarem o dużym potencjale rozwojowym, szczególnie w obszarze nowoczesnych technologii odzysku energii i recyklingu. Wzrost popytu na usługi związane z gospodarką odpadami, a także rosnące wymagania środowiskowe stwarzają przestrzeń dla realizowania projektów innowacyjnych i inwestycji w regionie. Społeczeństwo i przedsiębiorstwa coraz częściej poszukują także ekologicznych rozwiązań, takich jak biodegradowalne materiały, kompostowalne opakowania czy nawozy z odpadów organicznych. Obecnie szczególny nacisk jest kładziony na implementację technologii umożliwiających sprawne przekształcanie odpadów w produkty o charakterze budowlanym, np. kruszywa syntetyczne oraz materiały podsypkowe i wypełniacze. Poszukiwane są rozwiązania o niskiej energochłonności, w szczególności przy produkcji i odzysku kruszyw oraz regranulatów umożliwiających dalszą produkcję tworzyw konstrukcyjnych lub budowlanych. Nie bez znaczenia są również technologie przekształcania odpadów organicznych w materiały o charakterze nawozowym lub w substytuty gleby. Wytwarza się tu bowiem synergia z technologiami służącymi poprawie jakości gruntów, gdzie takie materiały mogą być wykorzystywane. Istotne są również technologie separacji odpadów, np. technologia separacji papierów lub metali i tworzyw sztucznych z kabli. Ze względu na rosnące zapotrzebowanie na energię promuje się również wdrażanie technologii zagospodarowania odpadów, które umożliwiają odzysk energii. Jest to powszechna praktyka w sektorze oczyszczania ścieków, gdzie powstające osady ściekowe przed końcowym zagospodarowaniem poddaje się fermentacji z odzyskiem biogazu.

4.1.3.1.5. Technologie wody i ścieków

Rozwój technologii środowiskowych, także w obszarze gospodarki wodno-ściekowej, jest jednym z kluczowych warunków, które mają istotne znaczenie dla rozwoju woj. śląskiego. W ostatnich latach problem z dostępem do czystej wody, jak również światowy kryzys wodny oraz surowe regulacje

¹³ https://ietu.pl/wp-content/uploads/2023/07/Prezentacja_Opiniowanie_Pgows2028_VII-VIII-2023_GIG.pdf

prawne w gospodarce wodno-ściekowej spowodowały, że podmioty decydują się na wdrażanie innowacji w obszarze technologii wody i ścieków. Do głównych wyzwań w tym obszarze można zaliczyć m.in. zagrożenie mikrobiologiczne związane np. z odprowadzaniem nieoczyszczonych lub niedokładnie oczyszczonych ścieków komunalnych i przemysłowych. W ostatnich latach dużym wyzwaniem stała się obecność substancji pochodzenia antropogenicznego, przede wszystkim substancji farmaceutycznych czy mikroplastiku. Ze względu na zmiany klimatu istotne stało się także utrzymanie stabilnych dostaw wody zarówno pod względem jakości, jak i ilości, szczególnie w przemyśle wydobywczym, usługowym oraz przetwórczym. Widać to na przykładzie ilości wody kupowanej z wodociągów komunalnych przez przemysł w ciągu roku (wzrost o 12% w latach 2020–2023 w woj. śląskim) (BDL, 2024).

W grupie technologicznej technologii wody i ścieków zidentyfikowano osiem podgrup technologicznych. Rozpoznano łącznie 26 technologii realizowanych przez 14 podmiotów gospodarczych oraz cztery jednostki naukowe. Są to przedsiębiorstwa zajmujące się procesami technologicznymi i ich dobozem ukierunkowanym na oczyszczanie wody i ścieków, jak również firmy, których głównym kierunkiem działań jest sprzedaż konkretnych urządzeń, produktów lub rozwiązań. Przykładem zidentyfikowanych podmiotów gospodarczych wdrażających nowe rozwiązania są m.in. przedsiębiorstwa górnicze (np. Polska Grupa Górnicza SA) współpracujące w tym obszarze z podmiotami prywatnymi (w tym zagranicznymi) oraz jednostkami naukowymi (np. GIG-PIB, Politechnika Śląska).

Pojawiające się nowe, często coraz bardziej restrykcyjne regulacje prawne (m.in. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021 r. w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego oraz sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, a także środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych, czy planowana do implementacji w polskim prawie nowa dyrektywa ściekowa, powodują, że w ostatnim czasie uwidacznia się wyraźny trend rozwojowy technologii membranowych ukierunkowanych na odsalanie wód kopalnianych i/lub technologii usuwania chlorków i siarczanów ze ścieków przemysłowych. Do głównych branż gospodarki rozwijających obszar technologiczny można zaliczyć przemysł wydobywczy, usługowy oraz przetwórczy. Podmiotami gospodarczymi wprowadzającymi nowe rozwiązania są także firmy górnicze, angażujące się w realizację projektów naukowych i badań wynikających ze wzrastającego popytu na technologie, produkty i/lub usługi, w szczególności w zakresie zagospodarowania zasolonych wód kopalnianych. Jednostkami naukowymi realizującymi badania w grupie technologicznej technologii wody i ścieków są m.in. GIG-PIB, Uniwersytet Śląski, Politechnika Śląska oraz Politechnika Częstochowska.

4.1.3.1.6. Technologie ochrony powietrza

Woj. śląskie, ze względu na dużą koncentrację przemysłu oraz zachodzący intensywny proces urbanizacji, od wielu lat zmagają się z problemem zanieczyszczenia powietrza. W regionie działają podmioty gospodarcze, które rozwijają i wdrażają technologie ochrony powietrza w różnych branżach, m.in. w przemyśle energetycznym, węglowym, stalowym, chemicznym, motoryzacyjnym, IT oraz w budownictwie. Wśród tych podmiotów znajdują się firmy z sektora przemysłowego i energetycznego działające na lokalnym rynku (m.in. Grupa TAURON, Jastrzębska Spółka Węglowa), jak również przedsiębiorstwa zajmujące się nowoczesnymi rozwiązaniami ekologicznymi i technologiami oczyszczania powietrza (np. Ekoinwentyka Sp. z o.o., Hewalex Sp. z o.o., i4Tech Sp. z o.o., EkoSłupki).

Duże podmioty gospodarcze związane z branżą energetyczną i przemysłową często współpracują z jednostkami B+R w regionie w celu opracowania nowych i innowacyjnych rozwiązań/technologii – m.in. z Instytutem Technologii Paliw i Energii, Instytutem Techniki Górniczej KOMAG, GIG-PIB, Uniwersytetem Śląskim i Politechniką Śląską. Oprócz dużych zakładów przemysłowych, również mniejsze firmy współpracują z jednostkami B+R w realizacji projektów finansowanych z funduszy unijnych w celu wypracowania i wdrożenia innowacyjnych rozwiązań. Przykładem jest opracowana w kooperacji Uniwersytetu Śląskiego i firmy Ad Moto metoda regeneracji katalizatorów DeNOx stosowanych w instalacjach energetycznych.

Komplementarność obszaru technologicznego związanego z ochroną powietrza względem innych obszarów odnosi się do dziedzin, które istotnie wpływają na rozwój technologii. Wśród tych obszarów można wyróżnić: technologie energetyczne (OZE, technologie magazynowania energii), technologie mobilności (pojazdy elektryczne, inteligentne systemy transportowe). Komplementarne są również technologie związane z branżą przemysłową – automatyka, internet rzeczy, sztuczna inteligencja oraz zielona chemia. Komplementarność technologiczną wykazują również technologie związane z ekobudownictwem i zieloną infrastrukturą.

Proces dekarbonizacji i przekształceń w sektorze energetycznym zachodzący w regionie jest kluczowy dla wzrostu popytu na nowoczesne technologie w zakresie ochrony powietrza. Ważną rolę w procesie rozwoju i wdrażania technologii ochrony powietrza w regionie odgrywają także instytucje publiczne, takie jak Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Katowicach, które wspierają projekty związane z poprawą jakości powietrza, m.in. przez dotacje na wymianę pieców, modernizację budynków czy instalację odnawialnych źródeł energii. Ponadto realizowane są programy typu Czyste Powietrze czy Stop Smog¹⁴. Samorządy woj. śląskiego odgrywają istotną rolę w kształtowaniu popytu na nowoczesne technologie ochrony powietrza, m.in. przez wymóg wymiany źródeł ciepła w budynkach publicznych i mieszkalnych.

Obserwowane w regionie trendy rozwoju technologii w zakresie ochrony powietrza są ukierunkowane na: opracowywanie i wdrażanie rozwiązań zapewniających oczyszczanie powietrza i spalin (filtracja spalin, wentylacja pomieszczeń, wychwyt CO₂, unieszkodliwianie metanu, recykling metanu, biooczyszczanie, fotokataliza), monitoring jakości powietrza (platformy i oprogramowania do prognozowania i monitorowania zanieczyszczeń, urządzenia do sygnalizowania jakości powietrza, czujniki jakości powietrza), transformację energetyczną (nowoczesne technologie grzewcze, ekologiczne kotły).

Należy zwrócić uwagę, że Polska realizuje projekt rozwoju technologii wychwytu, transportu, utylizacji i składowania CO₂, znanej jako CCUS. Projekt ten jest finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu Społeczny i gospodarczy rozwój Polski w warunkach globalizujących się rynków – GOSPOSTRATEG III. Projekt ma na celu stworzenie fundamentów dla zrównoważonego rozwoju technologii CCUS w kraju. W związku z tym należy przewidywać wysoki wzrost potencjału w obszarze rozwoju i opracowywania technologii CCUS również w regionie, przy zapewnieniu odpowiedniego wsparcia rządowego oraz efektywnej współpracy z sektorem prywatnym i międzynarodowymi partnerami¹⁵.

4.1.3.1.7. Technologie zarządzania środowiskiem

W woj. śląskim, podobnie jak w innych regionach Polski, w ostatnich latach obserwuje się intensywny rozwój innowacji technologicznych, szczególnie w zakresie ochrony środowiska. W tym kontekście ważną rolę odgrywają technologie komplementarne, takie jak systemy zarządzania energią, technologie ICT czy innowacyjne rozwiązania sterowania i monitorowania procesów. Komplementarność tych rozwiązań pozwala na tworzenie zintegrowanych systemów, które zwiększają efektywność wykorzystania technologii środowiskowych, jednocześnie wspomagając podejmowanie decyzji lub zarządzanie poszczególnymi procesami.

Wyróżnia się kilka branż gospodarki, w których w szczególności rozwijany jest obszar technologii związanych z zarządzaniem środowiskiem:

- Energetyka i zielona transformacja – region jest jednym z największych ośrodków przemysłowych w Polsce, gdzie szczególne znaczenie ma transformacja energetyczna. Wykorzystanie technologii odnawialnych źródeł energii (OZE) staje się kluczowe w kontekście zmniejszenia emisji CO₂ i poprawy efektywności energetycznej. Technologie, takie jak inteligentne sieci energetyczne (smart grids) i magazyny energii również zyskują na znaczeniu. Przykładami są: Inteligentna Platforma Optymalizacji Energii (APA Group Sp. z o.o. i Politechnika Śląska), System OPI TPP –

¹⁴ Program ochrony powietrza dla województwa śląskiego.

¹⁵ <http://ccus.pl/>

system zarządzania terenami pogórnictwa (GIG-PIB, Wojewódzki Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej – WODGiK).

- Geoinformacja i technologie satelitarne – szeroko rozumiane nauki geoinformacyjne coraz częściej odnajdują zastosowanie w konkretnych przykładach, również związanych z ochroną środowiska, dlatego ich wykorzystanie jest coraz bardziej powszechne. Przykładami są: SoilAqChar – Woda w glebie – monitoring satelitarny w poprawie retencji wodnej przy użyciu biowęgla (New Technology Trade Sp. z o.o. w Warszawie, Politechnika Częstochowska); AMMER – Zautomatyzowana metoda pomiaru eutrofizacji wód śródlądowych z wykorzystaniem teledetekcji [zleceniodawca: European Space Agency (ESA), wykonawca: Future Processing Sp. z o.o., GIG-PIB]; Otwarty Regionalny System Informacji Przestrzennej (ORSIP 2.0) (WODGiK).
- Smart city – wykorzystanie technologii ICT w zarządzaniu miastem i monitorowaniu stanu środowiska oraz klimatu zyskuje na popularności, umożliwiając integrację wielu elementów zarządzania miastem. Przykładami są: System imperius® – inteligentne technologie w obszarze smart cities (wdrożenie: Miasto Katowice); nowoczesny system inteligentnych pojemników na odpady (T-Master SA, wdrożenie: Miasto Świętochłowice).

Zapotrzebowanie na technologie zarządzania środowiskiem w woj. śląskim rośnie w odpowiedzi na potrzebę redukcji emisji zanieczyszczeń, poprawę efektywności energetycznej oraz zrównoważonego zarządzania zasobami naturalnymi. W regionie obserwuje się rosnącą świadomość społeczną i przedsiębiorczą w zakresie zrównoważonego rozwoju, co prowadzi do większego zainteresowania innowacyjnymi technologiami.

W woj. śląskim funkcjonuje wiele podmiotów, które rozwijają technologie z zakresu zarządzania środowiskiem, w tym:

- Przedsiębiorstwa, takie jak APA Group Sp. z o.o., Wojewódzki Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Katowicach, Future Processing Sp. z o.o., Polska Grupa Górnicza SA, WASKO SA, COIG SA, Ayesa Polska Sp. z o.o., Amister Sp. z o.o.
- W regionie śląskim działa wiele start-upów, które koncentrują się na rozwoju technologii związanych ze zrównoważonym rozwojem. Przykładem jest Optimo Light, start-up zajmujący się inteligentnym systemem oświetlenia budynków – autorskie rozwiązanie zdalnego pomiaru natężenia oświetlenia wyrażonego w luxach. Dzięki automatycznej regulacji mocy i wykorzystaniu światła dziennego, Optimo Light zapewnia nawet 70-procentową oszczędność w porównaniu z powszechną technologią LED.
- Uczelnie i jednostki badawczo-rozwojowe, takie jak Politechnika Śląska, Politechnika Częstochowska, Uniwersytet Śląski, GIG-PIB oraz Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych w Katowicach prowadzą liczne badania związane z cyfryzacją i wdrażaniem technologii ICT, geoinformacją w zakresie inżynierii środowiska, analizą danych przestrzennych, a także zarządzaniem miastem.

Popyt na technologie związane z zarządzaniem środowiskiem wynika zarówno ze zmieniających się preferencji konsumentów (zwiększona świadomość ekologiczna, zmiany preferencji konsumentów), jak również ze zmieniających się regulacji prawnych i zwiększonego zainteresowania cyfryzacją oraz innowacjami technologicznymi. Konkurencja na rynku technologii zarządzania środowiskiem przejawia się w szczególności w obszarach systemów i aplikacji mobilnych oferowanych przez duże międzynarodowe firmy i lokalne start-upy, które często proponują bardziej elastyczne i innowacyjne rozwiązania. Największym zainteresowaniem wśród grup docelowych cieszą się (1) miasta woj. śląskiego, o które konkurują dostawcy rozwiązań smart city oraz (2) przedsiębiorstwa – w których możliwe są wdrożenia zintegrowanych systemów optymalizujących procesy w celu zmniejszenia wykorzystania zasobów.

4.1.3.2. Identyfikacja możliwości pojawienia się nowych technologii, produktów i usług

4.1.3.2.1. Biotechnologie w ochronie środowiska

Znaczny stopień zurbanizowania i uprzemysłowienia oraz wysoka gęstość zaludnienia w woj. śląskim skutkują nasiloną antropopresją, a intensywny rozwój przemysłu przyczynia się do degradacji

środowiska. Stąd rośnie zapotrzebowanie na technologie usuwania zanieczyszczeń, w tym na technologie oparte na procesach biologicznych, które są bardzo pożądane na rynku. Biotechnologie środowiskowe jako obszar interdyscyplinarny mogą być implementowane w wielu sektorach przemysłu, w tym w różnych grupach technologii. W wymiarze środowiskowym stymulatorem wdrażania biotechnologii jest potrzeba poszukiwania nowych, innowacyjnych, proekologicznych technologii ograniczających emisję zanieczyszczeń do atmosfery, wody i gleby (biotechnologie w ochronie środowiska), a także potrzeba usuwania zanieczyszczeń.

Regionalna sieć współpracy między kluczowymi podmiotami naukowymi – uczelniami i jednostkami naukowymi (GIG-PIB, Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN, Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych, Politechnika Śląska, Politechnika Częstochowska, Uniwersytet Bielsko-Bialski) – w zakresie rozwoju biotechnologii i wdrożeń technologicznych w obszarze biotechnologii środowiskowej, wymaga dalszej rozbudowy. Tym bardziej, że większość analizowanych jednostek to stymulatory podejmowania nowych wyzwań naukowych wynikających z nowych regulacji prawnych, w tym m.in. z dyrektywy ściekowej nakładającej wymóg IV stopnia oczyszczania ścieków, co stanowi obiecującą przestrzeń współpracy. Planowane kierunki badań często mają charakter wyprzedzający obecne zapotrzebowanie, istotne w kontekście ciągłego wzrostu restrykcji środowiskowych, co wskazuje na perspektywiczne podejście do planowania badań naukowych i wychodzenie naprzeciw identyfikowanym oczekiwaniom przedsiębiorstw, szczególnie tych prowadzących działalność w branży wodno-ściekowej. O potencjale B + R + I kierunków prowadzonych badań świadczą przykłady opracowywanych w regionie biotechnologii środowiskowych: do usuwania mikrozanieczyszczeń ze ścieków, np. Bio-Gąbka – biopreparat z immobilizowanymi mikroorganizmami do usuwania wybranych farmaceutyków i fenolu (Uniwersytet Śląski), do oczyszczania ścieków – proces Anammox (Politechnika Śląska), sposób biologicznego oczyszczania ścieków przemysłowych z metali ciężkich do stosowania w oczyszczalniach ścieków (Politechnika Częstochowska) czy technologie oczyszczania powietrza, np. z wykorzystaniem wyselekcjonowanych gatunków drzew i krzewów – fylloremediacja (GIG-PIB), szczepionka bakteryjna do fylloremediacji (Politechnika Śląska), kompaktowe bioreaktory trójfazowe do biooczyszczania powietrza (Ekoinwentyka Sp. z o.o.).

Jako dobrą praktykę opracowanych technologii w ramach projektów badawczych można wskazać Bio-Gąbkę – rozwiązanie opracowane przez Uniwersytet Śląski w ramach projektu Preparat stymulujący degradację niesteroidowych leków przeciwzapalnych w oparciu o immobilizowane na naturalnym nośniku szczepy bakterii, finansowanego z Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Politechnika Śląska prowadziła badania dotyczące technologii Anammox w ramach projektów finansowanych przez NCN (Sonata, Preludium). Technologia ta została wdrożona w kilku lokalizacjach (m.in. w oczyszczalniach w Bielsku-Białej, Krakowie, Oświęcimiu i Gdyni), a ponadto kilka przedsiębiorstw wodociągowych ze śląskich miast również wykazało zainteresowanie jej wdrożeniem. Katedra Biotechnologii Środowiskowej Politechniki Śląskiej zainicjowała krajową sieć tematyczną ENBIONET – Naukowa Sieć Tematyczna Biotechnologia Środowiskowa. Celem sieci jest m.in. inicjowanie, koordynacja i realizacja wspólnych przedsięwzięć badawczych i wdrożeniowych oraz doskonalenie kadry, tworzenie forum dla wymiany informacji i upowszechniania wyników prac naukowo-badawczych¹⁶.

W działalności przedsiębiorstw w obszarze biotechnologii środowiskowych jako dobrą praktykę wdrożeń technologicznych w wyniku realizacji projektów (POIR) należy wskazać technologię biooczyszczania powietrza z lotnych związków organicznych (LZO) i odorów w kompaktowych bioreaktorach trójfazowych (KBT), opracowaną i wdrożoną przez firmę Ekoinwentyka Sp. z o.o.

Działalność instytucji naukowych wykazuje komplementarność w zakresie opracowywanych unikatowych rozwiązań skierowanych na wspólny cel wynikający z zaostreżenia restrykcji środowiskowych, w tym o charakterze wyprzedzającym obecne zapotrzebowanie. W działalności regionalnego sektora akademickiego widoczne są przykłady trwałej współpracy z uczelniami i przedsiębiorstwami spoza regionu, co jest istotne dla wymiany wiedzy, doświadczeń i rozwoju oraz wdrażania innowacji. Działalność przedsiębiorstw w regionie w zakresie biotechnologii

¹⁶ <https://www.polsl.pl/rie7/enbionet/>

środowiskowych ujawnia się głównie w obszarze produkcji i sprzedaży biopreparatów do różnych zastosowań w ochronie środowiska, co stanowi jednocześnie przewagę regionu. Technologie te obejmują m.in. biodegradację zanieczyszczeń i oczyszczania ścieków, a wśród kluczowych podmiotów można wymienić m.in. GreenBack Sp. z o.o. Innovation for nature, Ekobag. Rozwijane są także technologie produkcji biopreparatów nawozowych i kondycjonujących rośliny (GreenBack Sp. z o.o. Innovations for Nature). W tym obszarze działają także regionalne uczelnie wyższe (Politechnika Śląska, Uniwersytet Śląski, Politechnika Częstochowska). Ponadto jako perspektywiczny obszar można wskazać technologie biorafinacji (np. biorafinacja owsa – Feniks 2050 WET Sp. z o.o.), które są istotnymi elementami rozwoju biogospodarki.

4.1.3.2.2. Zielona chemia

W regionie zarysowuje się silna współpraca między sektorem akademickim a sektorem przemysłowym spoza regionu. Sprzyja to wymianie wiedzy, doświadczeń i przyspiesza rozwój innowacji oraz ich wdrażanie. Region korzysta z unijnych programów wsparcia (m.in. z programu Interreg), a dostęp do funduszy umożliwia realizację kosztochłonnych projektów B+R, co zwiększa potencjał innowacyjny regionu. Regionalne instytucje naukowe (Uniwersytet Śląski i GIG-PIB) rozwijają technologie w podgrupach: biomateriałów, zielonych kosmetyków, biospoin, biopowłok impregnacyjnych czy bionośników substancji aktywnych, a także podejmują współpracę z przedsiębiorstwami spoza regionu, w tym z zagranicznymi podmiotami, zgłaszającymi zapotrzebowanie na tego typu technologie.

Z uwagi na początkową fazę rozwoju grupy technologicznej zielona chemia, do tej pory nie powstała sieć współpracy między jednostkami badawczymi z regionu.

Regionalne podmioty gospodarcze, takie jak Ekob-TBA Sp. z o.o. czy GreenBack Sp. z o.o. Innovation for nature wprowadziły już na rynek technologie z obszaru bioaktywnej zielonej chemii i zielonych kosmetyków.

Opracowywane w regionie technologie z zakresu biospoin, biopowłok czy biomateriałów, znajdujące się w fazie badań i w fazie eksperymentalnej, są w większości technologiami wyprzedzającymi zapotrzebowanie rynku. Opracowywane nowe bioaktywne nośniki i membrany do zastosowania w IV stopniu oczyszczania ścieków, są odpowiedzią na nową dyrektywę ściekową, która od 2045 r. na podstawie oceny ryzyka będzie nakładać na oczyszczalnie o RLM powyżej 150 000 i oczyszczalnie o RLM poniżej 10 000 obowiązek usuwania mikrozanieczyszczeń i substancji priorytetowych ze ścieków, a także monitorowania zawartości mikroplastiku. Będzie to wykluczać możliwość stosowania tworzyw sztucznych w oczyszczalniach ścieków, co stworzy nowe zapotrzebowanie na zielone materiały do zastosowania w procesach oczyszczania.

4.1.3.2.3. Technologie poprawy jakości terenów zdegradowanych

Pod względem rozwoju nowych technologii służących poprawie jakości terenów zdegradowanych, jednostki naukowo-badawcze działające w woj. śląskim posiadają znaczący potencjał w zakresie rozwoju ulepszonych technologii, produktów i usług w tej dziedzinie, z uwzględnieniem wyzwań związanych z zasadą „nie czyni poważnych szkód”¹⁷ oraz koncepcją gospodarki obiegu zamkniętego. Posiadane doświadczenie związane z trwającym w regionie (z różną dynamiką) procesem transformacji przemysłowej stanowi istotny atut dla rozwoju rozwiązań dostosowanych do specyfiki województwa. Liczba terenów zdegradowanych wymagających rekultywacji i remediacji istotnie wpłynie na popyt na technologie dla potrzeb i wyzwań regionu, który będą kształtować odpowiednie podmioty, czyli właściciele terenów zdegradowanych. Zdecyduje o tym adaptowalność technologii w zakresie remediacji i rekultywacji, która jest zależna od wielu czynników wpływających na skuteczność danej technologii, takich jak: rodzaj i stopień zanieczyszczenia, warunki klimatyczne i geograficzne (w szczególności dotyczy to metod biologicznych), dostępność zasobów i infrastruktury (przy dostępie stosuje się zaawansowane metody, m.in. zaawansowane metody chemiczne,

¹⁷ Zasada DNSH (ang. *Do No Significant Harm*) oznacza, że żadne działania finansowane ze środków unijnych nie mogą pogarszać stanu środowiska naturalnego.

a w przypadku braku dostępu preferuje się prostsze, np. fitoremediację), uwarunkowania prawne oraz akceptacja społeczna.

Technologie eksperymentalne rozwijane w woj. śląskim obejmują technologie związane z remediacją wód, rekultywacją gruntów, systemami kontrolno-pomiarowymi i środkami do remediacji. Widocznym kierunkiem są nowe metody biologiczne oparte na bioremediacji i fitoremediacji, które naśladują naturalne procesy biologiczne prowadzące do neutralizacji, rozkładu lub absorpcji zanieczyszczeń.

Nowe technologie są rozwijane we współpracy bądź samodzielnie przez uczelnie (Politechnika Częstochowska, Politechnika Śląska), szczególnie technologie powiązane ze środkami do remediacji. Szczególnie cenne dla nowych rozwiązań jest partnerstwo nawiązywane w ramach międzynarodowych projektów badawczych.

Przykładem nowego podejścia do rekultywacji w kontekście wyzwań i potrzeb regionalnych jest międzynarodowy projekt związany z zazielenianiem hałd górniczych. W ramach tego projektu GIG-PIB z partnerem TAURON Wydobywanie SA przeprowadzili pilotażową rekultywację hałdy Janina w oparciu o optymalizację mieszanki glebowej z wykorzystaniem lokalnych odpadów poprodukcyjnych z zakładów górniczych i elektrowni, tworząc roślinny poligon doświadczalny o powierzchni 4000 m². W ramach projektu opracowano również model wyceny usług ekosystemowych, który umożliwia planowanie i ustalanie optymalnych metod rekultywacji oraz zagospodarowania terenów powstałych w wyniku działalności wydobywczej¹⁸.

Kolejnym przykładem jest inicjatywa zrealizowana na terenie woj. śląskiego w ramach projektu Poprawa jakości środowiska miejskiego Gminy Świętochłowice – remediacja terenów zdegradowanych i zanieczyszczonych w rejonie stawu Kalina wraz z przywróceniem jego biologicznej aktywności. Inwestorem projektu był Urząd Miejski w Świętochłowicach, a wykonawcą polsko-francuskie konsorcjum firm Remea Sp. z o.o. i Menard Sp. z o.o. Bioremediację wody stawu Kalina przeprowadzono z wykorzystaniem unikatowego biopreparatu na bazie bakterii autochtonicznych, wyizolowanych z zanieczyszczonego obszaru. Biopreparat posiadał atest Narodowego Instytutu Zdrowia Publicznego PZH – Państwowego Instytutu Badawczego i został opracowany przez zespół z Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie.

Z zakresu nowatorskich technik teledetekcji GIG-PIB realizuje obecnie międzynarodowy projekt REECOL, rozwija technologie teledetekcji i metody monitorowania procesów rekultywacji z wykorzystaniem wskaźników biologicznych i geochemicznych. Osiągnięciem naukowców z Uniwersytetu Śląskiego jest geoinformatyczny model dedykowany dla rewitalizacji terenów zdegradowanych przez przemysł węglowy. W modelu wykorzystano technologię Systemu Informacji Geograficznej (GIS) oraz analizę danych przestrzennych, pozwalające na optymalizację działań związanych z zazielenianiem terenów pogórniczych w regionie.

4.1.3.2.4. Technologie gospodarowania odpadami

Woj. śląskie dynamicznie rozwija działalność B+R+I w zakresie gospodarki odpadami, wspierając innowacyjne rozwiązania w tym obszarze. Kluczową rolę w tym procesie odgrywają podmioty skupione w regionalnym ekosystemie innowacji, ze szczególnym uwzględnieniem klastrów, instytucji otoczenia biznesu (IOB), stowarzyszeń i organizacji wspierających wewnętrzną współpracę, które angażują zarówno sektor publiczny, jak i prywatny w działania na rzecz efektywnego zarządzania odpadami. Na Śląsku w tym obszarze działa m.in. Europejskie Forum Odpowiedzialności Ekologicznej (EFOE). W ramach projektów badawczo-rozwojowych realizowane są innowacje technologiczne związane z: GOZ, recyklingiem, odzyskiem surowców i ograniczaniem wpływu odpadów na środowisko. Przykładem realizowanych projektów są m.in.: (I) projekt budowy nowej instalacji do recyklingu odpadów opakowaniowych z tworzyw sztucznych w Częstochowie realizowany przez Spółkę ECO World Plastics Recykling (w ramach projektu NFOŚiGW); (II) budowa instalacji odzysku i recyklingu odpadów spółki Makpol Recykling w Lublińcu, w której będzie wykorzystana innowacyjna technologia Pro-Brykietu tworzonego z mieszanki odpadów gumowych i miazgi węglowej oraz

¹⁸ <https://media.auron.pl/pr/600925/haldy-sie-zazielenia-to-projekt-naukowy>

składników chemicznych (projekt w ramach NFOŚiGW); (III) – LIFEcogeneration, placticLIFEcycle – projekty realizowane przez Investeko SA (beneficjent koordynujący) w ramach programu LIFE.

Region chętnie angażuje się w międzynarodowe inicjatywy, które sprzyjają wdrażaniu innowacyjnych rozwiązań w zakresie gospodarowania odpadami. Projekty te realizowane są często we współpracy z jednostkami naukowymi oraz przedsiębiorstwami z innych regionów Polski i z zagranicy. Przykładami takiej współpracy są projekty: Politechniki Śląskiej, np. EuReCOMP, CIRCON – GOZ w budownictwie; GIG-PIB, np. H2GEO – Nowa technologia wytwarzania wodoru i kompozytów geopolimerowych z odpadów pogórnich, HYDROCARB – Opracowanie kluczowej technologii wytwarzania wysokowartościowych materiałów węglowych z komunalnych osadów ściekowych metodą hydrotermalnej karbonizacji w połączeniu z flotacją powietrzną; ITPE, np. New technology for hydrogen and geopolymer composites production from post-mining waste (H2GEO), Generator Koncepcji Ekologicznych – GEKON Innowacyjna technologia wytwarzania paliwa alternatywnego z odpadów komunalnych dla elektrowni i elektrociepłowni – kluczowym elementem systemu gospodarki odpadami w Polsce (EKO RDF); Uniwersytet Bielsko-Bialski, np. Polska wełna owcza – lepsze wykorzystanie zasobów i tworzenie wartości (WOOLUME).

Wdrażanie zasad GOZ na Śląsku staje się również coraz bardziej widoczne, a lokalne jednostki badawcze intensyfikują prace nad rozwiązaniami, które mają na celu zrównoważony rozwój, ochronę środowiska oraz poprawę efektywności energetycznej. Kluczowe obszary, w których realizowane są te innowacyjne badania obejmują: recykling chemiczny, technologie wodorowe na bazie biomasy i odpadów, technologie OZE, technologie termochemicznej konwersji biomasy i odpadów i inne technologie powtórnego wykorzystania odpadów.

Potencjał badawczo-rozwojowy oraz innowacyjny w obszarze gospodarki odpadami woj. śląskiego jest na tyle rozbudowany, że region ten staje się konkurencyjny na arenie międzynarodowej, w tym w ramach Unii Europejskiej. Dzięki synergii między sektorem naukowym a przemysłowym Śląsk wykazuje znaczący potencjał w zakresie opracowywania i wdrażania nowoczesnych technologii recyklingu, odzysku surowców oraz zarządzania odpadami w modelu GOZ. Połączenie silnego zaplecza naukowego z dynamicznie rozwijającym się sektorem przemysłowym pozwala na intensyfikację działań w zakresie innowacyjnych przyszłościowych rozwiązań, w szczególności w następujących obszarach:

- Rozwój technologii recyklingu i odzysku surowców, który stwarza szansę na produkcję wysokiej jakości materiałów wtórnych, takich jak regranulaty, recyklaty, elastomery termoplastyczne czy kompostowalne opakowania.
- Produkcja standaryzowanych surowców wtórnych przeznaczonych do wykorzystania w przemyśle budowlanym, wytwórczym oraz druku 3D.
- Nowe materiały biodegradowalne i kompostowalne oraz ich nowe zastosowanie w sektorze opakowań i marketingu ekologicznego.
- Technologie zgazowania odpadów komunalnych, biomasy czy osadów ściekowych, które otwierają możliwości produkcji energii odnawialnej oraz ciepła, co wspiera transformację energetyczną regionu.
- Odpowiedzialne zarządzanie odpadami niebezpiecznymi (np. rtęciowymi) tworzy potencjał dla wdrażania technologii ich stabilizacji i przekształcania w bezpieczne materiały, co będzie prowadzić do pojawienia się nowych usług związanych z obróbką i transportem tych materiałów.
- Przetwarzanie osadów ściekowych oraz zielonych odpadów komunalnych w nawozy, środki glebotwórcze i materiały poprawiające jakość gleby, co otwiera nowe możliwości w rolnictwie. Produkty te wspierają zrównoważone praktyki w regionach wiejskich.
- Hybrydowa separacja mechaniczna, regeneracja olejów czy recykling trudno przetwarzalnych materiałów, które tworzą potencjał badawczy, jak również zapotrzebowanie na specjalistyczne usługi, np. związane z opanowywaniem technologii separacji odpadów i ich standaryzacją.
- Zintegrowane systemy zarządzania odpadami, które łączą recykling, odzysk energii i produkcję nowych surowców, tworzące przestrzeń dla kompleksowych rozwiązań dla miast i przedsiębiorstw.

- Nowe technologie, produkty i usługi w obszarze gospodarki odpadami, które stale przyczyniają się do poprawy efektywności wykorzystywania zasobów, transformacji energetycznej i ochrony środowiska w woj. śląskim. Kluczowymi kierunkami rozwoju są zaawansowane materiały z recyklingu, energetyczne wykorzystanie odpadów, technologie dla rolnictwa i nowe modele usług wspierające gospodarkę obiegu zamkniętego. Skuteczne wykorzystanie tych możliwości wymaga jednak odpowiedniego wsparcia regulacyjnego, finansowego i infrastrukturalnego.

4.1.3.2.5. Technologie wody i ścieków

Jedną z głównych przewag B+R+I grupy technologicznej technologie wody i ścieków wpływającą na jej rozwój jest specyficzne położenie w rejonie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Tworzy to konieczność ukierunkowania technologii wody i ścieków na zagospodarowanie zasolonych wód kopalnianych, czego efektem jest kierunek badań nad rozwijaniem membranowych technologii odsalania wód kopalnianych i/lub technologii usuwania chlorków i siarczanów ze ścieków przemysłowych. Są to technologie opracowane w ramach programów Horizon2020 i LIFE.

Podmioty gospodarcze oraz jednostki naukowe rozwijają badania szczególnie w kierunku odzysku cennych składników i wody ze ścieków oraz usuwania specyficznych substancji. Przykładami takich rozwiązań są: instalacja pilotażowa do usuwania farmaceutyków, instalacja akwaponiczna łącząca w jednym systemie uprawę roślin z hodowlą ryb czy systemy zagospodarowania wód opadowych. Kluczowymi podmiotami działającymi w regionie na rzecz rozwoju technologii wody i ścieków są np. Navotech Inżynieria Środowiska, HydroPATH, Wodociągi Jaworzno, MPWiK Sp. z o.o. Żywiec, Intermark, Energopomiar Sp. z o.o., Stalbudom. Wśród uczelni wyróżniają się Politechnika Śląska, Uniwersytet Śląski oraz Politechnika Częstochowska, a wśród jednostek naukowych zidentyfikowano GIG-PIB. Podmioty te działają nie tylko na poziomie lokalnym i krajowym, ale również za granicą, angażując się przede wszystkim w realizację międzynarodowych projektów badawczych.

Spośród zidentyfikowanych unikatowych rozwiązań/technologii, które mają wpływ na krajobraz technologiczny 12% to technologie krytyczne (złoża filtracyjne, technologie oczyszczania wód powstających w procesie podziemnego zgazowania węgla i technologie odsalania). Unikatowymi rozwiązaniami wyprzedzającymi obecne zapotrzebowanie są technologie oczyszczania wód powstających w procesie podziemnego zgazowania węgla i technologie odsalania wód kopalnianych. Kluczowymi podmiotami działającymi w regionie na rzecz rozwoju grupy technologicznej technologie wody i ścieków, są firmy z branży przemysłowej, przedsiębiorstwa górnicze i okołogórnicze oraz wodociągowo-kanalizacyjne.

Zebrałe informacje potwierdzają częstą współpracę podmiotów gospodarczych, w tym przedsiębiorstw górniczych z jednostkami naukowymi (np. Polska Grupa Górnicza SA z Politechniką Śląską w Gliwicach i GIG-PIB) w obszarze technologii wody i ścieków.

4.1.3.2.6. Technologie ochrony powietrza

Woj. śląskie charakteryzuje się znaczącą przewagą w obszarze technologii dla ochrony powietrza, szczególnie w obszarze B+R+I, który wyróżnia go na tle innych regionów kraju. Jest to jedno z najbardziej uprzemysłowionych województw w kraju – posiada silną bazę przemysłową w postaci dużych podmiotów z sektora przemysłu węglowego, hutniczego i energetycznego, co sprzyja rozwojowi innowacji technologicznych. Do kluczowych podmiotów należą instytucje B+R działające na rzecz rozwoju technologii ochrony powietrza, takie jak Politechnika Śląska, GIG-PIB, Uniwersytet Śląski, Instytut Technologii Paliw i Energii, Instytut Ochrony Roślin – Państwowy Instytut Badawczy Oddział Sośnicowice, Instytut Inżynierii Chemicznej Polskiej Akademii Nauk i Politechnika Częstochowska. Jednostki te prowadzą prace nad nowymi technologiami i rozwiązaniami, które mają na celu poprawę jakości powietrza i ograniczenie emisji z przemysłu. Woj. śląskie zajmuje znaczącą pozycję pod względem rozwoju rozwiązań dla ochrony powietrza, którymi są:

- technologie oparte na systemach elektrofiltracyjnych (Politechnika Śląska),
- technologie oparte na katalizatorach spalin (ITPE),

- technologie wychwytywania i magazynowania ditlenku węgla (CCS) (Politechnika Częstochowska, GIG-PIB, Instytut Techniki Górniczej KOMAG),
- technologie oparte na sorbentach do oczyszczania powietrza (Hewalex Sp. z o.o., Kooperacja Polko),
- technologie redukcji emisji pyłów zawieszonych i tlenków azotu (FI-W ELEKTRON SC, Politechnika Śląska),
- rozwiązania z zastosowaniem roślin i mikroorganizmów do redukcji zanieczyszczeń, (Ekoinwentyka Sp. z o.o., GIG-PIB),
- systemy monitorowania jakości powietrza (EkoSłupiek, Uniwersytet Bielsko-Bialski, Abakus Systemy Teleinformatyczne),
- systemy wentylacji hal i pomieszczeń (Mechanic System Sp. z o.o.),
- redukcja emisji metanu oraz jego odzysk do celów energetycznych (GIG-PIB, Instytut Techniki Górniczej KOMAG).

Na szczególną uwagę zasługują rozwiązania/technologie z zakresu ochrony powietrza, które są unikatowe w skali kraju, a zostały rozwinięte i wdrożone w skali lokalnej:

- EkoSłupiek AirSensor – zaawansowane urządzenie do pomiaru i sygnalizowania jakości powietrza za pomocą koloru światła (zgłoszony do ochrony patentowej jako wynalazek oraz do ochrony prawnej jako wzór użytkowy) (EkoSłupiek),
- Oprogramowanie Dronika – używane w monitoringu jakości powietrza z wykorzystaniem bezzałogowego urządzenia Heksakopter X-01 produkcji firmy Fotoacc oraz zasobnika Koliber (EkoSłupiek),
- Selektywna redukcja katalityczna (SCR) przy regeneracji katalizatorów – rozwiązanie zostało objęte ochroną patentową (Uniwersytet Śląski, Ad Moto),
- Sposób wytwarzania środka do redukcji zanieczyszczeń powstających w procesie spalania węgla w kotłach energetycznych – rozwiązanie zostało objęte ochroną patentową (Politechnika Częstochowska),
- Urządzenie do pulsacyjnej wentylacji pomieszczeń z ciągłą regulacją strumienia objętościowego powietrza – rozwiązanie zostało objęte ochroną patentową (Politechnika Śląska),
- Technologia biooczyszczania powietrza z LZO i odorów w kompaktowych bioreaktorach trójfazowych (KBT) (Ekoinwentyka Sp. z o.o.).

W woj. śląskim jest opracowywanych i wdrażanych wiele projektów z zakresu technologii ochrony powietrza. Projekty realizowane są w konsorcjach międzynarodowych, a uczestniczące jednostki z regionu to najczęściej instytucje naukowe. Przykładowe projekty dotyczące technologii ochrony powietrza realizowane/zrealizowane przez jednostki z regionu¹⁹:

- Projekt AIR TRITIA – zwiększenie zdolności zarządzania jakością powietrza dla sektora publicznego przez opracowanie jednolitej bazy danych informacji przestrzennej (Interreg Central Europe). Podmioty uczestniczące z regionu: GIG-PIB, miasto Rybnik,
- Projekt REM – Redukcja emisji metanu ze zrobów poeksploatacyjnych w celu zminimalizowania jego dopływu do powietrza wentylacyjnego VAM (Fundusz Badawczy Węgla i Stali). Podmioty uczestniczące z regionu: GIG-PIB, Jastrzębska Spółka Węglowa SA,
- Projekt ProVAM – Redukcja emisji metanu z powietrza wentylacyjnego kopalń w procesie transformacji górnictwa węglowego (Fundusz Badawczy Węgla i Stali). Podmioty uczestniczące z regionu: Instytut Inżynierii Chemicznej Polskiej Akademii Nauk,
- Projekt Photo-PURE – Foto-katalityczna konwersja gazów cieplarnianych (metanu) emitowanych do atmosfery podczas eksploatacji złóż węgla kamiennego w formie VAM (Narodowe Centrum Badań i Rozwoju). Podmiot uczestniczący z regionu: ITPE,
- Projekt Mod4Grin – Samowystarczalny, inteligentny moduł zielonej infrastruktury miejskiej w adaptacji do zmian klimatu (Fundusze Norweskie). Podmiot uczestniczący z regionu: Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych.

¹⁹ <https://polon.nauka.gov.pl/>

W województwie od 2005 r. funkcjonuje Śląski Innowacyjny Klaster Czystych Technologii Węglowych, który skupia firmy, instytucje badawcze i samorządy, a jego podstawowym założeniem jest opracowanie nowatorskiego programu badawczego w zakresie technologii czystego węgla oraz ich praktyczne wdrożenie.

4.1.3.2.7. Technologie zarządzania środowiskiem

Zarówno technologie dla ochrony środowiska, jak i branża IT/ICT stanowią inteligentne specjalizacje woj. śląskiego, dlatego są ważnym elementem gospodarki regionu. Na terenie woj. śląskiego funkcjonuje wiele firm z branży IT/ICT, co wskazuje na relatywnie silny potencjał tworzenia innowacyjnych i dedykowanych rozwiązań, również dla ochrony środowiska. Regionalne jednostki naukowo-badawcze, takie jak Politechnika Śląska, Uniwersytet Śląski, Politechnika Częstochowska, GIG-PIB czy Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych w Katowicach, prowadzą liczne badania i projekty finansowane ze źródeł zewnętrznych oraz związane z wykorzystaniem technologii geoinformacji, danych satelitarnych czy ICT w obszarze inżynierii środowiska, dedykując te rozwiązania samorządom czy podmiotom prywatnym (projekty: HAZBREF, OPI TPP 2.0, AMMER, EPOS PL). Ze względu na przemysłowy i górniczy charakter woj. śląskiego wśród tego typu technologii rozwijane są również rozwiązania przeznaczone dla zakładów górniczych: (1) zarządzanie ryzykiem środowiskowym w trakcie i po zamknięciu kopalń (projekt MERIDA – Fundusz Badawczy Węgla i Stali), (2) oprogramowanie przeznaczone do wyznaczania naprężeń pojawiających się w górotworze w następstwie prowadzonej eksploatacji górniczej – NaP, (3) oprogramowanie przeznaczone do wyznaczania anomalii fali sejsmicznej w górotworze – ET, (4) system obserwacji sejsmologicznej SOS (do monitorowania zachowania się górotworu w kopalniach).

W woj. śląskim rozwijane są technologie o dużym potencjale zarówno w zakresie ochrony środowiska, jak i inteligentnych miast. Należą do nich: (1) inteligentne systemy monitorowania środowiska, (2) systemy optymalizacji procesów technologicznych – technologie służące do zarządzania zużyciem energii w dużych przedsiębiorstwach przemysłowych, np. w hutnictwie, gdzie stosuje się algorytmy do optymalizacji procesów produkcyjnych i minimalizacji emisji gazów cieplarnianych, (3) przestrzenne systemy wspomagania decyzji, (4) technologie w obszarze inteligentnych miast, (5) technologie satelitarne w ochronie klimatu i środowiska.

Woj. śląskie stanowi dobry przykład regionu, gdzie wdrażane są technologie zarządzania środowiskiem będące często najnowszymi osiągnięciami naukowymi i technologicznymi, np.: innowacyjny system amiMeasure oparty na AI, optymalizujący efektywność energetyczną oraz emisję CO₂ (dostawca technologii: Amister Sp. z o.o., wdrożenie: Szpital Miejski w Piekarach Śląskich) czy innowacyjny w skali kraju system zarządzania terenami pogórnymi na terenie woj. śląskiego – OPI TPP (projekt OPI TPP 2.0 był realizowany przez GIG-PIB we współpracy z Województwem Śląskim).

W woj. śląskim istnieje wiele sieci współpracy, które wspierają rozwój technologii zarządzania środowiskiem, np. Śląski Park Przemysłowo-Technologiczny Sp. z o.o., Obserwatorium Procesów Miejskich i Metropolitalnych, Klaster Technologii Energooszczędnych Euro-Centrum, Śląski Klaster Ekologiczny.

4.1.3.3. *Możliwość pojawienia się substytutów dla rozwijanych technologii, produktów, usług*

4.1.3.3.1. Biotechnologie w ochronie środowiska

Substytuty dla biotechnologii w ochronie środowiska są oparte na różnych alternatywnych rozwiązaniach technologicznych bez wykorzystywania procesów biologicznych. Przykładowo dla technologii usuwania zanieczyszczeń z gleby substytutami biologicznego usuwania zanieczyszczeń będą fizyczne i chemiczne technologie remediacji gleb, preparaty chemiczne do neutralizacji/ usuwania zanieczyszczeń, a w obszarze technologii oczyszczania ścieków – metody oparte na procesach fizycznych i chemicznych (m.in. techniki membranowe, zaawansowane procesy utleniania). Przykładem biotechnologii – konkurencyjnej dla konwencjonalnych metod oczyszczania powietrza – jest opracowana przez firmę Ekoinwentyka Sp. z o.o. technologia biooczyszczania powietrza – innowacyjne rozwiązanie konkurencyjne dla stosowanych konwencjonalnych technologii.

Wprowadzaniu rozwiązań biotechnologicznych na rynek towarzyszą różne bariery. Biotechnologie często wymagają wysokich nakładów początkowych na badania, rozwój i wdrożenie, wynikających m.in. z wysokich kosztów specjalistycznej aparatury badawczej lub utrudnionego dostępu do takiej infrastruktury. Inne wyzwanie wiąże się z testowaniem opracowanych rozwiązań, w tym dostępem do zaawansowanych laboratoriów lub infrastruktury do testowania oraz skalowania procesów. Wdrożenie nowych biotechnologicznych metod do procesów przemysłowych lub wykorzystywanie ich w inżynierii środowiska wymaga także respektowania wymogów środowiskowych i zdrowotnych oraz zapewnienia bezpieczeństwa ludzi i ochrony bioróżnorodności, a także stabilności ekosystemów.

Dla większości opracowanych biotechnologii środowiskowych zidentyfikowano wiele technologii substytucyjnych spoza województwa. Jest to grupa rozwijająca się bardzo dynamicznie zarówno ze względu na rosnące wymogi środowiskowe, jak i ukierunkowanie preferencji odbiorców na technologie bardziej ekologiczne i zrównoważone. W województwie silnie rozwijaną grupą są biopreparaty, obejmujące m.in. biopreparaty do bioremediacji i fitoremediacji gruntów, oczyszczania ścieków, a także biopreparaty nawozowe i kondycjonujące rośliny. Technologie substytucyjne oferują firmy z całej Polski, m.in. Biobakt Sp. z o.o., Petroster Sp. j., Hydroidea Sp. z o.o. sp. k., Biozym, Organika-Agrarius Sp. z o.o., bioArcus Sp. z o.o., Life Bio Farma Sp. z o.o., EKODREN Naturalne Systemy Oczyszczania. W obszarze oczyszczania powietrza z wykorzystaniem biofiltrów technologie substytucyjne obejmują m.in. rozwiązania oferowane przez firmy Marex Technology i Ekopartnerzy Sp. z o.o. W obszarze biorafinacji technologię substytucyjną oferuje np. H₂O SCITECH – Instytut Wody. Jednostki naukowe i uczelnie w województwie (m.in. Uniwersytet Śląski, Politechnika Śląska, GIG-PIB) opracowują także biotechnologie, dla których obecnie nie zidentyfikowano technologii substytucyjnych w kraju, co po pierwsze, może być związane z młodym wiekiem rynkowym technologii, po drugie, może wynikać z wysokiej specyficzności potencjalnego zastosowania (np. Bio-Gąbka, fylloremediacja). W nawiązaniu do technologii Anammox pojawiają się np. rozwiązania substytucyjne (oparte na procesie Anammox) oferowane przez firmy zagraniczne. Ponadto wśród odbiorców takich rozwiązań jest widoczny trend w kierunku zakupu gotowych rozwiązań, często zagranicznych, wraz z gwarancją wdrożenia, obsługi i serwisu.

4.1.3.3.2. Zielona chemia

Grupa technologii zielona chemia to nowo zidentyfikowana grupa technologiczna. Zarówno na rynku regionalnym, jak i poza regionem obserwuje się wdrożenia z zakresu biomateriałów, zielonej chemii i kosmetyków. Te nowe technologie z grupy technologii zielona chemia są znaczącymi substytutami tradycyjnych technologii, zastępują i wypierają tradycyjnie stosowane technologie, z uwagi na rosnącą potrzebę dostosowania działalności przedsiębiorstw do nowych wymogów unijnych, w tym do raportowania ESG, a także z uwagi na rosnące koszty związane z produkcją, używaniem i utylizacją substancji niebezpiecznych i szkodliwych dla środowiska. Tworzywa sztuczne, w tym tkaniny, które z kolei są oparte na włóknach syntetycznych, wypierane są przez nowo rozwijające się technologie z grupy zielonej chemii oparte na biopolimerach i innych biomateriałach. Obciążające środowisko substancje i materiały stosowane do produkcji opakowań, druku, produkcji nawozów, kosmetyków czy środków czystości są zastępowane nowymi, bezpiecznymi środowiskowo technologiami z grupy zielonej chemii.

Nowe, zielone nawozy oparte na zielonych mikrokomponentach nawozowych będą wypierały tradycyjne nawozy mineralne i nawozy otoczkowane polimerami syntetycznymi. W rolnictwie nowe, biodegradowalne agrowłókniny zastępują te tradycyjne, wytwarzane z polimerów sztucznych. Coraz powszechniejszym trendem jest ograniczanie zakupów gotowych, komercyjnych produktów z tworzyw sztucznych i samodzielne wykorzystywanie druku 3D do wytwarzania części zamiennych/niezbędnych elementów i gotowych produktów. Rozwój druku 3D i wzrost zapotrzebowania na produkty oparte na druku 3D powoduje większy popyt na nowe, bezpieczne dla środowiska, filamenty do druku. Szacuje się, że rynek filamentów opartych na materiałach biodegradowalnych, np. skrobiowo-celulozowych, PHA czy biopolimerach i hydrożelach, stopniowo będzie zastępować filamenty dotychczas stosowane do druku. Z uwagi na rosnące zapotrzebowanie na technologie IV stopnia oczyszczania ścieków i wdrażania metod odzysku wody ze ścieków na cele

publiczne, coraz częściej będą stosowane technologie membranowe, co stwarza potencjał do rozwoju technologii bioaktywnych i wysoko selektywnych membran, które będą zastępować tradycyjne membrany polimerowe.

Substytutem dla technologii opracowanych w regionie są biokompozyty poliuretanowe (Politechnika Warszawska), powłoki na bazie naturalnych olejów roślinnych (Szkola Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie), środki czyszczące na bazie enzymów (np. produkowane przez przedsiębiorstwa Proexool, Biozym), nawozy chelatowe (np. produkowane przez przedsiębiorstwa: Bioagris, Biofert, Luvena, Arkop, PCC Adop), tusze lateksowe (HP Latex, Intergart), nano- i mikrocząstki hydrożelowe z funkcjonalnymi filmami polielektrolitowymi jako nośniki substancji aktywnych pochodzenia naturalnego (Politechnika Wrocławska) oraz folie skrobiowe (Green Tree Group Sp. z o.o. w Tomaszowie Mazowieckim).

Wdrażanie nowych technologii z grupy technologii zielona chemia może być ograniczone z uwagi na niewystarczające finansowanie, niedobór specjalistów z dziedziny zielonej chemii, ograniczoną świadomość i akceptację dla zielonych technologii.

4.1.3.3.3. Technologie poprawy jakości terenów zdegradowanych

Nowoczesne rozwiązania dla poprawy jakości terenów zdegradowanych skupiają się aktualnie na nowatorskich podejściach, które mogą stanowić alternatywę dla obecnie stosowanych technologii rekultywacji i remediacji. Technologie tego typu są rozwijane na świecie. Rozwiązania te są oparte na bionanomateriałach (na bazie metali, węgla, polimerów i krzemionki), nanobiohybrydach, inteligentnych materiałach i nanomaszynach. Nanoremediacja stanowi innowacyjne podejście do bezpiecznej i zrównoważonej remediacji trwałych związków organicznych, takich jak: pestycydy, chlorowane rozpuszczalniki, bromowane lub chlorowcowane chemikalia, substancje perfluoroalkilowe i polifluoroalkilowe (PFAS) oraz metale ciężkie. Obiecującą technologią są również nanosensory do wczesnego wykrywania śladowych ilości zanieczyszczeń w środowisku (Ganie i in., 2021). Bariery wejścia na rynek stanowią obecnie koszty i efektywność.

Gospodarka o obiegu zamkniętym oraz unijna inicjatywa surowcowa zakładają wykorzystywanie surowców wtórnych oraz rozwój technologii recyklingu i odzysku surowców. Rozwiązania te mogą stanowić alternatywę dla tradycyjnych technologii rekultywacji i remediacji, szczególnie w przypadku składowisk odpadów powydobywczych oraz odpadów z elektrowni węglowych, traktowanych jako antropogeniczne złoża. Stosowanie tych technologii skutkuje usunięciem zalegających mas odpadowych, jednak po zakończeniu eksploatacji taki teren wymaga przeprowadzenia jeszcze prac rekultywacyjnych. Barrierami wejścia na rynek dla tego typu technologii są zaostrzające się normy środowiskowe, efektywność technologii i jej opłacalność, a także opór społeczny wynikający z uciążliwości eksploatacji i przeróbki odpadów.

Kolejną ścieżką, stanowiącą substytut dla technologii remediacji, jest zmiana przeznaczenia terenów z wyłączeniem obszarów zaludnionych i zastosowanie innych technologii służących nowemu wykorzystaniu terenu, np. farmy fotowoltaiczne. Przykładem są projekty farm fotowoltaicznych na terenach pokopalnianych w gminie Wojkowice opracowane przez Spółkę Restrukturyzacji Kopalń SA²⁰. Nie wpływa to jednak na zmniejszenie oddziaływania na środowisko nagromadzonych zanieczyszczeń.

Problemem są niewielkie postępy w rekultywacji i ponownym zagospodarowaniu terenów zdegradowanych, które, w oparciu o dane GUS z 2023 r., wyniosło 20 ha, a w 2022 r. – 4 ha. Z kolei rekultywacja pasywna (naturalna regeneracja) to kierunek szczególnie istotny dla terenów nieskażonych substancjami toksycznymi, polegający na minimalnym ingerowaniu w procesy naturalne. Przykładem są hałdy w Żabich Dołach w Bytomiu.

Substytuty stanowią alternatywę, która po pokonaniu barier wejścia, może zagrozić obecnie rozwijanym technologiom stosowanym zwłaszcza w przypadku usuwania toksycznych substancji.

²⁰ <https://srk.com.pl/media/aktualnosci/EKO-INWESTYCJA-SRK-W-WOJKOWICACH/idn:421>

Jednocześnie mogą one przyspieszyć procesy remediacji środowiska i wpłynąć na efektywność wykorzystywania terenów.

4.1.3.3.4. Technologie gospodarowania odpadami

Dla grupy technologicznej technologie gospodarowania odpadami istnieje bardzo wiele technologii substytucyjnych spoza regionu. Jest to grupa rozwijająca się bardzo dynamicznie ze względu na zwiększające się wymogi dotyczące ochrony środowiska i odzysku surowców, co otwiera przestrzeń i tworzy popyt rynkowy na nowe rozwiązania. Ze względu na regionalizację podmiotów zajmujących się gospodarowaniem odpadami, często w każdym z regionów kraju wyłaniają się tzw. liderzy, którzy starają się kontrolować udziały na rynku lokalnym.

W obszarze technologii recyklingu i odzysku, w szczególności przy wytwarzaniu kruszyw z odpadu, zidentyfikowano technologie wprowadzone przez firmę CEMEX. Takie technologie wprowadziły również firmy Mo-Bruk i ZZO Marszów oraz Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego. Bardzo prężnie rozwija się obszar wytwarzania nawozów i środków wspomagających uprawę roślin, w którym zidentyfikowano wiele konkurencyjnych firm, np. PCC Rokita, Nowydworek, Biohumus, Mr. Green Grass. Analiza trendów w technologiach substytucyjnych wykazuje dużą konkurencję w zakresie regranulacji odpadów polimerowych, gdzie swoją pozycję rynkową zaznaczają podmioty, takie jak Maris, Dopak, Kruś Sp. z o.o. i DTJ.

Identyfikacja barier wejścia na rynek nowych technologii gospodarowania odpadami jest kluczowa dla zrozumienia wyzwań, przed którymi stają firmy chcące wprowadzić innowacyjne rozwiązania w tej branży. Główne bariery stanowią przede wszystkim:

- Wysokie koszty inwestycji – technologie zagospodarowania odpadów często wymagają dużych nakładów finansowych na badania, rozwój, a także na zakup specjalistycznych maszyn i infrastruktury. Dla nowych firm, zwłaszcza start-upów, takie inwestycje mogą stanowić poważną przeszkodę.
- Regulacje prawne i normy środowiskowe – rynek gospodarowania odpadami jest silnie regulowany, a przepisy dotyczące ochrony środowiska, zarządzania odpadami czy emisji substancji szkodliwych mogą stanowić barierę, szczególnie dla nowych firm, które muszą spełniać wysokie standardy środowiskowe.
- Silna konkurencja – rynek jest zdominowany przez duże międzynarodowe przedsiębiorstwa, które dysponują zaawansowaną technologią, rozbudowaną siecią współpracy i dobrym zapleczem finansowym. Nowe firmy mogą mieć trudności z konkutowaniem z takimi gigantami, zwłaszcza w zakresie oferty na innowacyjne, kosztowo konkurencyjne rozwiązania.
- Akceptacja społeczna – jest kluczowym czynnikiem w procesie wdrażania nowych technologii gospodarowania odpadami, zwłaszcza w przypadku technologii nieznanymi, innowacyjnych, które mogą budzić obawy wśród lokalnego społeczeństwa.

4.1.3.3.5. Technologie wody i ścieków

Analizując bariery wejścia na rynek nowych technologii w grupie technologicznej technologie wody i ścieków, można wyróżnić m.in. regulacje prawne i skomplikowane procedury administracyjne związane z uzyskiwaniem pozwoleń środowiskowych. Nowe przedsiębiorstwa lub te istniejące, chcące dostosować swoje procesy i operacje do obowiązujących standardów przez wdrożenie innowacyjnych rozwiązań, muszą każdorazowo przeprowadzać skomplikowane i długotrwałe procedury administracyjne.

Analiza trendów w grupie technologicznej technologie wody i ścieków wykazała większy rozwój urządzeń do uzdatniania wody (np. elektroniczne uzdatniacze) w porównaniu do preparatów do kondycjonowania wody/produktów chemicznych do uzdatniania wody. Zidentyfikowano ponadto nowe, złożone i kombinowane metody/technologie i/lub procesy zastępujące. Substytuty istniejących technologii ukierunkowane są zarówno na poprawę bezpieczeństwa wodnego i odpowiedniego zaopatrzenia w wodę, jak i na doskonalenie procesów oczyszczania ścieków w celu ich ponownego wykorzystania w przemyśle czy w rolnictwie. Nowe technologie skoncentrowane są na zmniejszaniu

kosztów eksploatacyjnych (m.in. przez zmniejszenie zużycia energii elektrycznej) i na produkcji energii oraz na odzysku cennych składników ze ścieków.

Do technologii substytucyjnych spoza regionu w obszarze technologii ścieków można zaliczyć technologie, takie jak: BIO-HYBRYDA (Ekopol, woj. łódzkie), CF-SBR (Ekowater, woj. mazowieckie), eXeno™ (Veolia, Francja). Bardzo prężnie rozwija się obszar systemów zagospodarowania wód opadowych lub roztopowych, m.in. są to technologie Haba RAIN (Haba, woj. wielkopolskie) i Eco Ecoline II, Eco Blueline II, Eco-Flime, Eco Neo (Aqua-Technika, woj. dolnośląskie). Prężnie rozwijają się również technologie zagospodarowania ścieków agresywnych, np. technologia Dekastripp (Envimac, woj. wielkopolskie).

4.1.3.3.6. Technologie ochrony powietrza

Główne bariery wejścia na rynek nowych technologii z obszaru ochrony powietrza są związane z czynnikami ekonomicznymi, prawnymi i społecznymi. Do najważniejszych barier można zaliczyć:

- wysokie koszty początkowe związane z inwestycją w badania i rozwój oraz z produkcją innowacyjnych technologii,
- trudność z pozyskiwaniem kapitału przez MŚP na rozwój nowych technologii,
- niska opłacalność innowacyjnych technologii na początkowym etapie,
- złożoność przepisów i konieczność dostosowania się do wielu regulacji środowiskowych i norm technicznych,
- rozbieżność między przepisami krajowymi a unijnymi, prowadząca do opóźnień we wdrażaniu innowacji,
- długi czas trwania procedur certyfikacyjnych,
- brak dojrzałości technologii (zatrzymanie się na etapie prototypu),
- duża konkurencja ze strony tradycyjnych technologii,
- w przypadku innowacyjnych rozwiązań, np. technologii deep tech (metody biooczyszczania, nowoczesne technologie wychwytu CO₂), istnieje duże ryzyko rynkowe, ponieważ produkty związane z technologią są bardzo nowatorskie i często nie jest jasne, jak integratorzy systemów i klienci końcowi zareagują na te adaptacje.

Substytutami technologii oczyszczania powietrza są rozwiązania lub technologie, które pozwalają znacząco zredukować zanieczyszczenia emitowane do atmosfery. Wśród nich można wskazać m.in. technologie CCS, zielone technologie spalania, technologie odzysku ciepła, elektrofiltry odpylania powietrza, biofiltry, zieloną chemię. Wymienione technologie rozwijane są przez podmioty spoza regionu, takie jak np. Nanosci Sp. z o.o., Politechnika Świętokrzyska, GreenSystem Sp. z o.o., BioArcus, EKOFINN-POL, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki.

Wśród nowych technologii zastępujących dotychczas rozwijane tradycyjne technologie z obszaru ochrony powietrza należy wskazać:

- innowacyjne metody biologiczne i chemiczne redukujące wpływ zanieczyszczeń na atmosferę – fylloremediacja,
- wykorzystanie do pomiarów oraz identyfikacji źródeł emisji dronów i systemów zdalnego pomiaru,
- zaawansowane urządzenie do pomiaru i sygnalizowania jakości powietrza,
- recykling metanu,
- urządzenie do pulsacyjnej wentylacji pomieszczeń,
- metody fotokatalitycznego oczyszczania powietrza.

4.1.3.3.7. Technologie zarządzania środowiskiem

Bariery wejścia na rynek technologii zarządzania środowiskiem obejmują przede wszystkim: (1) wysokie koszty początkowe i finansowanie, (2) opór przed zmianami w sektorze publicznym i prywatnym, (3) fragmentację rynku i brak standaryzacji – istnieje wiele różnych systemów, aplikacji

i urzędzeń, które nie zawsze są ze sobą kompatybilne, co utrudnia ich integrację, (4) brak jednolitych standardów i interoperacyjności – między systemami stawiana jest bariera dla wejścia nowych technologii, które chcą zdobyć rynek, (5) regulacje prawne i biurokrację – nowe technologie w zakresie zarządzania środowiskiem, zwłaszcza te związane z monitorowaniem jakości powietrza, wodami czy ściekami, muszą być zgodne z krajowymi i unijnymi regulacjami dotyczącymi ochrony środowiska, (6) niską świadomość technologiczną konsumentów i przedsiębiorców – mimo rosnącej świadomości ekologicznej, nadal wielu użytkowników końcowych – zarówno w sektorze publicznym, jak i wśród przedsiębiorców – posiada niski poziom wiedzy o nowoczesnych technologiach zarządzania środowiskiem.

Na Śląsku działa wiele start-upów, które koncentrują się na rozwoju technologii związanych ze zrównoważonym rozwojem. Przykładem jest Optimo Light – start-up zajmujący się inteligentnym systemem oświetlenia budynków – autorskie rozwiązanie zdalnego pomiaru natężenia oświetlenia wyrażonego w luxach. Dzięki automatycznej regulacji mocy i wykorzystaniu światła dziennego, zapewnia nawet 70-proc. oszczędność w porównaniu z powszechnie stosowaną technologią LED.

Zastąpienie technologii cyfrowych w zarządzaniu środowiskiem innymi, równie efektywnymi rozwiązaniami, jest trudne, ponieważ technologie cyfrowe oferują niezrównaną precyzję, automatyzację i możliwość analizy dużych zbiorów danych. Przełomowe technologie cyfrowe, takie jak AI, IoT czy blockchain, będą coraz powszechniej stosowane w zarządzaniu danymi środowiskowymi, analizie zmian klimatu oraz optymalizacji procesów. Przykładem przyszłościowych technologii może być IoT wykorzystywane do monitorowania stanu ekosystemów w czasie rzeczywistym oraz stosowanie AI do analizy danych i podejmowania decyzji w procesie zarządzania ochroną środowiska. Z kolei blockchain może zrewolucjonizować sposób zarządzania emisjami i handel zielonymi certyfikatami.

4.1.3.4. Identyfikacja zależności i łańcuchów wartości rozwoju technologii w ramach obszaru technologii

4.1.3.4.1. Biotechnologie w ochronie środowiska

Czynnikiem wspierającym rozwój biotechnologii w ochronie środowiska, w szczególności w obszarze gospodarki wodno-ściekowej, są niewątpliwie obostrzenia wynikające z nowej dyrektywy ściekowej, która zakłada wprowadzenie wymogu IV stopnia oczyszczania ścieków, a także pogłębiający się problem dostępności wody pitnej o odpowiedniej jakości. Mimo najczęściej wskazywanego czynnika motywującego do prac naukowych w analizowanym obszarze, jednocześnie wspierającego i akcelerującego rozwój nowych technologii, widoczna jest dywersyfikacja w obszarze działalności B + R w woj. śląskim, w szczególności jednostek naukowo-badawczych i uczelni. Podejmują one prace badawcze w bardziej specjalistycznych obszarach, co w skali województwa prowadzi do komplementarności i wzajemnego uzupełniania się, jednak bez wyraźnie zaznaczonej współpracy w zakresie wspólnie opracowywanych rozwiązań. W działalności naukowej regionalnych uczelni istnieją jednak, choć są to nieliczne przypadki, przykłady długotrwałej współpracy z konkretnymi przedsiębiorstwami z regionu lub spoza woj. śląskiego. Kooperacje te powstają w celu wspólnego opracowania technologii i jej testowania w skali pilotażowej, przy czym dotyczą one głównie przedsiębiorstw z branży wodno-ściekowej.

W zakresie technologii biopreparatów do różnych zastosowań środowiskowych, widoczna jest znaczna konkurencja w skali kraju oraz intensywna działalność rywalizujących podmiotów. Rynek biopreparatów w woj. śląskim budują także firmy, które oferują tego typu produkty, jednocześnie nie będąc ich producentem, a tylko pośrednikiem w sprzedaży produktów zagranicznych. Mimo tego, że technologie bioproduktów to często technologie dojrzałe, obszar ten jest wciąż eksplorowany, nie tylko przez uczelnie i instytuty, ale także przez przedsiębiorstwa działające w obszarze bioremediacji i gospodarki wodno-ściekowej, przez wprowadzanie innowacji do już istniejących rozwiązań lub opracowywanie nowych technologii. Intensyfikacja działań w zakresie zrównoważonego rolnictwa może także przełożyć się na wzrost zapotrzebowania na rozwiązania w obszarze produkcji preparatów nawozowych i kondycjonujących rośliny, a tym samym na wzrost konkurencji. Czynniki

zakłócający rozwój biotechnologii środowiskowych może stanowić z jednej strony konkurencja wynikająca z dostępności na rynku lokalnym produktów zagranicznych, a z drugiej strony trudność w skalowalności technologii – przeniesienie z warunków laboratoryjnych do pełnej skali w już funkcjonującym przedsiębiorstwie, często w związku z ograniczonym dostępem do infrastruktury, na której takie technologie mogłyby być testowane, aby nie zakłócić podstawowej działalności przedsiębiorstwa.

4.1.3.4.2. Zielona chemia

Rozwój technologii z grupy zielonej chemii jest uzależniony od partnerów zewnętrznych. Technologie zielonej chemii wymagają dostępu do surowców, często specyficznych, opartych na produktach biologicznych lub biopochodnych. Grupa technologii zielona chemia jest nową, rozwijającą się grupą technologii. Jej rozwój wymaga poszerzania wiedzy i know-how, a tym samym współpracy z firmami realizującymi prace B+R oraz jednostkami badawczymi. Na rozwój tej grupy technologii ma wpływ finansowanie innowacyjnych badań zarówno podstawowych, jak i pilotażowych czy wdrożeniowych. Ta grupa technologii jest odporna na zmieniające się warunki rynku, gdyż rozwijają ją przede wszystkim nowo powstałe przedsiębiorstwa, które podążają za nowymi trendami rozwojowymi i cechują się elastycznością procesów produkcyjnych oraz dobrze zaopatrzonym zapleczem badawczo-rozwojowym. Posiadanie własnego zespołu R&D (ang. *research and development*) pozwala na szybką adaptację do zachodzących zmian.

W zakresie technologii biomateriałów jest widoczna intensywna konkurencja zarówno ze strony pozaregionalnych jednostek badawczych, jak i przedsiębiorstw specjalizujących się w produkcji zielonych środków chemicznych czy innowacyjnych zielonych nawozów.

Czynnikami zakłócającym wdrażanie nowych technologii z grupy technologii zielona chemia są wysokie koszty rozwoju nowych technologii, co w szczególności może stanowić barierę dla małych i średnich przedsiębiorstw. Innym czynnikiem zakłócającym rozwój grupy technologii zielona chemia jest ograniczone zainteresowanie dużych podmiotów przemysłowych nowymi, alternatywnymi technologiami zielonej chemii, co ogranicza potencjalny rynek zbytu dla tych produktów i może wpłynąć na zahamowanie rozwoju tej grupy technologii. Nowe przepisy prawne i wynikające z nich obowiązki nałożone na firmy, w tym m.in. w zakresie raportowania niefinansowego (raportowanie ESG), wymuszają jednak podejmowanie zmian w łańcuchach dostaw, które wpłyną na zmniejszenie ryzyka środowiskowego. Przedsiębiorstwa będą dokonywały oceny ofert partnerów biznesowych, uwzględniając już nie tylko najniższe koszty czy jakość usług, ale również jakość rozwiązań logistycznych w zakresie ESG, np. stosowanie zielonej chemii, ograniczanie używania materiałów czy środków stwarzających zagrożenie środowiskowe. Współpraca z dostawcami i operatorami logistycznymi wdrażającymi zielone rozwiązania staje się nieodzownym elementem działań środowiskowych. Współzależność między sektorem zielonej chemii, a innymi branżami będzie tworzyć sprzężenie zwrotne.

Do rozwoju technologii zielonej chemii przyczyniają się także regionalne inicjatywy edukacyjne. Przykładowo Uniwersytet Śląski, Politechnika Śląska i GIG-PIB realizują kursy, szkolenia i staże służące pogłębianiu wiedzy z zakresu chemii dla zielonej gospodarki. Rozwijane są nowe kierunki kształcenia, np. Śląskie Interdyscyplinarne Centrum Chemii (UŚ).

4.1.3.4.3. Technologie poprawy terenów zdegradowanych

Rozwój technologii poprawy terenów zdegradowanych jest częściowo uzależniony od konkurencji spoza województwa zarówno z kraju, jak i zagranicy. W woj. śląskim zidentyfikowano 20 technologii, z czego 18 z nich to produkty lub rozwiązania zaprojektowane przez cztery jednostki naukowe, w tym: Uniwersytet Śląski, Politechnikę Śląską, Politechnikę Częstochowską oraz GIG-PIB. W rejonie jest niewiele firm zajmujących się wytwórstwem lub działaniami, które wpisywałyby się bezpośrednio w omawianą grupę technologiczną. W obszarze poprawy terenów zdegradowanych istnieje wiele firm budowlanych, które oferują usługi rekultywacyjne, lecz polegające przeważnie na fizycznej ingerencji w teren, bez remediacji zanieczyszczeń obecnych w glebie czy w wodach gruntowych.

Zidentyfikowano 24 technologie spoza woj. śląskiego, przy czym większość z nich jest stosowana przez firmy wykonujące prace lub oferujące daną technologię samodzielnie albo we wsparciu z jednostkami naukowymi. Firmy te posiadają zaplecze finansowe i sprzęt oraz dysponują technologią dla przeprowadzenia prawidłowej rekultywacji terenów zanieczyszczonych, co daje im większą przewagę nad firmami funkcjonującymi bezpośrednio na Śląsku. Firmy z centralnej i południowej Polski, takie jak Petroster sp. j. czy PROTE Technologie dla Środowiska Sp. z o.o. oferują rozwiązania, których brakuje na Śląsku, dlatego firmy te świadczą usługi również w tym regionie. Prowadzi to do sytuacji, w której konkurencja spoza woj. śląskiego ma przewagę na rynku.

Czynniki limitujące wdrażanie nowych technologii lub bariery wejścia na rynek grupy technologii z zakresu poprawy terenów zdegradowanych w woj. śląskim to przede wszystkim: wysokie wymagania dotyczące w programach wspierających innowacyjność wkładu własnego, niskie płace w projektach badawczych dla pracowników sektora naukowo-badawczego, niskie nakłady publiczne na działalność innowacyjną, wewnętrzne obciążenie administracyjne związane z zarządzaniem projektem, niska motywacja w sektorze naukowo-badawczym do komercjalizacji badań, niezadowalające wyniki przedsiębiorstw z woj. śląskiego oraz wewnętrzne obciążenia administracyjne związane z zarządzaniem projektem. Wyniki badań przeprowadzonych w 2019 r. przez Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego wykazały, że nakłady na badania i ich rozwój są często przeznaczane na zakup standardowego sprzętu lub pomniejszych prac zleczanych jednostkom naukowym. Małe i średnie przedsiębiorstwa wdrażające rozwiązania innowacyjne również deregulują skalowanie produkcji i podaży przez wprowadzanie komponentów sprzedaży na skalę mniejszą niż międzynarodowa. Powyższe czynniki ekonomiczne i logistyczne powodują, że większość technologii rozwijanych na Śląsku posiada odpowiedniki lub substytuty w innych województwach lub za granicą.

4.1.3.4.4. Technologie gospodarowania odpadami

Obszar gospodarki odpadami w woj. śląskim posiada silny potencjał technologiczny i przemysłowy, wynikający z wysokiej urbanizacji, koncentracji zakładów przemysłowych oraz rozwiniętej infrastruktury. Rozwój technologii w tej dziedzinie opiera się na współpracy między jednostkami naukowymi, przedsiębiorstwami oraz instytucjami publicznymi, co prowadzi do powstawania złożonych łańcuchów wartości. Efektywny system zbierania i transportu odpadów jest podstawą wdrażania zaawansowanych technologii recyklingu, unieszkodliwiania i odzyskiwania energii. W regionie działają liczne przedsiębiorstwa logistyczne i komunalne, które wspierają przepływ surowców do zakładów przetwórczych. Nowoczesne technologie sortowania, w tym mechaniczne, optyczne oraz AI, umożliwiają poprawę jakości recyklingu i przygotowanie materiałów do dalszych etapów przetwarzania. Ważne technologie zidentyfikowane w łańcuchu wartości to mechaniczne separatory metali, szkła i tworzyw sztucznych, optymalizowane za pomocą technologii AI, takich jak systemy rozpoznawania materiałów w strumieniu odpadów, np. wspomagane technologią hybrydowej separacji mechanicznej odpadów lub plasticLIFECycle do separacji materiałów polimerowych. Z kolei stabilizacja i unieszkodliwianie odpadów niebezpiecznych wymaga współpracy między producentami chemikaliów a zakładami unieszkodliwiania. W regionie istnieje możliwość rozwoju technologii remediacji oraz unieszkodliwiania odpadów przemysłowych. Wiąże się to z koniecznością stosowania chemii budowlanej w procesie przetwarzania odpadów, jak i powiązania z branżą remediacji przy wykorzystaniu kruszyw powstających z bezpiecznych odpadów.

4.1.3.4.5. Technologie wody i ścieków

W grupie technologicznej technologie wody i ścieków zidentyfikowano technologie oparte na rozwiązaniach spoza regionu, np. elektroniczny uzdatniacz wody. Jest to technologia opracowana poza woj. śląskim, lecz wdrożona/zweryfikowana w tym województwie. Większość innowacji w analizowanym obszarze technologicznym nie jest zależna od zewnętrznych partnerów, aczkolwiek istnieją rozwiązania/technologie opracowane we współpartnerstwie spoza regionu, a nawet kraju. Dotyczy to głównie projektów międzynarodowych (np. LIFE Brine Mining i ZERO-BRINE) realizowanych we współpracy z jednostkami zagranicznymi. Część zidentyfikowanych rozwiązań wdrażana jest w woj. śląskim, przy czym dostawcami technologii są firmy spoza tego województwa

(np. technologia oczyszczania ścieków zawierających farmaceutyki). Do czynników wspierających rozwój technologii w ramach obszaru należą m.in. utrzymanie pozycji na rynku lub jej poprawa oraz nakłady na działalność innowacyjną. Czynnikiem zakłócającym są głównie niechęć przedsiębiorstw do współpracy z odbiorcami i dostawcami technologii oraz niskie oczekiwania wobec własnej innowacyjności.

4.1.3.4.6. Technologie ochrony powietrza

Rozwój technologiczny w zakresie ochrony powietrza w regionie w znacznej mierze jest oparty na rozwoju lokalnych innowacji technologicznych, chociaż wdrażane są także sprawdzone rozwiązania z innych regionów i krajów. Na lokalnym rynku występuje konkurencja między jednostkami B+R stanowiącymi kluczowe ośrodki badawcze w obszarze technologii związanych z redukcją emisji zanieczyszczeń powietrza. Wiele projektów finansowanych ze środków unijnych jest realizowanych w konsorcjach międzynarodowych, w skład których wchodzi jednostki B+R, samorządy i firmy, co wspiera transfer technologii i dobrych praktyk. W regionie funkcjonują lokalne firmy produkujące i instalujące systemy wentylacyjne oraz filtry powietrza, które rywalizują na rynku z bardziej rozwiniętymi technologiami dostarczonymi przez ogólnopolskich dostawców. Znaczącą konkurencję spoza regionu stanowią jednostki badawczo-naukowe rozwijające technologie w zakresie:

- oczyszczania spalin z wykorzystaniem katalizatora – Centrum Badawcze Energetyki i Ochrony Środowiska Politechniki Warszawskiej, Instytut Energetyki – Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie,
- oczyszczania powietrza przez redukcję zapylenia i stężenia metanu – Instytut Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy,
- biooczyszczania powietrza z lotnych związków organicznych – Politechnika Gdańska – Wydział Chemiczny,
- oczyszczania powietrza z wykorzystaniem sorbentów – Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk,
- fotokatalitycznego oczyszczania powietrza – Nanosci Sp. z o.o., Uniwersytet Gdański, Politechnika Gdańska, Auro Polska (producent niemiecki), Sigma Coatings (PPG Ceko Polska), Selena, Sto,
- monitorowania jakości powietrza – Airly Sp. z o.o.,
- oczyszczania spalin – Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk,
- oczyszczania powietrza z wykorzystaniem nowoczesnych filtrów – Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk.

Czynnikiem wspierającym rozwój technologii ochrony powietrza w regionie jest przede wszystkim wsparcie finansowe w postaci dotacji regionalnych i programów unijnych, a także współpraca międzynarodowa prowadzona z instytucjami naukowymi oraz innymi podmiotami, która sprzyja transferowi technologii. Dla rozwoju technologii w zakresie ochrony powietrza w regionie istotna jest również posiadana infrastruktura przemysłowa, która umożliwia testowanie i rozwijanie nowych technologii oraz tworzy solidne zaplecze naukowo-badawcze.

Główne bariery zakłócające rozwój technologii ochrony powietrza w woj. śląskim to: wysokie nakłady finansowe, wysokie koszty utrzymania inwestycji, skomplikowane procedury związane z pozyskiwaniem dotacji i zezwoleń, zmiany w regulacjach prawnych i polityce ekologicznej (np. potrzeba aktualizacji prawa geologicznego dla stworzenia możliwości składowania CO₂, konieczne regulacje dotyczące transportu CO₂ rurociągami), przestarzała infrastruktura (np. instalacje CCUS wymagają zaawansowanej infrastruktury), brak lokalnych dostawców, potencjalne kryzysy zewnętrzne (kryzys gospodarczy, zerwanie łańcucha dostaw).

4.1.3.4.7. Technologie zarządzania środowiskiem

Woj. śląskie, będące jednym z najbardziej uprzemysłowionych regionów Polski, stanowi obszar istotny zarówno pod względem środowiskowym, jak i dla konkurencji między różnymi podmiotami.

W tym kontekście dostawcy technologii to firmy, instytucje badawcze oraz organizacje wspierające rozwój innowacji w zakresie ochrony środowiska.

Podmioty współpracujące na polu wdrażania nowoczesnych technologii zarządzania to przede wszystkim instytucje badawcze, uczelnie wyższe, samorządy i jednostki administracji publicznej, ze szczególnym uwzględnieniem Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii (GZM) lub organizacje samorządowe, takie jak Stowarzyszenie Gmin Górniczych w Polsce, które wspierają rozwój gospodarczy gmin.

Podmioty rywalizujące to przede wszystkim lokalne firmy IT i dostawcy rozwiązań technologicznych, którzy współpracują z samorządami oraz regionalnymi instytucjami ochrony środowiska w zakresie wdrażania nowoczesnych narzędzi ICT, a także – międzynarodowi dostawcy technologii – globalne firmy technologiczne, które oferują gotowe rozwiązania do zarządzania środowiskiem, takie jak systemy monitorowania klimatu oparte na technologii satelitarnej czy technologie ICT w ochronie środowiska. Mogą one być konkurencyjne wobec lokalnych firm.

Czynniki wspierające rozwój technologii: (1) wsparcie instytucjonalne i finansowe – korzystanie z zewnętrznych źródeł finansowania; (2) rozwój infrastruktury ICT – wzrost dostępności szerokopasmowego internetu oraz rozwój infrastruktury telekomunikacyjnej sprzyjają wdrażaniu systemów monitorowania jakości powietrza, inteligentnych systemów transportowych czy technologii opartych na danych przestrzennych (GIS), (3) współpraca B+R+I między uczelniami wyższymi, instytutami badawczymi a przemysłem sprzyja wdrażaniu nowych technologii (projekty związane z inteligentnymi miastami oraz poprawą jakości powietrza są często realizowane we współpracy z sektorem publicznym, przedsiębiorstwami i organizacjami pozarządowymi), (4) zwiększająca się świadomość ekologiczna – wzrost zainteresowania społeczeństwa ochroną środowiska, zwłaszcza w kontekście problemów związanych z zanieczyszczeniem powietrza i zmianami klimatu, zwiększa popyt na technologie, które mogą poprawić jakość środowiska.

Czynniki zakłócające rozwój technologii to: opór przed zmianami, brak odpowiednich regulacji prawnych, koszty wdrażania nowych technologii, wysokie koszty związane z implementacją, niedostateczna infrastruktura danych.

4.1.3.5. Intensywność konkurencji na rynku wdrażania technologii

4.1.3.5.1. Biotechnologie w ochronie środowiska

Rzeczony sektor biotechnologii w Polsce i wzrost zapotrzebowania na przyjazne środowisku technologie przyczynia się do wzrostu konkurencji w zakresie biotechnologii stosowanych w ochronie środowiska. W woj. śląskim do jednostek prowadzących działalność w obszarze biotechnologii w ochronie środowiska należą: Politechnika Śląska, Uniwersytet Śląski, Politechnika Częstochowska, GIG-PIB, Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych a także Uniwersytet Bielsko-Bialski. Popyt na prace badawczo-rozwojowe i innowacje w biotechnologii środowiskowej jest kształtowany przez rosnącą świadomość potrzeby ochrony środowiska, zmieniające się przepisy prawa oraz zapotrzebowanie rynku. Wśród uczelni spoza woj. śląskiego wysoką aktywność badawczą w analizowanym obszarze technologicznym wykazują m.in. Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Uniwersytet Warszawski, Politechnika Gdańska, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski czy Politechnika Łódzka, stanowiąc dla siebie konkurencję. Jako dobre praktyki dla rozwoju technologicznego można wskazać przykłady współpracy przedsiębiorstw z uczelniami oraz instytucjami badawczymi, co jest odpowiedzią na potrzeby przedsiębiorstw w tym zakresie i wejście na rynek z nowymi konkurencyjnymi technologiami. Taka współpraca najczęściej następuje w wyniku realizacji wspólnych projektów naukowo-badawczych i rozpoczyna się na wczesnych etapach opracowywania technologii. Co ważne, współpraca w zakresie prac naukowo-badawczych uczelni/instytucji naukowych/przedsiębiorców często przybiera charakter długofalowy i wielopłaszczyznowy, otwierając nowe możliwości w innych obszarach badawczych. W woj. śląskim istnieje kilka przykładów takiej współpracy, jednak wymagane są działania w celu jej zacieśnienia i wykorzystania w pełni potencjału technologicznego, którym dysponuje województwo. Połączenie potencjału badawczego naukowców oraz zasobów

i doświadczenia praktycznego sektora biznesu tworzy efekt synergii, który może przyspieszyć wprowadzanie nowych technologii na rynek i przeniesienie badań z poziomu teorii na poziom praktycznego zastosowania. Stały popyt na biotechnologie stosowane do usuwania zanieczyszczeń z wody i gleby (bioremediacja, fitoremediacja, biologiczne oczyszczanie ścieków) zwiększa aktywność konkurencji, którą stanowi wiele małych i dużych podmiotów gospodarczych spoza woj. śląskiego. Ich działalność jest związana z: 1) produkcją i/lub dystrybucją biopreparatów do oczyszczania gleby i ścieków – jako producenci biopreparatów lub jako dystrybutorzy biopreparatów produkowanych za granicą, 2) technologiami biologicznego oczyszczania ścieków, 3) usuwaniem zanieczyszczeń ze środowiska glebowego. Konkurencja w tym obszarze jest szczególnie widoczna w woj. małopolskim, woj. mazowieckim i woj. łódzkim, gdzie działa dużo firm w analizowanym obszarze. Istnieje zatem znaczna konkurencja w skali kraju, co sprzyja intensyfikacji działań podmiotów rywalizujących. Należy jednak zauważyć, że technologie biopreparatów to często technologie dojrzałe, a mimo to obszar ten jest wciąż eksplorowany, nie tylko przez uczelnie, instytuty naukowe, ale także przedsiębiorstwa (w większości są to mniejsze firmy) działające w obszarze bioremediacji i gospodarki wodno-ściekowej – realizowane są prace mające na celu wprowadzenie innowacji w już istniejących rozwiązaniach lub też opracowywanie całkiem nowych technologii. W woj. śląskim w obszarze biotechnologii środowiskowej funkcjonuje spółka giełdowa Onesano SA, oferująca m.in. rozwiązania w dziedzinie bioremediacji gruntów skażonych węglowodarami.

W działalności przedsiębiorstw coraz częściej obserwuje się chęć wprowadzania rozwiązań technologicznych opartych na procesach biologicznych i stosowania technologii bardziej ekologicznych. Wśród zidentyfikowanych grup technologii opracowywanych w woj. śląskim istnieją również takie, które są perspektywiczne i mogą mieć istotny wpływ na krajobraz technologiczny regionu, wymagają jednak dalszych prac ukierunkowanych na stosowanie w większej skali, a następnie wdrożenie, są to m.in. biopreparaty do oczyszczania ścieków (w tym do usuwania mikrozanieczyszczeń), innowacyjne technologie oczyszczania ścieków, w tym z wykorzystaniem preparatów immobilizowanych, zielona kataliza, a także technologie biooczyszczania powietrza.

4.1.3.5.2. Zielona chemia

Rosnący popyt na technologie z obszaru zielonej chemii powoduje dużą aktywność konkurencji, zwłaszcza podmiotów gospodarczych z woj. mazowieckiego i opolskiego, rozwijających technologie folii skrobiowych, neutralnych preparatów myjąco-dyspergujących, nowych komponentów dla nawozów i bioagrowłóknin. Niektóre z tych podmiotów mają kluczowe znaczenie dla rynku chemicznego nie tylko w skali kraju, ale i Unii Europejskiej (np. grupa Azoty Kędzierzyn Koźle, Geomat s.r.o. Czechy z siedzibą w Polsce).

Obserwuje się też dużą aktywność jednostek badawczych spoza regionu, np. Politechniki Gdańskiej, która rozwija technologie nowych termoplastycznych bio-poli(etero-urtanów), Sieci Badawczej Łukasiewicz czy Instytutu Biopolimerów i Włókien Chemicznych (Łódź), którego technologia agrowłóknin jest w fazie wprowadzania na rynek, a także Politechniki Wrocławskiej wprowadzającej na rynek nano- i mikrocząstki hydrożelowe z funkcjonalnymi filmami polielektrolitowymi.

Dobrą praktyką w komercjalizacji i wdrożeniach jest współpraca przedsiębiorstw z instytucjami badawczymi już od wczesnych etapów tworzenia technologii. Opieka mentorska ekspertów z uczelni badawczych jest gwarantem wysokiej jakości i miarodajnych wyników badań, pozwala też szybko przygotować i dostosować technologie do zmieniających się warunków rynkowych. Dzięki temu przedsiębiorstwa mogą skutecznie reagować na postępujący rozwój sztucznej inteligencji, rosnące wymogi środowiskowe i prawne, a także dostosowywać swoje technologie do wymogów raportowania środowiskowego ESG.

4.1.3.5.3. Technologie poprawy jakości terenów zdegradowanych

W związku z transformacją energetyczną w Polsce wzrasta zapotrzebowanie zarówno na rozwijanie istniejących technologii, jak i tworzenie nowych, bardziej ekologicznych rozwiązań w zakresie rekultywacji i remediacji terenów zdegradowanych wskutek działalności górniczej i innej

przemysłowej. Pod względem opracowań technologii dla ochrony środowiska do kluczowych jednostek należą: Politechnika Śląska, Uniwersytet Śląski, Politechnika Częstochowska oraz GIG-PIB. Obecnie ważne jest podnoszenie świadomości społecznej, szczególnie organów państwowych odpowiedzialnych za planowanie i dotacje związane z zagospodarowaniem terenu, kontrolą zanieczyszczenia oraz aktywne dążenie do poprawy stanu terenów zdegradowanych i ustalania odpowiednich protokołów dla ograniczenia ilości obecnych zanieczyszczeń, a także zmniejszenia lub zlikwidowania ryzyka wytwarzania większej ilości zanieczyszczeń w przyszłości.

Biorąc pod uwagę, że grupa technologiczna obejmująca poprawę terenów zdegradowanych jest nierozzerwalnie związana ze stanem fizykochemicznym gruntów i wód powierzchniowych na dużą skalę, ważne jest, aby pamiętać o nakładach finansowych i dostępności odpowiedniego sprzętu oraz technologii dla skutecznego rekultywowania terenów zdegradowanych. Woj. śląskie posiada szerokie możliwości w obszarze B+R+I, jednak konkurencja spoza województwa jest duża pod względem zarówno ilości firm, jak i jakości oferowanych przez nie usług.

Jednostki naukowe spoza woj. śląskiego wykazują dużą aktywność, np.:

- Politechnika Łódzka, gdzie opracowywane są patenty na rekultywację z wykorzystaniem roślin w celu oczyszczania gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi, z uwzględnieniem rekultywacji składowisk odpadów z przemysłu energetycznego oraz popiołów lotnych z węgla brunatnego,
- Uniwersytet Warszawski, gdzie powstają rozwiązania, w których są wykorzystywane rośliny mogące obniżyć toksyczność arsenu i innych metali ciężkich w glebie za pomocą szczepów bakteryjnych,
- Łukasiewicz – Poznański Instytut Technologiczny, gdzie opracowywany jest sposób efektywnej bioremediacji gruntów zanieczyszczonych olejem kreoizotowym,
- Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, który współpracuje z firmą Remea Sp. z o.o. w zakresie skutecznej remediacji terenów zanieczyszczonych przy użyciu metod fizykochemicznych i biologicznych.

Wielkopolska firma PROTE współpracuje z Zakładem Hydrologii Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy w celu opracowania systemu przedwczesnego ostrzegania przed skażeniami wód ujmowanych oraz chemicznego blokowania fosforu bezpośrednio w osadach dennych jeziora (zbiornika) podczas kontrolowanego i sztucznie wywołanego wzburzenia tych osadów (zjawisko resuspensji). W 2021 r. Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu opracował patent na Bioreaktor ze złożem ruchomym, zwłaszcza do rekultywacji silnie zanieczyszczonych akwakultur i małych zbiorników wodnych (P.237750). W woj. mazowieckim w obszarze technologii terenów zdegradowanych aktywnie działa firma SEGI-AT Sp. z o.o., która opracowała metodę oczyszczania gruntów i wód gruntowych przez płyty remediacyjne (podsypka piaskowa, geomembrana, pospółka, mata słomiana lub trociny i system drenażowy).

4.1.3.5.4. Technologie gospodarowania odpadami

Wdrożenie i opracowanie skutecznych technologii gospodarowania odpadami wiąże się z bardzo wysokimi nakładami. Jest to, poza legislacyjną i środowiskową, jedna z głównych barier wejścia technologii na rynek. Na rynku międzynarodowym istnieje wiele firm oferujących technologie odzysku i recyklingu. Firmy, takie jak Veolia (Francja), SUEZ (Francja), Waste Management (USA) oraz Biffa (Wielka Brytania) są liderami w sektorze recyklingu. Firmy te oferują innowacyjne technologie przetwarzania odpadów, w tym odpadów z tworzyw sztucznych, papieru, metali i innych materiałów, z uwzględnieniem globalnych trendów, takich jak gospodarka o obiegu zamkniętym. Technologie odzysku i recyklingu, szczególnie te wymagające specjalistycznych procesów (np. recykling folii wielowarstwowych czy odpady z tworzyw sztucznych), wymagają dużych inwestycji w badania i rozwój. Konkurencja technologiczna jest duża, co sprawia, że nowe firmy mogą mieć trudności z wyprzedzeniem liderów rynkowych. Na rynku globalnym działają firmy, takie jak Tomra Systems (Norwegia), które specjalizują się w technologii separacji odpadów, w tym sortowania odpadów opakowaniowych, tworzyw sztucznych, metali czy papieru. Inne firmy, takie jak BHS Sonthofen (Niemcy), oferują zaawansowane maszyny do separacji odpadów. Z kolei Covanta, Veolia, SUEZ,

a także Neste (Finlandia) są liderami w zakresie odzyskiwania energii z odpadów. Firmy te oferują kompleksowe technologie wytwarzania energii z odpadów, w tym w procesie zgazowania i spalania oraz w biogazowniach. Wszystkie wymienione technologie odzysku, recyklingu, unieszkodliwiania, separacji i pozyskiwania energii z odpadów napotykać na konkurencję ze strony dużych międzynarodowych firm, które posiadają odpowiednią infrastrukturę, know-how oraz sieci dystrybucji. Z drugiej strony nowe przedsiębiorstwa mogą mieć trudności z wejściem na rynek ze względu na wysokie koszty inwestycji, regulacje prawne, a także problemy z akceptacją społeczną i integracją nowych technologii z istniejącymi systemami. Dzięki rosnącej świadomości ekologicznej oraz konieczności wdrażania rozwiązań opartych na gospodarce o obiegu zamkniętym, jest to obszar o dużym potencjale innowacyjnym i rynkowym.

4.1.3.5.5. Technologie wody i ścieków

W grupie technologicznej technologie wody i ścieków około 3/4 przedsiębiorstw i/lub jednostek naukowych zidentyfikowanych w woj. śląskim musi mierzyć się z dużą liczbą konkurentów (co najmniej jednym spoza woj. śląskiego), a około 60% z minimum dwoma konkurentami spoza woj. śląskiego.

Większość konkurentów to przedsiębiorstwa o wieloletniej ugruntowanej pozycji na rynku. Do takich należą duże przedsiębiorstwa, np. Veolia (Francja), SUEZ (Francja) oraz małe przedsiębiorstwa, np. Schwander (woj. małopolskie), Ekofinn (woj. małopolskie), Ecol-Unicon (woj. pomorskie), WIGO (woj. dolnośląskie). Firmy te oferują technologie z zakresu technologii ścieków (np. membranowe oczyszczanie ścieków, eliminacja farmaceutyków) i technologii wody (np. zagospodarowanie wód opadowych). Konkurentami jednostek naukowych z woj. śląskiego są uczelnie, m.in. Politechnika Rzeszowska, Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Politechnika Warszawska oraz Politechnika Krakowska.

Stosunkowo duża liczba konkurentów oferujących to samo rozwiązanie wskazuje, że podmioty rywalizują o tych samych klientów, którzy są zainteresowani wdrożeniem. Szczególnie jest to widoczne w obszarze technologii uzdatniania i kondycjonowania wody, w którym istnieje duża konkurencja spoza regionu. Współpraca we wdrażaniu procesów/technologii z przedsiębiorstwami polega zazwyczaj na dostarczaniu dobranych wcześniej urządzeń. Ma to znaczenie szczególnie w przypadku podmiotów, których produkcja urządzeń wykracza poza ich działalność/możliwości. Przykładem dobrych praktyk stosowanych przez podmioty z woj. śląskiego jest obserwowanie i przewidywanie skutków polityki UE dla popytu na nowe technologie, np. instalacje pilotażowe do odsalania wód kopalnianych, czy stacje naukowo-badawcze ukierunkowane na usuwanie farmaceutyków ze ścieków.

W woj. śląskim instytucje naukowe (np. GIG-PIB, Uniwersytet Śląski, Politechnika Śląska i Politechnika Częstochowska) współpracują z przedsiębiorstwami we wdrażaniu technologii. Współpraca ta polega na opracowywaniu technologii przez instytucje naukowe, które stają się bazą komercjalizacji dla firm technologicznych.

Instytucje naukowe, np. przez realizację projektów lub patenty, kreują nowe rozwiązania, które trafiają na rynek. Tworzenie nowych rozwiązań i konkurencja między jednostkami tworzy popyt na nowe badania. Z kolei potrzeba wdrażania nowych rozwiązań w przedsiębiorstwach stymuluje popyt komercyjny na innowacje. Podaż środków finansowych na prace B+R+I oraz ich wyniki są istotne, gdyż wpływają na to, jakie badania i testy będą wykonywane w ramach opracowanej technologii.

4.1.3.5.6. Technologie ochrony powietrza

Rynek technologii dla ochrony powietrza zdominowany jest przez małe i średnie firmy specjalizujące się w określonych obszarach m.in. urządzeniach filtracyjnych, systemach monitorowania jakości powietrza, rozwiązaniach grzewczych. Rosnące zapotrzebowanie na rozwiązania dla ochrony powietrza sprzyja dużej konkurencji na rynku. Szczególną aktywność wykazują firmy z województw: mazowieckiego, małopolskiego, wielkopolskiego, pomorskiego i dolnośląskiego, rozwijające technologie w zakresie zaawansowanych systemów wentylacji i filtracji, odpylania, oczyszczania

gazów i monitorowania jakości powietrza (np. Airly Sp. z o.o., Ecoenergia Sp. z o.o., GilBT, AirDron, AGATA, Frapol Sp. z o.o., GreenSystem Sp. z o.o.). Na rynku obecnych jest wiele firm międzynarodowych oferujących zaawansowane technologie, m.in. systemy filtracji czy systemy CCS (Dürr Poland, Filtration Group, Danstoker Poland). Znaczącą konkurencję spoza regionu stanowią jednostki badawczo-naukowe, rozwijające technologie w zakresie oczyszczania powietrza, spalin, biooczyszczania oraz monitorowania jakości powietrza (m.in. Centrum Badawcze Energetyki i Ochrony Środowiska Politechniki Warszawskiej, Instytut Energetyki – Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Instytut Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk, Politechnika Gdańska, Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki). Ponadto istnieje duża konkurencja w obszarze dotacji, podmioty rywalizują o uzyskanie dofinansowania na rozwój i wprowadzanie na rynek nowych technologii. Charakter współpracy we wdrażaniu technologii w regionie opiera się głównie na wypracowywaniu nowych rozwiązań/technologii przez instytuty badawcze i uczelnie, takie jak Politechnika Śląska, GIG-PIB, Uniwersytet Śląski, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, które stają się bazą komercjalizacji dla firm technologicznych.

Przykłady dobrych praktyk w zakresie współpracy w regionie jednostek B+R z przedsiębiorstwami i opracowania/wdrożenia technologii to:

- Wdrożenie w skali przemysłowej instalacji z zastosowaniem kompaktowego bioreaktora trójfazowego do oczyszczania powietrza z lotnych związków organicznych odorów i siarkowodoru, opracowane przez firmę z regionu – Ekoinwentyka Sp. z o.o. Głównym klientem firmy jest koncern KGHM.
- Opracowanie hybrydowego systemu zraszania do redukcji zapylenia i stężenia metanu typu KOMAG-HR przy współpracy jednostki naukowej z regionu – Instytutu Techniki Górniczej KOMAG i firmy FI-W Elektron SC.
- Opracowanie technologii unieszkodliwiania metanu emitowanego do środowiska w oparciu o katalizator platynowy z wartością dodaną w postaci odzysku energii odpadowej – współpraca firmy PROFILE Sp. z o.o. i jednostki naukowej GIG-PIB.
- Opracowanie selektywnej redukcji katalitycznej (SCR) przy regeneracji katalizatorów – współpraca jednostki naukowej Uniwersytet Śląski i firmy Ad Moto.
- Opracowanie platformy do prognozowania i monitorowania zanieczyszczeń powietrza – współpraca firmy Abakus Systemy Teleinformatyczne Sp. z o.o. i Uniwersytetu Bielsko-Bialskiego.

Popyt na prace B+R+I w zakresie ochrony powietrza kształtowany jest przez: potrzebę obniżenia emisji z przemysłu energetycznego i węglowego, zachowanie zgodności ze zmieniającymi się regulacjami unijnymi i krajowymi, wzrost zapotrzebowania na innowacje w branży transportu czy budownictwa oraz potrzebę poprawy jakości życia mieszkańców w regionie. Z kolei podaż prac B+R+I oraz ich wyników napędzana jest przez liczne ośrodki badawczo-rozwojowe, uczelnie i instytuty badawcze działające w regionie, a także przez współpracę prowadzoną z podmiotami z sektora przemysłu, wspieraną przez fundusze unijne i krajowe.

4.1.3.5.7. Technologie zarządzania środowiskiem

Rynek technologii zarządzania środowiskiem w woj. śląskim jest dynamiczny i różnorodny, obejmuje zarówno duże przedsiębiorstwa przemysłowe, jak i małe firmy technologiczne oraz start-upy. Do kluczowych cech rynku należą: różnorodność technologiczna (szeroki zakres rozwiązań), silna konkurencja (na rynku działają zarówno międzynarodowe korporacje, jak i lokalne firmy), regulacje i naciski społeczne (normy środowiskowe UE oraz aktywizm społeczny, np. antysmogowe inicjatywy, zwiększają popyt na rozwiązania proekologiczne), wsparcie ze środków publicznych (projekty dofinansowane z funduszy unijnych, takich jak Fundusz Sprawiedliwej Transformacji, wspierają rozwój sektora).

Współpraca we wdrażaniu technologii zarządzania środowiskiem przede wszystkim jest oparta na kooperacji jednostek naukowych z sektorem przemysłowym i MŚP (w przypadku dedykowanych, innowacyjnych rozwiązań) oraz partnerstwie firm publiczno-prywatnych (Górnośląsko-Zagłębiowska

Metropolia wdraża rozwiązania inteligentnych miast, angażując start-upy, organizacje pozarządowe oraz firmy dostarczające systemy monitorowania środowiska).

Technologie zarządzania środowiskiem związane z klimatem stanowią jeden z elementów wspomagania w walce ze zmianami klimatu, zwłaszcza w regionach o wysokim poziomie zanieczyszczenia powietrza, takich jak Śląsk. Technologie te obejmują systemy monitorowania, prognozowania, a także narzędzia do optymalizacji procesów w celu ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, poprawy efektywności energetycznej oraz adaptacji do zmian klimatu. Wśród dobrych praktyk można wyróżnić te, które mają zintegrowany charakter oraz angażują wielu partnerów. Na przykład, w ramach projektu Katowice Smart City, miasto wprowadziło wiele innowacyjnych rozwiązań, które mają na celu zwiększenie efektywności i jakości życia mieszkańców. Projekt wprowadził także rozwiązania z zakresu smart grid, czyli inteligentnych sieci energetycznych, które pozwalają na lepsze zarządzanie energią elektryczną oraz jej efektywne wykorzystanie.

Innym przykładem wielopłaszczyznowego podejścia uwzględniającego również zarządzanie środowiskiem jest nagrodzona w konkursie Inspiracje 2020 platforma i aplikacja Śląskie SMOGSTOP. Powstały one z inicjatywy Urzędu Marszałkowskiego Województwa Śląskiego, Śląskiego Centrum Chorób Serca w Zabrzu oraz Instytutu Ekologii Terenów Uprzemysłowionych w Katowicach w ramach projektu InfoSMOG-MED. Dzięki temu mieszkańcy woj. śląskiego mają dostęp do stale aktualizowanych prognoz jakości powietrza (co 24 i 48 godz.) oraz komunikatów zdrowotnych.

Projekt OPI-TPP 2.0, a tym samym System OPI TPP został uznany przez UE za przykład dobrej praktyki w dokumencie dotyczącym zarządzania terenami i zasobami pogórnictwa przez planowanie przestrzenne i strategiczne (ang. *Managing post-coal assets through spatial and strategic planning*, Toolkit).

Wiodącymi firmami dostarczającymi rozwiązania systemowe i aplikacje do zarządzania energią są globalni liderzy technologiczni, którzy oferują zaawansowane systemy do optymalizacji zużycia energii, zwiększania efektywności oraz zrównoważonego rozwoju. Należą do nich firmy, takie jak: Schneider Electric, Siemens AG, Honeywell International Inc., ABB Ltd., Eaton, Johnson Controls, Cisco Systems Inc., IBM Corporation, GE Digital oraz Emerson Electric Co.

Wśród dostawców oprogramowania wspierającego zarządzanie inicjatywami ESG znajdują się wiodące firmy technologiczne, które oferują zaawansowane rozwiązania umożliwiające monitorowanie, raportowanie oraz optymalizację działań proekologicznych. Do takich dostawców należą m.in.: Advanced Manufacturing Control Systems Ltd. (AMCS Sustainability Platform), Benchmark Gensuite, Diligent (Diligent ESG), EcoOnline (EHS software), IBM (IBM Environmental Intelligence Suite), Microsoft (Microsoft Cloud for Sustainability), Sinai Technologies czy Sweep²¹.

4.1.3.6. Podsumowanie

Woj. śląskie ma wysoki potencjał technologiczny w obszarze ochrony środowiska, co sprzyja intensyfikacji działań innowacyjnych w tym zakresie. Duże skupisko firm i instytucji badawczo-rozwojowych oraz międzynarodowa współpraca zwiększają rywalizację na rynku, gdzie rozwijane są nowe rozwiązania w obszarze technologii dla ochrony środowiska.

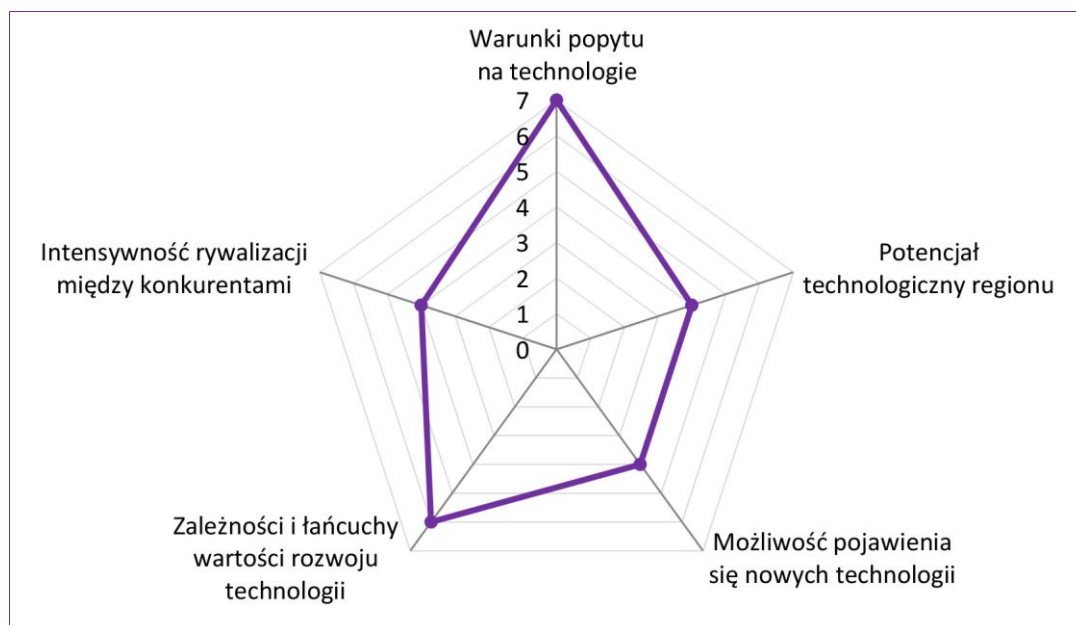
Tabela 4.2. Podsumowanie analizy pięciu sił Portera dla obszaru technologicznego technologii dla ochrony środowiska

Pięć sił Portera	Charakterystyka
Warunki popytu na technologie	• silny charakter przemysłowy śląskiej gospodarki czyni województwo właściwym miejscem do wypracowywania i wdrażania nowych rozwiązań ekologicznych • wzrost restrykcyjności regulacji prawnych, w tym w zakresie usuwania mikrozanieczyszczeń • konieczność wdrażania GOZ

²¹ Lista dostawców na podstawie raportów rynkowych firm Forrester, Gartner i Verdantix oraz badań przeprowadzonych przez redaktorów TechTarget, <https://www.techtarget.com/sustainability/feature/Sustainability-management-software-providers-to-consider>.

Pięć sił Portera	Charakterystyka
Potencjał technologiczny	- wykorzystanie cyfryzacji w technologiach dla ochrony środowiska - Politechnika Śląska, GIG-PIB, Politechnika Częstochowska - wysoki potencjał w zakresie biotechnologicznych metod oczyszczania środowiska, w tym usuwania mikrozanieczyszczeń ze ścieków, biooczyszczania gleby i powietrza, nowoczesnych technologii odzysku i recyklingu
Możliwości pojawienia się nowych technologii (substytutów)	- biotechnologie wypierają tradycyjne technologie oparte na metodach chemicznych - nanotechnologie - ekoprojektowanie i technologie GOZ bezodpadowe - technologie ICT
Zależności i łańcuchy wartości rozwoju technologii	- jednostki badawcze oraz duże przedsiębiorstwa współpracują na rzecz wdrożeń - firmy technologiczne zajmujące się wytwarzaniem nowych rozwiązań ochrony środowiska konkurują ze sobą - zaostrenie norm i regulacje prawne, m.in. w zakresie mikrozanieczyszczeń, raportowania niefinansowego, wdrażania GOZ - międzynarodowe programy badawczo-rozwojowe, których efektem są innowacje w zakresie zarządzania odpadami, wodą, powietrzem czy rekultywacją terenów zdegradowanych
Intensywność rywalizacji między konkurentami	duże skupisko firm, instytucji badawczo-rozwojowych oraz projektów badawczo-innowacyjnych w regionie stwarza dynamiczną i konkurencyjną atmosferę, w której podmioty starają się zaoferować najnowsze rozwiązania w zakresie ochrony środowiska

Podsumowanie analizy z wykorzystaniem podejścia pięciu sił Portera przedstawia wykres oparty na siedmiostopniowej skali, gdzie 1 oznacza bardzo słabą siłę, a 7 bardzo znaczącą.



Rys. 4.3. Ocena pięciu sił Portera dla obszaru technologicznego technologii dla ochrony środowiska

Na podstawie analizy obecnego stanu technologii ochrony środowiska w woj. śląskim można zauważyć główne atuty województwa, takie jak silna baza naukowa, którą tworzą uczelnie techniczne i instytuty badawcze, a także duże skupisko przedsiębiorstw przemysłowych i jednostek samorządowych, które są potencjalnymi odbiorcami nowych rozwiązań ekologicznych. Wzrost restrykcyjności regulacji prawnych, takich jak wymagania dotyczące usuwania mikrozanieczyszczeń, raportowania niefinansowego lub wdrażania gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ), stwarza dodatkowe zapotrzebowanie na nowoczesne technologie. Mimo silnego potencjału region napotyka wyzwania związane z konkurencją na rynku innowacji technologicznych oraz dostosowaniem się do coraz bardziej zaostrzanych regulacji, a dostęp do kapitału firm stanowi barierę, dla wdrażania nowych rozwiązań, większość z nich pozostaje więc na etapie eksperymentalnym lub pilotażowym.

4.2. Uwarunkowania rozwoju obszaru technologicznego – analiza PESTEL

Analiza PESTEL jest narzędziem służącym do oceny makroekonomicznych czynników wpływających na rozwój technologii środowiskowych. Uwzględnia sześć kluczowych obszarów: polityczny, ekonomiczny, społeczny, technologiczny, środowiskowy oraz prawny. Kompleksowa analiza tych czynników umożliwia zrozumienie wyzwań i możliwości w zakresie rozwoju technologii dla ochrony środowiska.

Tabela 4.3. Analiza PESTEL dla obszaru technologii dla ochrony środowiska

Obszar analizy	Nazwa czynnika	Charakter czynnika
Polityczny	Polityka rządowa wspierająca technologie środowiskowe i cyfryzację w każdej dziedzinie, w tym Agenda na rzecz zrównoważonego rozwoju 2030, Europejski Zielony Ład, Krajowy Plan w dziedzinie Energii i Klimatu	+
	Polityka regionalna w oparciu o strategię rozwoju: Zielone Śląskie 2030	+
	Promowanie GOZ i zielonego wzrostu gospodarczego	+
	Rządowe programy i mechanizmy wspierające wdrażanie technologii ochrony środowiska	+
Ekonomiczny	Udział środków publicznych na innowacje (fundusze zagraniczne i krajowe, mechanizmy finansowe)	–
	Konkurencja o dotacje w obszarze ochrony powietrza	–
	Nakłady na inwestycje w obszarze ochrony środowiska, w tym dla redukcji zanieczyszczeń i odpadów, zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych, technologii odzysku wody, energii i zasobów	+
	Nakłady na inwestycje w technologie cyfrowe wspierające zrównoważony rozwój, takie jak big data, AI, IoT	+
	Sektor bankowy ukierunkowany na wsparcie zrównoważonych inwestycji	+
	Zielone obligacje i fundusze na projekty związane z transformacją cyfrową w sektorze ochrony środowiska	+
	Potencjał inwestycyjny MŚP dla ochrony środowiska	–
	Kapitał firm na ochronę środowiska	–
	Popyt na rynku na innowacyjne technologie ochrony środowiska	–
Społeczny	Świadomość ekologiczna społeczeństwa, w tym zmiana nawyków konsumpcyjnych	+
	Presja społeczna na wysoką jakość życia	+
	Aktywność społeczna w zakresie technologii cyfrowych w ochronie środowiska	+
	Zielone kompetencje	+
Technologiczny	Rozwinięta infrastruktura przemysłowa i komunalna	+
	Cyfryzacja przemysłu i usług, w tym w sektorze komunalnym w oparciu o AI, IoT oraz big data	+
	Zastosowanie cyfrowych narzędzi w monitorowaniu zanieczyszczenia wód, gleby i powietrza	+
	Potencjał start-upów w ochronie środowiska	–
	Dekarbonizacja przemysłu	+
	Rozwój technologii zastępujących powszechnie stosowane technologie chemiczne	+
Środowiskowy	Degradacja środowiska, w tym zasobów naturalnych – zanieczyszczenie środowiska, w tym chemiczne, biologiczne, fizyczne, akustyczne, termiczne i radioaktywne	+
	Odporność środowiska i występowanie zagrożeń naturalnych	+
Prawny	Liczne regulacje prawne UE i krajowe w zakresie ochrony środowiska, w tym taksonomia (nadregulacja)	–
	Regulacje prawne dotyczące cyfryzacji w ochronie środowiska, takie jak normy dotyczące przejrzystości danych środowiskowych, raportowania emisji CO ₂ za pomocą cyfrowych systemów śledzenia, czy obowiązkowe wykorzystywanie technologii w zarządzaniu odpadami	+
	Wymogi prawne dla przedsiębiorstw w zakresie m.in. szerokiego dokumentowania wpływu działalności na środowisko naturalne	+

Objaśnienie: ocena charakteru czynnika: sprzyjający „+”, hamujący „–”, neutralny „0”.

4.3. Ocena obszaru technologicznego – analiza SWOT

Analiza SWOT wskazuje na silne strony jednostek rozwijających technologie ochrony środowiska, w tym na silne zaplecze badawczo-naukowe i współpracę z przemysłem. Kluczową przewagę dają międzynarodowe projekty badawcze oraz rozwinięta infrastruktura przemysłowa, umożliwiająca testowanie nowych technologii.

Wśród barier wdrażania technologii są: niewielkie nakłady na rozwój technologii krytycznych, odpływ specjalistów oraz ograniczona gotowość MŚP do transformacji cyfrowej i na rzecz ochrony środowiska. Przestarzała infrastruktura oraz trudności inwestycyjne mogą dodatkowo utrudniać wdrażanie innowacji.

Szanse rozwoju wynikają z rosnącego zapotrzebowania na: efektywne technologie ochrony środowiska, procesy cyfryzacji oraz nowe instrumenty finansowe wspierające zieloną gospodarkę. Standardy ESG oraz unijne mechanizmy wsparcia mogą sprzyjać dalszemu wdrażaniu innowacyjnych rozwiązań na rzecz środowiska.

Wyzwaniem pozostają jednak zagrożenia, takie jak: niestabilność regulacyjna, konkurencja międzynarodowa, wysokie koszty wdrażania nowych technologii, a kwestie administracyjne i złożone procedury mogą dodatkowo opóźniać realizację projektów.

Poniżej przedstawiono czynniki zidentyfikowane dla obszaru technologicznego technologie dla ochrony środowiska.

Tabela 4.4. Czynniki SWOT dla obszaru technologicznego technologie dla ochrony środowiska

Silne strony		Słabe strony	
S1	Technologie kluczowe stanowiące przewagę w następujących grupach technologicznych: biotechnologie w ochronie środowiska, technologie gospodarowania odpadami, technologie wody i ścieków, technologie ochrony powietrza, technologie zarządzania środowiskiem	W1	Rozwój technologii krytycznych, w szczególności biotechnologii, zaawansowanej technologii, zaawansowanych materiałów, technologii produkcji i recyklingu
S2	Ugruntowana pozycja uczelni i jednostek naukowo-badawczych w zakresie własności intelektualnej oraz aktywności publikacyjnej	W2	Barьеры inwestycyjne we wdrażaniu innowacji
S3	Współpraca regionalnych jednostek badawczych z dużymi przedsiębiorstwami z branży energetycznej, przemysłowej, w tym z kapitałem zagranicznym	W3	Wykorzystanie otwartych danych publicznych w zakresie ochrony środowiska
S4	Wyspecjalizowane laboratoria badawcze umożliwiające prace analityczne i pilotaże technologii Dostępność nowych rozwiązań w różnych cyklach życia	W4	Ograniczona liczba specjalistów oraz odpowiednich kompetencji pracowników do transformacji cyfrowej w ochronie środowiska
S5	Aktywność regionalnych podmiotów w międzynarodowych projektach badawczych	W5	Odpływ specjalistów
S6	Infrastruktura przemysłowa umożliwiająca testowanie i rozwijanie nowych technologii w szczególności w zakresie technologii ochrony powietrza oraz wody i ścieków	W6	Umiarkowana gotowość MŚP do dokonania zmiany modeli biznesu
S7	Dziedziny rozwiązań z zakresu systemów zarządzania dla ochrony środowiska, w tym system OPI TPP	W7	Przestarzała infrastruktura przemysłowa stanowiąca barierę dla testowania i wdrażania nowych rozwiązań
–	–	W8	Poziom cyfryzacji MŚP związany z brakiem kapitału na inwestycje
Szanse		Zagrożenia	
O1	Standardy ESG	T1	Krótkie cykle życia produktów i technologii
O2	Nowe modele biznesowe	T2	Konkurencyjność firm międzynarodowych i jednostek B + R spoza regionu rozwijających komplementarne rozwiązania w tym dla ochrony powietrza, zielonej chemii, remediacji czy systemów zarządzania
O3	Nowe narzędzia finansowe, zielone cyfrowe finanse (np. obligacje ekologiczne)	T3	Wysokie nakłady finansowe i ryzyka wdrażania technologii
O4	Zapotrzebowanie na efektywne technologie ochrony środowiska w różnych branżach	T4	Kryzys gospodarczy
O5	Zmiana nawyków konsumpcyjnych	T5	Zerwane łańcuchy dostaw
O6	Procesy cyfryzacji gospodarki	T6	Niestabilność polityczna i regulacyjna w zakresie ochrony środowiska
O7	Dostępność nowych rozwiązań informatycznych, w tym związanych z zastosowaniem sztucznej inteligencji	T7	Biurokracyzm w pozyskaniu dotacji i zezwoleń
O8	Mechanizmy wsparcia dla cyfryzacji, ochrony klimatu, bioróżnorodności, GOZ w ramach różnych instrumentów polityki Unii Europejskiej	–	–

Podsumowanie analizy SWOT

Aby w pełni wykorzystać potencjał woj. śląskiego do rozwoju innowacji w obszarze ochrony środowiska i budowaniu innowacyjnej, zielonej gospodarki, konieczna jest realizacja wielu działań. Obejmują one m.in.: rozwój nowych kierunków badań, zwłaszcza w obszarze technologii krytycznych, wspieranie inwestycji prośrodowiskowych o wysokim ryzyku, popularyzację i wdrażanie wyników badań, a także przyciąganie wysoko wykwalifikowanych specjalistów. Działania te pozwolą skutecznie wykorzystać dostępne szanse i zminimalizować zagrożenia.

Tabela 4.5. Identyfikacja wyzwań i działań

Wyzwanie	Odpowiedź	Propozycja działań
Rozwój i wdrażanie technologii krytycznych w województwie	S1–S4, S7 W1–W3, W7 O2–O5, O7, O8 T1, T4, T6, T7	– poprawa dostępności wyników badań dla przemysłu przez sieci/platformy wymiany wiedzy i kontaktów, organizację konferencji i wydarzeń dla popularyzacji osiągnięć naukowych i wdrożeniowych – tworzenie sieci współpracy międzynarodowej i międzysektorowej na rzecz realizacji projektów B + R
Wysokie koszty początkowe i ryzyko finansowe, w szczególności dla sektora MŚP	S1, S3, S4 W2, W3, W5–W7 O1, O3, O4, O7, O8 T3–T7	– mechanizmy finansowe zwiększające zdolność do implementowania zrównoważonych technologii – promowanie korzyści z wdrożeń rozwiązań adaptowanych do potrzeb – integracja działań badawczo-rozwojowych z potrzebami przemysłu
Integracja innowacji w zakresie ochrony środowiska z tradycyjnymi systemami/infrastrukturą	S1–S4, S7 W2, W3, W5–W7 O1, O3, O4, O7, O8 T3–T7	– akceleracja innowacji przez sieci współpracy dla rozpoznania adaptowalności rozwiązań do nowych zastosowań
Skalowalność technologii (przejście z fazy eksperymentalnej na skalę przemysłową)	S3–S7 W3, W4, W5–W7 O1, O3, O4, O6 T1, T2, T6, T7	– wdrażanie wyników badań do przemysłu – programy pilotażowe umożliwiające testowanie rozwiązań w skali półprzemysłowej lub przemysłowej – wdrożenie modeli oceny cyklu życia produktów i usług
Odptyw specjalistów	S2, S3, S5 W3, W4, W6 O2, O6, O8 T2, T4	– przyciąganie wysoko wykwalifikowanych specjalistów

Literatura

Dokumenty strategiczne

EZŁ (2019): Europejski Zielony Ład. Bruksela, Komisja Europejska.

KPEiK (2025): Krajowy Plan w dziedzinie Energii i Klimatu do 2030 r. z perspektywą do 2040 r. Warszawa, Ministerstwo Klimatu i Środowiska.

Plan (2022): Terytorialny Plan Sprawiedliwej Transformacji Województwa Śląskiego 2030. Katowice, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego.

POP (2024): Program Ochrony Powietrza dla stref województwa śląskiego. Katowice, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego.

Dyrektywy, ustawy, rozporządzenia i komunikaty krajowe i unijne

Dyrektywa (2011): Dyrektywa 2011/65/UE w sprawie ograniczenia stosowania niektórych niebezpiecznych substancji w sprzęcie elektrycznym i elektronicznym. Dz. U. UE L 174.

Rozporządzenie (2006): Rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 r. w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH), utworzenia Europejskiej Agencji Chemikaliów, zmieniające dyrektywę 1999/45/WE oraz uchylające

rozporządzenie Rady (EWG) nr 793/93 i rozporządzenie Komisji (WE) nr 1488/94, jak również dyrektywę Rady 76/769/EWG i dyrektywy Komisji 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/WE i 2000/21/WE. Dz. U. UE L 396.

Rozporządzenie (2009): Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1223/2009 z dnia 30 listopada 2009 r. dotyczące produktów kosmetycznych. Dz. U. UE L 342.

Rozporządzenie (2012): Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 528/2012 z dnia 22 maja 2012 r. w sprawie udostępniania na rynku i stosowania produktów biobójczych. Dz. U. UE L 167.

Raporty i opracowania

BDL (2024): Zużycie wody w przemyśle – województwo śląskie, lata 2020–2023. Warszawa, Główny Urząd Statystyczny, Bank Danych Lokalnych, <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/start> (dostęp: 10.01.2025).

GUS (2023): Ekonomiczne aspekty ochrony środowiska 2023. Warszawa, Główny Urząd Statystyczny.

GUS (2024a): Biotechnologia i nanotechnologia w Polsce w 2023 r. Warszawa, Główny Urząd Statystyczny.

GUS (2024b): Nauka i technika w 2022 r. Warszawa, Główny Urząd Statystyczny.

Hałaj E. i in. (2019): Mapa drogowa dotycząca przygotowania i wdrażania studiów wykonalności inwestycji badawczo-rozwojowych i innowacyjnych dla branży producentów niskoemisyjnych urządzeń grzewczych do 2030 roku. Kraków, Akademia Górniczo-Hutnicza.

KPMG (2024): KPMG global tech report 2024. Beyond the hype: Balancing speed, security and value. KPMG International. <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmgsites/xx/pdf/2024/09/kpmg-global-tech-report-2024.pdf> (dostęp: 10.01.2025).

Sieja L., Terakowski M., Całus-Moszek J., Klupa A., Cempa M., Długosz J., Szojda G., Świnder H., Król M., Matejczyk M., Wierzchowski K. (2023): Plan gospodarki odpadami dla województwa śląskiego na lata 2023–2028. Katowice, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego.

Publikacje internetowe

Ahluwalia V. K., Kidwai M. (2004): New Trends in Green Chemistry. New Delhi, Springer Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3175-5>.

SRK (2023): Eko-inwestycja SRK w Wojkowicach. Spółka Restrukturyzacji Kopalń. <https://srk.com.pl/media/aktualnosci/EKO-INWESTYCJA-SRK-W-WOJKOWICACH/idn:421> (dostęp: 10.01.2025).

ENBIONET (2022): ENBIONET – Naukowa Sieć Tematyczna „Biotechnologia Środowiskowa”. Gliwice, Politechnika Śląska. <https://www.polsl.pl/rie7/enbionet/> (dostęp: 10.01.2025).

Ganie A. S., Bano S., Khan N., Sultana S., Rehman Z., Rahman M. M., Sabir S., Coulon F., Khan M. Z. (2021): Nanoremediation technologies for sustainable remediation of contaminated environments: Recent advances and challenges. Chemosphere, Vol. 275, 130065. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130065>.

TechTarget (2024): TechTarget. 18 sustainability management software providers to consider, <https://www.techtarget.com/> <https://ccus.pl/o-projekcie/> (dostęp: 10.01.2025).

Venkatesan K., Sundarababu J., Anandan S. S. (2024): The recent developments of green and sustainable chemistry in multidimensional way: current trends and challenges. Green Chemistry Letters and Reviews, Vol. 17(1), 2312848. <https://doi.org/10.1080/17518253.2024.2312848>.

Wee S. Y., Aris A. Z. (2023): Revisiting the „forever chemicals”, PFOA and PFOS exposure in drinking water. npj Clean Water, Vol. 6, 57. <https://doi.org/10.1038/s41545-023-00274-6>.

Strony internetowe

<https://ccus.pl/o-projekcie/>

<https://polon.nauka.gov.pl/>

<https://eur-lex.europa.eu/>

<https://commission.europa.eu/>

<https://www.slaskie.pl/>

<https://www.gov.pl>

<https://ietu.pl/>

Lista podmiotów zaangażowanych w badanie

Uczelnie i jednostki badawcze

- Główny Instytut Górnictwa – Państwowy Instytut Badawczy
- Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych

- Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk
- Politechnika Częstochowska
- Politechnika Śląska
- Uniwersytet Bielsko-Bialski
- Uniwersytet Śląski w Katowicach

Przedsiębiorcy

92 podmioty działające w branży ochrony środowiska, z czego 75 podmiotów deklaroowało innowacje w branży ochrony środowiska. Udział podmiotów w badaniu poszczególnych grup technologii:

- 7% – biotechnologie w ochronie środowiska,
- 1% – zielona chemia,
- 37% – technologie poprawy jakości terenów zdegradowanych,
- 16% – technologie gospodarowania odpadami,
- 10% – technologie wody i ścieków,
- 26% – technologie ochrony powietrza,
- 4% – technologie zarządzania środowiskiem.

Technologie informacyjne i telekomunikacyjne

Autorzy

Michał Chojkowski*

Jacek Kotra*

Katarzyna Kuboś**

* Akcelerator Technologiczny Gliwice ASI Sp. z o.o.

** Park Naukowo-Technologiczny „Technopark Gliwice” Sp. z o.o.



Fundusze Europejskie
dla Śląskiego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Województwo
Śląskie

5.1. Identyfikacja obszarów technologicznych, grup technologicznych i technologii

5.1.1. Opis metodologii

Identyfikacja grup technologicznych oraz technologii, a także cała analiza obszaru technologicznego technologie informacyjne i telekomunikacyjne, była realizowana z wykorzystaniem wielu metod i narzędzi.

Aby zapewnić wysoką jakość i rzetelność wyników zastosowano zasadę triangulacji. Polegała ona na wykorzystywaniu danych pochodzących z kilku źródeł: danych statystycznych, wiedzy eksperckiej z raportów branżowych oraz informacji z przeprowadzonych wywiadów indywidualnych.

W trakcie opracowywania raportu dokonano analizy desk research obejmującej m.in. zebranie danych statystycznych pochodzących z baz danych GUS, baz danych o podmiotach gospodarczych, stron internetowych kluczowych podmiotów działających na rynku oraz raportów branżowych. W trakcie analizy wykorzystano także dotychczasowe dokumenty związane z polityką innowacyjną woj. śląskiego, w tym zapisy Regionalnej Strategii Innowacji oraz Programu Rozwoju Technologii.

Analiza desk research pozwoliła na zebranie danych ilościowych i jakościowych, które na dalszym etapie prac były wykorzystywane do:

1. identyfikacji grup technologicznych i technologii,
2. analizy otoczenia konkurencyjnego obszaru technologicznego z wykorzystaniem analizy pięciu sił Portera,
3. określenia uwarunkowań rozwoju obszaru technologicznego z wykorzystaniem analizy PESTEL,
4. oceny obszaru technologicznego z wykorzystaniem analizy SWOT.

Zebrane dane zostały zweryfikowane podczas wywiadów oraz konsultacji z ekspertami branżowymi. Indywidualne wywiady, przeprowadzone zarówno z pracownikami naukowymi, jak i właścicielami firm działających w branży oraz zajmujących się konkretnymi obszarami technologicznymi, umożliwiły uzyskanie oceny zidentyfikowanych grup technologicznych i technologii pod względem ich rzeczywistego rozwoju i wykorzystywania w regionie. Metoda ta dostarczyła dane jakościowe i pozwoliła na ocenę wyników analizy desk research oraz weryfikację dokonanej analizy i oceny obszaru technologicznego.

5.1.2. Zakres obszaru technologicznego

Identyfikacja priorytetowych technologii woj. śląskiego dla obszaru technologicznego technologie informacyjne i telekomunikacyjne została przeprowadzona na podstawie metodologii opisanej w podrozdziale 5.1.1.

Prace pozwoliły na określenie następującej strukturyzacji technologii:

- Poziom 1. Technologie informacyjne i telekomunikacyjne (obszar technologii).
- Poziom 2. Pięć grup technologii obejmujących:
 - technologie telekomunikacyjne (technologie telekomunikacyjne i sieci komputerowe),
 - technologie informacyjne (sztuczna inteligencja oraz inżynieria wiedzy),
 - modelowanie i symulacje procesów i zjawisk,
 - bezpieczeństwo informacji (cyberbezpieczeństwo),
 - technologie telekomunikacyjne i informacyjne wspierające Przemysł 4.0.
- Poziom 3. Technologie wchodzące w skład poszczególnych grup, szerzej opisane poniżej.

Grupa 1: Technologie telekomunikacyjne (technologie telekomunikacyjne i sieci komputerowe)

W skład grupy technologie telekomunikacyjne wchodzi następujące technologie, systemy i aplikacje:

- technologie sieci komputerowych,
- technologie przesyłu danych dużych prędkości i przepustowości.

Grupa 2: Technologie informacyjne (sztuczna inteligencja oraz inżynieria wiedzy)

W skład grupy technologie informacyjne wchodzi następujące technologie, systemy i aplikacje:

- technologie sztucznej inteligencji,
- technologie wytwarzania oprogramowania,
- technologie data mining,
- technologie wspierające sektor tworzenia gier komputerowych,
- technologie produkcji mikroprocesorów i pamięci masowych,
- technologie skanowania i wirtualizacji,
- technologie rozpoznawania obrazów.

Grupa 3: Technologie modelowania oraz symulacji procesów i zjawisk

W skład grupy technologie modelowania i symulacji procesów i zjawisk wchodzi następujące technologie, systemy i aplikacje:

- projektowanie komputerowe maszyn i urządzeń,
- inżynieria procesów mechatronicznych,
- modelowanie i symulacja systemów produkcyjnych,
- modelowanie i symulacja systemów logistycznych.

Grupa 4: Bezpieczeństwo informacji (cyberbezpieczeństwo)

W skład grupy bezpieczeństwo informacji wchodzi następujące technologie, systemy i aplikacje:

- technologie ochrony prywatności danych,
- technologie blockchain,
- technologie bezpieczeństwa przechowywania i przesyłu informacji.

Grupa 5: Technologie telekomunikacyjne i informacyjne wspierające Przemysł 4.0

W skład grupy technologie telekomunikacyjne i informacyjne wspierające Przemysł 4.0 wchodzi następujące technologie, systemy i aplikacje:

- technologie wspierające narzędzia komunikacji maszyna-maszyna,
- technologie wspierające komunikację człowiek-maszyna,
- technologie wspierające internet rzeczy,
- technologie wirtualnej i rozszerzonej rzeczywistości,
- technologie zarządzania wiedzą,
- technologie zaawansowanych baz danych i hurtowni danych,
- technologie nasobne (ang. *wearable devices*),
- technologie wspomagające organizację produkcji i projektowanie systemów produkcji.

5.1.3. Analiza konkurencyjności obszaru technologicznego**5.1.3.1. Opis przyjętych metod**

Analiza konkurencyjności obszaru technologicznego została przygotowana w oparciu o metodę pięciu sił Portera. Metoda ta została wykorzystana do oceny konkurencyjności rynku i identyfikacji kluczowych czynników wpływających na rozwój technologii w sektorze ICT (ang. *information and communication technologies*). Analiza, w związku z charakterystyką branży, została opracowana z punktu widzenia całego obszaru technologicznego, a nie grup technologicznych czy pojedynczych technologii.

Analizę przeprowadzono, uwzględniając:

- uwarunkowania popytu na technologie,
- możliwość pojawienia się nowych technologii,
- możliwość pojawienia się substytutów dla rozwijanych technologii,
- zależności i łańcuchy wartości rozwoju technologii w ramach obszaru technologii,
- intensywność konkurencji w branży.

Wyniki analizy pozwoliły na wskazanie obecnej pozycji i możliwości przyszłego konkurowania woj. śląskiego oraz działających tam podmiotów z innymi regionami w Europie i na świecie.

W analizie uwzględniono dane statystyczne i informacje pochodzące z raportów branżowych oraz prezentowanych przez GUS.

5.1.3.2. Analiza warunków popytu na technologie w ramach obszaru technologicznego

Analizy warunków popytu na technologie sektora ICT w woj. śląskim dokonano pod względem trendów wpływających na obszar technologiczny oraz sektorów i branż, w których powstające technologie mają najczęstsze zastosowanie. Skupiono się także na liczbie przedsiębiorstw działających w sektorze, poziomie zatrudnienia i generowanych przychodów związanych z wykorzystywaniem technologii opracowywanych w ramach dostarczanych własnych produktów i usług.

W kolejnych latach branża ICT, jak w regionie śląskim, tak i w innych częściach świata, będzie realizowała projekty, które mają odpowiadać nowym wyzwaniom społecznym i gospodarczym. Wśród kluczowych trendów i wyzwań w tym obszarze można wymienić:

1. starzejące się społeczeństwo rozwiniętych gospodarek, wpływające na trendy rozwoju nowych usług i produktów z zakresu tzw. srebrnej gospodarki,
2. zwiększające się zagrożenie w zakresie szybkiego rozprzestrzeniania się nowych chorób w związku z globalizacją (kolejne pandemie, np. COVID-19),
3. nasilenie się ruchów migracyjnych – zwiększony napływ imigrantów spowodowany zmianami klimatycznymi i zaostrzeniem konfliktów zbrojnych na obrzeżach UE oraz narastająca migracja z krajów Europy Wschodniej,
4. nowe wzorce postępowania w zakresie konsumpcji dóbr i usług dla ludności, np. współdzielenie,
5. wyzwania, zagrożenia i zmiany wynikające ze zmian klimatycznych, wprowadzania nowych regulacji z tym związanych, zmian cen energii, efektywnego wykorzystywania zasobów wodnych, ochrony ekosystemów naturalnych i bioróżnorodności, a także związanym z tym podejściem do rolnictwa.

Określenie trendów w kontekście wyłącznie jednego regionu – w tym przypadku woj. śląskiego – jest nie tyle błędne, co niewystarczające. Szeroko rozumiany rynek ICT jest napędem rozwoju dla wielu branż, w tym m.in. dla produkcji maszyn i urządzeń, budownictwa, energetyki, medycyny, automotive czy usług publicznych. Świat staje się coraz bardziej połączony, a zarazem coraz bardziej zależny od czynników zewnętrznych, takich jak: stabilność systemów energetycznych, bezpieczeństwo w sieciach transferu danych, aspekty etyczne związane ze sprzedażą danych osobowych. Mimo trwającego od kilku lat wyścigu technologicznego w obszarze internetu rzeczy, inteligentnego miasta, Przemysłu 4.0, mediów społecznościowych czy pojazdów autonomicznych, coraz częściej pojawia się pytanie, czy zachodnie i wschodnie cywilizacje są gotowe do zmiany stylu życia na tyle, by w pełni wprowadzić technologie ICT.

W ostatnich latach, szczególnie w okresie 2020–2023, uwidaczniały się silne trendy technologiczne, które wpłynęły na różne sfery życia społecznego, biznesu i obszaru innowacyjnego na całym świecie. Były to głównie:

1. **Sztuczna inteligencja (AI) i uczenie maszynowe:** technologie te stały się integralną częścią wielu dziedzin. Rozwój algorytmów AI, aplikacje AI w przemyśle, zdrowiu, finansach i innych sektorach wpłynęły na efektywność procesów biznesowych i umożliwiły tworzenie nowych, innowacyjnych rozwiązań. W listopadzie 2022 r. firma OpenAI udostępniła produkt o nazwie ChatGPT. Obecnie na rynku w ciągu minionych trzech lat pojawiły się setki rozwiązań opartych na sztucznej inteligencji, wspierających jej rozwój, a w konsekwencji powodujących rozwój technologii i przedsiębiorstw oraz fundamentalne zmiany w zakresie przetwarzania i wykorzystywania danych.
2. **Internet rzeczy (IoT):** IoT nadal się rozwija, tworząc sieć zarządzanych zdalnie przedmiotów i urządzeń codziennego użytku. IoT znajduje zastosowanie w nowoczesnym przemyśle,

inteligentnych miastach, inteligentnych domach, ochronie zdrowia, logistyce i wielu innych dziedzinach, zmieniając sposób funkcjonowania i interakcji z otoczeniem. Połączenie internetu rzeczy ze sztuczną inteligencją umożliwiło wykorzystanie danych generowanych przez urządzenia IoT do bardziej zaawansowanych analiz i podejmowania decyzji. AI pomaga w wykrywaniu wzorców, optymalizacji operacji i tworzeniu bardziej inteligentnych systemów.

3. **5G i rozwój sieci komunikacyjnych:** wprowadzenie technologii 5G wpływa na szybkość i niezawodność sieci komunikacyjnych, otwierając drzwi dla nowych możliwości w obszarze komunikacji, internetu rzeczy i mobilności. Rozwój sieci i technologii w tym obszarze stwarza duże możliwości dla wykorzystywania ICT w wielu obszarach życia społecznego i gospodarczego.
4. **Cyberbezpieczeństwo:** wzrost liczby cyberataków skłonił do zwracania większej uwagi na zagadnienia związane z cyberbezpieczeństwem. Firmy i instytucje zwiększają środki na ochronę danych oraz rozwój technologii zabezpieczających. Rządy i organy regulacyjne wprowadzają coraz więcej przepisów dotyczących minimalnych standardów bezpieczeństwa dla urządzeń IoT, co ma na celu zminimalizowanie ryzyka ataków. Pojawiły się nowe wyzwania związane z lawinowo rosnącą liczbą urządzeń podłączonych do internetu.
5. **Blockchain i kryptowaluty:** technologia blockchain rozwija się, a kryptowaluty stają się coraz bardziej popularne. Blockchain stosowany jest nie tylko w finansach, ale także w logistyce, ochronie danych, zarządzaniu łańcuchem dostaw i w innych obszarach. Okres 2020–2023 to czas znaczących zmian i wydarzeń w świecie kryptowalut. Liczba kryptowalut na świecie jest dynamiczna i stale się zmienia wraz z pojawianiem się nowych projektów oraz ewolucją istniejących.
6. **Ekologia i technologie zrównoważonego rozwoju:** technologie związane z ochroną środowiska i zrównoważonym rozwojem stają się coraz bardziej istotne. Innowacje w energii odnawialnej, recyklingu, redukcji emisji i inteligentnych systemach zarządzania zasobami mają kluczowe znaczenie.

Trendy technologiczne nie tylko kształtują innowacje, ale także wpływają na sposób, w jaki funkcjonujemy, pracujemy i współdziałamy ze sobą na świecie, wyznaczając kierunki rozwoju technologicznego. Wszystkie wskazane powyżej trendy technologiczne mają swój związek z technologiami ICT i pod tym względem istotne jest tworzenie warunków sprzyjających ich rozwojowi. Dotyczy to także i firm oraz jednostek naukowo-badawczych z regionu.

Na poziomie krajowym można zwrócić uwagę na obszary interwencji powiązane z opracowaną i opublikowaną w 2022 r. przez Ministerstwo Rozwoju i Technologii Strategią Produktowności 2030. Wskazuje ona m.in. na następujące kierunki i obszary wsparcia/interwencji, które jednoznacznie będą kreować popyt na technologie ICT:

- stymulowanie rozwoju sektora Fintech,
- stymulowanie popytu na rozwiązania cyfrowe w przedsiębiorstwach i administracji publicznej,
- budowa infrastruktury instytucjonalnej dla transformacji cyfrowej,
- wsparcie budowy krajowych rozwiązań cyfrowych,
- finansowe wsparcie robotyzacji,
- rozwój algorytmicznej gospodarki opartej na danych, np. rozwój sztucznej inteligencji.

Podmioty gospodarcze branży ICT w regionie

Liczba podmiotów gospodarczych w branży ICT jest dobrym wyznacznikiem zapotrzebowania na jej produkty oraz potencjału produkcyjnego regionu w tym obszarze. W obrębie sektora ICT (sekcje PKD: J61, J62, J63) w Polsce w 2023 r. działalność prowadziło 251 764 podmiotów gospodarczych. Najwięcej podmiotów jest zlokalizowanych w woj. mazowieckim – 31% wszystkich przedsiębiorstw ICT w Polsce, na drugim miejscu jest woj. małopolskie – około 10,5%. Woj. śląskie pod tym względem zajmuje czwarte miejsce z łączną liczbą prawie 22 000 podmiotów działających w branży ICT.

W latach 2020–2023 nastąpił znaczący wzrost liczby firm działających w sektorach związanych z technologiami informacyjnymi i komunikacyjnymi. W Polsce ich liczba w 2023 r. była o ponad 30% większa niż w 2020 r. Wzrost w woj. śląskim był również wysoki i wyniósł ponad 23%, jednak w tym

samym okresie konkurencyjne regiony (m.in. woj. mazowieckie, małopolskie, dolnośląskie) osiągały wzrost liczby podmiotów działających w branży na poziomie 30%.

Tabela 5.1 przedstawia rozkład działalności wyżej wymienionych podmiotów na województwa w ostatnich latach.

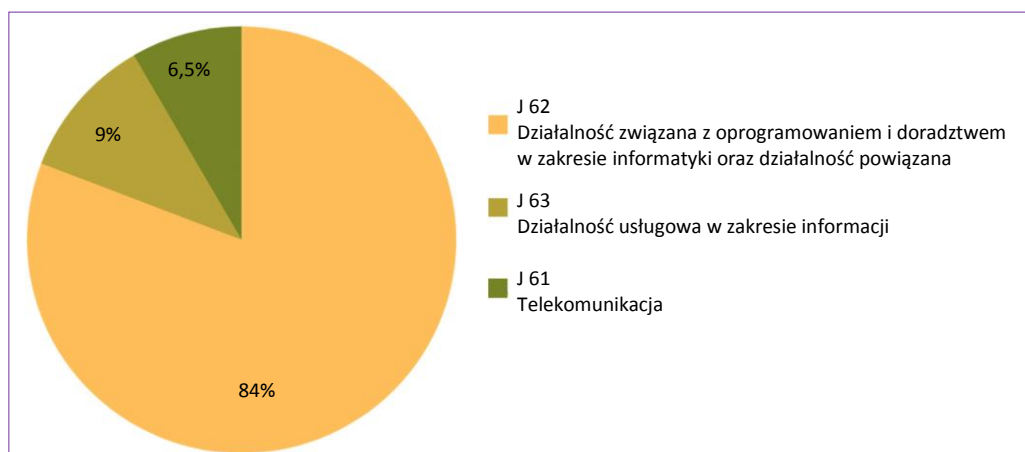
Tabela 5.1. Podmioty gospodarki narodowej według rejestru REGON, sekcji i działów PKD 2007 (sekcja J, działy: 61, 62, 63)

Województwo	Liczba podmiotów gospodarki								
	Seksja J dział 61			Seksja J dział 62			Seksja J dział 63		
	2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023
Polska	9 945	9 902	9 929	159 898	194 216	219 764	21 345	21 605	22 071
Dolnośląskie	699	711	712	16 503	21 028	24 021	1 812	1 771	1 843
Kujawsko-pomorskie	419	437	427	4 173	4 933	5 437	650	673	691
Lubelskie	360	360	370	5 218	6 107	6 810	682	715	731
Lubuskie	198	187	194	1 876	2 138	2 317	321	312	312
Łódzkie	427	461	456	7 350	8 927	9 943	822	820	842
Małopolskie	928	925	913	17 363	22 229	26 137	1 949	1 962	2 016
Mazowieckie	2 361	2 313	2 348	49 003	59 793	68 400	7 020	7 159	7 298
Opolskie	140	143	148	1 843	2 136	2 302	288	277	287
Podkarpackie	425	423	422	5 222	5 946	6 561	794	804	800
Podlaskie	184	179	179	3 319	4 198	4 788	388	397	411
Pomorskie	671	676	690	11 007	13 665	15 563	1 161	1 180	1 221
Śląskie	1 487	1 449	1 428	14 364	16 738	18 535	1 920	1 927	1 975
Świętokrzyskie	246	237	231	2 078	2 361	2 584	332	333	338
Warmińsko-mazurskie	203	201	208	2 268	2 709	2 987	377	382	398
Wielkopolskie	824	818	817	13 911	16 109	17 670	1 997	2 042	2 053
Zachodniopomorskie	369	378	382	4 350	5 061	5 510	821	837	839

Oprac. na podst.: <https://bdl.stat.gov.pl>.

Warte zauważenia jest również stałe zwiększanie się udziału firm z sektora ICT w ogólnej liczbie firm zarejestrowanych w woj. śląskim. W 2023 r. podmioty zaklasyfikowane do PKD J61, J62 i J63 stanowiły 4,1% wszystkich firm zarejestrowanych w województwie, a w 2021 r. było to 3,5%.

Wśród podmiotów działających w branży ICT w woj. śląskim największy udział mają podmioty z sekcji J62 – działalność związana z oprogramowaniem i doradztwem w zakresie informatyki oraz działalność powiązana. W 2023 r. stanowiły one ponad 84% wszystkich podmiotów wybranych sekcji. Na drugiej pozycji były podmioty sekcji J63 – Działalność usługowa w zakresie informacji – 9%, a najmniejszy odsetek stanowiły podmioty sekcji J61 – Telekomunikacja – 6,5%.



Rys. 5.1. Liczba przedsiębiorstw ICT (J61, J62, J63) na Śląsku w 2023 r.

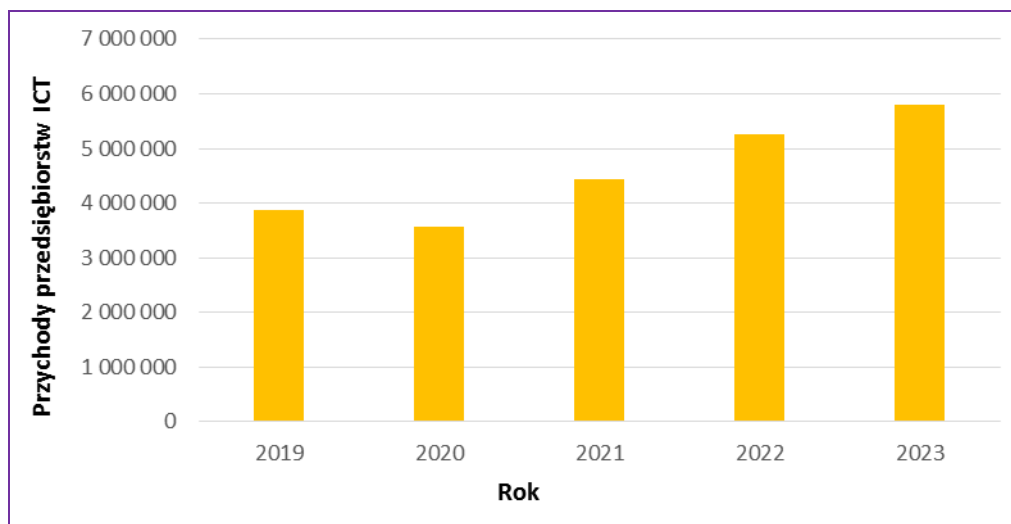
Oprac. na podst. Bank Danych Lokalnych GUS (<https://bdl.stat.gov.pl>): Podmioty gospodarcze i przekształcenia własnościowe i strukturalne; Podmioty gospodarki narodowej według rejestru REGON (dane kwartalne); Podmioty według sekcji i działów PKD 2007 oraz sektorów własnościowych.

Branżę ICT w woj. śląskim w 2023 r. charakteryzował dodatni bilans, więcej było nowo zarejestrowanych podmiotów niż wykreślonych z rejestru REGON. W stosunku do 2021 r. liczba

podmiotów wzrosła o 4167. Najczęściej nowo powstałe firmy rejestrowały działalność w sektorze związanym z oprogramowaniem i doradztwem w zakresie informatyki oraz działalności powiązanej (J62), który stanowi główny sektor działania firm na Śląsku.

Przychody w branży ICT

W sektorze ICT, rozumianym jako informacja i komunikacja w źródłach danych GUS, przychody netto ze sprzedaży rosną z roku na rok (z wyjątkiem spadku w 2020 r., który wynikał głównie z trwającej w tym czasie pandemii COVID-19). W 2019 r. w woj. śląskim wyniosły one 3 880 164 tys. PLN, a w 2023 r. – 5 792 326 tys. PLN, co oznaczało wzrost o prawie 50% w perspektywie analizowanych pięciu lat, a także o około 37% w okresie 2021–2023. Przychody te plasują województwo na szóstym miejscu w kraju.

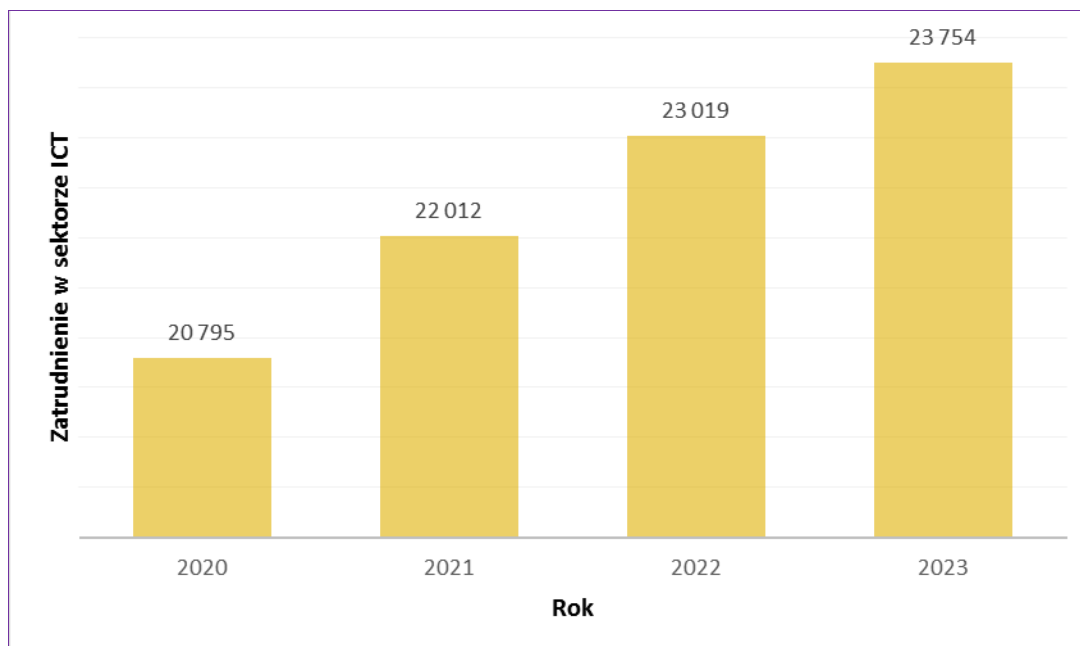


Rys. 5.2. Przychody przedsiębiorstw ICT (J61, J62, J63) na Śląsku w latach 2019–2023

Oprac. na podst. Bank Danych Lokalnych GUS (<https://bdl.stat.gov.pl>): Finanse przedsiębiorstw; Wyniki finansowe przedsiębiorstw według PKD 2007.

Zatrudnienie w sektorze ICT

W sektorze ICT – rozumianym jako informacja i komunikacja w źródłach danych GUS zatrudnienie rośnie stale z roku na rok (dane o osobach pracujących dotyczą podmiotów gospodarczych zaliczanych do sektora przedsiębiorstw, gdzie liczba pracujących wynosi 10 lub więcej osób). W 2020 r. wynosiło ono 20 795 osób, a w 2023 r. – 23 754, co oznacza wzrost o ponad 14% w perspektywie trzech lat. Liczba ta stanowi prawie 2,9% ogółu zatrudnionych w regionie (stan na grudzień 2023 r.). Dodatkowo należy pamiętać, że w tej branży wiele osób prowadzi jednoosobową działalność gospodarczą i w ten sposób świadczy swoje usługi.



Rys. 5.3. Zatrudnienie w sektorze ICT w latach 2020–2023

Oprac. na podst. Bank Danych Lokalnych GUS (<https://bdl.stat.gov.pl>): Rynek pracy; Pracujący, zatrudnieni i przeciętne zatrudnienie według PKD 2007; Zatrudnieni w gospodarce narodowej według sekcji, sektorów własnościowych i płci. Dane w zakresie pracujących dotyczą podmiotów gospodarczych zaliczanych do sektora przedsiębiorstw, gdzie liczba pracujących to 10 lub więcej osób.

5.1.3.3. Możliwość pojawienia się nowych technologii, produktów i usług

Możliwość pojawienia się nowych technologii, produktów i usług przeanalizowano pod kątem potencjału badawczo-rozwojowego sektora nauki oraz przedsiębiorstw.

Potencjał sfery badawczo-rozwojowej jednostek naukowych działających w obszarze ICT jest związany głównie z dwoma uczelniami wyższymi. Według raportu Analiza zasobów, aktywności i osiągnięć jednostek naukowych w Polsce w dziedzinie tworzenia i rozwoju technologii, przygotowanego przez konsorcjum Ośrodek Przetwarzania Informacji – Państwowy Instytut Badawczy oraz Uniwersytet Warszawski na zlecenie Ministerstwa Rozwoju i Technologii (styczeń 2022 r.), w obszarze tematycznym technologie informacyjne i komunikacyjne uczelnie te znalazły się w rankingu wiodących instytucji naukowych. Były to Politechnika Śląska (3. miejsce) oraz Politechnika Częstochowska (15. miejsce).

Działalność naukowa w obszarze ICT w Politechnice Śląskiej realizowana jest przede wszystkim na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki. Wydział prowadzi działalność naukowo-badawczą w obszarach:

- modelowanie, symulacje oraz sterowanie w automatyce i robotyce,
- pomiary i systemy sterowania,
- technologie Przemysłu 4.0,
- cybernetyka i nanotechnologia,
- analiza, synteza, diagnostyka i modelowanie zaawansowanych układów elektronicznych,
- mikroinformatyka i systemy cyfrowe,
- systemy teleinformatyczne i telekomunikacyjne,
- algorytmika i realizacja złożonych problemów obliczeniowych,
- systemy cyberfizyczne i technologie internetu rzeczy,
- grafika komputerowa oraz przetwarzanie i analiza obrazu,
- bazy danych, inżynieria danych i rozwój wydajnych systemów komputerowych,
- eksploracja danych, sztuczna inteligencja i technologia big data,
- transmisja i kodowanie informacji,
- sieci komputerowe,

- informatyka kwantowa i przemysłowa,
- inżynieria i biologia systemów oraz bioinformatyka.

Zakres prowadzonych prac badawczych wydziału wpisuje się w Priorytetowe Obszary Badawcze (POB) zdefiniowane przez Politechnikę Śląską:

- onkologia obliczeniowa i spersonalizowana medycyna:
 - onkologia obliczeniowa,
 - informatyka obrazu i telemedycyna;
- sztuczna inteligencja i przetwarzanie danych.

Politechnika Śląska bierze czynny udział w badaniach nad rozwojem metod sztucznej inteligencji – prowadzenie badań związanych z tym obszarem zadeklarowało około 150 naukowców i zespołów z prawie wszystkich wydziałów tej uczelni. Badania dotyczą nie tylko rozwoju samych metod, ale także nowych zastosowań sztucznej inteligencji w dziedzinach, takich jak: medycyna, cyberbezpieczeństwo, budownictwo, architektura, chemia i różnorodne przemysłowe procesy technologiczne. Wśród szczegółowych tematów badawczych w tym obszarze zostały wskazane:

- obraz cyfrowy,
- dźwięk i wibracje,
- rozwój metod sztucznej inteligencji oraz inżynieria wiedzy,
- cyberbezpieczeństwo,
- bioinformatyka i medycyna,
- serie czasowe,
- urządzenia, procesy technologiczne i sieci komputerowe,
- aspekty społeczne i etyczne sztucznej inteligencji;
- inteligentne miasta, mobilność przyszłości:
 - systemy informacji przestrzennej w miastach przyszłości;
- automatyzacja procesów i Przemysł 4.0:
 - automatyzacja procesów produkcyjnych, automatyka przemysłowa, teoria sterowania, sterowanie procesami,
 - robotyzacja produkcji, w tym robotyka mobilna, roboty autonomiczne, roboty usługowe, zagadnienia związane ze współpracą człowieka z robotem,
 - cyfryzacja i zastosowanie technologii informatycznych, w tym przetwarzanie dużych zbiorów danych, chmury obliczeniowe, cyberbezpieczeństwo, internet rzeczy, przemysłowy internet rzeczy,
 - symulacje i modelowanie procesów, w tym procesów przemysłowych,
 - zastosowanie wirtualnej i poszerzonej rzeczywistości, zastosowanie systemów wizyjnych,
 - inżynieria odwrotna, szybkie prototypowanie, druk 3D.

Działalność naukowa w obszarze ICT w Politechnice Częstochowskiej realizowana jest przede wszystkim na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Informatyki.

Działalność naukowo-badawcza w obszarze informatyka techniczna i telekomunikacja obejmuje zagadnienia, takie jak: weryfikacja prawdziwości twierdzeń w logikach nieklasycznych, kryptografia (w tym modele i klucze szyfrujące i deszyfrujące), analiza możliwości wykorzystania narzędzi sztucznej inteligencji do modelowania procesów oraz struktur ekonomicznych i gospodarczych, a także efektywność systemów informatycznych wspomagających zarządzanie. Oddzielną grupę zagadnień stanowią prace nad inteligentnymi systemami obliczeniowymi, algorytmami rozpoznawania obrazów, projektowaniem sterowników rozmytych z użyciem sieci neuronowych i algorytmów genetycznych, sztucznymi sieciami neuronowymi (w tym nad ich szybkim uczeniem), zastosowaniem sieci w mikrosterownikach przemysłowych oraz w algorytmach kompresji obrazów. Prowadzone są również prace nad wykorzystaniem algorytmów z użyciem sieci neuronowych do optymalizacji pracy napędów z silnikami asynchronicznymi i synchronicznymi, zastosowaniem inteligentnych systemów obliczeniowych w zadaniach diagnostyki medycznej oraz nad egzotycznymi protokołami kryptograficznymi w zastosowaniach sieci komputerowych. Intensywnie prowadzone są

również badania związane z: sieciami komputerowymi, przetwarzaniem równoległym i rozproszonym oraz klastrami i technologiami gridowymi, a także z zaawansowanymi technikami biometrycznymi i multimedialnymi, modelowaniem oraz optymalizacją wielokryterialną procesów w ekonomice czy zastosowaniem metod statystyki i teorii zbiorów rozmytych do rozwiązywania problemów komputerowego wspomaganie podejmowania decyzji. Ponadto badane są związki z analizą, projektowaniem i budową inżynierskich systemów obliczeniowych i symulacyjnych.

Poza dwiema opisanymi wcześniej uczelniami, ważną rolę w ekosystemie badań naukowych i prac wdrożeniowych pełnią dwa instytuty: Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej Polskiej Akademii Nauk (IITIS PAN) oraz Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Technik Innowacyjnych EMAG.

IITIS PAN jest instytutem naukowym, którego działalność koncentruje się na dziedzinie technologii informatycznych. Instytut zajmuje się również szkoleniem personelu technicznego i naukowego na zaawansowanym poziomie. Inicjuje i uczestniczy w projektach mających na celu rozwój innowacyjnego sektora komercyjnego.

W instytucie działają następujące zespoły badawcze:

1. Zespół Kwantowych Systemów Informatyki (badania w zakresie informatyki kwantowej, głównie w obszarze kwantowych języków programowania i symulacji obliczeń kwantowych).
2. Zespół Komputerowych Systemów Wizyjnych (badania nad ilościową analizą obrazów dwu- i trójwymiarowych).
3. Zespół Informatyki Stosowanej (wspomaga inne zespoły Instytutu w obszarze informatyki stosowanej na etapie przygotowywania projektów, ich realizacji oraz podczas przekazywania wyników do otoczenia gospodarczego).
4. Zespół Internetu Rzeczy (badania IoT, z naciskiem na komunikację bezprzewodową i protokoły sieciowe).
5. Zespół Modelowania, Oceny Efektywności i Bezpieczeństwa Systemów Komputerowych (specjalizuje się w zagadnieniach projektowania oraz doboru algorytmów i modeli uczenia maszynowego do projektów aplikacyjnych, przede wszystkim związanych z wizją komputerową i szeregami czasowymi).

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Technik Innowacyjnych EMAG jest instytutem sieci specjalizującym się w informatyce stosowanej, informatyce technicznej oraz technologiach informacyjnych. Zajmuje się m.in. cyberbezpieczeństwem, sztuczną inteligencją (AI/ML), analizą danych (systemami wspomaganie decyzji), IoT (Przemysł 4.0, smart cities), cyfrowymi usługami publicznymi oraz badaniami laboratoryjnymi.

Kompetencje na rzecz rozwoju innowacji

Kompetencje na rzecz rozwoju innowacji w dużej mierze zależą od poziomu kształcenia kadr, ich liczby oraz od tego, jaki będzie napływ nowych specjalistów w danej dziedzinie. Dla potrzeb opracowania za kierunki informatyczne zostały uznane technologie teleinformatyczne i interdyscyplinarne programy oraz kwalifikacje obejmujące technologie informacyjno-komunikacyjne.

Zgodnie z klasyfikacją GUS, opartą na międzynarodowej klasyfikacji kierunków kształcenia (ISCED-F), do pierwszego z nich (technologie teleinformatyczne) zaliczane są kierunki związane z posługiwaniem się środkami informatycznymi w celu pozyskiwania, przetwarzania, przechowywania oraz udostępniania informacji, tj. obsługa i użytkowanie komputerów, projektowanie i administrowanie baz danych i sieci czy tworzenie i analiza oprogramowania oraz aplikacji. Do drugiego (interdyscyplinarne programy i kwalifikacje obejmujące technologie informacyjno-komunikacyjne) zalicza się natomiast kierunki kształcenia w zakresie technologii informacyjnych niepasujące do żadnej z wyżej wymienionych nazw, np. sztuczna inteligencja.

W 2023 r. w woj. śląskim było 8358 studentów wyżej wymienionych kierunków i 1662 absolwentów zarówno publicznych, jak i niepublicznych uczelni. Ich liczba od kilku lat utrzymuje się na wysokim poziomie (w 2020 r. było około 6235 studentów i 1132 absolwentów). Dodatkowo w 2022 r. było 559 studentów studiów podyplomowych oraz doktoranckich. Stawia to woj. śląskie na czwartym miejscu

w Polsce (po Mazowszu, Małopolsce i Dolnym Śląsku) pod względem liczby studentów i absolwentów wymienionych kierunków. W 2023 r. w woj. śląskim zdecydowaną większość studentów oraz absolwentów kierunków ICT stanowili kształcący się na kierunkach zaliczanych do technologii teleinformatycznych – było to 88% w obu grupach. Udział osób związanych z interdyscyplinarnymi programami i kwalifikacjami obejmującymi technologie informacyjno-komunikacyjne wyniósł natomiast 12% zarówno wśród studentów, jak i absolwentów. Oznacza to, że struktura kształcenia i kończenia studiów na kierunkach ICT w regionie w 2023 r. była wyraźnie zdominowana przez klasyczne kierunki teleinformatyczne.

Poziom innowacyjności

Według danych GUS poziom nakładów wewnętrznych przedsiębiorstw z woj. śląskiego w sektorze ICT na działania B + R odnotowywał stały wzrost od 2015 r. do 2021 r., kiedy osiągnął 390 538,8 tys. PLN. W 2022 r. w związku z globalną sytuacją społeczno-gospodarczą (skutki COVID-19, wojna w Ukrainie) kwota ta spadła prawie o 6% i wyniosła 367 718,4 tys. PLN. W 2023 r. wartość ta wynosiła już 393 786,6 tys. PLN, co stanowiło jednak tylko około 3% wszystkich tego typu krajowych wydatków, z dominującym udziałem podmiotów z województw: mazowieckiego (39%), małopolskiego (21%) i pomorskiego (16,5%). Wydatki były związane z nakładami wewnętrznymi w sektorze przedsiębiorstw na działalność B + R według PKD – kierunki działalności: produkcja komputerów, wyrobów elektronicznych i optycznych, informacja i komunikacja.

O innowacyjności firm z branży świadczy także liczba i wartość projektów realizowanych w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014–2020, Działanie 1.2 Badania, rozwój i innowacje w przedsiębiorstwach. Wiele projektów było związanych z technologiami ICT (tab. 5.2).

Tabela 5.2. Wybrane projekty związane z działalnością badawczo-rozwojową realizowane przez podmioty z woj. śląskiego w latach 2019–2022

Beneficjent	Tytuł projektu	Wartość projektu (w PLN)
Digital Core Design Sp. z o.o. Sp. k.	QBASS – Kwantowo odporny Blokowy Asymetryczny System Szyfrowania i Autoryzacji	4 016 216,83
IoT System Sp. z o.o.	V Analytics – samouczący się system analizy ruchu osób na podstawie obrazów z kamer w warunkach ograniczonych zasobów obliczeniowych	3 823 486,40
PW PROFIL Sławomir Mroziński	Prace badawczo-rozwojowe nad opracowaniem innowacyjnego i inteligentnego systemu zarządzania oświetleniem ulicznym	2 723 555,50
QLAB Sp. z o.o.	Opracowanie sterowania i zasilania opraw oświetleniowych z wykorzystaniem transmisji danych bezprzewodowych	525 973,47
Przedsiębiorstwo handlowo-usługowe Technomex Sp. z o.o.	Stworzenie ukierunkowanego na cel algorytmu postępowania rehabilitacyjnego w dysfunkcjach układu ruchu w oparciu o wyniki badania biomechanicznego i ocenę czynnościową wraz z urządzeniami diagnostyczno-terapeutycznymi dla kończyn górnych i dolnych	1 861 534,47
SPIE Energotest Sp. z o.o.	Inteligentny sterownik ET-DCS wykorzystujący technologie sieci neuronowych	1 069 740,08
Future Processing SA	Opracowanie systemu do rozwiązywania nowego wariantu rzeczywistego problemu transportowego z wykorzystaniem algorytmów (dokładnych i przybliżonych) optymalizacji dyskretniej oraz zaawansowanych technik uczenia maszynowego (smart drive)	3 430 916,93
Grupa Cargo Sp. z o.o. Sp. k.	Stworzenie innowacyjnego systemu wspomagania procesu szkolenia i doskonalenia kierowców zawodowych w ujęciu wielopłaszczyznowej techniki przygotowania do zawodu kierowcy w ujęciu nowoczesnych narzędzi szkoleniowych platformy ruchu i VR oraz AR	5 664 600,00
Simtech Automatyka Przemysłowa Sp. z o.o. Sp. k.	Badania nad stworzeniem systemu szkoleniowego rzeczywistości połączonej (Mixed Reality) dedykowanego dla zaawansowanych technologicznie zakładów produkcyjnych	2 866 600,91
Predica Consulting Services Sp. z o.o. Sp. k.	Opracowanie modeli sieci neuronowych oraz algorytmów samouczących się do zastosowania w aplikacji do zarządzania przedsiębiorstwem	4 851 961,80
Smart Labs Sp. z o.o.	System modelowania danych biomedycznych wspierający planowanie przedoperacyjne	1 240 450,94
WASKO SA	REGOS – prototyp modułu automatyzującego proces generowania wzorca na podstawie bazy wiedzy, umożliwiającego pozyskanie definiowalnych informacji z tekstowego strumienia danych do zarządzania rozproszoną infrastrukturą sieciowo-usługową	3 021 302,80
Predica Consulting Services Sp. z o.o. Sp. k.	Opracowanie modeli sieci neuronowych oraz algorytmów samouczących się do badania wpływu zachowania internautów w sklepach internetowych na decyzje zakupowe	2 414 775,00
InfoConsulting Poland	Opracowanie i wdrożenie do oferty opartego na technologiach sztucznej inteligencji	3 703 383,54

Beneficjent	Tytuł projektu	Wartość projektu (w PLN)
Sp. z o.o.	i uczenia maszynowego, mobilnego rozwiązania do obsługi logistyki materiałowej w firmach produkcyjnych i handlowych	
CFI Systemy Informatyczne Sp. z o.o.	Opracowanie modelu predykcyjnego służącego do redukcji odstępstw i błędów w systemach zarządzania produkcją przy wykorzystaniu fuzji ekonomii behawioralnej i wzorców zachowań ludzkich	4 442 240,60
Landingi Sp. z o.o.	Przeprowadzenie prac badawczo-rozwojowych nad opracowaniem modułu automatyzacji przeprowadzania testów typu A/B/x w oparciu o rozwiązania machine learning (ML) w celu zwiększenia współczynnika konwersji strony internetowej (landing page)	4 002 278,80
OptiBuy Sp. z o.o.	Realizacja prac B + R w celu opracowania innowacyjnej platformy analizy danych zakupowych i kalkulacji potencjału oszczędności	3 253 725,68
DAR STAL Dariusz Zawala	Demonstrator technologii zarządzania logistyką wielkogabarytowych kręgów blach z udziałem technik sztucznej inteligencji	8 259 845,31
Przedsiębiorstwo Robót Geologiczno-Wiertniczych Sp. z o.o.	Opracowanie urządzenia (systemu) do gromadzenia i analizy danych z placu budowy	1 515 910,00
Amister Sp. z o.o. Sp. k.	Opracowanie innowacyjnego systemu amiMeasure opartego na AI, optymalizującego efektywność energetyczną oraz emisję CO ₂	1 181 105,13
Tylda Sp. z o.o.	Przeprowadzenie prac badawczo-rozwojowych nad opracowaniem innowacyjnego uniwersalnego systemu telematycznego wykorzystującego rozwiązania oparte na blockchain oraz szyfrowaniu danych za pomocą procesora kryptograficznego	6 044 705,40
Vemmio Sp. z o.o.	Przeprowadzenie prac badawczo-rozwojowych nad opracowaniem adaptacyjnego systemu IoT Automation wraz z funkcją lokalizacji użytkowników	8 006 605,20
Grupa Marketingowa TAI Sp. z o.o.	Prace badawczo-rozwojowe nad innowacyjnym systemem analiz i raportowania	1 974 330,12
Vemmio Sp. z o.o.	Przeprowadzenie prac badawczo-rozwojowych nad opracowaniem multilingwistycznego asystenta głosowego z funkcją autentykacji użytkowników	3 967 857,00
Infotower Business Solutions Sp. z o.o.	Wsparcie prac badawczo-rozwojowych służących opracowaniu innowacyjnego, bezprzewodowego, cyfrowego systemu przyzywowego dla branży medycznej	2 252 871,95
Flotea Sp. z o.o.	Przeprowadzenie prac badawczych i rozwojowych umożliwiających wdrożenie inteligentnego kontraktu opartego o technologię blockchain	1 108 019,88
Britech Sp. z o.o. Sp. k.	Innowacyjna autonomiczna kamera do wykrywania wolnych miejsc parkingowych i zajętość pasów ruchu w oparciu o sieci neuronowe	3 086 238,72
CADmost Sp. z o.o.	Wykorzystanie technologii BIM oraz poszerzonej rzeczywistości AR w planowaniu i inspekcji obiektów infrastruktury technicznej z użyciem mobilnej aplikacji InfraSmARt-Inspection	939 637,99
Quicko Sp. z o.o.	Opracowanie autorskiej technologii integrującej płatności zbliżeniowe z innymi funkcjonalnościami Internetu rzeczy, zamknięte w jednym urządzeniu z anteną, kartą microSIM i opatentowanym wkładem	4 520 640,00
KP Labs Sp. z o.o.	Opracowanie nowoczesnej platformy do tworzenia interaktywnych instrukcji szkoleniowych i serwisowych dla maszyn i urządzeń technicznych z wykorzystaniem technologii AR, VR oraz MR	3 105 074,96
Automation Development Sp. z o.o.	System strumieniowej analizy treści dynamicznych i statycznych	6 058 290,64
Tylda Sp. z o.o.	Przeprowadzenie prac badawczo-rozwojowych w celu opracowania urządzenia telematycznego wraz z systemem IT	3 047 528,02
KP Labs Sp. z o.o.	System do automatycznej optymalizacji oceny niezawodności pojazdu, oceny jego niezawodności oraz analizy wielomodalnych danych sensorycznych z wykorzystaniem technik uczenia maszynowego (KAMELEON)	4 843 950,31
Da Vinci Studio Sp. z o.o.	Medyczny system doradczy wspomagający leczenie pacjenta	4 132 631,79
Gabos Software Sp. z o.o.	SKRYBA – Inteligentny Asystent Lekarza	4 268 914,53
Infonet Projekt SA	Prace B + R nad systemem wspierającym lekarzy w procesie prowadzenia pacjentów onkologicznych z wykorzystaniem inteligentnych algorytmów sztucznej inteligencji	3 542 147,23

Na podstawie danych prezentowanych na portalu Mapa Dotacji UE²² zidentyfikowano m.in. projekty o charakterze badawczo-rozwojowym realizowane w woj. śląskim przez podmioty działające w przemyśle ICT (tab. 5.3).

²² <https://mapadotacji.gov.pl/>

Tabela 5.3. Wybrane projekty związane z działalnością badawczo-rozwojową realizowane przez podmioty z woj. śląskiego w ramach perspektywy 2021–2027

Lp.	Podmiot	Tytuł/Zakres projektu
1	Infotower Business Solutions Sp. z o.o.	Opracowanie inteligentnych algorytmów sterujących selekcją i adresacją komunikatów krytycznych dla realizacji procesów medycznych w warunkach leczenia stacjonarnego
2	From Poland With Dev Paweł Kisiel	Technologia do zdalnej, dwukierunkowej współpracy graficznej na analogowych nośnikach (np. tablicach suchościeralnych) z wykorzystaniem „deviceless augmented reality”
3	Atende Spółka Akcyjna	Opracowanie innowacyjnego systemu IT wykorzystującego mechanizmy sztucznej inteligencji do automatycznej identyfikacji i retencji danych wrażliwych zawartych w dokumentach, z uwzględnieniem kontekstu ich przetwarzania
4	DCD-SEMI Sp. z o.o.	IoT-Moto-IP – Nowoczesny modułowy, skalowalny System on chip (SoC) oparty o procesor RISC V i najnowocześniejsze protokoły komunikacyjne dla IoT i automotive
5	Arcelormittal Business Center of Excellence Poland Sp. z o.o.	Opracowanie innowacyjnego narzędzia informatycznego DeepFlow Mine, służącego do optymalizacji procesów biznesowych
6	Carbon Studio SA	MAGOS (Multiplatform Automatic Graphic Optimisation System) – Zautomatyzowane narzędzie do optymalizacji kolekcji graficznych w grach VR
7	Dr Studio Games Prosta SA	Opracowanie technologii AI gotowej do implementacji w grach komputerowych poprzez wykorzystanie cyfrowych modeli językowych oraz stworzenie narzędzia, które umożliwi generowanie modeli, tekstur i scenariuszy za pomocą algorytmów AI
8	eVirtualis Sp. z o.o.	Opracowanie i walidacja w warunkach rzeczywistych narzędzia opartego o sztuczną inteligencję umożliwiającego automatyzację tworzenia kontekstowych tłumaczeń dla publikacji obcojęzycznych z podręcznym słownikiem na marginesie
9	eVirtualis Sp. z o.o.	Opracowanie i walidacja w warunkach rzeczywistych narzędzia opartego o sztuczną inteligencję umożliwiającego automatyzację procesu monitoringu pracy oraz doskonalenia bazy wiedzy chatbota Glivia opracowanego przez Wnioskodawcę

Oprac. na podst.: <https://mapadotacji.gov.pl> oraz stron internetowych poszczególnych podmiotów.

5.1.3.4. Możliwość pojawienia się substytutów dla rozwijanych technologii, produktów, usług

Zarówno firmy, jak i jednostki naukowe w woj. śląskim oraz w Polsce starają się nadążyć za trendami w rozwoju innowacji i technologii ICT, szczególnie w dziedzinie rozwoju sztucznej inteligencji. Należy jednak podkreślić, że rynek globalny w tym obszarze jest zdominowany przez gigantów z USA, Chin czy Europy Zachodniej.

Coraz częściej polskie – w tym także śląskie – start-upy i instytuty badawcze zyskują międzynarodowe uznanie, oferując unikalne rozwiązania wspierane przez AI oraz uczestnicząc w międzynarodowych projektach B+R. Takie działania należy utrzymywać, a nawet je rozszerzać, aby podmioty z woj. śląskiego na bieżąco zapoznawały się z najnowszymi globalnymi trendami. Stworzy to możliwość odpowiednio szybkiego reagowania na pojawianie się innych obszarów rozwojowych w technologiach ICT na świecie.

5.1.3.5. Zależności i łańcuchy wartości w ramach technologii

Pozycja firm ICT ze Śląska w międzynarodowych łańcuchach wartości jest różna w zależności od kilku czynników. Na szczególną uwagę zasługują firmy specjalizujące się w określonych sektorach branży, takich jak tworzenie oprogramowania, automatyzacja i robotyzacja czy cyberbezpieczeństwo.

W regionie działają już firmy, których aktywność skupiona jest wokół tworzenia dedykowanych rozwiązań IT (oprogramowanie, aplikacje), głównie dla klientów zagranicznych. W tym zakresie dominują przede wszystkim firmy typu software house. Do kluczowych czynników konkurencyjnych wpływających na ich pozycję należą wysokie kompetencje i jakość pracy oraz utrzymująca się niższa cena usług.

Drugą grupą firm działających w międzynarodowych łańcuchach wartości są firmy zajmujące się dostarczaniem dedykowanych rozwiązań z zakresu automatyzacji i robotyzacji procesów przemysłowych. Ich uczestnictwo z jednej strony powiązane jest z obecnością międzynarodowych firm produkcyjnych w regionie, z drugiej, wykazując się odpowiednimi kompetencjami, stały się one dostawcami rozwiązań nie tylko dla fabryk działających w województwie, ale także dla innych podmiotów tych koncernów operujących w innych częściach świata.

Dla rozwoju śląskich firm branży ICT w międzynarodowych łańcuchach wartości kluczowa będzie ich dalsza działalność w kolejnych latach w zakresie tworzenia innowacji technologicznych i realizacji projektów B+R, a w tym kontekście także dostępu do programów wsparcia prac B+R i możliwość współpracy z jednostkami naukowymi w tym obszarze.

Wzrost znaczenia firm z branży ICT pochodzących z regionu w międzynarodowych łańcuchach wartości jest kluczowy dla jej rozwoju, zapewniając firmom stabilny popyt i udział w innowacyjnych przedsięwzięciach.

Podsumowując, na pozycję śląskich firm ICT w międzynarodowych łańcuchach wartości wpływa ich specjalizacja, dostęp do rynku, poziom innowacyjności, współpraca z międzynarodowymi firmami, integracja łańcucha dostaw, konkurencyjność oraz wsparcie rządowe. Konsekwentne działania na rzecz wzmocnienia tych czynników mogą pomóc we wzmacnianiu ich pozycji i konkurencyjności na arenie międzynarodowej.

5.1.3.6. Wzrost konkurencji na rynku wdrażania technologii

Intensywność konkurencji na rynku jest bardzo duża i wynika z następujących czynników:

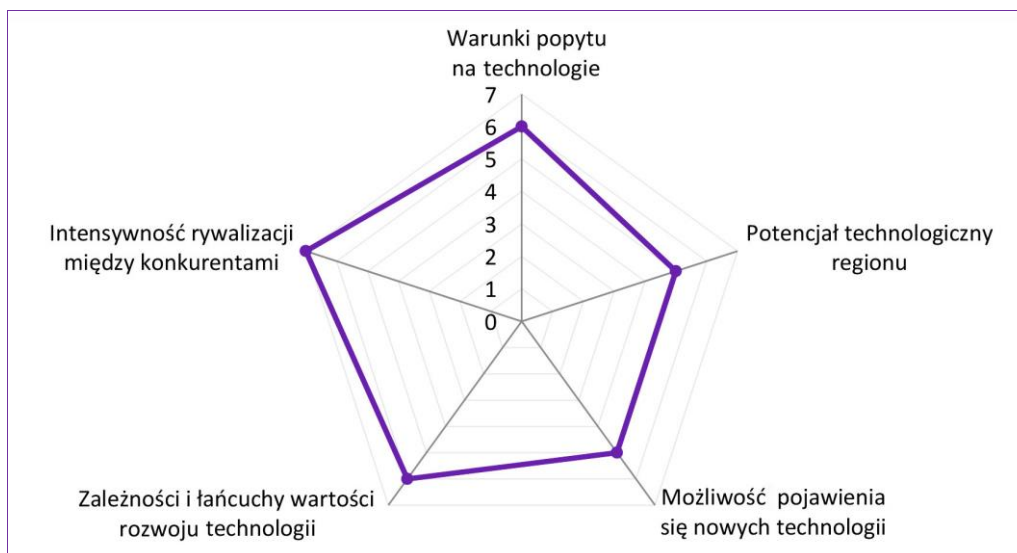
1. bardzo duża liczba konkurentów w branży, dużo małych i średnich podmiotów z kapitałem krajowym oraz kilka koncernów międzynarodowych,
2. bardzo duży rynek i ciągłe perspektywy wzrostu,
3. wysokie bariery wejścia spowodowane koniecznością potwierdzenia wysokich kompetencji oraz doświadczenia w realizacji projektów,
4. stosunkowo niskie bariery wyjścia z rynku.

5.1.3.7. Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonej analizy pięciu sił Portera przedstawiono w tabeli 5.4 i na wykresie.

Tabela 5.4. Podsumowanie analizy pięciu sił Portera dla obszaru technologicznego technologie informacyjne i telekomunikacyjne

Pięć sił Portera	Charakterystyka
Warunki popytu na technologie	• warunki popytu na technologię dyktowane przez odbiorców technologii • możliwość wdrażania technologii w wielu obszarach życia gospodarczego i społecznego • współpraca firm regionalnych z podmiotami z innych regionów świata oraz koncernami obecnymi w regionie i regionach ościennych
Potencjał technologiczny regionu	• wysoka liczba, w stosunku do innych regionów w kraju, aktywnych podmiotów gospodarczych zaliczanych do sektora ICT • obecność w regionie kluczowych międzynarodowych koncernów technologicznych działających w branży ICT • potencjał naukowy i dydaktyczny Politechniki Śląskiej • relatywnie wysoki udział firm w sektorze, działających w oparciu o istniejące rozwiązania i realizujących prace wdrożeniowe oraz badania rozwojowe • mała liczba projektów B+R realizowanych przez firmy w regionie (poziom badań przemysłowych)
Możliwości pojawienia się nowych technologii (substytutów)	• intensywny rozwój technologii ICT w innych regionach świata, w tym także w Chinach • uzależnienie od decyzji geopolitycznych i związanych z tym uwarunkowań międzynarodowej wymiany gospodarczej, w szczególności UE – Chiny
Zależności i łańcuchy wartości rozwoju technologii	• udział firm z regionu w łańcuchach rozwoju technologii jest uzależniony od decyzji central korporacji międzynarodowych • udział firm z regionu w tworzeniu elementów poszczególnych technologii (nie całości) – polityka bezpieczeństwa i budowania tajemnicy przedsiębiorstwa
Intensywność rywalizacji między konkurentami	• bardzo wysoka intensywność rywalizacji między konkurentami z branży • duża liczba rozproszonych, mniejszych firm • działalność konkurujących ze sobą międzynarodowych koncernów



Rys. 5.1. Ocena pięciu sił Portera dla obszaru technologicznego technologii informacyjnej i telekomunikacyjnej

5.2. Uwarunkowania rozwoju obszaru technologicznego – analiza PESTEL

Analiza PESTEL została opracowana na podstawie analizy raportów branżowych oraz konsultacji z ekspertami. W ten sposób określono czynniki, które najbardziej oddziałują na branżę, a tym samym na rozwój technologii we wszystkich wskazanych grupach technologicznych.

Podsumowanie analizy PESTEL przedstawiono w tabeli 5.5.

Tabela 5.5. Podsumowanie analizy PESTEL dla obszaru technologicznego technologii informacyjnej i telekomunikacyjnej

Obszar analizy	Nazwa czynnika	Charakter czynnika
Polityczny	Uwarunkowania międzynarodowe dotyczące wymiany gospodarczej	–
	Konflikty zbrojne, zmiany geopolityczne	–
	Integracja europejska i wspólna polityka europejska	+
Ekonomiczny	Dominacja międzynarodowych koncernów gospodarczych	–
	Postępująca konsolidacja rynku ICT	+
	Kapitałochłonność wdrożeń nowoczesnych rozwiązań	–
	Udział w międzynarodowych łańcuchach dostaw	+
	Globalne centrum gospodarcze przesuwające się na Wschód	–
Społeczny	Deglobalizacja zabezpieczająca interesy i łańcuchy dostaw firm europejskich	+
	Starzejące się społeczeństwo	0
	Wzrastająca przeciętna długość życia	+
	Aktywność pozazawodowa ludności	+
	Migracje (gospodarcze, polityczne, klimatyczne)	+
	Nowe wzorce konsumpcji i zachowań	+
Technologiczny	Potencjał B + R przedsiębiorstw i jednostek naukowych	+
	Dostęp do nowoczesnych rozwiązań technologicznych	+
	Udział w międzynarodowych programach badawczych	–
	Technologie cyfrowe we wszystkich dziedzinach życia społeczno-gospodarczego	+
	Udział w międzynarodowych łańcuchach wartości	+
	Cyberprzestępczość	+/-
Środowiskowy	Zmiany klimatyczne	–
	Dostęp do surowców naturalnych	–
	Gospodarka surowcowa i gospodarka o obiegu zamkniętym	+
	Odnawialne źródła energii	+
	Oczekiwania klientów w zakresie zrównoważonego rozwoju dostawców	–
Prawny	Regulacje dotyczące aspektów środowiskowych	–
	Szczegółowe uwarunkowanie prawne dotyczące wdrażania rozwiązań ICT w różnych obszarach gospodarki	0
	Regulacje dotyczące zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstw (CSRD, Taksonomia UE)	–

Objaśnienie: ocena charakteru czynnika: sprzyjający „+”; hamujący „–”; neutralny „0”.

5.3. Ocena obszaru technologicznego – analiza SWOT

Tabela 5.6. Czynniki SWOT dla obszaru technologicznego technologie informacyjne i telekomunikacyjne

Silne strony		Słabe strony	
S1	Wysoka liczba w kraju w stosunku do liczby aktywnych podmiotów gospodarczych zaliczanych do sektora ICT	W1	Relatywnie niski udział firm IT z regionu w krajowym rynku IT pod względem wielkości przychodów
S2	Rosnący udział przedsiębiorstw ICT wśród wszystkich firm w regionie	W2	Relatywnie wysoki udział firm w sektorze działających w oparciu o istniejące rozwiązania oraz realizujących prace wdrożeniowe i badania rozwojowe
S3	Obecność w regionie koncernów międzynarodowych z obszaru IT oraz nowoczesnych technologii	W3	Mała liczba projektów B + R realizowanych przez firmy w regionie (poziom badań przemysłowych)
S4	Wysoka zdolność firm ICT z województwa do adaptacji do światowych trendów na rynku outsourcingu i rozwiązań IT	W4	Potencjał naukowy i sfery B + R skupiony jedynie wokół dwóch jednostek Politechniki Śląskiej oraz Politechniki Częstochowskiej
S5	Duża dywersyfikacja dziedzinowa firm ICT w województwie	W5	Niski poziom rezerw finansowych dostawców z polskim kapitałem, ograniczający możliwość realizacji projektów badawczo-rozwojowych
S6	Zdolność firm ICT w województwie do udziału w globalnych łańcuchach dostaw	–	–
S7	Potencjał naukowy Politechniki Śląskiej	–	–
Szanse		Zagrożenia	
O1	Rozwój rozwiązań konsumenckich w oparciu o technologie ICT (rozwiązania mobilne, internet rzeczy, współdzielenie itp.)	T1	Dynamiczny rozwój technologii ICT skupionych w pobliskich ośrodkach regionalnych: Dolny Śląsk i Małopolska
O2	Postępująca transformacja w kierunku Przemysłu 4.0	T2	Wykorzystywanie technologii ICT w sposób sprzeczny z powszechnie uznawanymi systemami wartości
O3	Rosnące zapotrzebowanie na technologie ICT w innych dziedzinach społeczno-gospodarczych	T3	Wzrost cyberprzestępczości i cyberterroryzmu
O4	Trendy rozwojowe związane z sieciami wysokich prędkości	T4	Uzależnienie państw i gospodarek od dużych koncernów ICT
O5	Trendy rozwojowe związane z cyberbezpieczeństwem i blockchain	T5	Postępująca konsolidacja rynku ICT, skutkująca dominacją globalnych gigantów oraz rozproszoną siecią małych podwykonawców
O6	Trendy związane z wykorzystywaniem sztucznej inteligencji	T6	Ograniczenia w dostępie do najnowszych technologii (np. półprzewodników)
O7	Rozwój technologii pozwalających na gromadzenie i szybkie przetwarzanie danych masowych	T7	Regulacje dotyczące zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstw (CSRD, Taksonomia UE)
O8	Rozwój technologii półprzewodnikowych i mikrochipów	–	–

REKOMENDACJE W OBSZARZE B + R I INNOWACJI W SEKTORZE ICT

Rekomendacja 1

Kreowanie i wzmacnianie powiązań kooperacyjnych między podmiotami sektora ICT a sferą B + R + I w celu wzmocnienia realizacji prac B + R nad rozwiązaniami innowacyjnymi w skali globalnej.

Rekomendacja 2

Analiza potencjału badawczego oraz luki badawczej w regionie w celu dokładnej identyfikacji obszarów i tematów związanych z najnowszymi trendami technologicznymi, jakie będą wymagać wzmocnienia i wsparcia w kolejnych latach.

Rekomendacja 3

Zwiększenie nakładów na B + R w obrębie technologii ICT, w szczególności w celu wspierania prac nad kierunkami rozwoju technologicznego.

Rekomendacja 4

Budowa systemu wsparcia start-upów z branży ICT o wysokim potencjale do internacjonalizacji, w tym w obszarze współpracy i testowania nowych rozwiązań w sektorze publicznym oraz dużych firm.

Rekomendacja 5

Wsparcie sektora szkolnictwa wyższego w zakresie rozwoju oferty edukacyjnej dotyczącej ICT w celu niwelowania luki podażowej na regionalnym rynku pracy oraz kształcenie kadr przygotowanych do pracy nad rozwiązaniami zgodnymi z najnowszymi trendami technologicznymi.

Rekomendacja 6

Konsolidacja klastrów i inicjatyw klastrowych z obszaru ICT w celu zapewnienia ich funkcjonalnej i ekonomicznej efektywności.

REKOMENDACJE W OBSZARZE WSPARCIA W WYKORZYSTYWANIU TECHNOLOGII ICT (WSPARCIE STRONY POPYTOWEJ)**Rekomendacja 7**

Wsparcie finansowe na rzecz konwersji tradycyjnie świadczonych usług (publicznych i komercyjnych) na usługi świadczone drogą elektroniczną.

Rekomendacja 8

Wsparcie finansowe na rzecz rozwoju i wdrażania technologii ICT wspierających zmiany w strukturze demograficznej (ICT w medycynie, opiece nad osobami starszymi).

Rekomendacja 9

Wsparcie finansowe na rzecz rozwoju i wdrażania technologii ICT wspierających zmiany w przemyśle – transformacja cyfrowa, Przemysł 4.0, cyberbezpieczeństwo.

Rekomendacja 10

Zapewnienie odpowiednich zasobów finansowych i instytucjonalnych dla dalszego rozwoju infrastruktury w województwie w celu zapewnienia powszechnego dostępu do usług świadczonych drogą elektroniczną oraz stymulowania rozwoju przedsiębiorczości.

Rekomendacja 11

Zwiększenie świadomości podmiotów gospodarczych sektora ICT na temat możliwości wynikających z polityki rozwoju regionu prowadzonej w zakresie inteligentnej specjalizacji ICT.

Literatura**Dokumenty strategiczne**

Polityka (2021): Polityka Przemysłowa Polski. Warszawa, Ministerstwo Rozwoju, Pracy i Technologii.

Polityka (2022): Polityka rozwoju gospodarczego Województwa Śląskiego 2030. Katowice, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego.

Polityka (2024): Polityka Rozwoju Sztucznej Inteligencji w Polsce 2025–2030. Sekcja ds. Aktualizacji polityki rozwoju sztucznej inteligencji. Warszawa, Ministerstwo Cyfryzacji. <https://www.gov.pl/web/cyfryzacja/ekspertyza-ws-aktualizacji-polityki-ai-w-polsce>.

Program (2011): Program Rozwoju Technologii Województwa Śląskiego na lata 2010–2020. Katowice, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego.

Program (2019): Program Rozwoju Technologii Województwa Śląskiego na lata 2019–2030. Katowice, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego. <https://ris.slaskie.pl/pl/program-rozwoju-technologii-wojewodztwa-slaskiego-na-lata-2019--2030.html?vid=281>.

Strategia (2020): Strategia Polityki Społecznej Województwa Śląskiego na lata 2020–2030. Katowice, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego. <https://www.slaskie.pl/content/strategia-polityki-spoecznej-woje-wodztwa-slaskiego>.

Strategia (2021): Regionalna Strategia Innowacji Województwa Śląskiego 2030. Katowice, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego. <https://ris.slaskie.pl/pl/dokumenty/regionalna-strategia-innowacji-wojewodztwa-slaskiego-2030.html>.

Strategia (2022): Strategia produktywności 2030. Warszawa, Ministerstwo Rozwoju i Technologii. <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologia/strategia-produktywnosci-2031>.

Raporty i opracowania

AI Act (2022): AI Act Impact Survey: Exploring the impact of the AI Act on Startups in Europe. <https://ki-verband.de/wp-content/uploads/2025/05/AI-Act-Survey-2022.pdf>.

Mapa AI (2024): Pierwsza mapa polskich rozwiązań wspartych AI. Warszawa, Polski Fundusz Rozwoju.

OPI (2019): Rozwój sztucznej inteligencji w sektorze nauki w Polsce: Badanie stanu przygotowania uczelni i ośrodków naukowych w Polsce do prowadzenia badań nad sztuczną inteligencją (SI) oraz ich oferty edukacyjnej w zakresie kształcenia specjalistów SI: Badacze SI i ich publikacje w latach 2013–2018. Warszawa, Ośrodek Przetwarzania Informacji.

Bazy danych

Bank Danych Lokalnych Głównego Urzędu Statystycznego. <https://bdl.stat.gov.pl>.

Mapa Dotacji UE. <https://mapadotacji.gov.pl/>.

Baza danych Dun & Bradstreet. <https://www.dnb.com/pl-pl/>.

Produkcja i przetwarzanie materiałów

Autorzy

Jan Brzóska*

Lilla Knop*

Sławomir Olko*

Anna Horzela-Miś*

*Politechnika Śląska



Fundusze Europejskie
dla Śląskiego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Województwo
Śląskie

6.1. Identyfikacja obszarów technologicznych, grup technologicznych i technologii

6.1.1. Opis metodologii

Identyfikacja obszarów, grup technologicznych czy samych technologii, które w woj. śląskim są uważane za rozwojowe w perspektywie 2050 r., wymaga zastosowania odpowiedniego procesu badawczego. W przyjętym procesie oparto się na rozumowaniu dedukcyjnym, czyli wyprowadzaniu wniosków z tego, co już jest wiadome. Proces ten był wsparty wieloma metodami, które zostały zaprezentowane w tabeli 6.1. Wykorzystanie odpowiednich metod: diament Portera, EMERALD, analiza PESTEL oraz SWOT, wymagało szerokich analiz danych zastanych (desk research). Zaprezentowane dane zostały zweryfikowane podczas wywiadów z ekspertami i w badaniach fokusowych.

6.1.2. Zakres obszaru technologicznego

Woj. śląskie to region dynamiczny, który od wielu lat podlega intensywnym zmianom związanym z transformacją technologiczną i gospodarczą. Do wyzwań związanych z transformacją dołączyły pandemia, a po niej wojna w Ukrainie. Te niespodziewane zmienne powodują, że przedsiębiorstwa muszą niezwykle elastycznie podchodzić do bardzo szybko zmieniającego się rynku. Polityka Przemysłowa Polski z 2021 r. wyznacza pięć osi rozwojowych świata postcovidowego: cyfryzację, zielony ład, bezpieczeństwo, lokalizację i społeczeństwo wysokich kompetencji. Wokół tych osi formułowane są kierunki, cele i instrumenty polityki. W dokumencie tym wskazano również kluczowe branże, z podziałem na cztery kategorie (Polityka, 2021):

1. branże tradycyjnie mocne, przed którymi stoją wyzwania (przemysły: motoryzacyjny, hutniczy, chemiczny, meblarski, papierniczy),
2. branże z dużym potencjałem rozwojowym i dynamiką (przemysły: farmaceutyczny, biotechnologiczny i wyrobów medycznych, przetwórstwa spożywczego, kosmetyczny, materiałów budowlanych, elektrotechniczny, maszynowy, transportu szynowego),
3. branże posiadające nowe perspektywy rozwoju (przemysły: budowy statków specjalistycznych i jachtów, lotniczo-kosmiczny, BSP, odzysku surowców wtórnych, baterijny, nowoczesnych technologii energetycznych),
4. usługi dla przemysłu (transport, ICT, usługi biznesowe).

Tabela 6.1. Proces badawczy

Lp.	Etap badań	Metoda badań	Narzędzia badawcze
1	Identyfikacja dotychczasowych kluczowych technologii rozwijanych w regionie	desk research	analiza krajowych i regionalnych strategicznych dokumentów analiza bazy tekstów naukowych analiza raportów sektorowych
2	Wstępna weryfikacja kluczowych technologii, które są rozwijane w regionie	wywiady z ekspertami	identyfikacja kluczowych „aktorów” i ekspertów z obszarów rozwoju technologii
3	Wskazanie technologii, które mają potencjał do rozwoju w regionie w perspektywie 2050	badania fokusowe	zogniskowany wywiad grupowy z ekspertami dziedzinowymi
4	Analiza potencjału konkurencyjnego obszaru technologii (grup technologii)	diament Portera połączony z metodą EMERALD	wskaźniki ekonomiczne danej branży dane światowych baz danych analizy dokumentów dotyczących badań danej branży/sektora/obszaru technologicznego dane statystyczne monitorowane przez Obserwatoria Specjalistyczne
5	Ocena uwarunkowań rozwoju obszaru technologicznego	analiza PESTEL	raporty ekonomiczne analiza strategicznych dokumentów
6	Ocena obszaru technologicznego	analiza SWOT	zogniskowany wywiad grupowy z ekspertami dziedzinowymi
7	Weryfikacja oceny obszaru technologicznego	badania fokusowe	zogniskowany wywiad grupowy z ekspertami dziedzinowymi

Oprac. zespół ekspercki na podst. dotychczasowych analiz obserwatorium w obszarze technologicznym produkcja i przetwarzanie materiałów.

Niespodziewane zmienne powodują, że region musi niezwykle elastycznie podchodzić do szybko zmieniającego się rynku. Doświadczenie i know-how, jakie mają śląskie podmioty, pozwala im na wdrożenie zmian również w sektorze produkcji i przetwarzania materiałów. Przełom w technologii materiałów często oznaczał skok cywilizacyjny. Od doskonalenia materiałów zależy postęp w zakresie właściwości użytkowych wykonanych z nich urządzeń, maszyn czy przedmiotów. Silna baza badawcza i edukacyjna w obszarze technologii oraz badania materiałów stwarzają przyjazne środowisko dla rozwoju przedsiębiorstw. Polska, w tym przede wszystkim woj. śląskie, dysponuje bardzo dużymi zasobami ludzkimi w obszarze technologii materiałowych, a obecnie, dzięki badaniom, szybko rozwija się też infrastruktura badawcza. Wyróżnienie w woj. śląskim obszaru technologicznego produkcji i przetwarzania materiałów jest wynikiem pracy Priorytetowe technologie dla zrównoważonego rozwoju województwa śląskiego. Rezultaty tych badań zostały zawarte w Programie Rozwoju Technologii Województwa Śląskiego na lata 2019–2030. Ponadto w ramach Procesu Przedsiębiorczego Odkrywania (PPO) wskazano, obok energetyki, medycyny, technologii informacyjnej i komunikacyjnej, zielonej gospodarki, kolejną inteligentną specjalizację woj. śląskiego: przemysły wschodzące obejmujące nowe lub istniejące sektory gospodarki i łańcuchy wartości, które rozwijają się w nowe gałęzie przemysłu, przyszłościowe dla regionu. Przemysły wschodzące najczęściej bazują na nowych produktach, usługach, technologiach lub pomysłach. Znajdują się one na początkowym etapie rozwoju, jednocześnie jednak wykazując dużą dynamikę wzrostu, co daje im potencjał osiągnięcia nowych, globalnych przewag konkurencyjnych. Regionalna Strategia Innowacji (RIS) (Strategia, 2021), odnosząc się do przemysłów wschodzących, wskazuje dwie konkretne branże: przemysły kreatywne i przemysły mobilności. W ramach PPO zidentyfikowano grupy technologii kluczowych dla rozwijania przemysłów wschodzących, wśród których wyróżnia się m.in.: tworzywa metaliczne, tworzywa polimerowe, tworzywa ceramiczne, nanotechnologie i nanomateriały, technologie projektowania i wytwarzania w przemyśle lotniczym, technologie projektowania i wytwarzania w przemyśle motoryzacyjnym, technologie projektowania i wytwarzania obrabiarek i pomocy warsztatowych, technologie projektowania i wytwarzania środków przenoszenia napędów, maszyn i urządzeń specjalnych oraz przemysł kosmiczny.

Podstawowym źródłem informacji o technologiach i ich wykorzystaniu były wywiady z ekspertami (por. tab. 6.1). Do badań wybrano grupę 10 ekspertów technologicznych z regionu (woj. śląskiego), których charakterystykę przedstawia tabela 6.2. Trzech ekspertów reprezentowało przemysł, a siedmiu – sektor nauki (dwie wiodące uczelnie techniczne w regionie).

Tabela 6.2. Charakterystyka ekspertów, z którymi przeprowadzono wywiady

Symbol eksperta	Obszar technologiczny eksperta	Reprezentowany sektor	Doświadczenie
E1	technologie produkcji stali	przemysł	ponad 30-letnie doświadczenie w pracy w przedsiębiorstwach z branży metalurgicznej, 15-letnie doświadczenie w pracy samorządu gospodarczego w przemyśle metalurgicznym
E2	technologie przetwarzania stali	przemysł	ponad 35-letnie doświadczenie w pracy związanej z rozwojem technologii w branży metalurgicznej
E3	technologie odlewnictwa	nauka	profesor zwyczajny w Katedrze Odlewnictwa, Wydział Mechaniczny Technologiczny Politechniki Śląskiej, ponad 40-letnie doświadczenie naukowe w pracy związanej z technologią odlewania metali i ich kompozytów
E4	technologie produkcji metali nieżelaznych i stopów	nauka	pracownik naukowy Wydziału Organizacji i Zarządzania Politechniki Śląskiej, ponad 25-letnie doświadczenie w pracy naukowej, specjalizacja: zagospodarowanie odpadów hutniczych
E5	technologie obróbki metali i nakładania powłok na metale	nauka	samodzielny pracownik naukowy Wydziału Inżynierii Materiałowej i Cyfryzacji Przemysłu Politechniki Śląskiej, ponad 30-letnie doświadczenie naukowe w zakresie inżynierii materiałowej i metalurgii
E6	technologie produkcji kompozytów o osnowie metalowej	nauka	samodzielny pracownik naukowy Wydziału Inżynierii Materiałowej i Cyfryzacji Przemysłu Politechniki Śląskiej, ponad 30-letnie doświadczenie naukowe w zakresie inżynierii materiałowej, w szczególności kompozytów o osnowie metalowej, założyciel innowacyjnego spin-outu akademickiego
E7	technologie produkcji polimerów	nauka	samodzielny pracownik naukowy Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Śląskiej, ponad 30-letnie doświadczenie w pracy naukowej, specjalizacja w zakresie badań właściwości tworzyw sztucznych i ich kompozytów

Symbol eksperta	Obszar technologiczny eksperta	Reprezentowany sektor	Doświadczenie
E8	technologie produkcji kompozytów o ośniewie polimerowej	nauka	samodzielny pracownik naukowy na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Śląskiej, Kierownik Katedry Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, ponad 30-letnie doświadczenie badawcze w zakresie zaawansowanych materiałów inżynierskich
E9	technologie produkcji tworzyw ceramicznych	nauka	samodzielny pracownik naukowy Wydziału Organizacji i Zarządzania Politechniki Śląskiej
E10	technologie recyklingu odpadów metalicznych/ polimerowych	przemysł	ponad 40-letnie doświadczenie w pracy na stanowiskach kierowniczych w hutnictwie, w latach 2013–2022, prezes zarządu Hutniczej Izby Przemysłowo-Handlowej

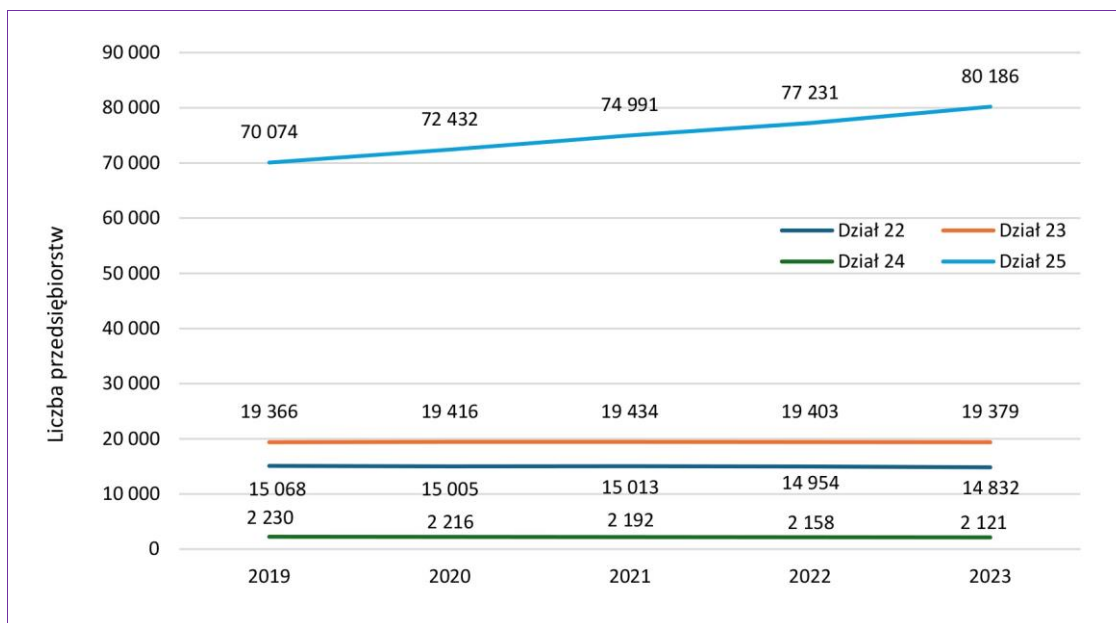
Po dyskusji z ekspertami oparto się na tradycyjnym podziale obszaru produkcji i przetwarzania materiałów na: tworzywa metaliczne, tworzywa polimerowe i tworzywa ceramiczne. Kompozyty jako technologie łączące różne materiały zostały wyróżnione w trzech podstawowych grupach technologii (kompozyty w tworzywach metalicznych, polimerowych i ceramicznych). Taki podział stał się podstawą do diagnozy strategicznej obszaru produkcji i przetwarzania materiałów w ramach foresightu technologicznego woj. śląskiego. W tym kontekście obszar technologiczny został przeanalizowany w ujęciu PKD (tab. 6.3).

Tabela 6.3. Produkcja i przetwarzanie materiałów według PKD

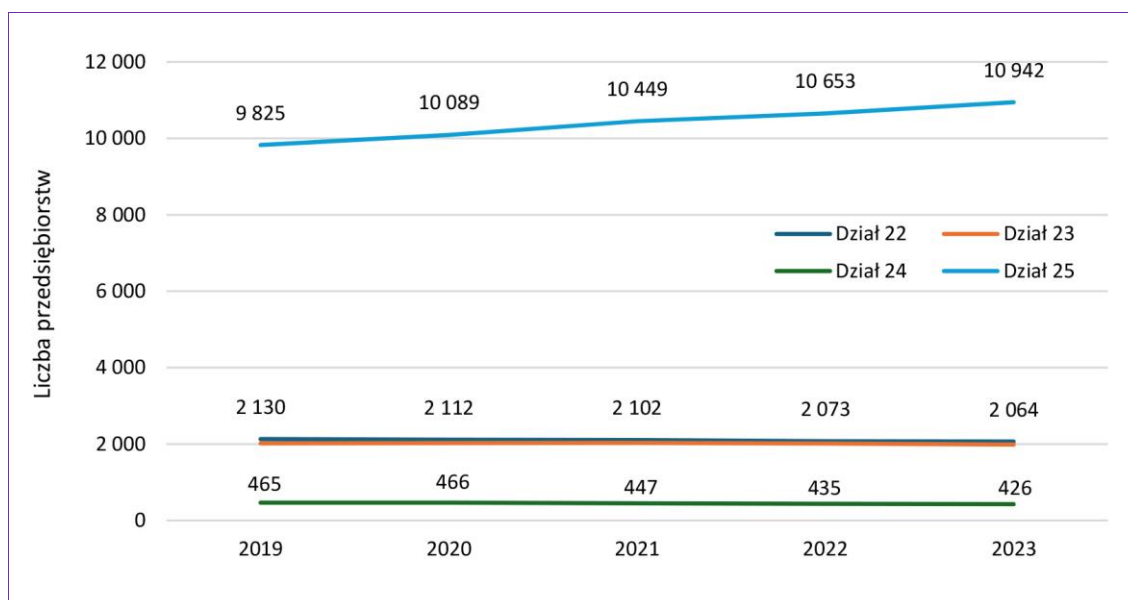
Obszar technologiczny	Produkcja i przetwarzanie materiałów (PPM)		
Obszar technologiczny w ujęciu PKD (sekcje, działy, klasy)	Dział C – Przetwórstwo przemysłowe C.22, C.23, C.24, C.25		
Grupa technologii	Grupa 1 Tworzywa metaliczne	Grupa 2 Tworzywa polimerowe	Grupa 3 Tworzywa ceramiczne
Grupy i klasy według PKD	24.1, 24.2, 24.3., 24.4, 24.5, 25.1, 25.2, 25.4, 25.6, 25.7, 25.9	22.1, 22.2	23.1, 23.2, 23.3, 23.4, 23.6, 23.9

W oparciu o raport Produkcja wyrobów przemysłowych w latach 2019–2023 można stwierdzić, że w 2023 r., w stosunku do 2019 r., wzrost wartości produkcji sprzedanej odnotowano w 24 działach, w tym związanych z badanym obszarem: metale (o 44,8%), wyroby metalowe gotowe, z wyłączeniem maszyn i urządzeń (o 44,3%), wyroby z gumy i tworzyw sztucznych (o 40,4%), papier i wyroby z papieru (o 40,1%), drewno i wyroby z drewna, korka i słomy (o 40,0%), wyroby z pozostałych mineralnych surowców niemetalicznych (o 36,9%).

Woj. śląskie odznacza się znacznymi udziałami w krajowej produkcji sprzedanej w rodzajach produkcji ściśle związanych z badanym obszarem technologicznym. W 2023 r. największą wartość produkcji sprzedanej wyrobów, podobnie jak w ubiegłych latach, zanotowano w woj. mazowieckim – 383 748,8 mln PLN, co stanowiło 21,4% udziału w krajowej wartości produkcji sprzedanej wyrobów. Tak duży udział wynika z faktu, że mieszczą się tu siedziby zarządów wielu działających w Polsce producentów wyrobów. Drugim województwem o znaczącym udziale było woj. śląskie – 276 693,7 mln PLN (15,5% wartości ogółem), a następnie dolnośląskie – 212 923 mln PLN (11,9%), wielkopolskie – 211 073,4 mln PLN (11,8%) i małopolskie – 122 975,9 mln PLN (6,9%). W 2023 r. przedsiębiorstwa z woj. śląskiego miały największy udział w wartości produkcji sprzedanej w skali kraju w działach: węgiel kamienny i brunatny (lignit); metale; pojazdy samochodowe, przyczepy i naczepy; wyroby z pozostałych surowców mineralnych niemetalicznych; wyroby z gumy i tworzyw sztucznych, wyroby metalowe gotowe, z wyłączeniem maszyn i urządzeń; wyroby z pozostałych surowców mineralnych niemetalicznych. W badanym obszarze technologicznym według PKD w Polsce jest zatrudnionych 1 218 187 osób (2022 r.), a w woj. śląskim 258 463 osób, co stanowi 21% wszystkich zatrudnionych w Polsce w badanych sektorach – zdecydowanie najwięcej spośród wszystkich województw w Polsce. W woj. śląskim działa ponad 15,5 tys. przedsiębiorstw związanych z obszarem produkcji i przetwarzania materiałów, co stanowi 13% tych samych PKD w Polsce (rys. 6.1). Liczbę przedsiębiorstw w poszczególnych PKD w woj. śląskim w latach 2019–2023 przedstawia rysunek 6.2.



Rys. 6.1. Liczba przedsiębiorstw w Polsce w wybranych działach PKD w latach 2019–2023 (GUS, 2024)



Rys. 6.2. Liczba przedsiębiorstw w woj. śląskim w działach PKD 22, 23, 24, 25 w latach 2019–2023²³

Mocną stroną woj. śląskiego w zakresie tego obszaru technologicznego jest wieloletnie doświadczenie, wiedza i kompetencje wygenerowane w tych sektorach gospodarki. Nowe wyzwania związane z cyfryzacją, zielonym łańcem, bezpieczeństwem, lokalizacją i społeczeństwem wysokich kompetencji, stawiają podmioty powiązane z tym obszarem technologicznym przed koniecznością wprowadzania często rewolucyjnych zmian.

W oparciu o podział przedstawiony w tabeli 6.2 opisano wyróżnione grupy technologii.

1. Tworzywa metaliczne

Tworzywa metaliczne stanowią podstawową grupę materiałów w inżynierii materiałowej, wyróżniającą się szerokim spektrum zastosowań i unikalnymi właściwościami mechanicznymi, chemicznymi i fizycznymi (García-Rojas i in., 2024). Są to materiały o strukturze krystalicznej lub amorficznej, powstałe z pierwiastków metalicznych lub ich stopów, charakteryzujące się występowaniem wiązań metalicznych (Hawryluk i in., 2024). W literaturze naukowej ich właściwości

²³ Bank Danych Lokalnych GUS, bdl.stat.gov.pl (dostęp: 5.01.2025).

są szczegółowo analizowane pod kątem trwałości zmęczeniowej, która determinuje żywotność elementów narażonych na cykliczne obciążenia (Chmelko i in., 2024; Sawlan, Scavino i Tempone, 2024). Metale i ich stopy powstają w szeregu powiązanych ze sobą procesach technologicznych zwanych procesami metalurgicznymi. Główne działy metalurgii to metalurgia żelaza i metalurgia metali nieżelaznych. W technice znacznie częściej niż metale w stanie czystym, wykorzystuje się stopy metali (tworzywo o właściwościach metalicznych, w którego strukturze metal podstawowy jest osnową, oprócz której występuje przynajmniej jeden składnik dodatkowy nazywany dodatkiem stopowym). Stopy mają lepsze właściwości mechaniczne (zwłaszcza technologiczne), a przez odpowiedni dobór składników stopowych można uzyskiwać materiały o zakładanych właściwościach fizykochemicznych. Wyroby metaliczne znajdują zastosowanie w wielu działach gospodarki, głównie w budownictwie i przemyśle (maszyny i urządzenia, motoryzacja, lotnictwo). Cechy, takie jak wysoka przewodność cieplna i elektryczna, wytrzymałość mechaniczna oraz zdolność do pracy w ekstremalnych warunkach środowiskowych, mają kluczowe znaczenie i sprawiają, że materiały te znajdują zastosowanie w zaawansowanych technologiach (Tatarczak i in., 2017; Chalamet, Rodney i Shibuta, 2023; Loukadakis i Papaefthymiou, 2024). W Polsce większość produkcji (91%) opiera się na tworzeniu stali, czyli stopu żelaza z węglem, który odpowiada za 91% polskiej produkcji metalurgicznej. Na drugim miejscu za stalą plasuje się miedź (7%). Za pozostałe 2% odpowiadają ołów i cynk. Do 2009 r. w Polsce było produkowane również aluminium, ale po zamknięciu huty w Koninie, na terenie naszego kraju nie ma zakładu zajmującego się produkcją tego metalu. Stal jest niezwykle ważnym elementem światowego przemysłu, głównie ze względu na skalę jej produkcji oraz wszechstronność jej zastosowania. Według World Steel Association światowa produkcja stali surowej osiągnęła w 2022 r. 1885 mln t. Przewidywany jest wzrost zapotrzebowania na złom stali i stali nierdzewnej oraz na stal o wysokiej wytrzymałości. Według raportu Instytutu Fundacja Technologii Informacyjnych i Innowacji (ang. Information Technology and Innovation Foundation, ITIF) polski przemysł metalowy jest ponad dwukrotnie silniejszy od średniej światowej w stosunku do wielkości gospodarki, zajmując pierwsze miejsce wśród 40 krajów, przed Włochami i Koreą Południową, które zajmują odpowiednio drugie i trzecie miejsce. Ogromne zapotrzebowanie na stal wiąże się bezpośrednio z postępem technologicznym, jaki nastąpił w ciągu ostatnich 20 lat. W tym czasie powstało aż 75% nowoczesnych rodzajów stali. Dziś jest to już ponad 3500 różnych jej odmian o zróżnicowanych właściwościach. Fakt ten czyni stal niezwykle wszechstronnym składnikiem produkcji różnych wyrobów, poczynając od skalpeli chirurgicznych, przez sprzęty AGD aż do statków towarowych, platform wiertniczych czy samochodów.

Przemysł stalowy znacząco ograniczył zanieczyszczanie środowiska. Dziś do produkcji stali wykorzystuje się o 60% mniej energii niż w latach 60. XX w. Równie istotny jest fakt, że stal w całości można wielokrotnie poddawać recyklingowi bez utraty jej właściwości. Co więcej, innowacyjne, lekkie odmiany stali znacząco pomagają oszczędzać energię i zasoby. To wszystko czyni ją materiałem niezwykle pożądanym w wielu branżach i wpływa na znaczny jej popyt na rynku. Z kolei jednym z głównych czynników napędzających popyt na miedź jest transformacja energetyczna. Do budowy infrastruktury odnawialnych źródeł energii i sieci przesyłowych oraz dalszego rozwoju elektromobilności potrzeba ogromnych ilości tego surowca. Od dawna jest on kluczowym elementem w przeróżnych zastosowaniach przemysłowych. Ma wyjątkową przewodność elektryczną i cieplną, odporność na korozję i jest ciągliwa, czyli można ją rozciągać bez utraty właściwości. Najważniejsze tradycyjne zastosowania miedzi to np. produkcja przewodów elektrycznych, a cała elektronika korzysta z niej do wytwarzania i przesyłania energii. Miedź jako metal o wyjątkowych właściwościach przewodzących, a także srebro, są kluczowymi elementami technologii przyszłości. Miedź jest nazywana „nową ropą naftową”, na którą znaczący popyt przewiduje się ze strony centrów danych, budowanych na potęgę na fali rozwoju sztucznej inteligencji. W centrach danych miedź jest krytycznym elementem radiatorów i systemów chłodzenia, które zarządzają ilością generowanego ciepła. Od miedzi w dużym stopniu zależą też okablowanie i wewnętrzne komponenty serwerów. Szacuje się, że tylko w USA zużycie miedzi w centrach danych wzrośnie z 197 000 t w 2020 r. do 238 000 t w 2030 r. Branża pojazdów elektrycznych ma też coraz większy udział w popycie na miedź. Pojazdy elektryczne wymagają znacznie więcej miedzi niż tradycyjne pojazdy z silnikiem spalinowym.

Szacunki mówią, że przeciętny pojazd elektryczny zawiera do czterech razy więcej miedzi niż pojazd konwencjonalny, głównie w silniku, akumulatorze, elektronice zasilającej i okablowaniu. Ponadto cała infrastruktura związana z pojazdami elektrycznymi, np. stacje ładowania, jest oparta na miedzi. Odnawialne źródła energii – turbiny wiatrowe, panele słoneczne czy systemy magazynowania energii – także wymagają miedzi. Turbiny wiatrowe mają ją w generatorach, transformatorach i okablowaniu. Pojedyncza turbina może zawierać nawet kilka t miedzi. Od miedzi uzależniona jest także fotowoltaika. Miedź jest w ogniowcach, falownikach i w okablowaniu. Wraz z rozwojem technologii magazynowania energii zwiększa się więc popyt na miedź. Nawet do produkcji rakiet balistycznych potrzebna jest miedź.

W kontekście powyższych rozważań należy podkreślić, że woj. śląskie jest silnie uprzemysłowionym regionem Polski o specjalizacjach tradycyjnych (górnictwo, hutnictwo, przemysł maszynowy). W strukturze przemysłu woj. śląskiego ważną rolę odgrywa produkcja metali (12%) oraz produkcja wyrobów z metali (10%). Działa w nim ponad 11 tys. przedsiębiorstw, co stanowi 53% przedsiębiorstw działających w tym obszarze w Polsce (dane za 2022 r., BDL – Baza Danych Lokalnych²⁴).

Tworzywa metaliczne, dzięki swojej wszechstronności i możliwości dostosowania właściwości do specyficznych wymagań aplikacyjnych, pozostają niezastąpionym elementem współczesnych technologii materiałowych (Chen i in., 2022). Wprowadzenie nowych metod badawczych i technologii wytwarzania otwiera kolejne możliwości ich zastosowania w takich dziedzinach, jak: lotnictwo, kosmonautyka, medycyna, energetyka i elektronika czy AI (Cicero, 2024). Dalszy rozwój tych materiałów jest kluczowy dla realizacji strategii gospodarki obiegu zamkniętego oraz wprowadzania innowacji do zrównoważonego przemysłu (Clayton i in., 2023; García-Rojas i in., 2024; Salvati, 2024).

Na etapie diagnozy, w oparciu o badania desk research oraz dyskusje z ekspertami, w grupie technologii tworzyw metalicznych wyróżniono następujące technologie szczegółowe:

- technologie produkcji stali,
- technologie przetwórstwa stali,
- technologie odlewnictwa,
- technologie produkcji metali nieżelaznych i stopów,
- technologie przetwórstwa metali nieżelaznych,
- technologie procesów hydrometalurgicznych,
- technologie konstrukcji metalowych i innych gotowych wyrobów metalowych,
- technologie obróbki metali i nakładania powłok na metale,
- technologie produkcji kompozytów,
- technologie recyklingu odpadów metalicznych.

2. Tworzywa polimerowe

Materiały polimerowe i przemysł przetwórstwa tworzyw sztucznych od ponad stu lat stanowią siłę napędową wzrostu gospodarczego i rozwoju różnych dziedzin technologii i gospodarki. Materiały polimerowe jako komplementarne w stosunku do pozostałych grup materiałów, głównie metalowych, są ciągle rozwijane, m.in. przez modyfikację ich składu w wyniku stosowania dodatków na różnych etapach procesu wytwarzania oraz przez tworzenie nowych lub udoskonalanie powszechnie stosowanych technologii ich przetwórstwa. Obserwuje się stały wzrost produkcji tworzyw sztucznych na rynkach światowych, a także w krajach unijnych, jednak ostatnie lata nie były szczególnie korzystne. Z jednej strony wpływ na to miała pandemia, a z drugiej tzw. dyrektywa plastikowa zakazująca sprzedaży plastikowych: sztućców, kubków, talerzy i słomek do napojów. Europejska branża tworzyw sztucznych, obejmująca zarówno producentów, jak i przetwórców tworzyw sztucznych oraz producentów maszyn wykorzystywanych w ich przetwórstwie, zatrudnia ponad 1,5 mln osób, w prawie 60 tys. przedsiębiorstwach. W Polsce działa około 15 tys. przedsiębiorstw, z czego ponad 2 tys. w woj. śląskim (14% w skali kraju), zatrudnionych jest tam ponad 40 tys. osób, co stanowi 17,5% w skali kraju. Tworzywa polimerowe stanowią kluczowy element współczesnych

²⁴ Bank Danych Lokalnych GUS, bdl.stat.gov.pl (dostęp: 7.01.2025).

technologii, charakteryzujący się wszechstronnością i możliwością dostosowania swoich właściwości do specyficznych zastosowań (Knöbl i in., 2025). Jest to obszerna grupa materiałów o strukturze opartej na długich łańcuchach cząsteczek zwanych polimerami (Klepka, 2014). Powstają one w wyniku polimeryzacji monomerów, co pozwala na uzyskanie różnych właściwości fizycznych i chemicznych, takich jak lekkość, elastyczność, wytrzymałość mechaniczna czy odporność na czynniki chemiczne i biologiczne (Gruin, 2003; Vergos i in., 2024). Polimery obejmują materiały naturalne, takie jak celuloza, białka czy kwasy nukleinowe oraz syntetyczne, które dominują w wielu gałęziach przemysłu, takich jak motoryzacja, budownictwo i medycyna (Gruin, 2003; Gałko i Sajdak, 2022). Najistotniejszą cechą polimerów jest ich modyfikowalność, co pozwala na dostosowywanie ich właściwości do konkretnych zastosowań, od opakowań po zaawansowane technologie inżynieryjne (Stankiewicz i Bojanowska, 2025; Wang i in., 2025).

Znaczenie polimerów widoczne jest w ich wszechstronnym zastosowaniu, obejmującym zarówno produkty codziennego użytku, jak i technologie high-tech. Przykładem są hydrogele, które dzięki swoim właściwościom hydrofilowym i elastyczności znalazły zastosowanie w inżynierii tkankowej oraz biomedycynie (Wu i in., 2024). Ich zdolność do pochłaniania dużych ilości wody i biogodność umożliwiają tworzenie materiałów wspierających regenerację tkanek, np. w rekonstrukcji rogówki (Wu i in., 2024). W stomatologii zastosowanie znajdują polimery, takie jak PMMA, wykorzystywane w technologii druku 3D do produkcji spersonalizowanych protez, które łączą wytrzymałość z biokompatybilnością (Vergos i in., 2024). Ponadto polimery optyczne, takie jak PMMA, poliwęglany czy biodegradowalne poliestry, znalazły zastosowanie w biosensorach monitorujących parametry środowiskowe i biologiczne (Sokołowski i in., 2025). Rozwój technologii sensorowych podkreśla znaczenie polimerów w medycynie, telekomunikacji i ochronie środowiska (Knöbl i in., 2025).

Z kolei materiały, takie jak glikol poli(tereftalanu etylenu) są szczególnie cenione w tej technologii ze względu na swoje właściwości mechaniczne i łatwość przetwarzania (Hepler i Davids, 2024). Wprowadzenie dodatków, takich jak włókna węglowe, pozwala na zwiększenie wytrzymałości i sztywności drukowanych elementów, co znajduje zastosowanie w budownictwie, motoryzacji, medycynie i innych branżach wymagających trwałych komponentów (Hepler i Davids, 2024; Szewczak i Łagód, 2024). Tworzywa polimerowe, takie jak polietylen (PE), polipropylen (PP) czy polistyren (PS), znajdują szerokie zastosowanie w przemyśle motoryzacyjnym, budownictwie oraz elektronice, co wynika z ich niskich kosztów produkcji i odporności na procesy degradacji chemicznej i biologicznej (Gałko i Sajdak, 2022). W branży lotniczej szczególne znaczenie mają kompozyty polimerowe wzmacniane włóknami węglowymi (CFRP), które charakteryzują się wysoką wytrzymałością w stosunku do wagi oraz odpornością na trudne warunki atmosferyczne (Balo i Sua, 2024; Dong i in., 2025). Jednocześnie innowacyjne podejście, takie jak modelowanie termiczne i wykorzystanie algorytmów uczenia maszynowego, umożliwiają optymalizację procesów produkcyjnych oraz ocenę trwałości i uszkodzeń materiałów, co przekłada się na wyższą jakość i funkcjonalność końcowych produktów (Dong i in., 2025).

Mimo licznych zalet tworzyw polimerowych, wyzwania środowiskowe związane z ich masową produkcją są duże. Polimery syntetyczne, ze względu na swoją trwałość, stanowią źródło zanieczyszczeń mikroplastikami, które akumulują się w ekosystemach wodnych i lądowych (Langlet i in., 2024). Rozwiązaniem może być zastosowanie biopolimerów, takich jak polilaktyd (PLA) czy naturalna guma, które są biodegradowalne i przyjazne środowisku (Blakeslee i in., 2024). Technologia pirolizy pozwala na przekształcanie odpadów polimerowych w produkty o wysokiej wartości dodanej, takie jak paliwa, co wspiera zrównoważone zarządzanie odpadami (Gałko i Sajdak, 2022). W rolnictwie tworzywa polimerowe znajdują zastosowanie w powłokach nasion, które chronią je przed szkodnikami i poprawiają właściwości siewne. Biopolimery, takie jak polisacharydy czy białka mogą zastąpić mikroplastiki w tych zastosowaniach, zmniejszając zanieczyszczenie gleby i powietrza (Langlet i in., 2024). W inżynierii nawierzchni drogowych polimery, takie jak STPU oraz IPA1w poprawiają trwałość asfaltów, pozwalając na ich regenerację bez użycia dodatkowych źródeł energii, co ogranicza ślad węglowy (Lv i in., 2024). Hydrogele oparte na żelatynie oferują także unikalne możliwości w biomedycynie, dzięki regulacji właściwości mechanicznych i biodegradowalności (Wu i in., 2024; Zuev i in., 2024). W związku z powyższym, opracowywanie i zastosowanie tworzyw

polimerowych w biokompozytach ma duże znaczenie w kontekście zrównoważonego rozwoju. Dzięki wykorzystaniu włókien naturalnych oraz polimerów biodegradowalnych lub o niskim wpływie środowiskowym, można minimalizować ślad węglowy produkcji. Badania pokazują, że kluczowym wyzwaniem jest poprawa kompatybilności chemicznej między włóknami a polimerami, co można osiągnąć przez modyfikacje chemiczne włókien i optymalizację procesów produkcyjnych. W efekcie tworzywa polimerowe w biokompozytach nie tylko spełniają wysokie standardy techniczne, ale także przyczyniają się do ochrony środowiska, co czyni je fundamentem nowoczesnych technologii materiałowych (Balo i Sua, 2024).

Przemysł tworzyw sztucznych w Polsce jest jednym z najważniejszych sektorów gospodarki, obejmującym zarówno produkcję, jak i recykling. Od codziennych przedmiotów po zaawansowane technologie – tworzywa sztuczne są wszechobecne. Dynamiczny rozwój tej branży nie tylko generuje liczne miejsca pracy, ale także wzmacnia pozycję Polski jako lidera recyklingu w Europie. Rynek tworzyw sztucznych w Polsce zyskuje na znaczeniu, odpowiadając na rosnące zapotrzebowanie na materiały syntetyczne. Branża przynosi korzyści ekonomiczne zarówno pod względem produkcji, jak i recyklingu. Kluczowe regiony, które angażują się w tę działalność, to województwa: mazowieckie, śląskie, kujawsko-pomorskie, małopolskie, lubelskie, podkarpackie oraz opolskie. W woj. śląskim nie działa żaden duży koncern międzynarodowy, ale jest ono istotnym ośrodkiem recyklingowym, z licznymi firmami zajmującymi się przetwarzaniem tworzyw sztucznych.

Na etapie diagnozy, w oparciu o badania desk research oraz dyskusje z ekspertami w grupie technologii, które mają potencjał do rozwoju w woj. śląskim, wyróżniono następujące technologie szczegółowe:

- technologie produkcji wyrobów z gumy,
- technologie produkcji wyrobów z tworzyw sztucznych,
- technologie produkcji kompozytów,
- technologie recyklingu polimerów.

3. Tworzywa ceramiczne

Materiały ceramiczne stanowią zróżnicowaną grupę substancji, definiowaną przez ich niemetaliczny i nieorganiczny charakter oraz wynikające z tego unikalne właściwości fizykochemiczne (Su i in., 2011; González-Angulo i in., 2023). Synteza ceramiki odbywa się głównie w procesach wysokotemperaturowych, umożliwiając formowanie struktur krystalicznych, amorficznych lub hybrydowych (Liu i in., 2023; Mahnicka-Goremikina, 2023). Właściwości, takie jak: wysoka wytrzymałość mechaniczna, twardość, odporność termiczna oraz stabilność chemiczna nadają tym materiałom wyjątkową wszechstronność. Z naukowego punktu widzenia ceramika dzieli się na dwa główne typy: tradycyjną, opartą na naturalnych surowcach, takich jak glina oraz zaawansowaną, obejmującą materiały syntetyzowane, takie jak tlenki (np. Al_2O_3 , ZrO_2) i węgliki (np. SiC) które są projektowane z myślą o precyzyjnych zastosowaniach technologicznych (Abdelkader i in., 2024).

Znaczenie materiałów ceramicznych jest szczególnie widoczne w kontekście nowoczesnych technologii i ich szerokiego zastosowania w przemyśle lotniczym, energetycznym, elektronicznym oraz medycznym (Chung, Im i Park, 2023). Kluczowe właściwości, takie jak odporność na ekstremalne temperatury, korozję oraz zużycie, czynią ceramikę materiałem niezastąpionym w projektowaniu komponentów o wysokiej wytrzymałości mechanicznej, takich jak elementy turbin gazowych, implanty biomedyczne oraz zaawansowane komponenty elektroniczne. W sektorze energetycznym ceramika jest powszechnie stosowana w ogniwach paliwowych, natomiast w medycynie wytwarza się z niej implanty kostne oraz biokompatybilne powłoki (Ekinci, Asuroglu i Acici, 2023). Ponadto rozwój zaawansowanych technik produkcji, takich jak technologie addytywne, pozwala na tworzenie skomplikowanych struktur ceramicznych, których wytwarzanie tradycyjnymi metodami byłoby znacznie utrudnione ze względu na kruchość i wysoką twardość tych materiałów (Giniyatova i in., 2023).

Wykorzystywanie zaawansowanych tworzyw ceramicznych w różnych branżach można określić rewolucją technologiczną. Materiały te są projektowane tak, aby spełniać specyficzne wymagania związane z ich różnorodnym zastosowaniem (Matizamhuka, 2018; Aoki, Masuda i Yoshida, 2023).

W przeciwieństwie do konwencjonalnej ceramiki, zaawansowana ceramika charakteryzuje się wyjątkowymi właściwościami: mechanicznymi, termicznymi, elektrycznymi i chemicznymi, co czyni ją niezastąpioną w nowoczesnych osiągnięciach technologicznych (Han i in., 2023).

Zastosowania ceramiki nie ograniczają się wyłącznie do przemysłu zaawansowanych technologii. Ze względu na właściwości, takie jak nietoksyczność, możliwość recyklingu i redukcji odpadów, materiały ceramiczne odgrywają istotną rolę w promowaniu zrównoważonego rozwoju (Cerame Unie, 2021). Ich wykorzystanie w takich obszarach, jak lekkie kruszywa ceramiczne czy ogniwa paliwowe z tlenkiem stałym, wspiera działania na rzecz poprawy efektywności energetycznej oraz ochrony środowiska. Jednocześnie interdyscyplinarność badań nad ceramiką, uwzględniająca różnorodność potrzeb przemysłowych i regionalnych, podkreśla globalne znaczenie tych materiałów oraz ich zdolność do adaptacji w obliczu współczesnych wyzwań technologicznych i ekologicznych (Matizamhuka, 2018).

Polska po Hiszpanii i Włoszech jest największym producentem płytek ceramicznych w Europie, a polska ceramika użytkowa jest ceniona na świecie przez miłośników porcelany. Należy podkreślić, że region śląski jest najbogatszym w kraju regionem w zakresie źródła pozyskiwania surowca dla produkcji materiałów ceramicznych, znajduje się tam bowiem kilka kopalni dolomitu. Niewątpliwą zaletą jest produkcja szkła, która dynamicznie rozwija się w Polsce (Polska jest piątym producentem szkła w Europie), szczególnie na terenie woj. śląskiego. Szkło jako materiał o wyjątkowych właściwościach optycznych i mechanicznych zyskuje również coraz większe znaczenie w budownictwie. Jego zastosowanie w architekturze pozwala na tworzenie nowoczesnych i estetycznych budynków, które jednocześnie spełniają wysokie standardy bezpieczeństwa. Z kolei szklane opakowania stają się kluczowym elementem zrównoważonego rozwoju, a ich popularność wśród konsumentów i producentów rośnie z dnia na dzień. W związku z nowymi regulacjami, które zostały przyjęte przez Radę Unii Europejskiej, szklane opakowania stają się jeszcze bardziej pożądane, a ich wybór ma ogromne znaczenie w kontekście przyszłości naszej planety. W dniu 16.12.2024 r. Rada Unii Europejskiej formalnie przyjęła przepisy dotyczące opakowań i odpadów opakowaniowych, które mają na celu ograniczenie ilości odpadów, promowanie gospodarki obiegu zamkniętego oraz wspieranie działań proekologicznych. Zgodnie z tymi przepisami, do 2030 r. wszystkie opakowania muszą być przystosowane do ekonomicznego recyklingu, co oznacza, że producenci muszą dostosować swoje procesy do najnowszych standardów, aby zmniejszyć wpływ produkcji opakowań na środowisko. Ponadto do 2030 r. zostaną zakazane niektóre rodzaje opakowań jednorazowych, np. lekkie torby plastikowe czy jednorazowe pojemniki na żywność. Szkło, dzięki swoim unikalnym właściwościom, idealnie „wpasowuje się” w te zmiany. Posiada wiele zalet, które sprawiają, że jest jednym z najbardziej ekologicznych materiałów na rynku opakowaniowym. W regionie działa ponad 2 tys. przedsiębiorstw (10% w skali kraju) i zatrudnionych jest ponad 22 tys. osób, co stanowi 15% w skali kraju.

Na etapie diagnozy, w oparciu o badania desk research oraz dyskusje z ekspertami w grupie technologii, które mają potencjał do rozwoju w woj. śląskim wyróżniono następujące technologie szczegółowe w grupie technologii wyrobów ceramicznych:

- technologie produkcji i obróbki szkła,
- technologie produkcji wyrobów ogniotrwałych,
- technologie produkcji ceramicznych wyrobów budowlanych,
- technologie produkcji wyrobów z porcelany i ceramiki,
- technologie produkcji włókien światłowodowych,
- technologie produkcji kompozytów.

Podsumowując, do dalszych badań wybrano trzy grupy technologii – tworzywa metaliczne, polimerowe i ceramiczne, dla których wskazano bardziej szczegółowe technologie (tab. 6.4).

Tabela 6.4. Grupy technologii i technologie w obszarze produkcji i przetwarzania materiałów poddane analizie

Obszar technologiczny	Produkcja i przetwarzanie materiałów (PPM)		
Grupa technologii	Grupa 1	Grupa 2	Grupa 3
Technologie	Tworzywa metaliczne	Tworzywa polimerowe	Tworzywa ceramiczne
	5.1.1. technologie produkcji stali	5.2.1. technologie produkcji wyrobów z gumy	5.3.1. technologie produkcji i obróbki szkła
	5.1.2. technologie przetwórstwa stali	5.2.2. technologie produkcji wyrobów z tworzyw sztucznych	5.3.2. technologie produkcji wyrobów ogniotrwałych
	5.1.3. technologie odlewnictwa	5.2.3. technologie produkcji kompozytów	5.3.3. technologie produkcji ceramicznych wyrobów budowlanych
	5.1.4. technologie produkcji metali nieżelaznych i stopów	5.2.4. technologie recyklingu polimerów	5.3.4. technologie produkcji wyrobów z porcelany i ceramiki
	5.1.5. technologie przetwórstwa metali nieżelaznych		5.3.5. technologie produkcji włókien światłowodowych
	5.1.6. technologie procesów hydrometalurgicznych		5.3.6. technologie produkcji kompozytów
	5.1.7. technologie konstrukcji metalowych i innych gotowych wyrobów metalowych	—	
	5.1.8. technologie obróbki metali i nakładania powłok na metale		—
	5.1.9. technologie produkcji kompozytów		
5.1.10. technologie recyklingu odpadów metalicznych			

6.1.3. Analiza konkurencyjności obszaru technologicznego

6.1.3.1. Opis przyjętych metod

Wśród metod oceniających konkurencyjność regionów czy sektorów prym wiedzie podejście Michaela Portera, który w swych pracach podkreślał znaczenie kształtowania i rozwoju konkurencyjności nie tylko przedsiębiorstw, ale również branż i gospodarek narodowych. Postrzega on przy tym konkurencyjność (i ocenę atrakcyjności) gospodarek narodowych jako zbiór konkurencyjnych branż (Porter, 1998). Oznacza to, że konkurencyjność opiera się na analizie przyczyn jej kształtowania się na poziomie mezoekonomicznym. Oceniając gospodarkę danego kraju autor ten podkreśla konkurencyjność poszczególnych przemysłów, a nie pojedynczych przedsiębiorstw. Zakłada przy tym, że siła przedsiębiorstw w układzie branżowym jest elementem składowym konkurencyjności danej gospodarki. Popularność podejścia Portera zaowocowała szeroką dyskusją na temat uwarunkowań determinujących rozwój branż, technologii, regionów czy gospodarek narodowych. Noblista Krugman koncentruje swoją uwagę na tzw. efektach zewnętrznych, a wśród źródeł konkurencyjności regionów rozróżnia czynniki fundamentalne, tj. podstawowe warunki zastane oraz korzyści zewnętrzne związane z działalnością i specjalizacją na danym terytorium (Krugman, 1979). Są to tzw. absolutne przewagi regionu (ang. *regional absolute advantages*), czyli czynniki specyficzne tylko dla danego obszaru. Przykładem czynników fundamentalnych mogą być: dobrze wykształcone społeczeństwo lokalne jako wynik silnej tradycji, dobra jakość edukacji, lokalna kultura przedsiębiorczości, naturalne zasoby i klimat, trwałe różnice w polityce publicznej, takie jak różnice w stawkach podatkowych i jakości infrastruktury. Z tego punktu widzenia Krugman (1979) podkreśla, że konkurencyjność regionu nie jest jedynie wypadkową wyników działalności gospodarczej poszczególnych przedsiębiorstw zlokalizowanych w regionie, ale czymś wynikającym ze specyficznych uwarunkowań danego regionu, wpływających na konkurencyjność wszystkich zlokalizowanych w nim podmiotów. Kluczowa w tym zakresie jest polityka gospodarcza i społeczna regionu.

Cennymi modelami, które pozwalają nie tylko ocenić atrakcyjność regionu, ale również technologii, są model diamentu (rombu) (Porter, 1990) i model emerald (szmaragdu) (Akpınar, Can i Mermercioglu, 2015). Model diamentu oceny przewagi konkurencyjnej opiera się na ocenie czterech grup czynników:

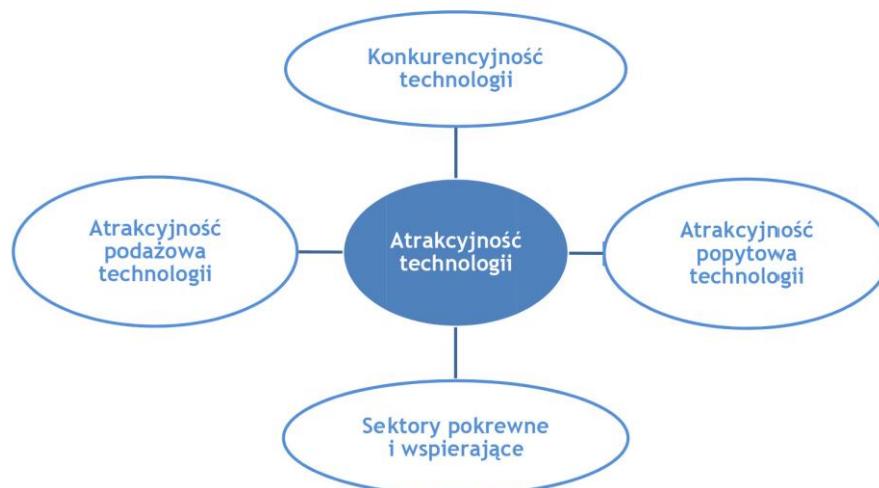
- czynników produkcji – pozycja zajmowana przez dany kraj/region pod względem czynników produkcji, takich jak wykwalifikowana siła robocza lub infrastruktura, niezbędnych do konkurowania w danym sektorze,
- czynników popytu – charakter krajowego/regionalnego popytu na produkty sektora/technologii,
- sektory pokrewne i wspierające – obecność lub nieobecność w danym kraju/regionalnym sektorów zaopatrzeniowych i innych pokrewnych, konkurencyjnych w skali międzynarodowej,
- strategia, struktura i rywalizacja firm – warunki w danym kraju/regionalnym wyznaczające sposób tworzenia i organizowania firm oraz zarządzania nimi.

Porter uzupełnił ten model o dwie kolejne grupy czynników, które bezpośrednio oddziałują na cztery podstawowe: „rząd” (państwo) i „przypadek” (szansa). Podobne rozwiązanie zaproponowali Sasson i Reve (2012). Opracowali oni model szmaragdu – sześciopłaszczyznowy system pomiaru atrakcyjności przemysłowej i regionalnej. Badania koncentrowały się na ocenie czynników z punktu widzenia rozwoju klastra. W modelu wyróżnia się sześć płaszczyzn: atrakcyjność edukacyjną, atrakcyjność talentów, atrakcyjność badawczo-rozwojową i innowacyjną, atrakcyjność własności, atrakcyjność środowiska i atrakcyjność klastra. Wszystkie te płaszczyzny tworzą środowisko, w którym może/lub nie rozwijać się określony klastr czy sieć współpracy.

Modele diamentu i szmaragdu stały się podstawą oceny atrakcyjności i konkurencyjności obszaru technologicznego: produkcja i przetwarzanie materiałów. Obie koncepcje mogą koncentrować się na różnej liczbie czynników wymagających oceny eksperckiej w oparciu o dane ilościowe i badania jakościowe. Powodów, dla których wykorzystano modele diamentu i szmaragdu do badań jest kilka (Dohn i in., 2019):

- obie koncepcje operują pojęciem atrakcyjności branży, regionu czy technologii, co stało się podstawą badań,
- połączenie perspektyw obu koncepcji daje szersze możliwości badawcze dla pomiaru konkurencyjności regionu z perspektywy rozwoju nie jednego, a kilku sektorów/grup technologii,
- w ocenie wykorzystano zarówno dane ilościowe, jak i oceny eksperckie,
- elastyczność koncepcji pozwala na elastyczny dobór czynników i sposobów ich oceny.

Badania przeprowadzono ostatecznie dla czterech grup czynników, które mają wpływ na przyszły rozwój technologii (atrakcyjność technologii) w obszarze produkcji i przetwarzania materiałów. Przyjęto, że atrakcyjność technologii rozumie się jako atrakcyjność produktów uzyskiwanych z wykorzystaniem tych technologii (rys. 6.3):



Rys. 6.3. Model oceny atrakcyjności technologii. Oprac. na podst.: (Porter, 1990; Dohn i in., 2019)

- atrakcyjność popytowa technologii – oceniająca charakter i zakres regionalnego/krajowego/światowego popytu na produkty wskazanych technologii,
- atrakcyjność podażowa technologii – oceniająca charakter i zakres zasobów materialnych i niematerialnych pozwalających na stworzenie, komercjalizację i rozwój technologii,
- konkurencyjność technologii – ocena poziomu konkurencyjności technologii,
- rozwój sektorów/technologii pokrewnych i wspierających – opisuje trendy i rozwój sektorów i technologii, które w istotny sposób wpływają na przyszłość badanych technologii.

Czynniki opisujące poszczególne grupy w modelu oceny atrakcyjności technologii zostały przedstawione w tabeli 6.5.

Tabela 6.5. Czynniki opisujące model atrakcyjności technologii

Grupa czynników		Szczegółowe czynniki oceny
Atrakcyjność popytowa technologii	–	istniejące i przyszłe rynki zbytu na technologie
	–	wielkość i charakter popytu na technologie
	–	znajomość aktualnej sytuacji i zdolność do programowania zmian na obsługiwanym rynku
	–	znajomość potrzeb, preferencji i zachowań klientów oraz zdolność do ich przewidywania
	–	możliwość kształtowania relacji prosumenckich
	–	możliwość wykorzystania innowacji tworzonych przez klientów
	–	możliwość szerokiego rozpowszechniania i wykorzystywania wyników
Atrakcyjność podażowa technologii	–	prawdopodobieństwo absorpcji technologii w nowo tworzonych gałęziach przemysłu
	–	dostępność surowcowa
	–	dostępność i ceny mediów energetycznych
	–	możliwość autarkii energetycznej
	–	integracja łańcuchów dostaw
	–	dostęp do źródeł zaopatrzenia
	–	infrastruktura badawcza i jej dostępność
	–	możliwość wykorzystania potencjału naukowego, aparaturowego oraz przemysłowego regionu
	–	atrakcyjność B + R + I (poziom i wzrost inwestycji w badania i rozwój oraz personelu badawczo-rozwojowego, poziom i rozwój publikacji naukowych oraz rejestracja patentów w badanym obszarze)
	–	kapitał ludzki (dostępność, wykształcenie)
	–	atrakcyjność edukacji na poziomie zawodowym i specjalistycznym
Konkurencyjność technologii	–	dostęp do talentów i wysoko wykwalifikowanych specjalistów
	–	dogodność lokalizacji
	–	poziom kosztów pracy
	–	klimat inwestowania
	–	wpływ rozwoju technologii na wzrost inwestycji prywatnych w B + R
	–	możliwość budowania strategii błękitnego oceanu (nowy produkt, nowa wartość, nowe potrzeby, minimalne koszty)
	–	obecność silnych konkurentów
	–	skłonność do aktywnej rywalizacji i lub kooperacji
	–	skłonność do zmian systemów zarządzania i modeli biznesu
	–	możliwość pojawienia się technologii konkurencyjnych
	–	odporność modeli biznesu przedsiębiorstw wdrażających technologie w badanym obszarze
	–	możliwość rozwoju zdolności produkcyjnych
	–	wpływ rozwoju technologii na możliwość tworzenia mocnej pozycji konkurencyjnej przedsiębiorstw w regionie
	–	konkurencyjność technologii względem dostępnych rozwiązań (patentów)
	–	efektywność ekonomiczna (w tym stopa zwrotu z inwestycji)
	–	wpływ rozwoju technologii na atrakcyjność inwestycyjną regionu (przyciąganie nowych znaczących inwestorów)
	–	znaczenie zrównoważonego rozwoju w rozwoju technologii
	–	nowi konkurenci, imitowalność, substytuty
	–	zakres umiędzynarodowienia technologii
Rozwój sektorów/technologii	–	wpływ rozwoju technologii na tworzenie nowych miejsc pracy
	–	pobudzanie przedsiębiorczości, w tym MŚP, spin-off lub start-up
	–	prawdopodobieństwo absorpcji technologii w istniejącym przemyśle regionu
	–	marża pokrycia kosztów
	–	poziom kosztów zmiennych i stałych
Rozwój sektorów/technologii	–	dominujące sektory wspierające rozwój technologii
	–	możliwość rozwoju sektorów pokrewnych i wspierających

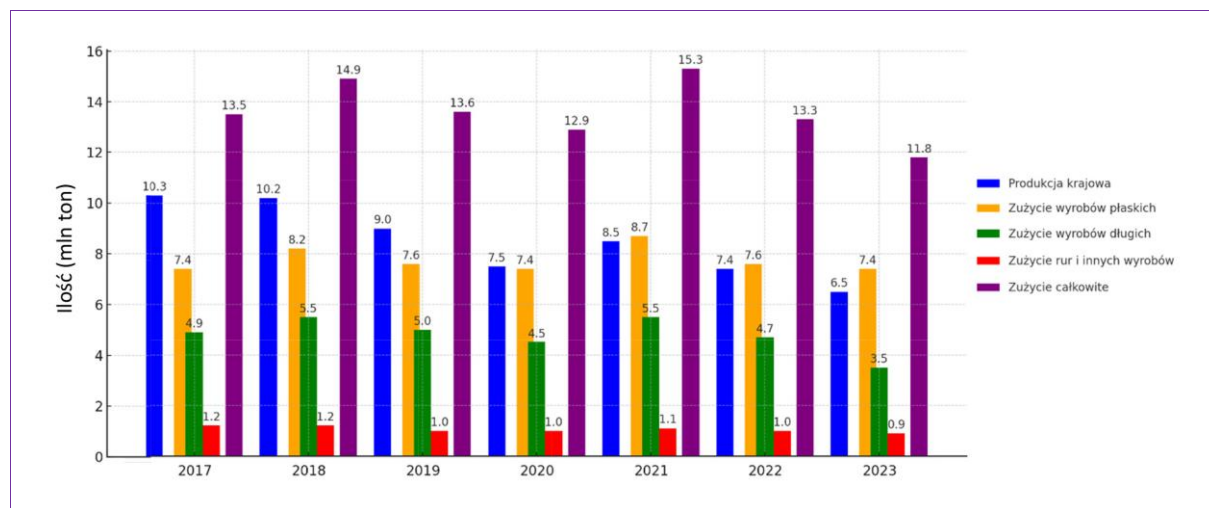
Grupa czynników	Szczegółowe czynniki oceny
pokrewnych i wspierających	– znaczenie automatyzacji i AI w rozwoju technologii
	– istniejące oraz rozwijające się ekosystemy innowacji
	– możliwość łatwej komercjalizacji
	– obecność instytucji otoczenia biznesu
	– zdolność do generowania nowych produktów i technologii
	– rozwój technologii komplementarnych
	– rozwój gospodarki cyfrowej i Przemysłu 4.0
	– rozwój sektora energetycznego

Zaprezentowane w tabeli 6.4 czynniki stanowią ramy dla opisu i oceny atrakcyjności technologii. Oznacza to, że nie podjęto się szczegółowej oceny każdego z nich, ale zaprezentowane opisy zawierają odniesienia do nich.

6.1.3.2. Atrakcyjność popytowa technologii produkcji i przetwarzania materiałów

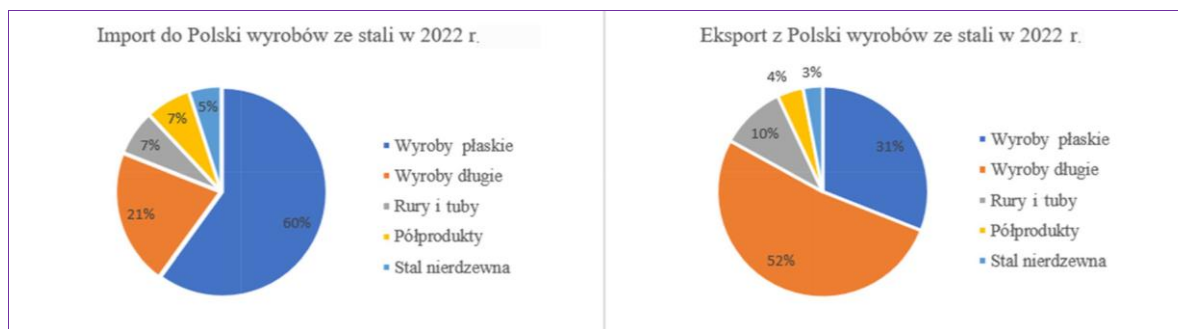
Badania atrakcyjności popytu na technologie (produkty) w ramach obszaru technologicznego produkcji i przetwarzania materiałów zostały omówione w odniesieniu do trzech wskazanych grup technologicznych: tworzywa metaliczne, polimerowe, ceramiczne. Dodano również rozwój tworzyw kompozytowych.

Prognozy Europejskiej Agencji Środowiskowej przewidują, że do 2050 r. popyt na stal wzrośnie o ponad 1/3. Rynki zbytu tworzyw metalicznych mają w dużym stopniu charakter globalny. Dotyczy to tzw. wyrobów surowych i niskoprzetworzonych, takich jak: wlewki i odlewy metali, blachy, pręty, rury, szyny, kable i folie. Inny charakter, bo krajowy, regionalny czy nawet lokalny, mają rynki zbytu na wyroby metalowe wysokoprzetworzone, np.: zamawiane wyroby obrabiane mechanicznie czy złożone odlewy, a przede wszystkim usługi przemysłowe (produkcyjne), takie jak: odlewnictwo, obróbka plastyczna, obróbka skrawaniem, nakładanie powłok. Najważniejsze z tworzyw metalicznych są produkty ze stali, odlewy, produkty z metali nieżelaznych, tj. miedzi i aluminium. Klientami zainteresowanymi tworzywami metalicznymi są przedsiębiorstwa działające w kraju i za granicą. W przypadku wyrobów stalowych (stali) popyt krajowy znacznie przewyższa produkcję krajową, co przedstawiono na rysunku 6.4.



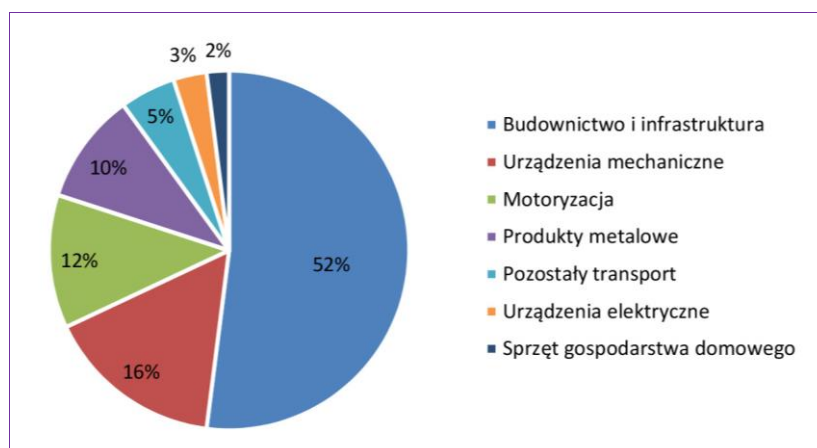
Rys. 6.4. Produkcja i zużycie stali w Polsce (2017–2023) (Bukowski i Bocian, 2024)

Analizując przedstawione dane można zauważyć zwiększający się udział wyrobów płaskich w konsumpcji stali. Od wielu lat obserwuje się dużą lukę podażową – popyt na stal w Polsce jest niemal dwukrotnie wyższy od produkcji (podaży). Import stali w 2022 r. wynosił 11 935 768 t, a eksport to 4 904 409 t. Strukturę eksportu i importu przedstawiono na rysunku 6.5.

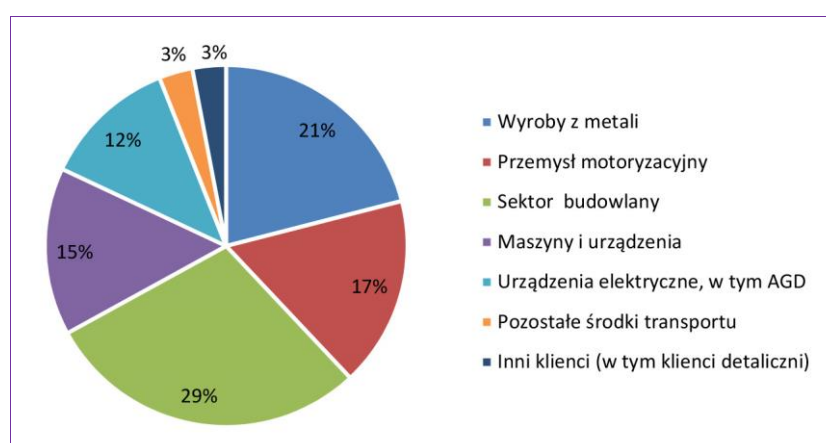


Rys. 6.5. Import i eksport wyrobów ze stali w 2022 r. (Bukowski i Bocian, 2024)

Główne kierunki importu to: Niemcy (24%), Włochy (9%), Czechy (9%), Ukraina (8%) i Słowacja (8%). Import z Chin to 1,1% całego importu stali do Polski. Z kolei eksport polskiej stali trafia do: Niemiec (28%), Czech (28%), Słowacji (8%), Włoch (5%) oraz Węgier (5%). Spadek produkcji stali w Polsce i relatywnie duża wielkość jej eksportu oznacza, że aktualna sytuacja na polskim rynku to dominacja dostawców stali z Europy, popyt na stal tylko w 16,3% zaspokojony jest przez przemysł krajowy. Popyt na stal jest wynikiem jej stosowania w różnych sektorach gospodarki. Na rysunkach 6.6 i 6.7 przedstawiono strukturę konsumpcji (popytu) na stal w Polsce i na świecie.



Rys. 6.6. Rynek (odbiorcy) wyrobów stalowych na świecie (Bukowski i Bocian, 2024)

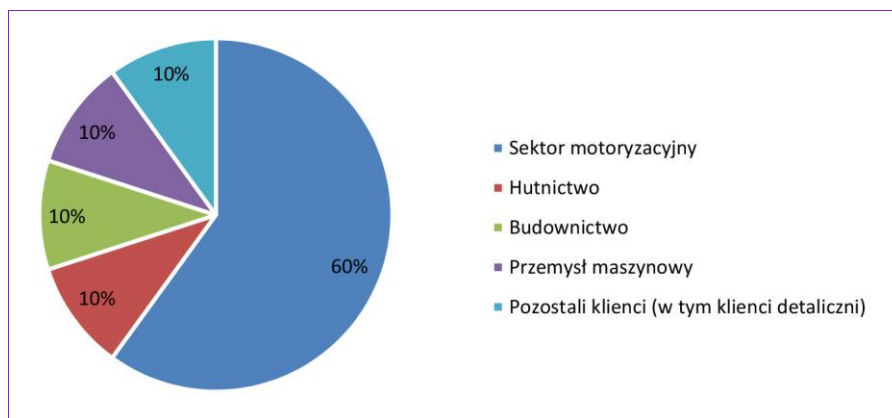


Rys. 6.7. Rynek (odbiorcy) wyrobów stalowych w Polsce (Bukowski i Bocian, 2024; GUS, 2024)

Zdecydowanie największy popyt na wyroby stalowe notowany jest w budownictwie i infrastrukturze (od 29% do 51%). Stal jest podstawowym materiałem przy budowie: domów, mostów, dróg, tuneli, trakcji szynowych innych obiektów infrastrukturalnych. Najczęściej wykorzystywanymi elementami stalowymi w tej gałęzi przemysłu są: pręty zbrojeniowe, kształtowniki (profile), płaskowniki, bednarki, blachy, blachy profilowane, rury stalowe i stalowe wyroby tłoczone. W sektorze drogowym stal jest

przede wszystkim wykorzystywana przy konstrukcjach drogowo-mostowych (pręty, przęsła mostów itd.). Mosty ze stali stanowią na razie tylko około 12% polskich konstrukcji tego typu, a poza mostami, materiał ten używany jest do budowy barier drogowych, barier mostowych, barieroporęczy i ekranów akustycznych. Pozyskanie środków finansowych KPO, rozwój budownictwa oraz program rozwoju infrastruktury (w tym CPK) wpływają na dynamiczny wzrost popytu w tym sektorze. To właśnie tam polscy producenci powinni się wykazywać zdolnością do programowania zmian na obsługiwanym rynku, znajomością potrzeb, preferencji i zachowań klientów oraz zdolnością ich przewidywania, a także wykorzystywania innowacji tworzonych przez klientów. Kolejnym odbiorcą stali są producenci urządzeń mechanicznych – odpowiadają za 15–16% globalnego zużycia stali. Jest ona wykorzystywana do produkcji urządzeń przemysłowych, maszyn rolniczych oraz w energetyce (np. turbiny wiatrowe) zarówno jako elementy konstrukcyjne, jak i części mechaniczne. Popyt w tym sektorze trzeba ocenić jako rosnący. Przemysł motoryzacyjny zużywa 12–17% światowej produkcji stali, która jest tworzywem do produkcji karoserii, układów jezdnych, zawieszenia osi, elementów silników i wielu innych komponentów pojazdów. Popyt w tym sektorze należy uznać za stabilny. W Polsce funkcjonuje 16 fabryk tego sektora (produkujących samochody, autobusy, ciężarówki). Sektor wyrobów metalowych odpowiada za 10% globalnego zużycia stali. Wykorzystuje się ją m.in. do produkcji rur, blach, prętów, elementów konstrukcyjnych, a także wielu rodzajów narzędzi oraz do wielu komponentów stosowanych w przemyśle zbrojeniowym. Ze względu na nową politykę bezpieczeństwa UE, w tym w szczególności naszego kraju, popyt w tym sektorze będzie mocno wzrastał. W tej grupie klientów istnieją możliwości kształtowania relacji prosumenckich z zastosowaniem CRM (ang. *customer relationship management*) (znajomość potrzeb, preferencji i zachowań klientów oraz zdolność do ich przewidywania) oraz wykorzystywania innowacji tworzonych przez klientów. W zasadzie dotyczy to wszystkich producentów tworzyw będących przedmiotem projektu. Pozostałe sektory wykorzystujące stal obejmują transport i urządzenia elektryczne. Sektor ten zużywa 3–5% produkowanej stali, która jest ważnym materiałem w konstrukcji kadłubów statków, wagonów kolejowych i innych pojazdów specjalistycznych. Przykładem urządzeń elektrycznych, w których stal jest stosowana najczęściej, są pralki, lodówki i inne urządzenia kuchenne. Jest ona składnikiem elementów konstrukcyjnych jak obudowy urządzeń gospodarstwa domowego czy ich elementy mechaniczne (np. bębny pralek). Sektor ten zużywa 5–12% produkcji stali.

Ważną grupę tworzyw metalicznych stanowią odlewy. Całkowita ich produkcja w Polsce w 2022 r. wyniosła 749 725 t i była niższa o 15% w porównaniu z 2021 r. Jeśli chodzi o strukturę produkowanych odlewów na polskim rynku, to jest ona niezmienna już od dłuższego czasu. Dominują odlewy żeliwne (produkcja w 2022 r. wynosiła 333 540 t), aluminiowe (252 008 t) i z żeliwa sferoidalnego (114 886 t). Duża część produkcji polskich odlewni trafia na eksport: w przypadku odlewów żeliwnych – 49%, odlewów staliwnych – 40%, a odlewów metali nieżelaznych – 45%. Uwzględniając z kolei import, popyt krajowy można oceniać na około 600 tys. t odlewów. Strukturę ich zapotrzebowania przedstawiono na rysunku 6.8.



Rys. 6.8. Rynek (odbiorcy) odlewów w Polsce (EFF, 2023)

Odlewy z żeliwa wykorzystuje się do produkcji m.in. bębnow hamulcowych, korpusów sprężarek, bloków i obudów silników, obudów przekładni i turbin, elementów konstrukcyjnych maszyn obróbczych, tulei oraz kołnierzy pomp i zaworów, a także elementów armatury przemysłowej. Z kolei odlewy stalowe stosuje się np. jako elementy konstrukcyjne i podzespoły maszyn górniczych, a także elementy: armatury przemysłowej, kół zębatach, obudowy przekładni, ogniwo gąsienic i innych części maszyn i urządzeń.

Miedź i aluminium należą do kluczowych metali wykorzystywanych we współczesnej gospodarce. Popyt na miedź stale rośnie, obecnie na świecie wynosi około 25 mln t. Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy szacuje, że w 2035 r. poziom zapotrzebowania na miedź na świecie i w Polsce będzie dwukrotnie wyższy od obecnego. Dodatkowym czynnikiem wpływającym na stale rosnący popyt na ten surowiec jest postęp prac badawczych oraz rozwój innowacji technologicznych w energetyce, technologiach komunikacyjnych i informacyjnych (ang. *information and communications technology*, ICT) i sztucznej inteligencji (ang. *artificial intelligence*, AI).

Polska jest jednym z głównych producentów miedzi elektrolitycznej w UE, wielkość produkcji (2023 r.) to około 600 tys. t, w tym około 70% stanowi eksport. Uwzględniając 118 tys. t importu, popyt krajowy można oszacować na około 300 tys. t. Wynika on z większego zastosowania tego metalu w gospodarce, które przedstawia się następująco:

- w sektorze elektrycznym i energetycznym (elektrownie wiatrowe, słoneczne, transformatory i generatory elektryczne) – 39%,
- w budownictwie (rurociągi, oświetlenie, klimatyzatory, dachy) – 31%,
- w telekomunikacji (przewody, złącza komputerowe) – 11%,
- w przemyśle motoryzacyjnym (samochody osobowe i ciężarowe, pociągi, samoloty) – 10%,
- w odlewnictwie i mennictwie – 9%.

Potencjał surowcowy polskiego rynku miedziowego oraz coraz szerszy obszar zastosowania miedzi stanowią o dużych możliwościach pozyskiwania klientów w regionie, kraju i na świecie. Są to odbiorcy wysoko przetworzonych wyrobów z miedzi, jej stopów oraz kompozytów (np. miedź-grafen). Produkty te znajdują zastosowanie w innowacyjnych sektorach, takich jak energetyka odnawialna i jądrowa, technologie informacyjno-komunikacyjne (ICT) oraz Przemysł 4.0. Na tym rynku w przyszłości będą kształtowane relacje prosumenckie stosowania CRM oraz wykorzystania innowacji tworzonych przez klientów.

Tworzywem metalicznym, którego popyt jest ustabilizowany, jest aluminium. W tabeli 6.6 przedstawiono zużycie aluminium w Polsce w latach 2020–2024 z podziałem na grupy wyrobów.

Tabela 6.6. Zużycie (popyt) na aluminium w Polsce w latach 2020–2024 [tys. t] (NS Raport, 2024)

Wyszczególnienie	2020	2021	2022	2023	2024
Wyroby aluminiowe (łącznie)	1232	1417	1280	1219	1210
Wyroby długie	274	372	258	314	321
Wyroby płaskie	416	451	422	331	352
Odlewy	422	465	467	459	412

Polska wyeksportowała 314 tys. t wyrobów aluminiowych, importując 557 tys. t, produkcja krajowa wynosiła około 1080 tys. t. Łukę podażową szacuje się na około 550 tys. t. Popyt na aluminium wynika z jego szerokiego zastosowania. To jeden z najpowszechniej wykorzystywanych metali we współczesnym świecie. Dziś bez aluminium trudno sobie wyobrazić jakąkolwiek branżę przemysłu czy sferę życia. Za około 35% zużycia aluminium w Polsce odpowiada motoryzacja, budownictwo jest konsumentem około 20% tego metalu, energetyka – 18%, ponadto zużywany jest on w przemyśle opakowań, maszynowym oraz dóbr powszechnego użytku. Nowe zastosowania metal ten znajduje w urządzeniach odnawialnej energetyki, ICT oraz kompozytach. Analizując przedstawione informacje można stwierdzić, że popyt na wyroby aluminiowe na rynku krajowym i europejskim jest rosnący, nowi klienci pojawiają się zarówno w Polsce, jak i na rynku UE, co wynika z kierunków zastosowania tego metalu.

Produkcja tworzyw sztucznych w Polsce stanowi kluczowy sektor przemysłu. Obejmuje materiały, które nas codziennie otaczają, począwszy od opakowań, aż po technologicznie zaawansowane komponenty. Polska odgrywa istotną rolę w tej branży, będąc jednym z głównych centrów recyklingu w Europie. Przemysł ten wykazuje dynamiczny wzrost, a liczba firm i osób tam zatrudnionych stale rośnie. Zużycie, a więc popyt na te tworzywa przekroczył 3,5 mln t. Polska wyeksportowała (2023) 2279 tys. t tworzyw sztucznych, głównie do Niemiec (28%) oraz Czech, Francji i Włoch (po 7%). Import wynosi 2081 tys. t, głównie z Niemiec (29%), Chin (13%), Włoch (8%) i Francji (8%). Przewiduje się wzrost popytu na tworzywa sztuczne w UE w ciągu 10 lat o 40–50%, co wynika z ich szerokiego zastosowania. Obecnie największym konsumentem tworzyw sztucznych jest przemysł opakowań (34%) i budownictwo (19%). Pozostałe to: motoryzacja (11%), AGD (6%), elektronika i energetyka (8%), rolnictwo i ogrodnictwo (5%) oraz inne (17%). Produkcja tworzyw sztucznych w Polsce (2023) kształtuje się na poziomie 3700 tys. t, uwzględniając zapotrzebowanie i relacje eksport-import, luka podażyowa rynku krajowego wynosi 2100 tys. wyrobów z tworzyw sztucznych.

Tworzywa ceramiczne stanowią bardzo różnorodną grupę produktów. Do analizy popytowej, uwzględniając działalność przedsiębiorstw woj. śląskiego, wybrano dwa produkty – porcelanę i szkło. W pierwszym przypadku klientami są sieci detaliczne i hurtownie. W Polsce produkuje się (2022 r.) około 20 tys. t porcelany, z czego 65% zostało wyeksportowane głównie do Niemiec (36%), Francji (9%) i Holandii (6%). Na polski rynek trafiło prawie 28 tys. t porcelany z Chin, 4 tys. t z Niemiec i 0,7 tys. t z Holandii. Popyt na porcelanę można uznać za stabilny, mało rozwojowy dla polskich produktów i szacować go na 40 tys. t. Inna sytuacja jest w przypadku szkła. Zapotrzebowanie na szkło w Polsce ciągle rośnie – konsumpcja opakowań szklanych kształtowała się na poziomie (2023 r.) 1,2 mln t, a w przypadku szkła płaskiego i gospodarczego (naczynia szklane) 1,9 mln t. Duży eksport szkła – około 0,5 mln t powoduje lukę podażyową wypełnioną importem. O rosnącym popycie na szkło decyduje jego zastosowanie, i tak szkło płaskie wykorzystywane jest w budownictwie i motoryzacji, a opakowania szklane przede wszystkim w przemyśle spożywczym.

Stowarzyszenie Branży Wzmocnionych Tworzyw Sztucznych opublikowało raport, w którym wykazuje, że globalna produkcja kompozytów wzrosła o około 5% – do 12,7 mln t w 2022 r. W Europie spadła jednak o 6,1% – do około 2,8 mln t. Udział rynku europejskiego wynosił zatem w ubiegłym roku około 23%. Około połowa globalnej produkcji kompozytów z tworzyw sztucznych znajduje się obecnie w Azji. W 2022 r. najważniejszym dla kompozytów segmentem rynku pozostawał sektor transportu, który odpowiadał za ponad 50% popytu na tworzywa kompozytowe. Obejmuje to produkcję samochodów osobowych, a także pojazdów użytkowych, transport lotniczy i kolejowy. Kolejne dwa największe sektory to budownictwo i infrastruktura oraz przemysł elektryczny i elektroniczny. W sektorze budowlanym tworzywa kompozytowe były wykorzystywane m.in. do produkcji rurociągów, zbiorników i profili. W sektorze E & E (elektronika i elektrotechnika) kompozyty były wykorzystywane głównie do produkcji przełączników, obudów, sprzętu telekomunikacyjnego i szaf sterowniczych. Jeśli chodzi o materiały, udział w rynku kompozytów termoutwardzalnych w Europie nieznacznie spadł do 41,8%. Z drugiej strony udział kompozytów termoplastycznych wzrósł w tym okresie o tę samą wartość, osiągając łącznie 58,2%. W najbliższych latach istotne znaczenie dla wzmocnienia pozycji konkurencyjnej w zakresie strategicznych technologii węzłowych, czyli takich, które są silnie zależne od rozwoju innych technologii dominujących w regionie lub warunkujących rozwój innych technologii w woj. śląskim, a stanowiących równocześnie kluczowe elementy technologii przyszłości, w obszarze materiałów kompozytowych i produktów wytwarzanych przy użyciu lub na bazie materiałów kompozytowych, będą miały technologie dla: przemysłu motoryzacyjnego i lotniczego, produkcji opakowań, ochrony środowiska, technologii dla energetyki i inżynierii biomedycznej.

Reasumując atrakcyjność popytową rekomendowanych technologii, można stwierdzić, że na produkty wytworzone z ich zastosowaniem popyt jest zdecydowanie rosnący, a nowych klientów można znaleźć zarówno na rynkach krajowych (luka podażyowa, KPO), jak i zagranicznych (prognozowany popyt globalny na tworzywa metaliczne, sztuczne i ceramiczne). Rosnący popyt jest ściśle powiązany ze współczesnymi trendami i rewolucyjnymi zmianami technologicznymi, które skokowo zmieniają atrakcyjność popytową omawianych produktów.

6.1.3.3. *Atrakcyjność podażowa technologii produkcji i przetwarzania materiałów*

Produkcja i przetwarzanie materiałów w woj. śląskim jest złożonym procesem, który zależy od wielu uwarunkowań podażowych. Analizy dokonano w aspekcie kilku kluczowych obszarów:

- dostępności zasobów surowcowych i materiałów,
- dostępności pozostałych dostawców,
- kapitału ludzkiego i wiedzy,
- przewag B + R + I,
- lokalizacji oraz bliskości dostawców i klientów.

Dostępność surowców i materiałów do produkcji oraz przetwarzania materiałów w woj. śląskim zależy od rodzaju wyrobów. W przypadku wyrobów metalicznych do kluczowych surowców zalicza się: rudę żelaza, węgiel koksujący oraz mikroelementy. Jastrzębska Spółka Węglowa SA zlokalizowana na terenie woj. śląskiego jest obecnie największym dostawcą węgla koksującego. Jako kluczowy surowiec wymienia się również złom stalowy i żeliwny. W tym zakresie woj. śląskie jest dominującym regionem nie tylko w Polsce, ale również w Europie. Biorąc pod uwagę stal jako materiał wejściowy do przetwórstwa na rynku globalnym w 2022 r. głównymi producentami stali byli: China Baowu Group (131,84 mln t), ArcelorMittal (68,89 mln t), Ansteel Group (55,65 mln t), Nippon Steel Corporation (44,37 mln t), Shagang Group (41,45 mln t) oraz HBIS Group (41,00 mln t). Drugi pod względem produkcji stali ArcelorMittal w Polsce ma swoją główną siedzibę w woj. śląskim. Z kolei dla dynamicznie rozwijających się technologii związanych z wykorzystaniem miedzi kluczowy dostawca znajduje się w Polsce, mowa o KGHM Polska Miedź SA. Dostęp do aluminium elektrolitycznego jest w 100% zapewniony przez import. Biorąc pod uwagę wyroby polimerowe kluczowe dostawy podstawowych surowców obejmują polietylen, polipropylen, PVC oraz dodatki i stabilizatory, które poprawiają właściwości tworzyw sztucznych (stabilizatory UV, barwniki, środki poprawiające płynność). Dostępność do dostaw podstawowych surowców i materiałów do produkcji tworzyw sztucznych jest wysoka – oferują ją podmioty z Polski i z innych krajów Europy. W Polsce wśród dostawców dominuje grupa kapitałowa Orlen, w tym przede wszystkim Basell Orlen Polyolefins. W Polsce produkowane są podstawowe polimery: poliolefiny (HDPE, LDPE, PP – Basell Orlen Polyolefins), polichlorek winylu (PCW – Anwil), politereftalan etylenu (PET – Indorama), polistyreny (PS – Synthos), a także niektóre tworzywa konstrukcyjne, np. poliamidy, żywice poliestrowe i epoksydowe, poliole (Grupa Azoty, Sarzyna Chemical, Lerg, PCC Rokita) (Plastics Europe, 2023, 2024). W przypadku wyrobów ceramicznych kluczowe dostawy obejmują: glinki ceramiczne, mączki, inne minerały i glinki, jak: feldspat, kwarc czy kaolin oraz barwniki i pigmenty. W Polsce w dostawach podstawowych surowców do produkcji wyrobów ceramicznych dominują regiony małopolski, świętokrzyski i śląski. Należy podkreślić, że woj. śląskie jest najbogatszym w kraju regionem pod względem źródła pozyskiwania surowca dla produkcji materiałów ceramicznych, szczególnie wielkotonażowych, ze względu na swoje położenie w pobliżu 10 złóż dolomitów (2 złoża eksploatowane, 3 złoża z zaniechaną eksploatacją, 5 złóż o rozpoznanych zasobach). Wielkość złóż oraz możliwości wydobywcze mogą w przewidywalnej perspektywie gospodarczej zaspokoić potrzeby przemysłu przetwórczego. Drugi z podstawowych surowców nie występuje w znacznych ilościach, a w razie uzasadnionych ekonomicznie potrzeb istnieje możliwość jego pozyskania z Dolnego Śląska. Bazalty można pozyskać nie tylko w woj. śląskim, ale także w sąsiednich regionach – Śląsku Opolskim i Dolnym Śląsku. Ponadprzeciętna ich ilość występuje na terenach, gdzie znajdują się złoża piasku i kruszyw ceramicznych. Region śląski można więc ocenić jako korzystnie uwarunkowany pod względem surowców mineralnych, szczególnie masowych (skalnych). Krajowy rynek wydobywczy i przetwórczy pod tym względem zaspokaja rosnące wymagania zarówno jakościowe, jak i ilościowe istniejących zakładów produkcyjnych. Niewielkie ilości rzadkich specjalistycznych surowców są bez problemu sprowadzane z krajów Unii Europejskiej lub Dalekiego Wschodu. Materiały kompozytowe to przyszłość wielu branż, w tym lotniczej i morskiej. Ich wyjątkowe właściwości – lekkość, wytrzymałość i odporność na korozję – czynią je odpowiednim materiałem konstrukcyjnym, który może być stosowany w ekstremalnych środowiskach (Dzwierzynska i Lechwar, 2024). Rozwój rynku i implementacja tych materiałów są jednak ograniczane przez koszty, które są wyższe niż w przypadku produkcji innych materiałów. Spełnienie rygorystycznych norm wytrzymałościowych

i bezpieczeństwa wymaga ponadto zaawansowanych analiz, wieloetapowych testów i certyfikacji. Projektowanie struktur kompozytowych wymaga dodatkowo specjalistycznej wiedzy i narzędzi, które umożliwią optymalizację ułożenia warstw oraz przewidywanie ich zachowania się w ekstremalnych warunkach.

Pozostałe dostawy to dostawy maszyn i urządzeń, energii, usług informatycznych oraz transportowych. W przypadku dostawców maszyn i urządzeń dominują koncerny międzynarodowe (Siemens Financial Services, 2023). Bazując na benchmarkingu światowych firm, producenci maszyn największą wagę przykładają do efektywności energetycznej (zmniejszenia zużycia energii – np. dzięki napędom o zmiennej prędkości) produkowanych przez nich jednostek (77%) i ich produktywności, będącej efektem wdrażania cyfryzacji, zgodnie z założeniami Przemysłu 4.0 (70%), w celu zwiększenia produkcji lub zmniejszenia liczby usterek. Na drugim miejscu znalazły się: modernizacje i renowacje, będące alternatywą dla budowy nowej maszyny (wskazywane przez 54% producentów), stosowanie tzw. cyfrowego bliźniaka, czyli rozwiązania, które pozwala przetestować produkt przed jego wprowadzeniem przez cyfrowy model (50%) oraz odnowienie części (45%), czyli naprawa zużytych części lub ich odbudowa, np. za pomocą druku 3D i ponowne wykorzystanie, co zaoszczędza materiały i energię (Fiał i Pieknik, 2020). Z badania wynika, że producenci maszyn zwracają też uwagę na oszczędności w procesie produkcji – istotne jest ograniczenie wytwarzanych odpadów (39%), zużycia surowców (36%) i wody (34%). Jeden na czterech producentów deklaruje stosowanie surowców pochodzących z recyklingu, oszczędności związane z wykorzystaniem maszyn typu „multi-product” oraz redukcję zanieczyszczeń, a nieco mniej, bo 21%, stosuje też konstrukcje modułowe (21%) w celu uniknięcia wymiany całej maszyny, gdy zmieniają się wymagania produkcyjne. Kolejnym kluczowym dostawcą w produkcji i przetwarzaniu materiałów są dostawcy energii. Analiza problemu prowadzi do wniosku, że kluczowym wyznacznikiem jest poziom energochłonności produkcji i przetwarzania materiałów. Stąd płynie jeden zasadniczy wniosek: wszystkie konwencjonalne metody stosowane w tym obszarze są niezwykle energochłonne. Większość technologii stosowana w obszarze produkcji i przetwarzania materiałów to technologie wysokoenergetyczne, mające duży negatywny wpływ na środowisko naturalne. Producenci maszyn i urządzeń, a również dostawcy samych technologii poszukują więc technologii energooszczędnych i zrównoważonych, stosując np. w produkcji wyrobów metalicznych technologie oparte na wodorze. W Szwecji powstaje nowa huta, która planuje produkować tzw. zieloną stal, czyli stal opartą na wodorze pozyskiwanym z OZE. Z kolei w krakowskim oddziale ArcelorMittal Poland trwa rozruch wybudowanych niedawno pieców wodorowych w wyżarzalni tamtejszej walcowni. Blachy wyżarzane są bez użycia amoniaku, co pozwoliło zmniejszyć emisję CO₂ o połowę. Pozwala to także na poprawę jakości powierzchni blach. Do tego procesu wykorzystuje się wodór szary. Przetwórstwo miedzi, które rozwija się w woj. śląskim, ma istotny wpływ na sektory OZE, motoryzacyjny oraz AI. W Specjalnej Strefie Ekonomicznej powstaje innowacyjna inwestycja w Zawierciu w Elemental H2tech Sp. z o.o. należącej do Grupy Kapitałowej Elemental Holding, która uzyskała decyzję o wsparciu nr 346/2023 dla przygotowywanego projektu budowy huty miedzi i metali szlachetnych, odzyskiwanych ze zużytego sprzętu elektronicznego. Koszt inwestycji to 400 mln PLN. W przypadku przetwórstwa tworzyw sztucznych jednym z najbardziej energochłonnych systemów produkcyjnych jest chłodzenie procesowe. Bardzo ważne jest zrozumienie, że ilość pobieranej energii elektrycznej do produkcji chłodu, nie zależy tylko od typu i wielkości zainstalowanego urządzenia chłodniczego, ale w znacznym stopniu jest uwarunkowana zastosowanymi rozwiązaniami instalacji chłodzenia procesowego. W tym zakresie wszystkie wiodące firmy produkujące urządzenia do przetwórstwa tworzyw sztucznych wprowadzają wiele optymalizacji i innowacji zmniejszających zużycie energii i wpływ na środowisko. Wypalanie ceramiki czy produkcja szkła to również wysoko energetyczne procesy. W przypadku wypalania ceramiki dla zmniejszenia zużycia energii producenci stosują nowoczesne piece, które charakteryzują się wyższą efektywnością energetyczną. Ponadto wprowadzane są systemy odzyskiwania ciepła, które pozwalają na jego ponowne wykorzystanie w innych procesach produkcyjnych. Szkło zaś jest jednym z najczęściej używanych współcześnie materiałów, ale emituje niemalże ślad węglowy. Wynika to głównie z faktu, że do powstania potrzebuje wysokich temperatur (zależy to od jego rodzaju, ale w większości wypadków oscylują one w okolicach 1600°C), co z kolei

wymaga ogromnego nakładu energii i dużej ilości paliwa. Według badań 72% emisji powstających podczas produkcji szkła pochodzi z pieców szklarskich (European Bank, 2014).

Dostępność transportu jest jednym z atutów wpływających na wysoką atrakcyjność inwestycyjną woj. śląskiego. W raportach jako atut woj. śląskiego wymienia się m.in. rozwinięty transport drogowy i kolejowy oraz infrastrukturę łączności, Międzynarodowy Port Lotniczy Katowice w Pyrzowicach, zapewniający komunikację krajową i międzynarodową, skrzyżowanie dwóch głównych tras komunikacyjnych – autostrady A1 i A4, tzw. Linia Hutnicza Szerokotorowa (LHS), bliskość granicy z Czechami i Słowacją.

Kolejnym czynnikiem wpływającym na potencjał regionu w kontekście rozwoju technologii produkcji i przetwórstwa materiałów (PPM) jest dostępność zasobów ludzkich. Według stanu na 31.12.2023 r. (UMWS, 2024) liczba ludności woj. śląskiego wynosiła 4 320 130, co stanowiło 11,5% ludności kraju. Woj. śląskie charakteryzuje się najwyższym stopniem urbanizacji i gęstości zaludnienia w Polsce. Dokonując analizy liczby ludności woj. śląskiego według ekonomicznych grup wieku (stan na 31.12.2024 r.), w wieku przedprodukcyjnym (do 15 lat) znajdowało się 15,3% ludności Śląska, w wieku produkcyjnym – 63,3%, a w wieku poprodukcyjnym – 21,4%. Utrzymująca się tendencja wzrostowa liczby osób w wieku poprodukcyjnym, przy równoczesnym spadku liczby osób w wieku przedprodukcyjnym, będzie miała poważne implikacje gospodarcze i społeczne. Na ten stan rzeczy nakłada się równocześnie stały wzrost przeciętnej długości trwania życia. W gospodarce woj. śląskiego dominują branże: węglowa i hutnicza, a także przemysł elektromaszynowy, metalowy, chemiczny oraz spożywczy. Duże znaczenie mają też gałęzie gospodarki, takie jak energetyka, przemysł motoryzacyjny i elektroniczny. Zatrudnienie w badanym obszarze technologicznym w woj. śląskim wynosi 20% i jest najwyższe w skali kraju.

Wiedza stanowi podstawowy zasób każdej organizacji i główne źródło wartości dodanej. Jest również ważnym czynnikiem kształtującym potencjał regionu w zakresie rozwoju technologii produkcji i przetwarzania materiałów (PPM). Zasoby wiedzy, jakimi dysponuje woj. śląskie, są wyznaczone przez: liczbę szkół wyższych, liczbę uczących się tam studentów oraz liczbę absolwentów szkół wyższych funkcjonujących w regionie, liczbę osób aktywnych zawodowo posiadających wyższe wykształcenie i zamieszkujących region. W ogólnej liczbie 44 uczelni działających na terenie woj. śląskiego można wskazać cztery związane bezpośrednio z rozwojem technologii PPM. To kluczowe jednostki prowadzące badania, które cieszą się wysokim uznaniem nie tylko w Polsce. Wśród uczelni należy wyróżnić Politechnikę Śląską (w szczególności Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii oraz Wydział Mechaniczny Technologiczny), Politechnikę Częstochowską (szczególnie Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów), Uniwersytet Bielsko-Bialski w Bielsku-Białej (w szczególności Wydział Nauk o Materiałach i Środowisku) oraz Uniwersytet Śląski (w szczególności Wydział Informatyki i Nauki o Materiałach) oraz Uniwersytet Jana Długosza w Częstochowie. Liczba studentów studiujących w woj. śląskim w roku akademickim 2023/2024 wynosiła 106 604, z czego 0,3% studiowało na kierunkach związanych z produkcją i przetwarzaniem materiałów. Nie jest to wysoka liczba, jednak kierunki te nie są obecnie bardzo oblegane, a interdyscyplinarność obszaru technologicznego pozwala na zatrudnianie absolwentów różnych kierunków nauk inżyniersko-technicznych, ścisłych oraz społecznych. W szkołach technicznych, branżowych i zawodowych również widoczne jest słabe zainteresowanie kierunkami PPM. Trudności w pozyskiwaniu wykwalifikowanych pracowników dotyczą wielu sektorów, jednak w przetwórstwie materiałów wydają się najbardziej dotkliwe. Wynikają one z wysokich wymagań wobec pracowników, związanych ze specyficznymi technologiami i procesami produkcji. Na potencjał województwa w zakresie rozwoju technologii PPM ma również wpływ liczba szkół średnich zawodowych i zawodowych/branżowych.

Jednostki i instytuty naukowe, badawcze oraz szkoły wyższe prowadzące samodzielną działalność naukowo-badawczą lub we współpracy z biznesem, są kluczowe dla prowadzenia badań oraz tworzenia nowych rozwiązań i technologii. Jak już wspomniano, wśród uczelni wyższych funkcjonujących w woj. śląskim istotne znaczenie w zakresie rozwoju technologii produkcji i przetwarzania materiałów mają: Politechnika Śląska, Politechnika Częstochowska, Uniwersytet Bielsko-Bialski, Uniwersytet Jana Długosza w Częstochowie oraz Uniwersytet Śląski (Wydział Informatyki i Nauki o Materiałach). Jeśli chodzi natomiast o instytuty badawcze, to wśród nich należy

wyróżnić: Sieć Badawczą Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny, Sieć Badawczą Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych Oddział Materiałów Ogniotrwałych w Gliwicach oraz Sieć Badawczą Łukasiewicz – Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników Oddział Farb i Tworzyw w Gliwicach. Skrócona analiza kluczowych obszarów badawczych związanych z produkcją i przetwarzaniem materiałów rozwijanych przez wskazane jednostki badawcze została przedstawiona w tabeli 6.7. W Polsce działa kilkadziesiąt uczelni i instytutów badawczych, które zajmują się problematyką produkcji i przetwarzania materiałów. Jedną z instytucji zrzeszających te podmioty jest Polskie Towarzystwo Materiałoznawcze reprezentujące prawie wszystkie krajowe ośrodki badań i kształcenia w zakresie nauki o materiałach i inżynierii materiałowej oraz pokrewnych dyscyplin materiałoznawczych.

Tabela 6.7. Kluczowe obszary badawcze wiodących uczelni i instytutów w woj. śląskim związane z produkcją i przetwarzaniem materiałów

Lp.	Jednostka badawcza	Obszary badawcze związane z produkcją i przetwarzaniem materiałów
1	Politechnika Śląska ²⁵	Priorytetowy obszar badawczy 3 – Materiały przyszłości. Podobszary: – materiały organiczne i nieorganiczne do zastosowań w elektronice, – ultralekkie i wysoko odporne materiały w konstrukcjach motoryzacyjnych i lotniczych, – nowoczesne materiały do zastosowań w budownictwie, – nowoczesne materiały do zastosowań w medycynie, – zaawansowane metody modyfikacji powierzchni materiałów, – modelowanie i badanie właściwości fizykochemicznych materiałów.
2	Politechnika Częstochowska ²⁶	Główne obszary badawczo-wdrożeniowe: – opracowywanie i optymalizacja nowych technologii w zakresie metalurgii ekstrakcyjnej, przeróbki plastycznej, odlewnictwa, obróbki cieplnej i recyklingu metali, – projektowanie nowych materiałów metalicznych, bimetalowych i wielowarstwowych oraz kompozytowych materiałów spiekanych i ceramicznych, – wytwarzanie oraz obróbka termiczna, a także badania właściwości magnetycznych stopów amorficznych, krystalicznych i nanokrystalicznych, – badania z zakresu elektrochemii stosowanej, ochrony przed korozją i hydrometalurgii, a także szeroko pojętej fizyki ciała stałego, – ekspertyzy i analizy z zakresu: zarządzania produkcją i jakością, zarządzania zasobami ludzkimi, oceny i optymalizacji systemów produkcyjnych i logistycznych w przedsiębiorstwach.
3	Uniwersytet Jana Długosza w Częstochowie ²⁷	Laboratorium Badań Środowiskowych i Nowych Materiałów Laboratorium jest ukierunkowane na prowadzenie kompleksowych badań podstawowych i stosowanych w zakresie badań środowiskowych na rzecz Inteligentnych Specjalizacji Regionu w zakresie energetyki i badań nowych materiałów organicznych na rzecz Inteligentnych Specjalizacji Regionu w zakresie energetyki i medycyny.
4	Uniwersytet Śląski ²⁸ w Katowicach	Realizowane w Instytucie Inżynierii Materiałowej zadania badawcze mają charakter interdyscyplinarny i obejmują zagadnienia z zakresu fizyki ciała stałego, materiałoznawstwa, fizykochemii materiałów, chemii i technologii polimerów oraz niektórych problemów elektrochemii, wchodzące w zakres inżynierii materiałowej i nauki o materiałach i są ukierunkowane na: – badania struktury i właściwości materiałów z uwzględnieniem badań powierzchni (materiały metaliczne, biomateriały, stopy z pamięcią kształtu, materiały polimerowe), – elektrochemiczne metody otrzymywania i badania materiałów, – rozwój i doskonalenie metod badań struktury atomowej, elektronowej i właściwości materiałów, – komputerowe modelowanie materiałów. Podstawowym celem tych badań jest poszukiwanie i interpretowanie związków między realną mikrostrukturą, składem chemicznym materiałów a ich właściwościami konstrukcyjnymi i funkcjonalnymi oraz poszukiwanie obszarów ich zastosowań.
5	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Górnośląski Instytut	Instytut prowadzi badania nad materiałami w trzech centrach: – Centrum Badań Materiałów realizuje nowoczesne, innowacyjne rozwiązania dla przemysłu energetycznego, lotniczego, kosmicznego oraz metalurgicznego,

²⁵ <https://www.polsl.pl/> (dostęp: 20.01.2025)

²⁶ <https://pcz.pl/> (dostęp: 20.01.2025)

²⁷ <https://www.ujd.edu.pl/> (dostęp: 20.01.2025)

²⁸ <https://us.edu.pl/> (dostęp: 20.01.2025)

Lp.	Jednostka badawcza	Obszary badawcze związane z produkcją i przetwarzaniem materiałów
	Technologiczny ²⁹	– Centrum Spawalnictwa prowadzi badania w dziedzinie spawalnictwa; utrzymuje ścisłe związki z przemysłem krajowym i ośrodkami zagranicznymi produkującymi konstrukcje spawane oraz z międzynarodowymi ośrodkami badawczymi, – Centrum Technologii Metalurgicznych prowadzi prace badawcze nad rozwojem metalowych materiałów konstrukcyjnych na bazie żelaza oraz niskoemisyjnych i energooszczędnych technologii wytwarzania i przetwarzania tych materiałów.
6	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych ³⁰	Obszary badawcze: 1. Inteligentna i czysta mobilność: – elektromobilność, – zaawansowane technologie w transporcie, – technologie zasilania, – magazynowanie energii, – materiały i technologie dla elektroniki, energetyki i transportu. 2. Zdrowie: – nanotechnologie medyczne, – materiały i technologie dla medycyny o szczególnych właściwościach fizycznych. 3. Zielona, cyrkularna gospodarka: – gospodarka obiegu zamkniętego, – odzysk metali, – technologie recyklingu i odzysk surowców mineralnych, – inżynieria powierzchni, – materiały i technologie dla energoelektroniki, energetyki, – sieci elektryczne, – odlewanie metali nieżelaznych, – nowoczesna chemia analityczna. 4. Materiały dla obronności: – baterie termiczne, – stopy metali nieżelaznych o ulepszonych właściwościach, przeznaczone do pracy w trudnych warunkach eksploatacyjnych. 5. Druk 3D: – szybkie prototypowanie, materiały i technologie druku 3D. 6. Nowe materiały i technologie: – projektowanie składu chemicznego metali i stopów pod kątem określonych właściwości, – certyfikowane materiały odniesienia, – materiały na bazie metali ciężkich, – technologie odlewania i przeróbki plastycznej, – atomizacja gazowa i plazmowa, – procesy izostatycznego dogęszczania materiałów, – powłoki ochronne i funkcjonalne, – technologie metalurgii proszków.
7	Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych. Centrum Materiałów Ogniotrwałych ³¹	Badania naukowe i prace rozwojowe prowadzone są w zakresie: – materiałów ceramicznych i kompozytowych, – ceramicznych wyrobów do zastosowań wysokotemperaturowych, – przetwórstwa surowców niemetalicznych, w szczególności związanych z produkcją materiałów ogniotrwałych, – szeroko pojętej gospodarki obiegu zamkniętego w odniesieniu do materiałów ogniotrwałych, – badania, ekspertyzy, opinie i usługi naukowo-techniczne wykonywane na bezpośrednie zlecenia podmiotów gospodarczych, – badania laboratoryjne akredytowane i nieakredytowane, przede wszystkim w zakresie składu chemicznego i fazowego oraz właściwości surowców i półproduktów oraz wyrobów ogniotrwałych, w tym badania właściwości termicznych i mikrostruktury. Produkcja doświadczalna w zakresie: – materiałów ogniotrwałych monolitycznych i prefabrykowanych, – ceramiki technicznej i specjalnej, – aktywatorów mielenia.
8	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Inżynierii Materiałów	Badania naukowe i prace rozwojowe są prowadzone w zakresie: – inżynierii materiałowej, technologii wytwarzania, przetwarzania, recyklingu, utylizowania i stosowania materiałów polimerowych, lateksów, kauczków syntetycznych, dyspersji,

²⁹ <https://git.lukasiewicz.gov.pl/> (dostęp: 20.01.2025)

³⁰ <https://imn.lukasiewicz.gov.pl/> (dostęp: 20.01.2025)

³¹ <https://www.icimb.lukasiewicz.gov.pl/centrum-materialow-ogniotrwalych> (dostęp: 20.01.2025)

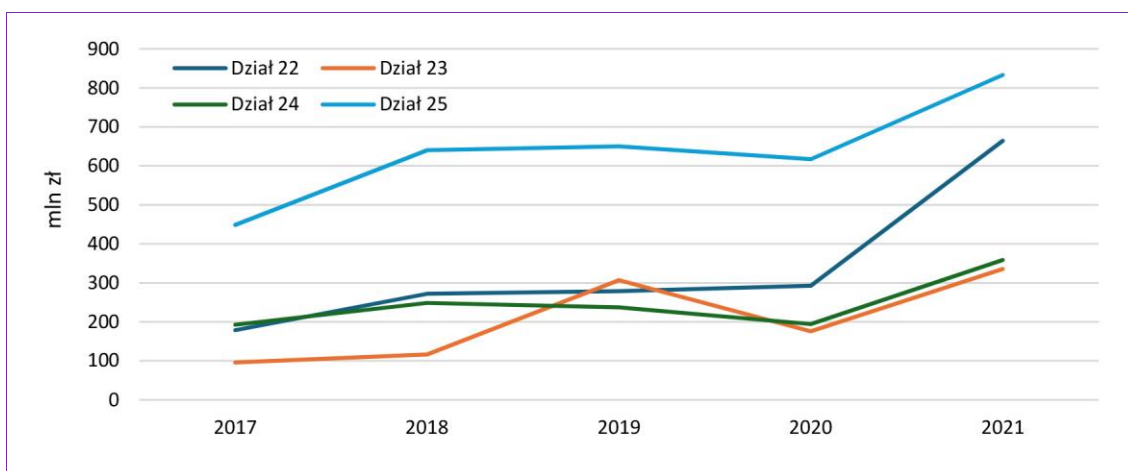
Lp.	Jednostka badawcza	Obszary badawcze związane z produkcją i przetwarzaniem materiałów
	Polimerowych i Barwników. Oddział w Gliwicach ³²	roztworów polimerowych, elastomerów, gumy, farb, lakierów, barwników, pigmentów, rozjaśniaczy optycznych, półproduktów organicznych i materiałów pochodnych, – technologii wytwarzania, przetwarzania, stosowania, recyklingu i utylizowania materiałów kompozytowych, katalizatorów, emulgatorów i innych środków pomocniczych stosowanych w technologii materiałów polimerowych, – nowych technologii wytwarzania farb i lakierów, uwzględniających wymogi ochrony środowiska, w tym wykorzystanie surowców odpadowych, – działalności prototypowo-doświadczalnej maszyn, urządzeń, narzędzi i oprzyrządowania do wytwarzania, przetwarzania, modyfikowania, recyklingu i utylizowania materiałów polimerowych, lateksów i kauczków syntetycznych, dyspersji i roztworów polimerowych, elastomerów, gumy, farb i lakierów, barwników, pigmentów, rozjaśniaczy optycznych, półproduktów organicznych i materiałów pochodnych, – barwometrii i opracowywania programów dla recepturowania mieszanek barwników i pigmentów, procesów barwienia oraz zarządzania procesami technologicznymi, – wytwarzania kompozytowych materiałów polimerowych i elastomerowych, – ochrony przed korozją, projektowania technologii zabezpieczeń antykorozyjnych, właściwości ochronnych wyrobów lakierowych w środowiskach o różnej agresywności korozyjnej.

Oprac. na podst. danych zawartych na stronach internetowych badanych podmiotów.

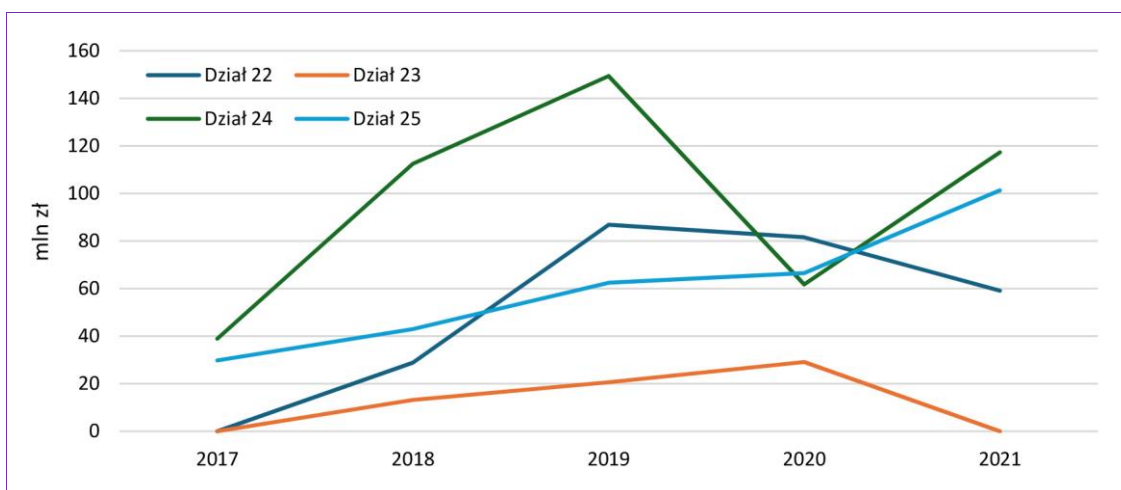
W woj. śląskim w okresie 2012–2024 były realizowane 92 projekty z Programu Horizon i Horizon 2020 na łączną kwotę ponad 32 mln EUR (KPK, 2025). W badanym obszarze technologicznym i powiązanim z nim zrealizowano około 25%. Każda z podanych w tabeli 6.6 organizacji w okresie 2020–2025 zrealizowała od kilku do kilkudziesięciu projektów badawczych i podnoszących kompetencje pracowników oraz studentów. Głównym źródłem finansowania są środki pochodzące, oprócz Horizon i Horizon 2020, z: NCN, NCBiR, FST, RPO, Funduszy Europejskich dla Śląskiego oraz podmiotów prywatnych realizowanych w jednostkach badawczych jako prace badawczo-rozwojowe. W oparciu o bazę RAD-on można wskazać, że tylko w dyscyplinie inżynieria materiałowa od 2017 r. było realizowanych ponad 1000 projektów, z czego ponad 250 przez wskazane ośrodki z woj. śląskiego. Przykładowe projekty realizowane przez podmioty wymienione w tabeli 6.6 przedstawiono w Załączniku 6.1. Liczba przyznanych i zgłoszonych w ostatnich pięciu latach patentów (RAD-on) dla wyróżnionych jednostek badawczych działających w woj. śląskim wynosi ponad 150.

Kolejnym czynnikiem określającym poziom zasobów naukowo-badawczych jest wysokość nakładów wewnętrznych ponoszonych przez podmioty na prace badawczo-rozwojowe (rys. 6.9). Obejmują one zarówno nakłady bieżące, jak i nakłady inwestycyjne na środki trwałe związane z działalnością badawczo-rozwojową. Biorąc pod uwagę wartość nakładów wewnętrznych ponoszonych na działalność B+R, w 2021 r. w woj. śląskim w działach 22–25 kwota ta wynosiła 277,7 mln PLN (rys. 6.10). Najwięcej środków wydano na badania i rozwój produkcji metali (117,3 mln PLN). Całościowe nakłady w sektorze przedsiębiorstw systematycznie wzrastają w całym kraju. W 2021 r. nakłady te wynosiły ponad 19 mld PLN, przy czym w woj. śląskim było to ponad 2,4 mld PLN.

³² <https://impib.lukasiewicz.gov.pl> (dostęp: 20.01.2025)



Rys. 6.9. Nakłady wewnętrzne na działalność B + R w sektorach przedsiębiorstw w Polsce według rodzaju kosztów i przeważającej działalności³³



Rys. 6.2. Nakłady wewnętrzne na działalność B + R w sektorach przedsiębiorstw w woj. śląskim według rodzajów działalności, którym prace B + R były dedykowane (PKD 2007)³⁴

Z punktu widzenia potencjału regionu w zakresie rozwoju technologii w obszarze produkcji i przetwarzania materiałów istotne jest określenie poziomu nakładów wewnętrznych ponoszonych przez przedsiębiorstwa funkcjonujące w tym obszarze. Ich wykaz wraz z określeniem udziału procentowego nakładów poniesionych na działalność B + R w danej branży w woj. śląskim do wartości nakładów poniesionych na działalność B+R w tej branży w całym kraju dla 2020 r. i 2021 r. przedstawia tabela 6.8.

³³ <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/nauka-i-technika-spoleczenstwo-informacyjne/nauka-i-technika/nauka-i-technika-w-2021-roku,1,18.html> (dostęp: 30.03.2023)

³⁴ Bank Danych Lokalnych, <https://bdl.stat.gov.pl> (dostęp: 19.12.2022).

Tabela 6.8. Nakłady wewnętrzne na działalność B + R w sektorze przedsiębiorstw w działach 22, 23, 24, 25 w Polsce i woj. śląskim³⁵

Rodzaj tworzywa	Dział PKD	Nakłady wewnętrzne na działalność B + R					
		woj. śląskie [mln PLN]	2020 Polska [mln PLN]	udział woj. śląskiego [%]	2021 woj. śląskie [mln PLN]	Polska [mln PLN]	udział woj. śląskiego [%]
Tworzywa polimerowe	Produkcja wyrobów z gumy i tworzyw sztucznych (C22)	81,6	292,4	27,9	59,1	664,3	8,9
Tworzywa ceramiczne	Produkcja wyrobów z pozostałych mineralnych surowców niemetalicznych (C23)	29,2	175,6	16,6	0	335,5	0
Tworzywa metaliczne	Produkcja metali (C24)	61,8	194,4	31,8	117,3	358,4	32,7
	Produkcja metalowych wyrobów gotowych, z wyłączeniem maszyn i urządzeń (C25)	66,5	617,0	10,8	101,3	833,0	12,2

W Polsce nakłady na badania i rozwój w działach 22–25 są największe w dziale 25 produkcja metalowych wyrobów gotowych. Jest to zrozumiałe, gdyż w tym dziale jest również najwięcej przedsiębiorstw. W woj. śląskim wartość nakładów B+R w produkcji metali (dział 24) przewyższa wartość z działu 25, mimo że, podobnie jak w kraju, to w dziale 25 jest więcej przedsiębiorstw. Wzrastający poziom wydatków wynika z zaangażowania sektora publicznego w finansowanie projektów rozwojowych i innowacyjnych, ale przede wszystkim z rosnącego zaangażowania przedsiębiorstw w działalność innowacyjną.

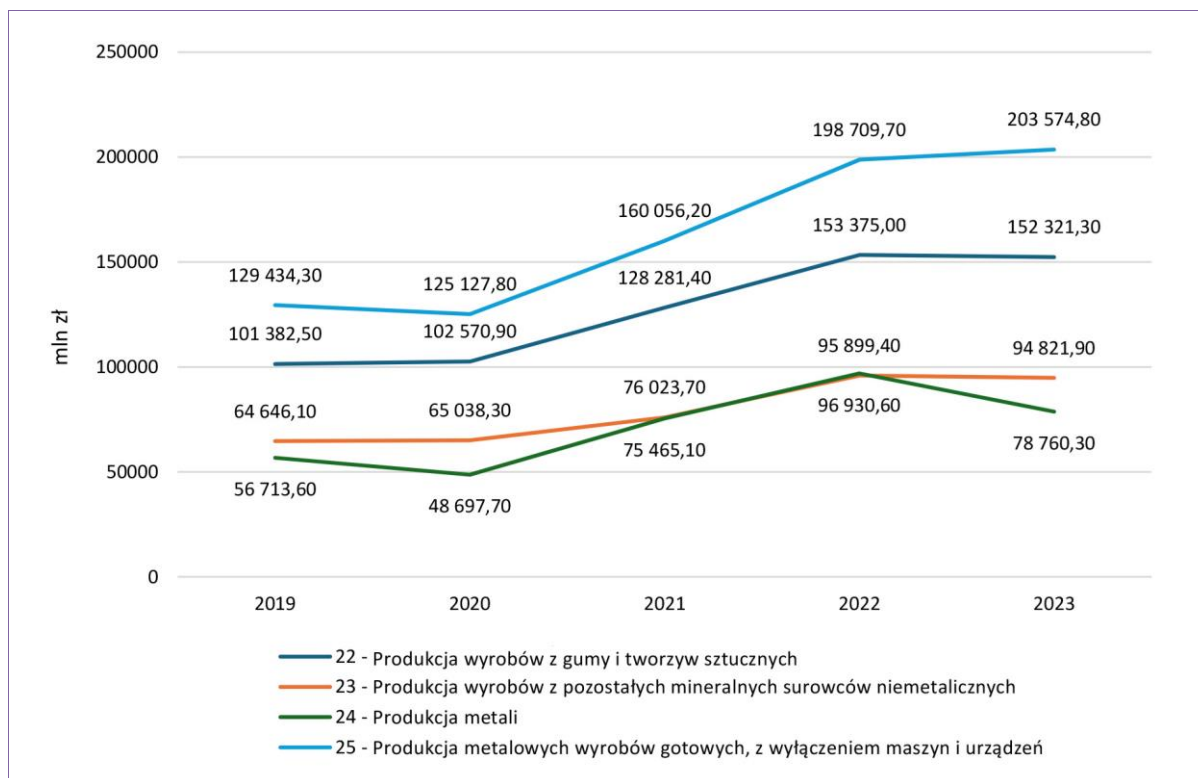
Nakłady na B+R w przedsiębiorstwach nie zawsze są związane ze współpracą z nauką. Ocenia się, że współpraca polskich jednostek naukowych z międzynarodowymi koncernami, obecnymi w tym obszarze technologicznym, słabnie. Projektów jest coraz mniej, a współpraca opiera się częściej na pracach eksperckich niż umowach instytucjonalnych. W tym zakresie potrzebna jest pewna odnowa, szczególnie w kontekście widoczności polskiej myśli naukowej w przestrzeni biznesu międzynarodowego.

Podsumowując, atrakcyjność podaży jest wysoka dla wszystkich badanych tworzyw. Dostępność surowców, materiałów, urządzeń i wiedzy jest duża i wręcz globalna. Należy jednak podkreślić, że wyższy poziom rozwiązań technologicznych wymaga rozwoju wiedzy, kompetencji i kwalifikacji. To szczególne wyzwanie dla rozwijających się sektorów z tego obszaru technologicznego.

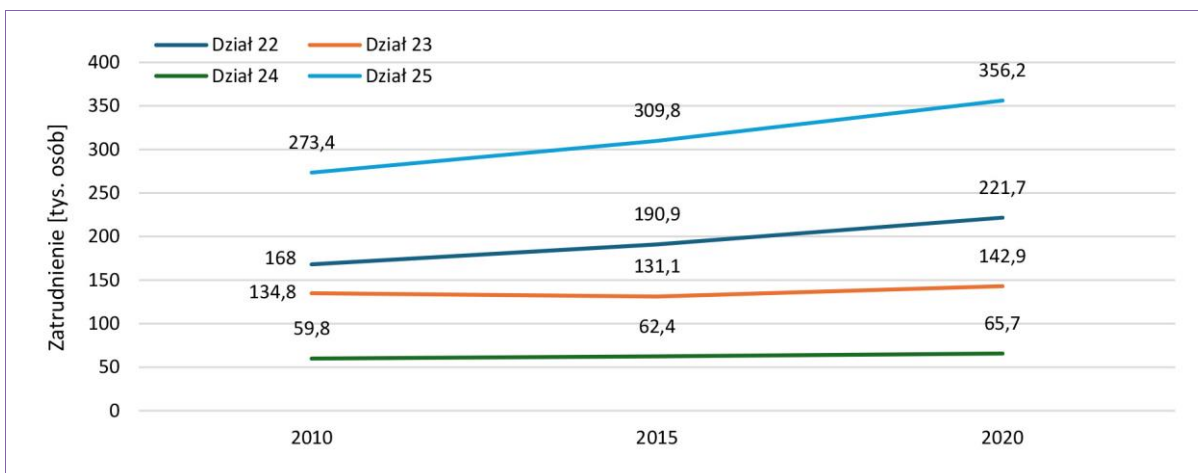
6.1.3.4. Analiza konkurencyjności technologii

Potencjał konkurencyjności analizowanych sektorów produkcji wyrobów z tworzyw sztucznych, metalicznych i ceramicznych przedstawiono na rysunkach 6.11–6.12, a wcześniej na rysunkach 6.1 i 6.2.

³⁵ Bank Danych Lokalnych, Nauka i Technika, Główny Urząd Statystyczny (dostęp: 19.12.2022).



Rys. 6.3. Wartość produkcji [mln PLN] w wybranych działach PKD przemysłu w Polsce w latach 2021–2023³⁶



Rys. 6.12. Zatrudnienie w Polsce w wybranych działach PKD w latach 2010–2020³⁷

Rynek produktów tworzyw metalicznych, sztucznych i ceramicznych w Polsce jest w pełni otwarty, tzn. konkurencyjny, poza przepisami dotyczącymi szeroko rozumianej ochrony środowiska (co w warunkach UE jest oczywiste) nie ma na nim instrumentów regulacyjnych. Konkurencja ma więc charakter globalny, a największymi „graczami” są korporacje przemysłowe, w tym zagraniczne. W woj. śląskim w sektorze hutnictwa funkcjonują następujące przedsiębiorstwa, których sprzedaż przekracza 0,5 mld PLN: ArcelorMittal Poland w Dąbrowie Górniczej, Cognor Holding SA w Poraju, Węgllokoks SA w Katowicach, CMC Zawiercie Poland oraz Huta Ferrum w Katowicach.

W produkcji tworzyw metalicznych, w szczególności stali, największym graczem na rynku jest ArcelorMittal Poland w Dąbrowie Górniczej, jest on największym i najnowocześniejszym producentem stali w Polsce (ok. 3 mln t), skupiającym prawie 50% krajowego potencjału produkcyjnego oraz największym producentem koksu w Europie. Jest on także zaliczany do

³⁶ Główny Urząd Statystyczny, Dziedziny Bazy Wiedzy, stat.gov.pl (dostęp: 19.12.2022).

³⁷ Bank Danych Lokalnych GUS, <https://bdl.stat.gov.pl> (dostęp: 19.12.2022).

kluczowych eksporterów na rodzimym rynku. Sześć oddziałów zlokalizowanych w woj. śląskim, małopolskim i opolskim (produkcja koksu) dysponujących 9000 wykwalifikowanych pracowników realizuje strategię rozwiniętego łańcucha wartości dodanej obejmującego: zakup surowców i energii, produkcję surówki i stali, produkcję wysokiej jakości wyrobów hutniczych, takich jak: kształtowniki, szyny (w tym szyna o długości 120 m) i akcesoria kolejowe oraz obudowy górnicze wykorzystywane w budownictwie, transporcie szynowym i przemyśle wydobywczym, wyroby płaskie, wykorzystywane przez przemysł motoryzacyjny, AGD i budowlany. Potwierdzeniem jakości produkowanych wyrobów jest zakup szyn i konstrukcji przez niemieckie koleje (Deutsche Bahn AG) na budowę Dworca Centralnego w Berlinie i uzyskanie światowego certyfikatu jakości WCM (ang. *World Class Manufacturing*). Koncern stosuje zintegrowany system zarządzania obejmujący systemy zarządzania: bezpieczeństwem, energią, środowiskiem i jakością. ArcelorMittal Poland ograniczył w ciągu 20 lat emisję pyłów o 90% i CO₂ o 45%. W tym okresie zrealizował inwestycje o wartości 10,5 mld PLN, w tym wartość prawie 8 mln PLN inwestycję (2021 r.) na linii wytrawiania w krakowskiej walcowni zimnej, modernizację wielkiego pieca (2023 r.) wartość 720 mln PLN oraz budowę dziewięciu nowych pieców wodorowych (2024 r.) służących wyżarzaniu blach po walcowaniu na zimno. Realizacja przedsięwzięcia wartego 52 mln PLN pozwoli na podniesienie jakości produktów i większą czystość blachy. Modernizacja pieców Maerza (2024 r.) to przedsięwzięcie środowiskowe warte 40 mln PLN, ograniczające emisję pyłową z terenu wapiarni. Inwestycją energetyczną i proekologiczną wynoszącą 165 mln PLN jest modernizacja elektrociepłowni w Zdzeszowicach. Firma w 2022 r. osiągnęła przychody na poziomie 33 467 mln PLN, a w 2023 r. 26 754 mln PLN, co oznacza dynamikę przychodów o 12,5%. Natomiast zysk netto obniżył się z 2127 mln PLN (2022 r.) do 762 mln PLN w 2023 r. Rentowność sprzedaży wynosiła odpowiednio 2,2% (2023 r.) i 8,0% (2022 r.). Oceniając pozycję konkurencyjną ArcelorMittal Poland – jest ona silna i stabilna, opiera się na szerokim asortymencie wyrobów, ich dobrej jakości wynikającej z modernizacji, poprawy bezpieczeństwa i ekologii procesów technologicznych (inwestycje), profesjonalnych zasobów ludzkich, co umożliwia zaspokojenie potrzeb krajowych i zagranicznych. Model biznesu opiera się na rozwiniętym łańcuchu produkcyjnym umożliwiającym tworzenie wartości w formie produktów stalowych dla klientów wykorzystujących je do różnorodnej działalności (m.in. budownictwo, infrastruktura, motoryzacja itd.). Obecnie model ten należy uznać za odporny i efektywny, największa jego wrażliwość (wrażliwość na ceny energii elektrycznej) jest w tej części, która związana jest z produkcją stali w piecach elektrycznych. W perspektywie ponad pięcioletniej model ten będzie wymagał aplikacji nowych technologii wytwarzania tzw. zielonej stali z zastosowaniem „zielonego wodoru”.

Grupa Cognor Holding SA jest korporacją, której działalność obejmuje skup złomu, przetwarzanie złomu stalowego na kęsy stalowe oraz produkcję wyrobów gotowych ze stali. W swoim portfelu posiada przedsiębiorstwa przetwórstwa złomu oraz trzy nowoczesne walcownie (Kraków, Stalowa Wola i Siemianowice Śląskie). Ta ostatnia (wartość inwestycji 800 mln PLN), która wkrótce rozpocznie działalność, jest nowoczesną walcownią profili lekkich o zdolności 500 tys. t rocznie, energooszczędną (30% niższe zużycie energii elektrycznej i 40% gazu) oraz posiada innowacyjny system logistyczny. Zakres produktowy Grupy jest dość wąski (kęsiska, wyroby długie, ograniczony asortyment blach cienkich). Efektywne procesy przetwórcze w nowych walcowniach oraz profesjonalne przetwórstwo złomu znacząco wzmacniają pozycję konkurencyjną – zarówno przewagę kosztową, jak i jakościową. Przychody ze sprzedaży w 2023 r. wynosiły 2704 mln PLN, a w 2022 r. było to 3667 mln PLN. Zysk netto wyniósł 236 mln PLN, a rentowność sprzedaży w 2020 r. 8,7% i 16,8%. Wielkość rentowności przy dość niskiej produktywności wynikającej z relatywnie wysokiego poziomu zatrudnienia (ok. 2000 pracowników) można uznać za zadowalającą. Model biznesu opiera się na tworzeniu dwóch rodzajów wartości dla klienta, dostarczając mu półprodukty z odzysku przetwórstwa metali oraz kształtowniki i pręty do wykorzystania w różnej działalności gospodarczej. Model ten należy uznać za odporny organizacyjnie i dość efektywny ekonomicznie.

Firma CMC Poland Sp. z o.o. w Zawierciu jest częścią koncernu amerykańskiego CMC i produkuje wyroby na gorąco walcowane długie w oparciu o wsad pochodzący z własnej stalowni elektrycznej, w której do produkcji stali wykorzystuje się złom stalowy (90%). Huta w Zawierciu zapewnia wysoką jakość oraz innowacyjne rozwiązania technologiczne w zakresie produkcji, ochrony środowiska oraz

bezpieczeństwa i higieny pracy. Do sprzedaży i dystrybucji wykorzystuje sieć przedstawicielską koncernu. Wyroby CMC Poland Sp. z o.o. wykorzystywane są w przemyśle budowlanym, rolniczym, energetycznym, maszynowym oraz do produkcji innych dóbr konsumpcyjnych. Jedną z kluczowych inwestycji huty (300 mln PLN) było uruchomienie w 2021 r. nowej walcowni zasilającej blok Morgana do produkcji walcówki w kręgach. Dzięki tej inwestycji CMC Poland posiada trzy niezależne linie walcownicze produkujące szeroki asortyment prętów płaskich, okrągłych, żebrowanych oraz walcówki gładkiej i żebrowanej z wysokojakościowych gatunków stali. Huta uczestniczy w projektach badawczo-rozwojowych, współfinansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, które promują innowacyjność i rozwój przedsiębiorstw. Współpracując z jednostkami naukowymi CMC Poland stale rozwija swoje możliwości produkcyjne, podnosząc jakość oferowanych wyrobów. W ciągu ostatnich dwóch lat wprowadzono na rynek nowe produkty, takie jak: płaskowniki ze stali z mikrododatkiem (FLABAST), pręty okrągłe i walcówka ze stali automatowej oraz ze stali baiditycznych (DACTILIUS), a także walcówka do spęczniania na zimno (CHQ), wytwarzana w procesie termomechanicznym. CMC w 2023 r. osiągnęło przychody ze sprzedaży w wysokości 5594 mln PLN. W 2022 r. było to 7220 mln PLN. Zysk netto wynosił odpowiednio 96,7 mln PLN i 963 mln PLN. Rentowność sprzedaży w 2023 r. kształtowała się na poziomie 1,7% i 13,3%. Strategia firmy opiera się na łańcuchu wartości obejmującym: zakup złomu i jego przetwórstwo na stal, która przetwarzana jest na szeroki asortyment produkcji wyrobów długich. Potencjał konkurencyjności stanowią nowoczesne technologie i wykwalifikowany personel (2200 pracowników w 2023 r.). W oferowanym asortymencie wyrobów stalowych, ze względu na dość wysokie ceny, firma napotyka na silną konkurencję przedsiębiorstw zagranicznych. W realizowanym modelu biznesu tworzona wartość dotyczy możliwości zastosowania wysokiej jakości i innowacyjnych wyrobów długich ze stali przez klientów w różnych działach gospodarki. Odporność modelu jest uzależniona od popytu na te produkty, oferowanych cen, a także kosztów surowców wtórnych (złomu stalowego) oraz przede wszystkim cen energii elektrycznej.

W ramach grupy Kapitałowej Węglkokoks SA w Katowicach funkcjonuje sześć zakładów hutniczych: Huta Pokój Profile, Huta Pokój SA, Huta Pokój Konstrukcje, Walcownia Blach Batory, Huta Łabędy, Huta Częstochowa. Walcownia Blach Batory produkuje blachy grube ze stali niestopowych i stopowych (w tym narzędziowych) oraz ze stali o specjalnym przeznaczeniu. Świadczy także usługi wypalania, śrutowania, malowania czy obróbki cieplnej. Przychody ze sprzedaży w 2022 r. wyniosły 302 mln, a zysk 0,8 mln PLN, w 2023 r. przychody wyniosły 201 mln PLN, a zysk był ujemny. Spółka w latach 2022–2023 posiadała praktycznie zerową rentowność sprzedaży. Brak rentowności wykazują także Huta Pokój Profile, Huta Pokój SA, Huta Pokój Konstrukcje. Ta ostatnia to producent kształtowników formowanych i walcowanych oraz konstrukcji. Huta Częstochowa to producent stali i blach grubych (ok. 0,5 mln t stali); po upadłości jest ona obecnie wystawiona na sprzedaż za 230 mln PLN. Zainteresowanie jej kupnem wyraża Skarb Państwa. Wydaje się, że w tym przypadku powiązanie tej Huty z Polską Grupą Zbrojeniową mogłoby stworzyć ciekawy strategiczny alians, istotny dla rozwoju przemysłu obronnego. Silną pozycję konkurencyjną i finansową ma należąca do grupy Węglkokoks SA, Huta Łabędy w Gliwicach. Jest ona wyspecjalizowanym producentem wyrobów dla górnictwa, takich jak: kształtowniki do obudów chodnikowych, odrzwia obudów chodnikowych, akcesoria obudów chodnikowych, skrzyżowania i odgałęzienia wyrobisk. Drugim filarem strategicznym jest jedyna w Polsce linia produkcji rur zgrzewanych wzdłużnie typu API (atest American Petroleum Institute) do ciśnieniowego transportu paliw o długości do 18 m, która jest jedną z najnowocześniejszych w Europie. Wartość tej inwestycji to 204 mln PLN. W 2022 r. przychody ze sprzedaży wyniosły 1030 mln PLN, a w 2023 r. 1076 mln PLN. Zysk netto to 153 mln PLN i 248 mln PLN. Rentowność sprzedaży jest na wysokim poziomie i wynosi odpowiednio 14,8% i 23%. Przyjęta strategia opiera się na zrozumieniu i zaspokajaniu potrzeb w zakresie wyrobów stalowych specyficznego klienta, jakim jest górnictwo węgla kamiennego. Obecnie realizowana jest inwestycja obejmująca budowę hali produkcyjnej z dwoma liniami technologicznymi do izolacji rur i magazynu z towarzyszącą mu infrastrukturą. Obecnie funkcjonują dwa modele biznesu. Pierwszy opiera się na zapewnianiu bezpieczeństwa i na efektywnej eksploatacji węgla kamiennego. Sukces funkcjonowania tego modelu zależy od zastosowania odpowiednich technologii i zasobów ludzkich. Dostarczane są

mu specjalistyczne wyroby hutnicze. Odporność tego modelu jest ograniczona czasem funkcjonowania górnictwa. Drugi to innowacyjny model biznesu, tworzący wartość, jaką jest bezpieczne dostarczanie paliw płynnych. Nowoczesna, unikalna technologia stanowi o jego efektywności.

Huta Ferrum w Katowicach jest wytwórcą szerokiego asortymentu rur o dużych przekrojach. Są to: rury stalowe spiralnie i wzdłużnie spawane, rury spawane prądami o wysokiej częstotliwości, powłoki i profile zabezpieczające. Przychody ze sprzedaży w 2022 r. wynosiły 884 mln PLN, a w 2023 r. 629 mln PLN. Potencjał konkurencyjny huty wynika z nowoczesnej technologii, wykwalifikowanych pracowników (300 osób) i specjalistycznego, dobrej jakości asortymentu.

Grupa Kapitałowa STALPROFIL SA to jedno z największych przedsiębiorstw w branży hutniczej. Zostały w niej wyodrębnione dwa podstawowe segmenty działalności. Są to:

- Handel, przetwórstwo i działalność usługowa na rynku stalowym. Działalność handlowa w obrębie branży hutniczej realizowana jest głównie przez STALPROFIL SA. Wykonawstwo konstrukcji stalowych, łącznie z przetwórstwem stali, jest domeną KOLB Sp. z o.o.
- Działalność związana z infrastrukturą sieci przesyłowych gazu i innych mediów, obejmująca produkcję izolacji antykorozyjnej dla rur stalowych wytwarzanych przez IZOSTAL SA, a także usługi budowlano-montażowe sieci przesyłowych, które są oferowane przez STALPROFIL SA Oddział w Zabrze.

Działalność przedsiębiorstw wchodzących w skład Grupy Kapitałowej STALPROFIL SA jest wzajemnie komplementarna, co umożliwia osiąganie efektu synergii. Firma oferuje bardzo szeroką gamę produktów stalowych, a także specjalistyczne usługi zabezpieczania elementów rurociągów paliw gazowych i płynnych. Firma osiągnęła w 2022 r. przychody na poziomie 2216 mln PLN i 76 mln zysku, a w 2023 r. sprzedaż wynosiła 1534 mln PLN, a zysk 20 mln PLN. Rentowność sprzedaży z poziomu 3,4% w 2022 r. spadła do 1,3%. Strategiczny łańcuch wartości dodanej składa się z zakupu produktów hutniczych, usługi logistycznej – dostawa do klienta, usługi (opcjonalnie) zabezpieczenia antykorozyjnego i centrum serwisowego (cięcie, gięcie, zgrzewanie, spawanie) oraz sprzedaży produktów lub usług szerokiemu gronu klientów (przemysłowych, instytucjonalnych, detalicznych). Model biznesu opiera się na tworzeniu wartości łączącej sprzedaż z usługami logistycznymi, serwisowymi, zabezpieczeniowymi po konkurencyjnej cenie i o konkurencyjnej jakości.

Podsumowując, konkurencyjność przedsiębiorstw produkujących wyroby hutnicze w latach 2022–2023 pogorszyła się. Zmniejszyły się przychody ze sprzedaży, zyski netto i rentowność sprzedaży. Specjalizacja produktowa przedsiębiorstw hutniczych w Polsce nie wskazuje na silne oddziaływanie bezpośredniej konkurencji, największą rolę odgrywa tu import stali. Strategie niektórych firm stalowniczych opierają się na łańcuchach wartości tworzonych przez energochłonne i nieekologiczne technologie, co w warunkach wysokiego poziomu cen energii w Polsce, zagraża ich konkurencyjności. Jednocześnie pojawiają się bardzo nowoczesne zakłady produkujące wyroby stalowe.

Na polskim rynku na koniec 2022 r. funkcjonowało 180 odlewni żeliwa, 36 odlewni staliwa i 240 odlewni metali nieżelaznych. Ponad 90% działających w kraju odlewni należy do sektora MŚP, odpowiadają one za 40% całkowitej produkcji w Polsce.

Tabela 6.9. Produkcja różnych rodzajów odlewów w Polsce w latach 2018–2022 (w 1000 t) (EFF, 2023)

Rodzaj odlewu	2018	2019	2020	2021	2022
Żeliwo, stal, żeliwo ciągliwe, w tym:	690,0	655,0	524,0	571,2	485,5
Żeliwa	480,0	450,0	360,0	392,4	333,5
Żeliwa sferoidalne	160,0	155,0	124,0	135,2	114,9
Staliwa	50,0	50,0	40,0	43,6	37,1
Metale nieżelazne, w tym:	346,5	356,5	285,2	310,9	264,2
Stopy miedzi	6,1	6,0	4,8	5,2	4,4
Odlewy aluminiowe	330,0	340,0	272,0	296,5	252,0
Cynk	7,5	7,5	6,0	6,5	5,6
Pozostałe odlewy stopowe	2,9	3,0	2,4	2,6	2,2

Wzrost produkcji odlewów metali w Polsce jest efektem ciągłego inwestowania w nowoczesne technologie oraz rozwijania umiejętności pracowników. Firmy odlewnicze w kraju skupiają się na

doskonaleniu procesów produkcyjnych, dążąc do osiągnięcia najwyższej jakości wyrobów. Trend wzrostu produkcji odlewów metali jest zauważalny również w kontekście rosnącego popytu na te produkty zarówno na rynku krajowym, jak i zagranicznym. Inwestycje w nowoczesne technologie, takie jak zaawansowane systemy formierskie czy nowatorskie metody obróbki cieplnej, pozwalają polskim firmom odlewniczym konkurować z sukcesem na globalnym rynku. Rozwój sektora odlewniczego w Polsce to nie tylko większa produkcja, ale również podniesienie standardów jakościowych oraz efektywności procesów produkcyjnych. Na polskim rynku funkcjonuje bardzo wiele nowoczesnych firm odlewniczych zarówno z polskim, jak i zagranicznym kapitałem. Jednym z wiodących producentów jest firma Odlewnia Polska, która od lat zajmuje czołowe miejsce w branży. Specjalizuje się głównie w odlewach żeliwnych oraz aluminiowych, dostarczając swoje produkty do różnych sektorów przemysłu. Kolejnym ważnym graczem na rynku jest Metalodlew Gliwice – firma znana z nowoczesnych rozwiązań technologicznych i dużej elastyczności produkcji. Ich odlewy stalowe zdobywają uznanie klientów zarówno w kraju, jak i za granicą. TopMetal natomiast specjalizuje się w precyzyjnych odlewach dla branży motoryzacyjnej, co pozwala tej firmie utrzymać silną pozycję na rynku. Firma Techno Odlewy stawia na ciągły rozwój i inwestycje w nowe technologie. Ich odlewy metali kolorowych są cenione za wysoką jakość i atrakcyjny design. Dzięki zaawansowanym procesom produkcyjnym firma zyskała uznanie wśród klientów z różnych sektorów. Inni ważni gracze to Polska Grupa Odlewnicza SA, NEMAK POLAND Sp. z o.o., DP Metal Processing Sp. z o.o., Odlewnia Żeliwa ŚREM SA, Odlewnia Żeliwa SA w Zawierciu, Zakład Metalurgiczny WSK Rzeszów Sp. z o.o.

Na polskim rynku aluminium duże znaczenie mają dwa przedsiębiorstwa. Pierwsze z nich to Grupa Kęty SA – spółka zajmująca się przetwórstwem aluminium. Wytwarza profile aluminiowe dla przemysłu budowlanego, motoryzacyjnego, wyposażenia wnętrz, maszynowego oraz wielu innych. Spółka jest ponadto podmiotem dominującym grupy kapitałowej w trzech podstawowych obszarach:

- produkcja profili aluminiowych oraz komponentów na ich bazie,
- systemy okien, drzwi, fasad aluminiowych i rolet zewnętrznych,
- opakowania giętkie.

Firma współpracuje z klientami z około 60 krajów na całym świecie, utrzymując jednocześnie status największego w Polsce dostawcy profili i komponentów aluminiowych oraz tworzonych na ich bazie systemów aluminiowych dla budownictwa. Jest liderem w produkcji materiałów opakowaniowych i łatwo recyklingowalnych folii polipropylenowych w Polsce. Grupa Kęty bardzo dużo środków przeznacza na inwestycje rozwojowe. łączna wartość wydatków inwestycyjnych w latach 2021–2025 wyniosła 1321 mln PLN i została przeznaczona np. na rozbudowę mocy produkcyjnej. Poza sferą podstawowej działalności Grupa inwestuje także w OZE. Jej przychody ze sprzedaży wynosiły w 2023 r. 5979 mln PLN, a w 2022 r. 5164 mln PLN. Zysk netto w 2022 r. wynosił 539 mln PLN, a w 2023 r. wzrósł do 678 mln PLN. Rentowność sprzedaży wynosiła w 2022 r. 10,9%, a w 2023 r. 11,3%. Strategia Grupy Kęty SA opiera się na czterech filarach:

- wzrost przychodów ponad rozwój rynków, na których działa,
- wysoka rentowność operacyjna,
- realizacja inwestycji rozwojowych,
- odpowiedzialność środowiskowa i społeczna.

Drugim ważnym graczem na polskim rynku jest Grupa Alumetal. Zdolności produkcyjne wchodzących w jej skład zakładów wynoszą 275 000 t aluminium rocznie. Grupa jest jednym z największych producentów wtórnych aluminiowych stopów odlewniczych w Europie. Oprócz stopów wtórnych Grupa specjalizuje się w produkcji stopów wstępnych, tzw. zapraw aluminiowych, aluminium do odtleniania stali, a także topników i soli. Odbiorcą ponad 90% produktów jest przemysł motoryzacyjny. Przychody Grupy ze sprzedaży w 2023 r. wynosiły 2946 mln PLN, a w 2022 r. 3266 mln PLN. Zysk netto w 2022 r. wynosił 245 mln PLN, a w 2023 r. 252 mln PLN. Rentowność sprzedaży w 2022 r. wynosiła 7,5%, a w 2023 r. 8,6%. Strategia Grupy polega na sprzedaży wysokiej jakości stopów odlewniczych, wykorzystując w polityce cenowej efekt skali. Na rynku funkcjonuje ponadto wiele prężnych przedsiębiorstw oferujących nowoczesne produkty aluminiowe, a o ich

pozycji konkurencyjnej świadczą uzyskiwane wyniki finansowe. I tak prawie 350 mln PLN wypracował Aluprof, nieco ponad 100 mln PLN Aliplast, a w granicach 60 mln PLN Ponzio i Cortizo. Łączna EBITDA tych czterech dostawców wzrosła w porównaniu z 2021 r. o 4,2% – do 571,5 mln PLN. Odpowiadają oni za 90% całego wskaźnika EBITDA branży dostawców systemów aluminiowych dla budownictwa w Polsce. Zysk netto to także wskaźnik, w którym najwyższy poziom uzyskał Aluprof (229 mln PLN). Z kolei pod względem rentowności sprzedaży netto najlepszy wynik wśród dostawców systemów aluminiowych odnotował Aliplast (20,5%), który przy sprzedaży na poziomie 709,1 mln PLN wypracował aż 145,1 mln PLN zysku.

Reasumując, polski rynek produktów aluminiowych ma duży potencjał, tworzy go wiele silnych ekonomicznych przedsiębiorstw z Grupą Kęty na czele. Na rynku miedzi o potencjale konkurencyjnym decyduje największy producent tego metalu w Europie, którym jest KGHM Polska Miedź SA. Wielkość produkcji to ponad 600 tys. t, a wielkość przychodów ze sprzedaży w 2022 r. wynosiła około 33,8 mld PLN, a w 2023 r. 33,5 mld PLN. Zysk netto w 2022 r. wynosił 4,7 mld PLN, a w 2023 r. 3,67 mld PLN. Rentowność sprzedaży w 2022 r. wynosiła 13,9%, a w 2023 r. kształtowała się na poziomie 11%. W woj. śląskim funkcjonuje spółka córka KGHM, tj. Walcownia Metali Nieżelaznych Łabędy SA. Jest obecnie jedyną firmą w Polsce produkującą wyroby walcowane z miedzi i stopów miedzi w pełnym cyklu produkcyjnym. Dysponuje odlewnią, walcownią gorącą i walcownią zimną. Pozwala to na optymalizację kosztów produkcyjnych i pełną kontrolę nad procesem wytwórczym. Jest firmą specjalizującą się w stopach miedzi rzadko produkowanych, co daje jej znaczną przewagę nad konkurencją. Z pewnością szansą śląskiego hutnictwa metali nieżelaznych jest wyspecjalizowane przetwórstwo, wykorzystujące ogromny potencjał przedsiębiorstwa KGHM Polska Miedź SA.

Sektor tworzyw sztucznych produkujący 2,4 mld produktów tworzą:

1. dostawcy (producenci) surowców do przetwórstwa (np. z polimeryzacji),
2. przetwórcy tworzyw sztucznych (producenci wyrobów sztucznych) – najliczniejszy podsektor,
3. dostawcy maszyn, urządzeń i rozwiązań technologicznych dla producentów wyrobów z tworzyw sztucznych,
4. recyklerzy.

Przedsiębiorstwa z pierwszej grupy to korporacje lub ich spółki zależne, a z grup pozostałych to głównie MŚP. W Polsce produkowane są podstawowe polimery: polioolefiny i MDPE (producent Orlen SA), polichlorek winylu PCW (producent ANWIL Włocławek Grupa Orlen), politereftalan etylenu PET (producent Indorama Venture Poland Włocławek), poliesteryny (Synthos SA), a także niektóre tworzywa konstrukcyjne, np. polamidy, żywice poliestrowe i epoksydowe, poliole (producenci Grupa Azoty, Sarzyna Chemical, Lerg, PCC Rokita). ANWIL jest jedynym producentem polichlorku winylu w Polsce. Produkcja realizowana jest w ciągu zintegrowanym, a kompleks we Włocławku jest jednym z największych w Europie pojedynczych zintegrowanych ciągów i ma dobrą pozycję konkurencyjną wśród europejskich producentów. Zatrudnia około 1,7 tys. pracowników, a jego obroty wynoszą około 3,0 mld PLN. Z kolei PCC Rokita SA jest jednym z europejskich producentów polieteropolioli o nazwie handlowej ROKOPOL®. Są one wykorzystywane do produkcji: poliuretanowych pianek elastycznych, pianek sztywnych, farb i lakierów, klejów, uszczelnaczy i elastomerów. Poliuretany mają bardzo szerokie zastosowanie w wielu różnych gałęziach przemysłu, np. w motoryzacji, budownictwie czy meblarstwie. Stosowane są m.in. do produkcji pian visco, z których powstają wysokiej jakości materace przeciwdrożdżynowe. W ofercie polioli znajdują się również takie grupy produktów, jak: poliole poliestrowe, prepolimery. Spółka zatrudniała w 2023 r. prawie 1500 pracowników, osiągnęła przychody na poziomie 2,3 mld PLN oraz 267 mln zysku, a rentowność sprzedaży wynosiła prawie 12%. Z kolei do największych producentów kompozytów w Polsce należą:

- Sarzyna Chemical Sp. z o.o. – produkuje: żywice epoksydowe, poliestrowe, farby proszkowe, żelkoty i topkoty, utwardzacze, żywice fenolowo-formaldehadowe,
- Lerg SA – produkuje i eksportuje: żywice poliestrowe, nowolakowe, fenolowe, odlewnicze, żywice klejowo-aminowe, żywice do farb, formaliny oraz produktów do renowacji karoserii samochodowej marki Polfill,
- BUFA Composites Poland Sp. z o.o. – dystrybutor materiałów kompozytowych,

- MCPP Sp. z o.o. – oferuje: granulaty i polimery specjalistyczne, elastomery termoplastyczne (TPE-S, TPV, TPO, TPE-E), miękkie i sztywne materiały na bazie PVC, proszkowe materiały do odlewania rotacyjnego, polimery funkcyjne, bezhalogenowe uniepalnione poliolefiny funkcyjne,
- ECPS Group jest producentem kompozytów z włókna węglowego.

O pozycji konkurencyjnej przedsiębiorstw sektora tworzyw sztucznych w dużym stopniu decydują zrealizowane inwestycje. Ich poziom w 2023 r. wynosił 7,36 mld PLN w stosunku do 3,3 mld PLN w 2013 r.

Reasumując, polski przemysł tworzyw sztucznych jest znaczący dla polskiej gospodarki, konkurencyjny, o dużym potencjale produkcyjnym, nowoczesnych produktach i dysponujący wykwalifikowaną kadrą.

Polski przemysł szklarski obejmuje ponad 100 przedsiębiorstw. Polskie huty produkują ponad 3 mln t szkła rocznie. W tym opakowania (1,7–1,8 mln t) oraz szkło płaskie (ponad 1 mln t), w opakowaniach dominują butelki i słoje wykonane ze szkła bezbarwnego (prawie 80% produkcji). Większość polskich hut szkła opakowaniowego przeszła w ostatnich latach gruntowną modernizację. W woj. śląskim działają dwie duże huty – BAGlas Orzesze i Stoezle Częstochowa. W Polsce głównymi producentami szkła float są trzy koncerny: Pilkington, Saint-Gobain, które posiadają huty i fabryki szkła na terenie kraju oraz Glaverbel, który importuje szkło z Czech i Belgii. Te trzy koncerny wykonują też szyby zespolone. Koncern Saint-Gobain jest inwestorem w 25 zakładach zlokalizowanych w różnych regionach Polski, w tym w woj. śląskim w Gliwicach, Sosnowcu i Dąbrowie Górniczej. Pilkington jest inwestorem w dwóch hutach szkła płaskiego i zespolonego w Sandomierzu. Przedsiębiorstwa przemysłu szklarskiego w Polsce (z kapitałem zagranicznym) są technologicznie nowoczesnymi zakładami zatrudniającymi dobrze wykwalifikowanych pracowników (tradycja i kultura organizacji), wykorzystującymi polskie surowce do produkcji szkła. Przedsiębiorstwa przemysłu szklarskiego w Polsce są konkurencyjne i efektywne ekonomicznie.

6.1.3.5. Sektory wspierające

Analiza sektorów pokrewnych i wspierających została przeprowadzona w ujęciu przedmiotowym, odnoszącym się do zidentyfikowanych wyzwań oraz w ujęciu podmiotowym, identyfikującym konkretne sektory i instytucje wsparcia. Przyjmując wyzwania zapisane w polityce państwa za kluczowe dla rozwoju produkcji i przetwarzania materiałów zwrócono szczególną uwagę na zagadnienia związane z: automatyzacją i cyfryzacją procesów technologicznych, rozwojem Przemysłu 4.0 i sztucznej inteligencji.

Dla firm, które pragną zwiększyć efektywność, obniżyć koszty i utrzymać konkurencyjność, zaawansowana automatyzacja produkcji staje się koniecznością. Do takiej grupy należą przedsiębiorstwa z sektorów produkcji i przetwarzania materiałów. Automatyzacja produkcji to zastosowanie technologii i systemów, które pozwalają na automatyczne realizowanie, zarządzanie i kontrolowanie procesów produkcyjnych. Obejmuje zarówno wdrożenie robotów przemysłowych, zautomatyzowanych maszyn i linii produkcyjnych, inteligentnej logistyki, jak i zaawansowane oprogramowanie. Takie, które steruje procesami produkcyjnymi, automatyzując planowanie i bezpośrednie zarządzanie zasobami. Korzyści, jakie daje automatyzacja procesów produkcyjnych to:

- zwiększenie efektywności: automatyzacja pozwala na szybsze i bardziej precyzyjne wykonywanie zadań, co prowadzi do zwiększenia wydajności produkcji,
- redukcja kosztów: dzięki automatyzacji można zmniejszyć koszty związane z pracą ludzką oraz zminimalizować straty wynikające z błędów produkcyjnych,
- poprawa jakości: automatyczne systemy kontrolują jakość produkcji na każdym etapie, co redukuje liczbę wadliwych produktów,
- elastyczność: zaawansowane systemy pozwalają na szybkie dostosowanie procesów produkcyjnych do zmieniających się potrzeb rynku.

W obszarze produkcji i przetwarzania materiałów jest wiele dużych przedsiębiorstw, które z sukcesem wdrażają te procesy. Kluczowe jest jednak to, aby współpracujące z nimi MŚP również w dynamiczny sposób wdrażały te rozwiązania.

Transformacja cyfrowa jest procesem, który w sektorze przemysłowym obserwuje się już od co najmniej kilkunastu lat. Jednak w ostatnim czasie, wraz z rozwojem idei Przemysłu 4.0, trend ten wyraźnie przyspieszył. Cyfrowe rozwiązania są bowiem jednym ze sposobów zwiększania elastyczności produkcji, która staje się kluczowa dla zwiększania przewagi konkurencyjnej i szybkiego dostosowywania się do zmieniającego się popytu. Rozwój ten bardzo dobrze pokazują globalne wydatki na cyfryzację w różnych branżach. W minionej dekadzie były to jeszcze kwoty sięgające setek miliardów dolarów. Obecnie są to już kwoty rzędu kilku bilionów dolarów. Jedną z największych korzyści wprowadzania rozwiązań cyfrowych jest dużo szybszy przepływ informacji, co z kolei przekłada się na zwiększenie efektywności praktycznie wszystkich procesów realizowanych w przedsiębiorstwie (Jęcz, 2024). Do najczęściej wdrażanych obecnie technologii cyfrowych należą:

- Internet rzeczy umożliwia zdalne monitorowanie i kontrolowanie urządzeń, co prowadzi do większej efektywności procesów produkcyjnych. Dzięki zebranim danym można identyfikować problemy w czasie rzeczywistym i podejmować decyzje na podstawie aktualnych informacji.
- Chmura obliczeniowa pozwala na elastyczne skalowanie zasobów IT, co jest kluczowe w obliczu rosnącej ilości danych generowanych przez urządzenia IoT. Firmy mogą korzystać z różnych modeli chmurowych (np. publiczny, prywatny, hybrydowy) w zależności od swoich potrzeb i wymogów bezpieczeństwa.
- AI i ML (sztuczna inteligencja i uczenie maszynowe) przyczyniają się do zwiększenia wydajności produkcji przez automatyzację procesów oraz przewidywanie awarii maszyn, co pozwala na minimalizację przestojów. Umożliwiają również personalizację produktów i usług, co zwiększa satysfakcję klientów.
- Przetwarzanie brzegowe zmniejsza obciążenie sieci przez lokalne przetwarzanie danych, co jest szczególnie korzystne w przypadku aplikacji wymagających niskiej latencji, takich jak autonomiczne pojazdy czy systemy monitorowania zdrowia.
- Cyberbezpieczeństwo – wraz z rozwojem Przemysłu 4.0 rośnie znaczenie zabezpieczeń. Firmy muszą inwestować w technologie ochrony danych, aby zapobiegać cyberatakam, które mogą prowadzić do poważnych strat finansowych oraz zakłóceń w produkcji.
- Cyfrowe bliźniaki są kluczowe dla symulacji scenariuszy produkcyjnych oraz testowania nowych technologii bez ryzyka dla rzeczywistych procesów. Umożliwiają również lepsze zrozumienie i optymalizację istniejących systemów.

Te technologie i koncepcje są fundamentem przyszłości przemysłu, wspierając innowacje oraz efektywność operacyjną. W miarę dalszego rozwoju Przemysłu 4.0 można spodziewać się jeszcze większej integracji tych rozwiązań w badanym obszarze technologicznym. To nie tylko kwestia dostosowania się do zmian, ale również wykorzystania nowych możliwości, jakie niesie ze sobą rewolucja cyfrowa. Obecne trendy produkcyjne wyraźnie pokazują, że tylko wdrażanie technologii cyfrowej zapewni znaczącą poprawę wydajności produkcji, pozwoli ograniczyć koszty działalności i w efekcie pozwoli utrzymać przewagę konkurencyjną przedsiębiorstwa. Z raportu³⁸, który zawiera wyniki badań 5515 dobranych celowo przedsiębiorstw z terytorium Polski, wynika, że najczęściej wykorzystywaną technologią w procesach produkcji (43,2%) jest internet rzeczy. Chmurę obliczeniową stosowano w 31,9% badanych przedsiębiorstwach, a sztuczną inteligencję w 11,7%. Analizy danych typu big data były przeprowadzane w 5,2% podmiotów, mimo że w ponad 12% pozyskiwano wielkie wolumeny danych. W rezultacie polskie przedsiębiorstwa, szczególnie MŚP, nie są jeszcze odpowiednio przygotowane do wdrożenia założeń Przemysłu 4.0, które w bliskiej perspektywie stają się nieuniknione. Trzeba jednak pamiętać, że te przedsięwzięcia generują znaczne koszty, które opóźniają procesy wdrożeniowe.

W dokumencie Polityka rozwoju sztucznej inteligencji w Polsce (Polityka, 2024) zapisano cel strategiczny, jakim jest wykorzystanie badań i rozwoju AI do wzrostu innowacyjności i produktywności

³⁸ Wypracowanie metodologii oraz badanie stopnia dostosowania wybranych przedsiębiorstw do wymogów gospodarczych, jakie stawia czwarta fala rewolucji przemysłowej (Przemysł 4.0), <https://stat.gov.pl/statystyki-eksperymentalne/badania-i-rozwoj-innowacyjnosc-spoleczenstwo-informacyjne/wypracowanie-metodologii-oraz-badanie-stopnia-dostosowania-wybranych-przedsiębiorstw-do-wymogow-gospodarczych-jakie-stawia-czwarta-fala-rewolucji-przemyslowej-przemysl-4-0,13,1.html> (dostęp 30.01.2025).

gospodarki budowanej na danych, a także wsparcie obywateli w procesach transformacji środowiska pracy oraz doskonalenia kompetencji, przy uwzględnieniu ochrony godności człowieka oraz zapewnieniu warunków uczciwej konkurencji. AI jest więc dla badanego obszaru technologicznego zarówno klientem, co wcześniej wykazano, jak i wsparciem w kontekście dynamicznych i niepewnych zmian.

Z perspektywy sektorowej i podmiotowej na szczególne wyróżnienie zasługują sektory energetyczny i ICT. Pierwszy z nich stanowi istotny wymiar konkurencyjności i innowacyjności, jakie mogą osiągnąć podmioty działające w obszarze produkcji i przetwarzania materiałów. Wzrost cen energii i wymogi związane z neutralnością klimatyczną wymuszają na przedsiębiorstwach działających w badanym obszarze technologicznym stosowanie energooszczędnych i dążących do neutralności klimatycznej rozwiązań. Sektor ICT można zaś nazwać kluczowym komplementariuszem w procesie rozwoju automatyzacji, cyfryzacji czy wdrażania rozwiązań Przemysłu 4.0.

Sektor energetyczny jest szczególnie istotny ze względu na rosnące koszty energii oraz presję na osiągnięcie neutralności klimatycznej. Przemysł produkcyjny i przetwórczy staje przed wyzwaniem wdrożenia energooszczędnych technologii oraz zrównoważonych praktyk, co nie tylko wpływa na ich efektywność operacyjną, ale także na ich wizerunek i zgodność z regulacjami środowiskowymi. Firmy, które skutecznie zaadoptują rozwiązania innowacyjne w zakresie energii, mogą zyskać przewagę konkurencyjną, a także przyczynić się do rozwoju innowacyjnych rozwiązań w zakresie ochrony środowiska. Sektor ICT natomiast, jako kluczowy komplementariusz, wspiera rozwój automatyzacji i cyfryzacji. W kontekście Przemysłu 4.0, technologie informacyjno-komunikacyjne są niezbędne do integracji systemów, zbierania i analizy danych oraz optymalizacji procesów produkcyjnych. Dzięki zastosowaniu sztucznej inteligencji, internetu rzeczy i innych innowacyjnych technologii, przedsiębiorstwa mogą zwiększać swoją efektywność, poprawiać jakość produktów oraz dostosowywać się do zmieniających się potrzeb rynku.

Istotnym obszarem wsparcia dla sektora przedsiębiorstw są również instytucje otoczenia biznesu (IOB). Są to organizacje powiązane z administracją lokalną lub regionalną, których zadaniem jest wspieranie informacyjne, rzeczowe i finansowe lokalnych i regionalnych przedsiębiorców. W Polsce organizacją zrzeszającą krajowe instytucje otoczenia biznesu jest Stowarzyszenie Organizatorów Ośrodków Innowacji i Przedsiębiorczości³⁹, które regularnie publikuje raporty o działalności IOB. Celem działania instytucji otoczenia biznesu jest dostarczanie przedsiębiorcom wiedzy i zasobów materialnych do efektywnego prowadzenia biznesu. Odbывается to przez realizację projektów zwiększających kompetencje przedsiębiorców i ich pracowników, obsługę informacyjną, dostarczanie infrastruktury (miejsca, wyposażenia), a także pomoc w znalezieniu źródeł finansowania (poszukiwanie inwestora, pomoc w uzyskaniu pożyczki i kredytu, poręczenia kredytowe).

Aktualny raport SOOiP z 2024 r. pokazuje, że woj. śląskie posiada 24 ośrodki innowacji i przedsiębiorczości, w tym 15 ośrodków innowacji (OI) oraz dziewięć ośrodków przedsiębiorczości (OP). Oznacza to drugie miejsce w kraju pod względem liczebności, pierwsze zajmuje woj. mazowieckie. Badane OI najczęściej realizowały usługi innowacyjne, które zadeklarowało aż 91%. Na drugim miejscu wskazano programy inkubacyjne (65%), co może być związane z dostępnymi formami finansowania takiego rodzaju wsparcia (np. platformy, boostery).

Spośród badanych w 2024 r. ośrodków innowacji, najwięcej, bo 20, wykazało aktywność w obszarach:

- kontakty z dostawcami i odbiorcami technologii – 639 usług,
- analiza rynku i określenie potencjału rynkowego i technicznych możliwości rozwoju przemysłu – 533 usługi,
- doradztwo w zakresie praw własności intelektualnej – 456 usług.

Ekosystem innowacji w woj. śląskim, dzięki zaangażowaniu interesariuszy i prowadzonej polityce, wspomaga aktywność przedsiębiorstw, które wpisują się w kluczowe priorytety rozwoju regionalnego i wpływają na rozwój innowacji w regionie. Elementem tego ekosystemu jest również ekosystem start-upów, który został poddany ocenie (Start-up, 2023). Wynika z niej, że:

³⁹ www.sooipp.org.pl (dostęp 22.01.2025)

- potencjał woj. śląskiego jest określany jako wysoki ze względu na położenie geograficzne, wielkość rynku zbytu czy duże zagęszczenie miast, przedsiębiorstw i specjalistycznych ośrodków,
- śląski ekosystem start-upowy jest we wstępnej fazie tworzenia i jeszcze nie osiągnął oczekiwanego poziomu gęstości interesariuszy i nasycenia instytucjonalnego,
- motywacją do rozpoczęcia innowacyjnej działalności przez mieszkańców woj. śląskiego jest szukanie niezależności i autonomii,
- śląscy start-upowcy odznaczają się silnym przywiązaniem do regionu i patriotyzmem lokalnym,
- choć projekty śląskich start-upów rozpoczynają działalność lokalnie, to dość często już na samym początku myślą globalnie, pozycjonując się na rynku światowym i konfrontując swoją ofertę z konkurencją na świecie,
- mieszkańcy woj. śląskiego zazwyczaj rezygnują z prób realizacji swojego pomysłu na biznes ze względu na brak funduszy, nieprecyzyjność koncepcji oraz brak wiary we własne możliwości,
- wyzwania start-upowców najczęściej wiążą się z pozyskaniem inwestora, znalezieniem właściwych zasobów ludzkich do realizacji projektu oraz komercjalizacją innowacji,
- najczęściej przywoływaną kategorią oczekiwanego wsparcia przez start-upowców jest wsparcie merytoryczne i doradcze, a w dalszej kolejności finansowe i lokalowe,
- śląski ekosystem rozwija się wyspowo, co oznacza, że dostęp do informacji o instrumentach wsparcia czy podmiotach wspierających innowacje jest nierównomierny na terenie województwa.

Wielkie firmy zajmujące się produkcją i przetwarzaniem materiałów korzystają z zalet swojej lokalizacji oraz dostępu do surowców, materiałów i infrastruktury. Aby małe i średnie przedsiębiorstwa mogły współpracować z tymi dużymi graczami, konkurować na coraz bardziej wymagającym rynku oraz wprowadzać innowacje w dziedzinie produkcji i przetwarzania materiałów, potrzebują wsparcia oraz zintegrowanych rozwiązań.

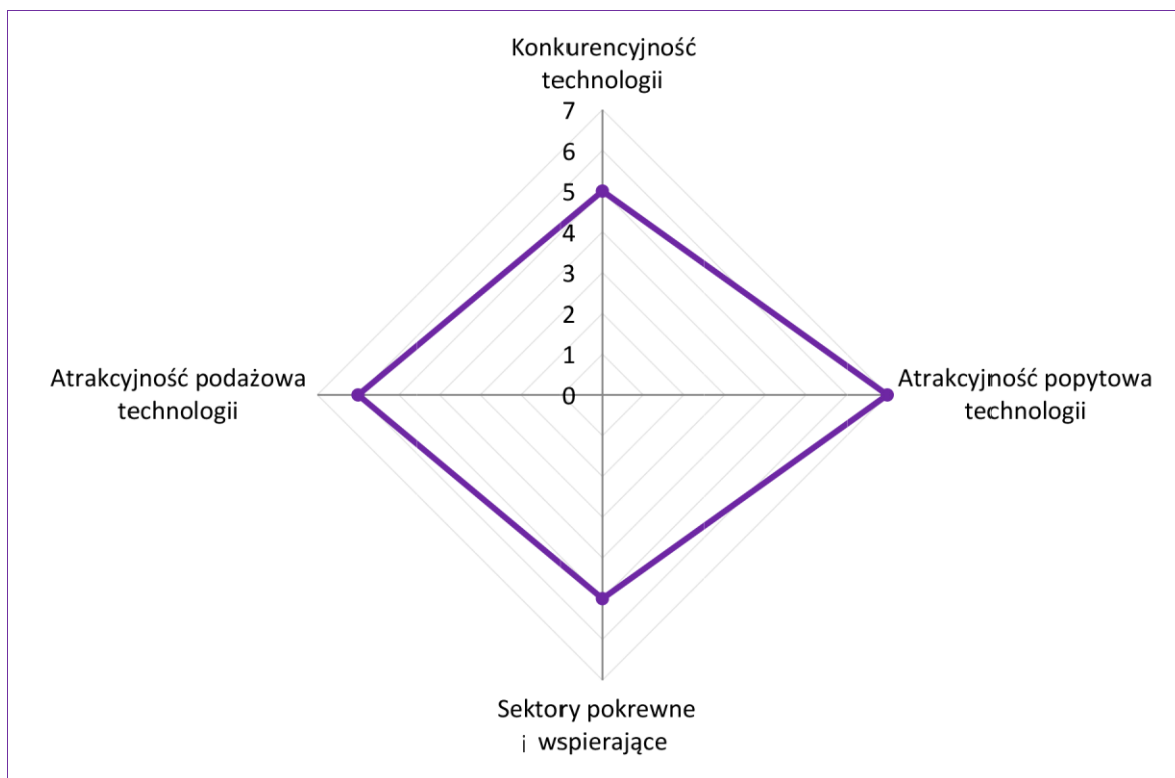
6.1.3.6. Podsumowanie

Wyniki analizy czterech czynników opisanych w modelu oceny atrakcyjności technologii w sposób syntetyczny przedstawiono w tabeli 6.10.

Tabela 6.10. Podsumowanie analizy atrakcyjności technologii w obszarze produkcji i przetwarzania materiałów

Czynnik	Analiza czynnika
Atrakcyjność popytowa technologii	– umiarkowany wzrost popytu na wyroby stalowe i tworzywa sztuczne – dynamiczny wzrost popytu na wyroby z miedzi, aluminium, szkła – wzrost popytu wśród dotychczasowych i nowych odbiorców (AI, sektor kosmiczny, magazyny energii) tych tworzyw – dynamiczny wzrost popytu na wyroby z miedzi, aluminium, szkła
Atrakcyjność podażowa technologii	– duża dostępność surowców i materiałów do przetwórstwa – korzystna infrastruktura transportowa i logistyczna – szeroki wachlarz rozwiązań technologicznych dotyczących produkcji podstawowej i pomocniczej – doświadczenie w regionie w prowadzeniu aktywności w obszarze produkcji i przetwarzania materiałów – wykwalifikowany i doświadczony kapitał ludzki, stanowiący o sile bieżącego potencjału wytwórczego – wiodące uczelnie i instytuty badawcze w skali kraju – słabnąca współpraca nauka-biznes – wyczerpujące się wykwalifikowane zasoby ludzkie i fluktuacja kadry
Konkurencyjność technologii	– światowe, w tym polskie koncerny przemysłowe produkujące i przetwarzające tworzywa – konkurencyjność wyrobów stalowych oparta na tradycyjnych technologiach i produktach – konkurencyjność wynikająca z poprawy jakości i efektu skali – niska konkurencyjność wynikająca z wysokiej energo- i materiałochłonności (przy wysokich cenach energii) – wysoki poziom konkurencyjności przemysłu miedziowego, który powinien być wyzwaniem dla rozwoju przetwórstwa miedzi w regionie – nowoczesne i efektywne przedsiębiorstwa działające w sektorze przetwórstwa aluminium – nowoczesny rynek producentów szkła – znaczne możliwości wykorzystania rodzimych surowców do produkcji tworzyw metalicznych, sztucznych i ceramicznych – wysokie ceny energii
Sektory pokrewne i wspierające	– duże uzależnienie od rozwoju sektora energetycznego i usług ICT – konieczność intensyfikacji działań w obszarze automatyzacji i cyfryzacji produkcji – neutralność klimatyczna i zielona rewolucja jako wyznaczniki przyszłego rozwoju obszaru technologicznego – dynamiczny rozwój Przemysłu 4.0

Podsumowanie analizy z wykorzystaniem czterech elementów oceny atrakcyjności technologii zakończono wartościowaniem z wykorzystaniem skali siedmiostopniowej oraz prezentacją na wykresie radarowym. Oceniono kompleksowe oddziaływanie danej siły według następującej skali: (1) bardzo słaba, (2) słaba, (3) umiarkowanie słaba, (4) neutralna, (5) umiarkowanie znacząca, (6) znacząca, (7) bardzo znacząca.



Rys. 6.4. Ocena czterech sił dla obszaru technologicznego

Konkludując, najsilniej na rozwój i atrakcyjność technologii oddziałują uwarunkowania popytowe i w niewiele mniejszym stopniu uwarunkowania podażowe. Konkurencyjność technologii oraz sektory pokrewne i wspierające mają umiarkowane znaczenie, ale z punktu widzenia strategicznego, stanowią nierozdzielalną część oceny atrakcyjności technologii.

6.2. Uwarunkowania rozwoju obszaru technologicznego – analiza PESTEL

Najbardziej ogólną spośród analiz otoczenia powszechnego jest analiza PEST, posiadająca również swoje rozwinięcia w postaci analizy PESTEL i STEEPLED (Gladden, 2017). Polega ona na identyfikacji czynników wpływających na organizację w ramach następujących obszarów:

1. polityczno-prawny (P),
2. ekonomiczny (E),
3. społeczny (S),
4. technologiczny (T),
5. środowiskowy (E),
6. prawny (L).

OTOCZENIE POLITYCZNO-PRAWNE

- **Polityka państwa wobec uruchomienia lub rozwinięcia produkcji**

Pierwszym obszarem otoczenia zewnętrznego warunkującym działalność opartą na technologiach produkcji metali, materiałów ceramicznych i tworzyw, jest obszar polityczno-prawny. Polityka gospodarcza, a w jej ramach polityka innowacyjna, obejmuje tworzenie dobrych warunków do

prowadzenia działalności gospodarczej oraz stosowanie zachęt dotyczących podatków, opłat i wymagań w zakresie prowadzenia działalności produkcyjnej. Uruchomienie produkcji w Polsce, bez względu na stosowaną technologię, wymaga zgodności z przepisami:

- 1) Kodeksu pracy – wymagania w zakresie zatrudniania pracowników i warunków pracy (Ustawa, 1976),
- 2) przepisami BHP – najbardziej ogólne w tym zakresie jest Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (Rozporządzenie, 1997) oraz przepisy szczegółowe, w szczególności Rozporządzenie (2002) w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy w zakresie użytkowania maszyn przez pracowników podczas pracy,
- 3) Ustawy z dnia 30 sierpnia 2002 r. o systemie oceny zgodności – wymagania techniczne dla urządzeń i systemów produkcyjnych (Ustawa, 2002),
- 4) Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 21 października 2008 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn (Rozporządzenie, 2008).

Zasady polityki w tym zakresie są wymagające dla przedsiębiorstw, nie stanowią jednak istotnej bariery rozwojowej. Należy również podkreślić, że regulacje dotyczące warunków pracy w Polsce i w UE są systematycznie rozbudowywane. Wzrasta świadomość przepisów i zasad BHP oraz ich roli w działalności produkcyjnej (CIOP, 2024). Podobny trend obserwuje się w zakresie polityki zgodności z wymaganiami technicznymi, która również odgrywa coraz większą rolę w funkcjonowaniu przedsiębiorstw.

Znacznie bardziej na sektor przedsiębiorstw wpływa podniesienie płacy minimalnej: jej podwyższenie od 1 lipca 2024 r. do 4300 PLN oznacza wzrost o 700 PLN w stosunku do kwoty z 1 lipca 2023 r. (3600 PLN), czyli o 19,4% (SRP, 2023).

Wśród faktów, które wpływają na sferę przedsiębiorstw w obszarze podatków i finansów należy wymienić wprowadzony od 1 lipca 2024 r. obowiązek umieszczania e-faktur w bazie prowadzonej przez fiskusa. Wdrożenie Krajowego Systemu e-Faktur (KSeF) to istotna zmiana dla firm, które dostosowują swoje procesy fakturowania do obowiązujących przepisów dotyczących elektronicznego przesyłania faktur i chcą skutecznie wdrożyć elektroniczny proces wystawiania, przesyłania i odbierania faktur.

Zarówno UE, jak i Polska, będąca jej członkiem, dążą do ograniczenia emisji dwutlenku węgla (CO₂) we wszystkich procesach, w tym w procesach emisyjnych.

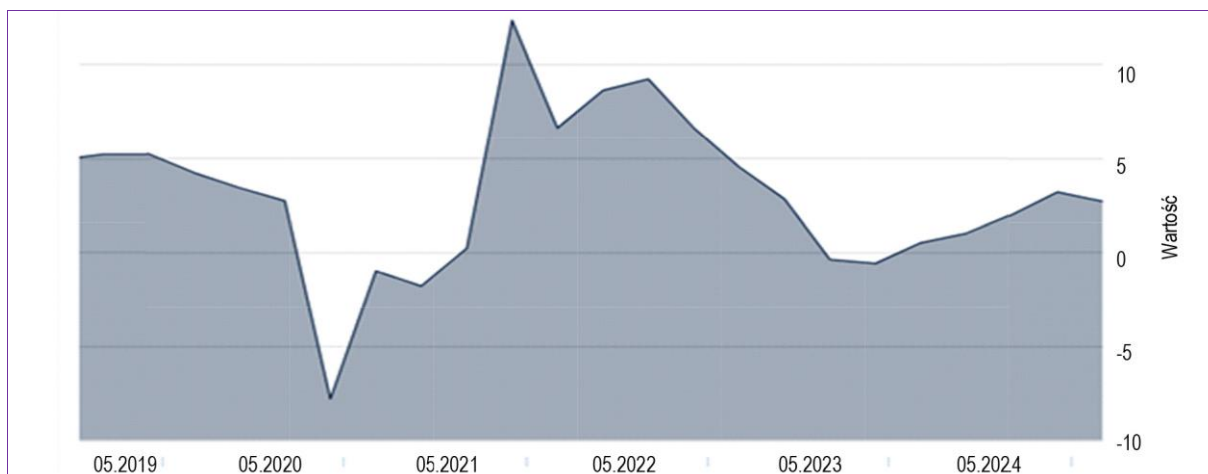
Istotnym elementem wsparcia przedsiębiorstw produkcyjnych są programy oferujące finansowanie projektów badawczych i rozwojowych.

Można podsumować, że sytuację polityczno-prawną charakteryzuje stabilność i rosnące wymagania dla sektora przedsiębiorstw w obszarze ekologii, warunków pracy i jakości, które niestety zmniejszają globalną konkurencyjność sektora.

OTOCZENIE EKONOMICZNE

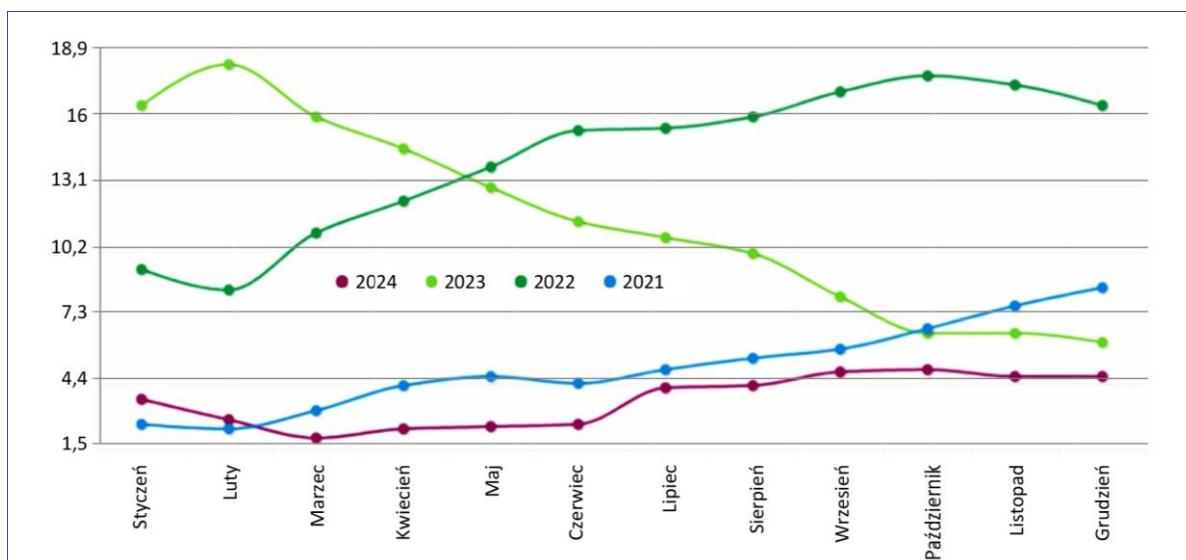
• Stabilność sytuacji gospodarczej

Wzrost gospodarczy, będący kluczowym miernikiem rozwoju gospodarki w Polsce, pod koniec 2024 r. był prognozowany na 3%, a w prognozach z początku 2025 r. był określany w przedziale 2,7–2,9% (Biznes PAP, 2024). Po okresie pandemii, w której wzrost miał wartości minimalne: 7,8%, nastąpiły dwa lata dużego wzrostu – 2021 r.: 12,3% i 2022 r.: 9,2%. Od tego czasu wzrost rok do roku spowolniła, przyjmując w drugim kwartale 2023 r. wartości ujemne (rys. 6.14). Na tym tle w 2024 r. występowała tendencja wzrostowa.



Rys. 6.14. Wzrost PKB Polski rok do roku w okresie 2018–2024⁴⁰

Inflacja jako czynnik destabilizujący koniunkturę inwestycyjną była szczególnie dotkliwa w latach 2022–2023, w lutym 2023 r. odnotowano wartość wskaźnika wzrostu cen (CPI) wynoszącą ponad 18% (rys. 6.15). Od tego momentu wskaźnik inflacji maleje, nie przekraczając obecnie 4%.

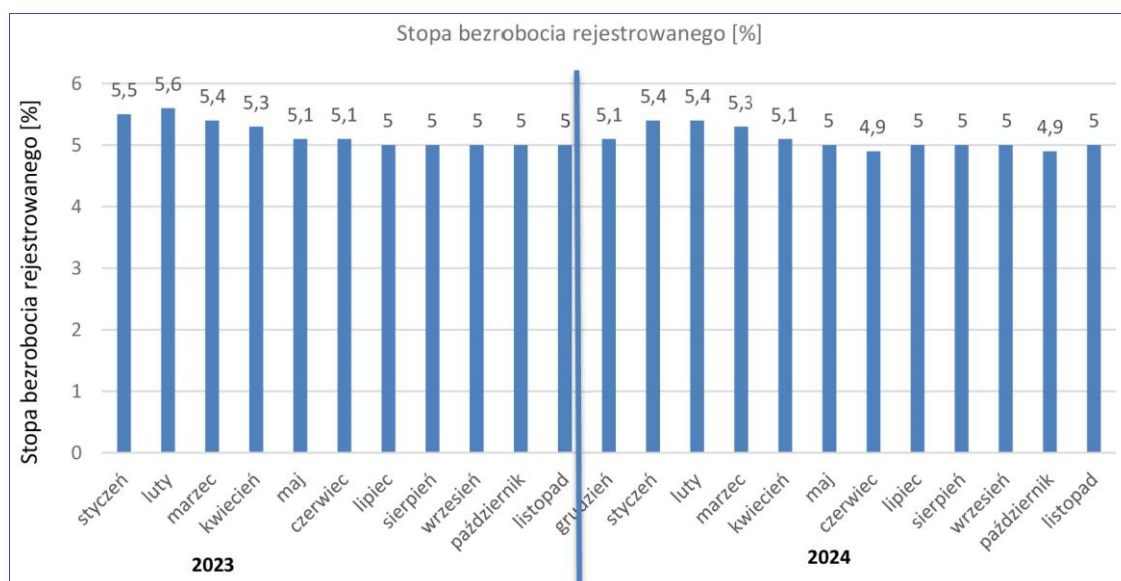


Rys. 6.15. Inflacja (wskaźnik CPI) [%] miesiąc do miesiąca poprzedniego roku w latach 2021–2022⁴¹

Bezrobocie w Polsce utrzymuje się na poziomie, który nie rodzi poważnych problemów społecznych i nie stanowi istotnej bariery rozwojowej dla sektora przedsiębiorstw. Jest to głównie bezrobocie strukturalne rejestrowane (ok. 5% – rys. 6.16), dotyczące przede wszystkim osoby o niskich kwalifikacjach. Zarówno w przemyśle, jak i w budownictwie od kilku lat brakuje pracowników, szczególnie specjalistów i osób wykwalifikowanych. W woj. śląskim stopa bezrobocia jest stosunkowo niska – w listopadzie 2024 r. wyniosła 3,5% i jest zróżnicowana w podregionach (np. podregion katowicki – 2,0%, podregion tyski – 2,2%, powiat częstochowski – 4,8%, podregion bytomski – 5,9%).

⁴⁰ <https://www.bankier.pl/gospodarka/wskazniki-makroekonomiczne/pkb-rdr-pol> (dostęp 10.01.2025)

⁴¹ <https://stat.gov.pl/wykres/1.html> (dostęp: 10.01.2025)



Rys. 6.16. Stopa bezrobocia w Polsce w latach 2023–2024⁴²

Sytuacja w eksporcie Polski jest dobra, od 2023 r. istotnie poprawia się. Wojna w Ukrainie, która stanowi zagrożenie dla bezpieczeństwa Polski, spowodowała również wzrost eksportu broni. Działami towarowymi, w których Polska odnotowuje najwyższą wartość wskaźnika ujawnionej przewagi komparatywnej (ang. *revealed comparative advantage*, RCA), są:

- tytoń i przemysłowe namiastki tytoniu (dział 24),
- broń i amunicja, ich części i akcesoria (dział 93),
- książki, gazety i pozostałe wyroby przemysłu poligraficznego (dział 49),
- przetwory z mięsa, ryb lub skorupiaków (dział 16),
- mięso i podroby jadalne (dział 02) (PFR, 2024).

W ramach produkowanej i eksportowanej broni największe znaczenie miały:

- bomby, torpedy, miny, pociski oraz pozostała amunicja oraz granaty i ich części,
- broń artyleryjska (np. armaty, haubice i moździerze),
- wyrzutnie rakiet, miotacze ognia, granatniki, wyrzutnie torped i podobne miotacze.

Udział Ukrainy w eksporcie broni z Polski wyniósł w 2022 r. i 2023 r. odpowiednio 90,9% i 90,4%, w porównaniu do 17,8% z 2021 r. czy 3,3% z 2004 r. Eksport broni jest szczególnie istotny dla sektora produkcji i przetwarzania materiałów (metale, tworzywa, ceramika balistyczna).

OTOCZENIE SPOŁECZNE

• Stałe poprawiająca się sytuacja społeczna

W Polsce, szczególnie w woj. śląskim, sytuacja społeczna jest stosunkowo dobra i systematycznie się poprawia. Wskaźniki dotyczące bezrobocia, włączenia społecznego, uzależnień oraz rozwiązywania problemów społecznych, ulegają stopniowej poprawie (Strategia, 2020). Wynika to nie tylko ze wzrostu dochodów sektora publicznego, który rozwiązuje problemy społeczne, ale przede wszystkim z polepszającej się jakości życia społeczeństwa. Jest to dobry czynnik wspierający rozwój cywilizacyjny regionu.

• Dobrze wykształcona kadra techniczna średniego i wysokiego szczebla

Ze względu na wysoki ogólny potencjał ludnościowy woj. śląskie posiada duże zasoby kadrowe w obszarze kwalifikacji pracowników średniego szczebla i inżynierów różnych specjalności. Należy jednak zaznaczyć, że specjalistów w zakresie materiałów na wyższym szczeblu kształci się w województwie za mało w stosunku do rzeczywistych potrzeb.

⁴² <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rynek-pracy/bezrobocie-rejestrowane/stopa-bezrobocia-rejestrowanego-w-latach-1990-2024,4,1.html> (dostęp: 10.01.2025)

OTOCZENIE TECHNOLOGICZNE

Czynniki globalnego otoczenia technologicznego zostały odrębnie zidentyfikowane dla tworzyw metalicznych, tworzyw polimerowych oraz tworzyw ceramicznych.

- **Tworzywa metaliczne**

Nowoczesne technologie produkcji stali

Najnowocześniejsze technologie produkcji surowki (i stali ze złomu), jako podstawowego surowca do produkcji stali, polegają na wykorzystywaniu wodoru jako paliwa i reduktora. Wśród wiodących światowych technologii na uwagę zasługują metody COREX i MIDREX. W procesie MIDREX gaz bogaty w wodór (wytworzany przez kraking gazu ziemnego) jest używany w piecu szybowym do redukcji rudy żelaza w stanie stałym. Produktem jest żelazo gąbczaste.

W procesie COREX używane są dwie jednostki. Na dole znajduje się topielnik-gazyfikator, w którym wstępnie zredukowane surowce są topione z węglem niekoksującym i tlenem. Gaz z tej jednostki unosi się do szybu wstępnej redukcji, w którym ruda żelaza/spieki/peletki oraz topniki są redukowane i podgrzewane (Böhm i in., 2013). Są to technologie, na których będą oparte linie produkcyjne, całkowicie wolne od wykorzystywania paliw kopalnych w produkcji surowki. Węgiel będzie używany jako reduktor w procesie wielkopieczowym. Pierwszą taką linię otworzyła w Hofors w Szwecji firma Ovako w 2023 r. (Ovako, 2024).

Druk 3D metali

Wdrożenie technologii przyrostowych, takich jak selective laser melting (SLM), pozwala na precyzyjną produkcję skomplikowanych komponentów ze stopów metali, co znajduje zastosowanie m.in. w medycynie i przemyśle morskim. Przykładem jest działalność Śląskiego Parku Technologii Medycznych, który opracowuje elementy medyczne z tytanu drukowane w 3D. Z kolei Instytut Metali Nieżelaznych (Sieć Badawcza Łukasiewicz) został nagrodzony Złotym Medalem na Międzynarodowych Targach Wynalazczości i Designu KIDE 2024 za innowacyjną technologię produkcji drutów do druku 3D oraz wysokowydajny proces wire arc additive manufacturing (WAAM), wykorzystywany m.in. do wytwarzania śrub okrętowych odpornych na korozję w środowisku morskim.

Innowacje w metalurgii proszkowej

Technologia pozwala na wytwarzanie zaawansowanych stopów metali i elementów o precyzyjnej strukturze, przy minimalnej ilości odpadów. Jest stosowana w przemyśle motoryzacyjnym i lotniczym, który jest silnie obecny na Śląsku. Przedsiębiorstwa w regionie wdrażają technologie metalurgii proszkowej do produkcji elementów konstrukcyjnych o wysokiej odporności.

Technologie energooszczędnego przetwórstwa stali

Zastosowanie pieców elektrycznych (ang. *electric arc furnace*, EAF) w hutnictwie znacząco minimalizuje emisję gazów cieplarnianych w porównaniu do tradycyjnych pieców opalanych koksem. Technologia EAF umożliwia recykling złomu stalowego, co zmniejsza zużycie surowców pierwotnych i ogranicza ślad węglowy procesu produkcyjnego. Dodatkowo, przy wykorzystaniu energii ze źródeł odnawialnych, piece EAF mogą przyczynić się do dekarbonizacji przemysłu stalowego, wspierając bardziej zrównoważoną produkcję metali.

- **Tworzywa polimerowe**

Recykling chemiczny i mechaniczny polimerów

Nowoczesne technologie recyklingu umożliwiają odzyskiwanie i ponowne wykorzystywanie tworzyw sztucznych, takich jak PET i poliolefiny. Dzięki recyklingowi mechanicznemu i chemicznemu można ograniczyć ilość odpadów plastikowych oraz zmniejszyć zużycie surowców petrochemicznych. Szczególnie depolimeryzacja pozwala na rozkład odpadów na pierwotne monomery, co umożliwia ich ponowne wykorzystanie w produkcji wysokiej jakości nowych tworzyw, wspierając gospodarkę o obiegu zamkniętym i redukując negatywny wpływ plastiku na środowisko.

Produkcja polimerów biodegradowalnych

Nowoczesne technologie produkcji polimerów, takich jak PLA (kwas polimlekowy) i PHA (polihydroksyalkaniany), umożliwiają wytwarzanie biodegradowalnych materiałów z odnawialnych surowców. Centrum Badawczo-Rozwojowe Politechniki Śląskiej prowadzi badania nad ich zastosowaniem w przemyśle opakowaniowym i medycznym, dążąc do opracowania ekologicznych i funkcjonalnych rozwiązań.

Nowoczesne technologie wtrysku polimerów

Do produkcji precyzyjnych elementów z polimerów są wprowadzane technologie wtrysku wielokomponentowego (2K) oraz wtrysku mikrostruktur. Firmy motoryzacyjne wykorzystują nowoczesne wtryskarki do produkcji elementów z tworzyw konstrukcyjnych, co podnosi jakość produktów oraz redukuje ilość odpadów produkcyjnych.

Polimerowe ogniwa paliwowe

W technologiach polimerowych ogniw paliwowych kluczową rolę odgrywają membrany polimerowe. W kontekście rozwoju technologii wodorowych jest to jedna z istotnych technologii wykorzystujących tworzywa polimerowe.

- **Tworzywa ceramiczne**

Druk 3D ceramiki technicznej

Technologie addytywne umożliwiają precyzyjne wytwarzanie ceramicznych komponentów o skomplikowanej geometrii, takich jak implanty czy elementy układów elektronicznych. W tym obszarze Katedra Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Politechniki Śląskiej współpracuje z przemysłem, opracowując innowacyjne rozwiązania dla sektora medycznego.

Zaawansowane metody spiekania ceramiki

Technologie spiekania laserowego i mikrofalii umożliwiają produkcję ceramiki o wysokich parametrach wytrzymałościowych.

Czynniki technologiczne wpływające na wszystkie rodzaje tworzyw (metalicznych, ceramicznych, polimerowych)

- **Postęp w inżynierii materiałowej i nanotechnologii**

Nowoczesne materiały obejmują odporne na korozję stopy o wysokiej wytrzymałości i małej masie, inteligentne i biodegradowalne polimery oraz wytrzymałą ceramikę. Ich rozwój wspierają badania prowadzone m.in. przez Instytut Inżynierii Materiałowej Uniwersytetu Śląskiego oraz Laboratorium Nanotechnologii Politechniki Śląskiej.

- **Infrastruktura przemysłowa**

Istniejące zakłady hutnicze, odlewnie i firmy specjalizujące się w obróbce metali są kluczowe dla rozwoju woj. śląskiego.

- **Wyspecjalizowana kadra**

Uczelnie woj. śląskiego oferują kierunki związane z inżynierią materiałową, nanotechnologią, metalurgią, inżynierią chemiczną, co sprzyja kształceniu specjalistów w dziedzinie tworzyw metalicznych, ceramicznych i polimerów.

- **Dostępność surowców i zasobów**

Woj. śląskie ma bogatą historię przemysłową, zwłaszcza w zakresie hutnictwa i metalurgii, co zapewnia łatwy dostęp do metali oraz infrastruktury produkcyjnej.

- **Silna współpraca między ośrodkami akademickimi, instytutami naukowymi i przemysłem**

Silne związki między przemysłem a instytucjami badawczymi przyspieszają transfer technologii w woj. śląskim.

- **Regionalne programy**

Są realizowane liczne regionalne programy wspierające eksport zaawansowanych materiałów na rynki UE i pozaeuropejskie, np. InterGlobal – internacjonalizacja przedsiębiorstw z sektora MŚP z woj. śląskiego, Promocja eksportu i Internacjonalizacja śląskich MŚP.

OTOCZENIE ŚRODOWISKOWE

- **Emisja CO₂ i innych gazów cieplarnianych**

Produkcja metali, zwłaszcza w hutnictwie oraz przetwórstwie żelaza i aluminium jest jednym z głównych źródeł emisji CO₂, odpowiadając za 7–9% globalnej emisji. Wysokotemperaturowe procesy redukcji rudy żelaza w piecach hutniczych są oparte na koksie, co prowadzi do dużego uwalniania się gazów cieplarnianych. Energochłonne technologie, takie jak wypalanie ceramiki w temperaturach powyżej 1200°C, zwiększają dodatkowo zużycie paliw kopalnych, głównie gazu ziemnego, co obciąża środowisko. Ograniczenie emisji wymaga modernizacji procesów oraz wdrażania bardziej zrównoważonych źródeł energii.

- **Efektywność energetyczna**

Rosnące wymogi w zakresie redukcji emisji CO₂ skłaniają producentów do opracowywania materiałów o niższym śladzie węglowym oraz poprawy efektywności procesów przetwórczych, a także dostosowania energooszczędnych technologii wypału ceramiki czy topienia metali oraz recyklingu tworzyw polimerowych i złomu metalicznego.

- **Zużycie surowców mineralnych, energii elektrycznej i paliw kopalnych**

Produkcja metali jest wysoko energochłonna, a w regionach opartych na energetyce węglowej przyczynia się do znacznego obciążenia środowiska przez wysoką emisję CO₂. Eksploatacja surowców, takich jak glina i minerały, prowadzi także do degradacji ekosystemów, zwłaszcza w wyniku eksploatacji odkrywkowej, która niszczy krajobraz, degraduje glebę i wpływa niekorzystnie na lokalne zasoby wodne. Minimalizacja negatywnych skutków wymaga wdrażania bardziej zrównoważonych technologii produkcji oraz efektywnego zarządzania zasobami naturalnymi.

- **Kwestia odpadów**

Produkcja metali i ceramiki generuje znaczne ilości odpadów, takich jak wióry metalowe i odpady hutnicze, co wymaga nowoczesnych metod recyklingu. Coraz większy nacisk kładzie się na odzyskiwanie metali szlachetnych z odpadów przemysłowych, co pozwala na ich ponowne wykorzystanie i redukcję strat surowców. Recykling odpadów ceramicznych stanowi wyzwanie ze względu na ich złożoną strukturę chemiczną, jednak innowacyjne technologie umożliwiają ich ponowne wykorzystanie do produkcji materiałów budowlanych, takich jak cement i kruszywa, co przyczynia się do ograniczenia ilości odpadów i zmniejszenia wpływu na środowisko.

- **Rozwój zrównoważonych technologii (recykling, technologie biopolimerowe, metody energooszczędne)**

Metale charakteryzuje wysoka zdolność do recyklingu, co znacząco redukuje zużycie energii, np. recykling aluminium wymaga jedynie 5% energii potrzebnej do jego pierwotnej produkcji. Zaawansowane technologie laserowe i separacyjne umożliwiają skuteczny odzysk metali z odpadów elektronicznych, takich jak urządzenia IT czy akumulatory samochodów elektrycznych. W przeciwieństwie do metali, tylko 9% światowych odpadów plastikowych jest efektywnie przetwarzanych, ponieważ większość tworzyw nie nadaje się do recyklingu mechanicznego. Alternatywą jest recykling chemiczny (depolimeryzacja), który rozkłada odpady na pierwotne monomery, umożliwiając ich ponowne wykorzystanie do produkcji nowych materiałów.

- **Zanieczyszczenie tworzywami sztucznymi**

Produkcja polimerów jest ściśle powiązana z problemem zanieczyszczenia plastikiem, który stanowi jedno z największych wyzwań ekologicznych. Tworzywa takie jak PET, polietylen i polipropylen są trudne do utylizacji i przyczyniają się do zanieczyszczania oceanów i gleby, a mikroplastik przenika do łańcuchów pokarmowych, wywołując negatywne skutki zdrowotne dla ludzi i zwierząt. Eksploatacja gliny i surowców mineralnych, szczególnie eksploatacja odkrywkowa, prowadzi także do degradacji środowiska. Przemysł generuje zanieczyszczenia pyłowe i toksyczne, w tym tlenki metali (np. żelaza) oraz odpady zawierające metale ciężkie (np. ołów, kadm), które mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia i ekosystemów. Eksploatacja surowców dla przemysłu petrochemicznego (głównie ropy naftowej i gazu ziemnego) jest dużym obciążeniem dla środowiska. Procesy wydobywcze i rafineryjne prowadzą do zanieczyszczenia wód (m.in. solankami, metalami ciężkimi i węglowodorami).

aromatycznymi), a także do emisji gazów cieplarnianych (takich jak metan i ditlenek węgla) oraz lotnych związków organicznych (LZO).

- **Zależność od ropy naftowej**

Wiele polimerów wytwarzanych jest z surowców petrochemicznych, co wiąże się z wysoką emisją gazów cieplarnianych oraz uzależnieniem od nieodnawialnych źródeł energii.

- **Ograniczona biodegradowalność**

Ograniczona biodegradowalność wymusza konieczność opracowania alternatywnych polimerów biodegradowalnych i technologii przetwarzania bioplastików.

- **Degradacja terenów**

Produkcja ceramiki wymaga gliny, kaolinu i innych minerałów, których wydobywanie może powodować degradację środowiska i niszczenie lokalnych ekosystemów.

- **Programy wsparcia**

Przykładem programu wsparcia jest program Fundusze Europejskie dla Śląskiego 2021–2027, którego celem jest m.in. pomoc przedsiębiorstwom w zwiększaniu konkurencyjności i innowacyjności, zwłaszcza w kontekście zielonej transformacji i efektywnego gospodarowania zasobami.

OTOCZENIE PRAWNE

- **Normy jakościowe i techniczne**

W przemyśle hutniczym oraz sektorze obróbki metali kluczowe znaczenie mają międzynarodowe standardy techniczne, takie jak PN-EN ISO (2015), które określają wymagania dotyczące systemów zarządzania jakością. Przepisy Unii Europejskiej, obejmujące m.in. regulacje dotyczące produkcji stali niskowęglowej oraz ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, wymuszają stosowanie nowoczesnych technologii produkcyjnych, takich jak piece łukowe. W sektorze produkcji polimerów oraz ceramiki technicznej obowiązują liczne certyfikacje przemysłowe oraz normy jakościowe. Ich przestrzeganie jest szczególnie istotne w branżach o wysokich wymaganiach technologicznych, takich jak motoryzacja czy medycyna. W przemyśle motoryzacyjnym kluczową rolę odgrywa norma IATF (2016), natomiast w sektorze medycznym istotne są wymagania określone w normie ISO (2016) dotyczącej wyrobów medycznych.

- **Patenty i własność intelektualna**

Regulacje dotyczące patentów i własności intelektualnej odgrywają kluczową rolę w zapewnianiu ochrony innowacji oraz wspieraniu rozwoju przedsiębiorstw. Ochrona własności intelektualnej, w tym patenty i licencje na technologie, stanowią podstawę komercjalizacji wynalazków i ich wykorzystywania na rynku. Istnieje jednak ryzyko naruszeń praw własności intelektualnej, takie jak kopiowanie technologii, w tym procesów przetwórstwa polimerów, co może wpłynąć na decyzje inwestycyjne w określonych regionach. W tym kontekście istotne jest wsparcie ze strony centrów transferu technologii, które pomagają firmom w uzyskiwaniu ochrony patentowej oraz licencjonowaniu innowacyjnych technologii, co zapewnia im bezpieczeństwo prawne i ułatwia dalszy rozwój.

- **Ochrona środowiska i przepisy związane z gospodarką o obiegu zamkniętym**

Przepisy Unii Europejskiej w zakresie ochrony środowiska i gospodarki o obiegu zamkniętym nakładają na przedsiębiorstwa szereg wymagań dotyczących: recyklingu, emisji gazów cieplarnianych, zarządzania odpadami oraz efektywności energetycznej. Dyrektywa (2019a) zobowiązuje do stosowania technologii umożliwiających recykling metali, tworzyw polimerowych i ceramiki, co wpływa na strategie produkcyjne w przemyśle. Równocześnie rozporządzenie REACH (Rozporządzenie, 2006) wymaga stosowania bezpiecznych substancji chemicznych, co przekłada się na rozwój technologii syntezy polimerów i procesów ceramicznych. W kontekście redukcji emisji gazów cieplarnianych prawo nakłada obowiązek wdrażania energooszczędnych procesów produkcji, takich jak kucie metali w wysokich temperaturach przy minimalnym zużyciu energii. Szczególnym nadzorem środowiskowym jest objęty Śląsk, gdzie Program Ochrony Powietrza

wymusza ograniczenie emisji pyłów i gazów cieplarnianych zgodnie z normami BAT, co z kolei skłania zakłady przemysłowe do inwestowania w nowoczesne technologie przetwarzania metali i recyklingu polimerów. Odpowiedzialne zarządzanie odpadami, regulowane m.in. przez ustawę o odpadach (Ustawa, 2012) oraz Dyrektywę (2019a), prowadzi do wdrażania innowacyjnych rozwiązań, takich jak przetwarzanie odpadów ceramicznych na nowe produkty, np. cegły budowlane. Przedsiębiorstwa zobowiązane są także do przeprowadzania audytów energetycznych oraz wdrażania systemów zarządzania energią zgodnych z normą ISO (2018), co ma szczególne znaczenie w energochłonnych sektorach, takich jak produkcja metali i ceramiki.

- **Przepisy BHP i ergonomia pracy**

W sektorze produkcji i przetwarzania materiałów kluczowe znaczenie mają szkolenia i certyfikacje BHP, szczególnie dla operatorów zaawansowanych technologii, takich jak spawanie laserowe metali czy obsługa drukarek 3D do ceramiki. Ochrona pracowników przed zagrożeniami chemicznymi wymaga wdrażania systemów filtracji i monitorowania, zgodnie z regulacjami, takimi jak dyrektywa 2004/37/WE (Dyrektywa, 2004), dyrektywa 98/24/WE (Dyrektywa, 1998) oraz normami dotyczącymi najwyższych dopuszczalnych stężeń (NDS) i natężeń (NDN) (Rozporządzenie, 2018). Dyrektywa maszynowa (Dyrektywa, 2006) nakłada obowiązek stosowania bezpiecznych maszyn i narzędzi w produkcji i przetwórstwie materiałów. W przypadku przetwórstwa ceramiki dodatkowe wymogi obejmują stosowanie systemów odciągu pyłów, zgodnych z unijnymi normami dotyczącymi środowiska pracy, co minimalizuje narażenie na szkodliwe substancje.

- **Regulacje związane z handlem międzynarodowym**

Przepisy dotyczące cel i ograniczeń eksportowych mogą znacząco wpływać na handel zaawansowanymi technologiami w sektorze materiałowym. Restrykcje obejmują m.in. eksport technologii przetwarzania metali (np. stali specjalnej) oraz ceramiki technicznej (np. cermetów stosowane w technice wojskowej). Przykładem są taryfy celne na stal i aluminium wprowadzone w ramach Section 232 w USA, które regulują eksport tych surowców. Zgodność z przepisami lokalnymi jest kluczowa w międzynarodowej produkcji, szczególnie w branży polimerów, gdzie przepisy prawne mogą się różnić od regulacji unijnych. Wymaga to dostosowania technologii oraz procesów produkcyjnych do lokalnych standardów i wymagań środowiskowych.

- **Ulgi podatkowe**

Firmy z branży materiałowej inwestujące w badania i rozwój mogą korzystać z preferencyjnych ulg podatkowych, takich jak ulga B + R oraz ulga IP Box. Ulga B + R pozwala na odliczenie dodatkowych kosztów kwalifikowanych związanych z działalnością badawczo-rozwojową, np. wydatków na prace koncepcyjne nad nowymi materiałami. Przykładem wsparcia jest Katowicka Specjalna Strefa Ekonomiczna (KSSE) oferująca ulgi podatkowe dla firm rozwijających innowacyjne technologie. Z kolei ulga IP Box umożliwia opodatkowanie dochodów z kwalifikowanych praw własności intelektualnej (np. patentów) preferencyjną stawką 5% CIT. Firmy opracowujące innowacyjne materiały chronione patentami, mogą dzięki temu zmniejszyć obciążenia podatkowe, co ma wpływ na rozwój technologiczny i konkurencyjność na rynku.

- **Programy wsparcia**

Są realizowane liczne programy wsparcia, np. Fundusze Europejskie dla Śląskiego 2021–2027. Celem tego programu jest m.in. pomoc przedsiębiorstwom w podnoszeniu ich konkurencyjności i zwiększaniu innowacyjności, zwłaszcza w aspekcie zielonej transformacji i efektywnego gospodarowania zasobami.

- **Prawa konsumenckie**

Produkty końcowe w przemyśle materiałowym podlegają ścisłej kontroli bezpieczeństwa, szczególnie w sektorach, takich jak medycyna, motoryzacja i przemysł spożywczy. W przypadku implantów ceramicznych i elementów metalowych o wysokiej wytrzymałości obowiązują rygorystyczne normy zapewniające ich trwałość i bezpieczeństwo użytkowania. Materiały przeznaczone do kontaktu z żywnością, takie jak stal nierdzewna, muszą spełniać wymagania norm

FDA (U.S. Food and Drug Administration w USA) i EFSA (Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności w UE), a polimery stosowane w opakowaniach podlegają regulacjom dotyczącym bezpieczeństwa, np. BPA-free. Produkty ceramiczne, np. naczynia kuchenne, muszą spełniać normy dotyczące odporności termicznej i testów na pękanie w wysokich temperaturach. Przepisy dotyczące etykietowania wymagają dodatkowo podania szczegółowych informacji o składzie materiałów, zwłaszcza w przypadku polimerów zawierających potencjalnie niebezpieczne substancje. Przejrzyste oznakowanie ma kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa konsumentów oraz zgodności z międzynarodowymi regulacjami dotyczącymi ochrony zdrowia i środowiska.

6.3. Ocena obszaru technologicznego – analiza SWOT

Czynniki przedstawione w analizie SWOT dla obszaru technologicznego produkcji i przetwarzania materiałów stanowią wypadkową analizy zarówno ilościowej, jak i jakościowej (tab. 6.11).

Tabela 6.11. Czynniki SWOT dla obszaru technologicznego produkcja i przetwarzanie materiałów

Silne strony		Słabe strony	
S1	Wieloletnie doświadczenie i tradycja w produkcji i przetwarzaniu materiałów w regionie	W1	Niewystarczające środki własne na rozwój, w tym na inwestycje technologiczne
S2	Dobre relacje z klientami – znajomość ich potrzeb i oczekiwań	W2	Relatywnie niski stopień wykorzystywania innowacji zewnętrznych
S3	Duże znaczenie sektora dla rynku pracy	W3	Kapitałochłonność i energochłonność technologii produkcji
S4	Wieloletnie doświadczenie we współpracy z jednostkami naukowymi	W4	Niski poziom zastosowania rozwiązań proekologicznych, stosowanie wielu technologii zagrażających środowisku
S5	Szeroka oferta produktów	W5	Konieczność wysokonakładowych inwestycji
S6	Wysoka świadomość znaczenia innowacji dla rozwoju przedsiębiorstw	W6	Wysokie koszty stałe
S7	Wsparcie finansowe rozwoju ze strony macierzystych grup kapitałowych	W7	Wyczerpująca się wykwalifikowana kadra i jej fluktuacja
S8	Postępująca poprawa jakości	W8	Małe własne zaplecze badawcze
S9	Postępująca poprawa ekologiczności stosowanych technologii	W9	Małe wykorzystanie innowacji tworzonej przez użytkownika (ang. <i>user-driven innovation</i>)
–	–	W10	Zróżnicowany poziom konkurencyjności i innowacyjności technologii produkcji i przetwarzania materiałów
–	–	W11	Dynamiczne zmiany w profilu kompetencji i umiejętności pracowników sektora
–	–	W12	Stosunkowo niski stopień wykorzystania zdolności produkcyjnych
–	–	W13	Niska rentowność sprzedaży wyrobów stalowych
Szanse		Zagrożenia	
O1	Wzrastający popyt na innowacyjne materiały w wielu segmentach rynku	T1	Nasilająca się konkurencja globalna
O2	Znaczny udział woj. śląskiego w krajowej produkcji sprzedanej w rodzajach produkcji ściśle związanych z obszarem produkcji i przetwarzania materiałów	T2	Niestabilne ceny komponentów i surowców
O3	Relatywnie szybki zwrot z inwestycji (zwłaszcza w obszarze przetwórstwa)	T3	Wprowadzanie tańszych substytutów kosztem jakości, trwałości i ekologii
O4	Dostęp do środków unijnych na inwestycje proekologiczne i energooszczędne	T4	Niedostateczna aktywność otoczenia biznesu dla wsparcia wdrażania innowacji
O5	Robotyzacja i automatyzacja procesów	T5	Nieatrakcyjne instrumenty zewnętrznego finansowania
O6	Nearshoring – pozyskiwanie dostawców w krajach ościennych	T6	Oslabienie koniunktury gospodarczej w Polsce i na świecie
O7	Dynamiczny rozwój sektorów pokrewnych i wspierających, szczególnie w obszarze AI, zrównoważonego rozwoju i bezpieczeństwa	T7	Pogarszająca się sytuacja na rynku pracy
O8	Konflikty zbrojne dynamizujące rozwój rynku produkcji i przetwarzania materiałów	T8	Niewystarczające wsparcie dla rozwoju pracowników
O9	Dostęp do globalnych zasobów technologii i wiedzy	T9	Zagrożenie zakłócenia łańcuchów dostaw spowodowane konfliktami zbrojnymi
O10	Szeroka oferta badawcza w skali potencjału krajowego i zagranicznego	T10	Ograniczenia w pozyskiwaniu środków na modernizację technologii posiadających ślad węglowy
O11	Nowe technologie produkcji stali wykorzystujące wodór	T11	Wysoki poziom cen energii elektrycznej i gazu
O12	Wzrost popytu na tworzywa dzięki środkom z KPO	–	–

Podsumowanie analizy SWOT

Wyzwania wskazane w oparciu o analizę SWOT wraz z propozycją działań podano w tabeli 6.12.

Tabela 6.12. Identyfikacja wyzwań i działań

Wyzwanie	Odpowiedź	Propozycje działań
Zielona rewolucja	S6, S9 W4 O4, O11 T3, T10	– inwestycje ekologiczne przynoszące długookresowe korzyści – intensyfikacja działań w kierunku produkcji „zielonej stali” – wykorzystanie wodoru w procesie produkcji stali i wytwarzania oraz magazynowania energii elektrycznej i wodoru – wspomaganie finansowania rozwoju technologii zielonego wodoru
Neutralność klimatyczna	S6 W3 O7, O9, O11 T10, T11	– zwiększenie przetwórstwa miedzi w kontekście dynamicznie rozwijających się rynków energetyki odnawialnej, motoryzacji i AI – doskonalenie logistyki recyklingu złomu metali – wspomaganie rozwoju technologii polimerowych ogniw paliwowych – koncentracja na recyklingu tworzyw sztucznych – rozwój produkcji i zastosowania opakowań szklanych
Obniżenie energochłonności i materiałochłonności	W3, W4 O4, O5	– obniżenie energo- i materiałochłonności jako imperatyw działań w zakresie zmian technologicznych – wyspecjalizowane przetwórstwo stali – zwiększenie przetwórstwa miedzi w kontekście dynamicznie rozwijających się rynków energetyki odnawialnej, motoryzacji i AI – współpraca przedsiębiorstw w zakresie klastrów energii i innych rozwiązań obniżających koszty energii
Automatyzacja i cyfryzacja	S8 O5 T8	– rozwój kompetencji w zakresie automatyzacji i cyfryzacji procesów – zmniejszenie luki cyfrowej i technologicznej między dużymi przedsiębiorstwami a MŚP – preferencje dla przedsiębiorców stosujących systemy zautomatyzowane i cyfrowe
Lokowanie i zrozumienie globalnego rynku	S5 W12 T1	– internacjonalizacja przedsiębiorstw w obszarze technologii – budowa „nowego wizerunku współpracy” nauka-biznes w skali międzynarodowej – opracowanie i wdrożenie nowych systemów wsparcia dla współpracy nauka-biznes – Intensyfikacja wykorzystania zasobów globalnych i instrumentów gospodarki cyfrowej

Literatura

- Abdelkader M., Petrik S., Nestler D., Fijalkowski M. (2024): Ceramics 3D Printing: A Comprehensive Overview and Applications, with Brief Insights into Industry and Market. *Ceramics*, Vol. 7(1), 68-85. <https://doi.org/10.3390/ceramics7010006>.
- Akpınar M., Can Ö., Mermercioglu M. (2015): Determinants of Competitiveness in European Regions: A Test of the Emerald Model. *International Journal of Transitions and Innovation Systems*, Vol. 4(3-4), 114-130.
- Aoki Y., Masuda H., Yoshida H. (2023): Formation of Al₂O₃–GdAlO₃ eutectic ceramics with a fine anisotropic structure in a flash event. *Journal of the American Ceramic Society*, Vol. 106(6), 3336-3342. <https://doi.org/10.1111/jace.19012>.
- Bąkowski A., Mażewska M., Rudawska J., Komarnicka A., Szmigiel J., Chwiałkowski W. (2024): Kluczowe wnioski z badania Ośrodków Innowacji w Polsce 2024. Częstkowe wyniki. Stowarzyszenie Organizatorów Ośrodków Innowacji i Przedsiębiorczości w Polsce, <https://www.sooipp.org.pl/prezentacja-czastkowych-wynikow-badania-osrodkow-innowacji>, (dostęp: styczeń 2025).
- Balo F., Sua L. S. (2024): Green Composites in Aviation: Optimizing Natural Fiber and Polymer Selection for Sustainable Aircraft Cabin Materials. *Textiles*, Vol. 4(4), 561-581. <https://doi.org/10.3390/textiles4040033>.
- Biznes PAP (2024): Nie ma szans na 3-proc. wzrost PKB Polski w 2024 r., ale spowolnienie ma raczej charakter tymczasowy, <https://biznes.pap.pl/wiadomosci/gospodarka/nie-ma-szans-na-3-proc-wzrost-pkb-polski-w-2024-r-ale-spowolnienie-ma-raczej> (dostęp: 10.01.2025).
- Blakeslee J. J., Han E.-H., Lin Y., Lin J., Nath S., Zhang L., Li Z., Cornish K. (2024): Proteomic and Targeted Lipidomic Analyses of Fluid and Rigid Rubber Particle Membrane Domains in Guayule. *Plants*, Vol. 13(21), 2970. <https://doi.org/10.3390/plants13212970>.
- Böhm Ch., Fritsch G., Sterrer W., Wurm J. (2013): COREX® + MIDREX an ideal concept for economic and environmental friendly steel production. 43rd Ironmaking and Raw Materials Seminar and 14th Brazilian Symposium on Iron Ore, São Paulo, 2013, <https://abmproceedings.com.br/en/article/download-pdf/corex-midrex-an-ideal-concept-for-economic-and-environmental-friendly-steel-production> (dostęp: grudzień 2024).
- Bukowski M., Bocian K. (2024): Przemysł stalowy w Polsce: Analiza sektora, wyzwania, wizja przyszłości. Warszawa, WiseEuropa.

- Cerame Unie (2021): Ceramic Roadmap To 2050. The European Ceramic Industry Association, <https://www.ceramicroadmap2050.eu/> (dostęp: 9.01.2025).
- Chalamet L., Rodney D., Shibuta Y. (2023): Coarse-grained molecular dynamic model for metallic materials. *Computational Materials Science*, Vol. 228, 112306. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2023.112306>.
- Chen H., Fu Z., Chen D., Peng H., Li W., Meng Z., Fan Z. (2022): A unified sharp indentation method for obtaining stress-strain relations, strength and Vickers hardness of ductile metallic materials. *Materials Today Communications*, Vol. 33, 104652. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.104652>.
- Chmelko V., Margetin M., Zetková I., Norek M., Likavčan F. (2024): Analysis of Static and Cyclic Properties of 316L and AlSi10Mg in Conventional Casting and Additive Manufacturing. *Materials*, Vol. 17(23), 5861. <https://doi.org/10.3390/ma17235861>.
- Chung J.-K., Im J.-S., Park M.-S. (2023): Development of Photo-Polymerization-Type 3D Printer for High-Viscosity Ceramic Resin Using CNN-Based Surface Defect Detection. *Materials*, Vol. 16(13), 4734. <https://doi.org/10.3390/ma16134734>.
- Cicero S. (2024): Assessment of structural materials containing notch-type defects: A comprehensive validation of the FAD-TCD methodology on metallic and non-metallic materials. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, Vol. 133, Part B, 104612. <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2024.104612>.
- CIOPI (2024): Wyniki badania poziomu świadomości i wiedzy na temat behawioralnych metod poprawy bezpieczeństwa pracy w małych, średnich i dużych przedsiębiorstwach. Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, <https://m.ciop.pl>, (dostęp: 5.11.2024).
- Clayton J. D., Casem D. T., Lloyd J. T., Retzlaff E. H. (2023): Toward Material Property Extraction from Dynamic Spherical Indentation Experiments on Hardening Polycrystalline Metals. *Metals*, Vol. 13(2), 276. <https://doi.org/10.3390/met13020276>.
- Dohn K., Knop L., Kramarz M., Przybylska E. (2019): Transport intermodalny w kontekście rozwoju regionalnego. Toruń, Towarzystwo Naukowe Organizacji i Kierownictwa. Dom Organizatora.
- Dong R.-Z., Fan Y., Bian J., Chen Z. (2025): Identification of Lighting Strike Damage and Prediction of Residual Strength of Carbon Fiber-Reinforced Polymer Laminates Using a Machine Learning Approach. *Polymers*, Vol. 17(2), 180. <https://doi.org/10.3390/polym17020180>.
- Dyrektywa (1998): Dyrektywa 98/24/WE Rady z dnia 7 kwietnia 1998 r. w sprawie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa pracowników przed ryzykiem związanym z czynnikami chemicznymi w miejscu pracy. Dz. U. UE L 131.
- Dyrektywa (2004): Dyrektywa 2004/37/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 29 kwietnia 2004 r. w sprawie ochrony pracowników przed zagrożeniami związanymi z narażeniem na działanie czynników rakotwórczych lub mutagenów podczas pracy. Dz. U. UE L 158.
- Dyrektywa (2006): Dyrektywa 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie maszyn oraz zmieniająca dyrektywę 95/16/WE. Dz. U. UE L 157.
- Dyrektywa (2019a): Dyrektywa 2012/19/UE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 4 lipca 2012 r. w sprawie zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego (WEEE). Dz. U. UE L 197.
- Dyrektywa (2019b): Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/904 z dnia 5 czerwca 2019 r. w sprawie zmniejszenia wpływu niektórych produktów z tworzyw sztucznych na środowisko. Dz. U. UE L 155.
- Dzwierzynska J., Lechwar P. (2024): Performance Assessment and Sustainable Applications of Steel Canopies with Saddle Modules. *Sustainability*, Vol. 16(24), 10980. <https://doi.org/10.3390/su162410980>.
- EFF (2023): Raport EFF. European Foundry Federation, https://www.forgefonderie.org/files/documents/CAEF-Co7_2023-complete_1.pdf (dostęp: 29.01.2025).
- Ekinci F., Asuroglu T., Acici K. (2023): Monte Carlo Simulation of TRIM Algorithm in Ceramic Biomaterial in Proton Therapy. *Materials*, Vol. 16(13), 4833. <https://doi.org/10.3390/ma16134833>.
- European Bank (2014): Sub-sectoral Environmental and Social Guideline: Glass Manufacturing. European Bank for Reconstruction and Development, <https://www.ebrd.com/documents/environment/glass-manufacturing.pdf> (dostęp: 5.01.2025).
- Fiał C., Piekniak M. (2020): Druk 3D jako technologia przyszłości – część 1. Technologia i Jakość Wytwarzania, R. 65, 92-105.
- Gaiko G., Sajdak M. (2022): Trends for the Thermal Degradation of Polymeric Materials: Analysis of Available Techniques, Issues, and Opportunities. *Applied Sciences*, Vol. 12(18), 9138. <https://doi.org/10.3390/app12189138>.

- García-Rojas E., Leo P., Tapiador J., Martos C., Orcajo G. (2024): URJC-1: Stable and Efficient Catalyst for O-Arylation Cross-Coupling. *Nanomaterials*, Vol. 14(13), 1103. <https://doi.org/10.3390/nano14131103>.
- Giniyatova S. G., Kozlovskiy A. L., Rspayev R. M., Borgekov D. B., Zdorovets M. V. (2023): Study of the Kinetics of Radiation Damage in CeO₂ Ceramics upon Irradiation with Heavy Ions. *Materials*, Vol. 16 (13), 4653. <https://doi.org/10.3390/ma16134653>.
- Gladden M. E. (2017): *From Strategic Analysis to Organizational Foresight*. Indianapolis, Synthyphion Business.
- González-Angulo, E., Fernández-Estevan L., Casas-Terrón J., Senent-Vicente G., Fons-Badal C., García-Sala Bonmatí F., Agustín-Panadero R., Román-Rodríguez J. L. (2023): Microtensile Bond Strength of CAD-CAM Restorative Dental Material Blocks to Resin Cement: An In Vitro Study. *Materials*, Vol. 16(13), 4796. <https://doi.org/10.3390/ma16134796>.
- Gruin I. (2003): *Materiały polimerowe*. Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- GUS (2024): *Przemysł – wyniki działalności w 2023 roku*. Warszawa, Główny Urząd Statystyczny, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/przemysl-budownictwo-srodki-trwale/przemysl/przemysl-wyniki-dzialalnosci-w-2023-roku,9,7.html?pdf=1> (dostęp: 30.01.2025).
- Han J., Liu C., Bradford-Vialva R. L., Klosterman D. A., Cao L. (2023): Additive Manufacturing of Advanced Ceramics Using Preceramic Polymers. *Materials*, Vol. 16(13), 4636. <https://doi.org/10.3390/ma16134636>.
- Hawryluk M., Polak S., Rychlik M., Barełkowski A., Jakuć J., Marzec J. (2024): Development and Implementation of Die Forging Technology Eliminating Flange Welding Operations in Conveyor Driver Forging. *Materials*, Vol. 17(13), 3281. <https://doi.org/10.3390/ma17133281>.
- Hepler I. B., Davids W. G. (2024): Development of a Novel Beam-Based Finite-Element Approach for the Computationally Efficient Prediction of Residual Stresses and Displacements in Large 3D-Printed Polymer Parts. *Applied Sciences*, Vol. 14(19), 8834. <https://doi.org/10.3390/app14198834>.
- IATF (2016): IATF 16949:2016. Wymagania dla systemów zarządzania jakością w przemyśle motoryzacyjnym. Wymagania względem systemów zarządzania jakością dla produkcji seryjnej oraz produkcji części serwisowych w przemyśle motoryzacyjnym.
- ISO (2016): ISO 13485:2016. Wyroby medyczne. Systemy zarządzania jakością. Wymagania do celów przepisów prawnych.
- ISO (2018): ISO 50001:2018. Systemy zarządzania energią. Wymagania i zalecenia użytkowania.
- Jęcz J. (2024): Pięć wyzwań cyfrowych dla Unii Europejskiej na lata 2024–2029. *Polityka INSIGHT*, https://www.politykainsight.pl/_resource/multimedia/20360891.
- Klepka T., Red. (2014): *Nowoczesne materiały polimerowe i ich przetwórstwo*. Cz. 1. Lublin, Politechnika Lubelska.
- Knöbl Y. J., Johnston L. M., Quílez-Alburquerque J., Orellana G. (2025): Luminescence Lifetime-Based Water Conductivity Sensing Using a Cationic Dextran-Supported Ru(II) Polypyridyl Complex. *Sensors*, Vol. 25(1), 121. <https://doi.org/10.3390/s25010121>.
- KPK (2025): Krajowy Punkt Kontaktowy Programów Badawczych UE, Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, <https://www.kpk.gov.pl/analizy-i-statystyki> (dostęp: 5.01.2025).
- Krugman P. R. (1979): Increasing Returns Monopolistic Competition and International Trade. *Journal of International Economics*, Vol. 9, 469-479.
- Langlet R., Valentin R., Morard M., Raynaud C. D. (2024): Transitioning to Microplastic-Free Seed Coatings: Challenges and Solutions. *Polymers*, Vol. 16(14), 1969. <https://doi.org/10.3390/polym16141969>.
- Liu Y., Liu C., Qin X., Gan L., Zhou G., Jiang J., Zhang T., Chen H., Wang Z., Wang S. (2023): Fabrication and Luminescent Properties of Highly Transparent Er:Y₂O₃ Ceramics by Hot Pressing Sintering. *Materials*, Vol. 16(13), 4504. <https://doi.org/10.3390/ma16134504>.
- Loukadakis V., Papaefthymiou S. (2024): Advancements in and Applications of Crystal Plasticity Modelling of Metallic Materials. *Crystals*, Vol. 14(10), 883. <https://doi.org/10.3390/cryst14100883>.
- Lv S., Ge D., Cao S., Liu D., Zhang W., Li C.-H., Cabrera M. B. (2024): Proposal for a New Method for Evaluating Polymer-Modified Bitumen Fatigue and Self-Restoration Performances Considering the Whole Damage Characteristic Curve. *Polymers*, Vol. 16(19), 2782. <https://doi.org/10.3390/polym16192782>.
- Mahnicka-Goremikina L., Svinka R., Svinka V., Goremikins V., Ilic S., Grase L., Juhneva I., Rundans M., Eiduks T. V., Pludons A. (2023): Porous Mullite Ceramic Modification with Nano-WO₃. *Materials*, Vol. 16(13), 4631. <https://doi.org/10.3390/ma16134631>.

- Matizamhuka W. R. (2018): Advanced ceramics – The new frontier in modern-day technology: Part I. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 118(7), 757-763.
- NS Raport (2024): Rynek aluminium w Polsce 2024: Raport, https://www.aluminiumpolska.pl/wp-content/uploads/2025/05/RAPORT_ALU.pdf (dostęp: 30.01.2025).
- Ovako (2024): World's first fossil-free hydrogen plant revolutionizes steel, <https://www.ovako.com/en/about-ovako/worlds-first-fossil-free-hydrogen-plant-for-steel-heating/> (dostęp: 5.11.2024).
- PFR (2024): Polska w międzynarodowym handlu towarowym 2024. Polski Fundusz Rozwoju, <https://pfr.pl/document/1756> (dostęp 10.10.2024).
- Plastics Europe (2023): Branża tworzyw sztucznych: Raport Fundacji Plastics Europe Polska 2023, https://plasticseurope.org/pl/wp-content/uploads/sites/7/2023/09/Raport-Roczny-PlasticsEurope_Polska-2023_.pdf (dostęp: 30.01.2025).
- Plastics Europe (2024): Branża tworzyw sztucznych: Raport Fundacji Plastics Europe Polska 2024, <https://plasticseurope.org/pl/wp-content/uploads/sites/7/2024/09/Raport-roczny-Fundacji-PlasticsEurope-Polska.pdf> (dostęp: 30.01.2025).
- PN-EN ISO (2015): PN-EN ISO 9001:2015. Systemy zarządzania jakością. Wymagania.
- Polityka (2024): Polityka Rozwoju Sztucznej Inteligencji w Polsce 2025–2030. Sekcja ds. Aktualizacji polityki rozwoju sztucznej inteligencji. Warszawa, Ministerstwo Cyfryzacji, <https://www.gov.pl/web/cyfryzacja/ekspertyza-ws-aktualizacji-polityki-ai-w-polsce>.
- Porter M. E. (1990): The Competitive Advantage of Nations. New York, Free Press.
- Porter M. E. (1998): The Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance. New York, Free Press.
- Rozporządzenie (1997): Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy. Dz. U. 1997 nr 129 poz. 844, z późn. zm.
- Rozporządzenie (2002): Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 30 października 2002 r. w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy w zakresie użytkowania maszyn przez pracowników podczas pracy. Dz. U. 2002 nr 191 poz. 1596, z późn. zm.
- Rozporządzenie (2006): Rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 r. w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH), utworzenia Europejskiej Agencji Chemikaliów. Dz. U. UE L 396.
- Rozporządzenie (2008): Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 października 2008 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn. Dz. U. 2008 nr 199 poz. 1228, z późn. zm.
- Rozporządzenie (2018): Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Dz. U. 2018 poz. 1286, z późn. zm.
- Salvati E. (2024): Evaluating fatigue onset in metallic materials: Problem, current focus and future perspectives. International Journal of Fatigue, Vol. 188, 108487. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2024.108487>.
- Sasson A., Reve T. (2012): Competitiveness as industrial attractiveness: Operationalizing the emerald model. Paper presented at the Microeconomics of Competitiveness Research Workshop, December 10, Harvard Business School, Boston, MA (niepublikowana).
- Sawlan Z., Scavino M., Tempone R. (2024): Modeling Metallic Fatigue Data Using the Birnbaum-Saunders Distribution. Metals, Vol. 14(5), 508. <https://doi.org/10.3390/met14050508>.
- Siemens Financial Services (2023): Defining Sustainability: How machine builders are leveraging finance to respond to manufacturers' demands for sustainability-enabling technology and equipment. Munich, Siemens Financial Services, <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:74838313-0f74-471c-a047-1d6b6724e9be/SFS-whitepaper-Defining-Sustainability-Machine-Builders-Whitepaper-FINAL.pdf> (dostęp: 30.01.2025).
- Sokołowski P., Łubiński J., Wierzba P., Czubek J., Miluski P., Janiak F., Guan S., Szczerska M. (2025): Polymer Materials for U-Shaped Optic Fiber Sensors: A Review. Photonics, Vol. 12(1), 56. <https://doi.org/10.3390/photonics12010056>.
- SRP (2023): Rozporządzenie w sprawie minimalnego wynagrodzenia za pracę oraz wysokości minimalnej stawki godzinowej w 2024 r. Serwis Rzeczypospolitej Polskiej, <https://www.gov.pl/web/premier/min-stawka-godzinowa-2024> (dostęp: 10.11.2024).

Stankiewicz A., Bojanowska M. (2025): Optimal Choice of the Regularization Parameter for Direct Identification of Polymers Relaxation Time and Frequency Spectra. *Polymers*, Vol. 17(1), 31. <https://doi.org/10.3390/polym17010031>.

Start-up (2023): Wstępna diagnoza śląskiego ekosystemu startupowego. Silesian Startup Foundation, Co.brick (niepublikowana).

Strategia (2020): Strategia Polityki Społecznej Województwa Śląskiego na lata 2020–2030, <https://www.slaskie.pl/content/strategia-polityki-spoecznej-wojewodztwa-slaskiego> (dostęp: 1.10.2024).

Strategia (2021): Regionalna Strategia Innowacji Województwa Śląskiego 2030 – Inteligentne Śląskie. Katowice, Zarząd Województwa Śląskiego.

Su H., Zhang J., Yu J., Liu L., Fu H. (2011): Directional solidification and microstructural development of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GdAlO}_3$ eutectic ceramic in situ composite under rapid growth conditions. *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 509(12), 4420–4425. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2011.01.107>.

Szewczak A., Łagód G. (2024): Experimental Research on the Possibility of Changing the Adhesion of Epoxy Glue to Concrete. *Materials*, Vol. 17(22), 5398. <https://doi.org/10.3390/ma17225398>.

Tatarczak J., Krzysiak Z., Samociuk W., Kaliniewicz Z., Krzywonos L. (2017): Przegląd nowoczesnych technologii druku 3D obiektów metalowych. *Mechanik*, nr 7, 612–614. <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.7.89>.

UMWŚ (2024): Raport o stanie województwa za 2023 rok. Katowice, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego.

Ustawa (1974): Ustawa z dnia 26 czerwca 1974 r. Kodeks pracy. Dz. U. 1974 nr 24 poz. 141, z późn. zm.

Ustawa (2002): Ustawa z dnia 30 sierpnia 2002 r. o systemie oceny zgodności. Dz. U. 2002 nr 166 poz. 1360, z późn. zm.

Ustawa (2012): Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach. Dz. U. 2013 poz. 21, z późn. zm.

Vergos V., Ganetsos T., Kantaros A., Theocharopoulos A., Yannikakis S. (2024): Color Changes of a Heat-Polymerized Polymethyl-Methacrylate (PMMA) and Two 3D-Printed Denture Base Resin Materials Exposed to Staining Solutions: An In Vitro Spectrophotometric Study. *Applied Sciences*, Vol. 14(24), 11548. <https://doi.org/10.3390/app142411548>.

Wang, Y., Yang, L., Qian, B., Wang, Y., Wu, Z., Wu, J., Jia, Y., You, Z. (2025): Mitochondria-inspired general strategy simultaneously enhances contradictory properties of commercial polymers. *Materials Today*, Vol. 83, 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2024.12.005>.

Wu K. Y., Qian S. Y., Faucher A., Tran S. D. (2024): Advancements in Hydrogels for Corneal Healing and Tissue Engineering. *Gels*, Vol. 10(10), 662. <https://doi.org/10.3390/gels10100662>.

Zuev Y. F., Derkach S. R., Lunev I. V., Nikiforova A. A., Klimovitskaya M. A., Bogdanova L. R., Skvortsova P. V., Kurbanov R. K., Kazantseva M. A., Zueva O. S. (2024): Water as a Structural Marker in Gelatin Hydrogels with Different Cross-Linking Nature. *International Journal of Molecular Sciences*, Vol. 25(21), 11738. <https://doi.org/10.3390/ijms252111738>.

Lista podmiotów zaangażowanych w badanie

Uczelnie i jednostki badawcze

- Katedra Zarządzania, Wydział Organizacji i Zarządzania Politechniki Śląskiej
- Katedra Technologii Materiałowych, Wydział Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej
- Instytut Metali Nieżelaznych w Gliwicach

Przedsiębiorcy

- Stalprodukt SA

Załącznik 6.1. Lista realizowanych projektów z zakresu produkcji i przetwarzania materiałów

UCZELNIE

1. Politechnika Śląska

Badacze z Politechniki Śląskiej posiadają bogate doświadczenie w zakresie syntezy polimerów przewodzących oraz związków skoniugowanych o małej masie cząsteczkowej. Ponadto zajmują się szczegółową charakterystyką fizykochemiczną polimerów, oligomerów i materiałów kompozytowych. Rozwój tych badań był możliwy m.in. dzięki współpracy prof. Mieczysława Łapkowskiego z laureatem Nagrody Nobla, prof. Alanem Heegerem.

Jednym z kluczowych obszarów działalności naukowców z Politechniki Śląskiej jest opracowywanie i analiza nowych materiałów organicznych przeznaczonych do zastosowań w optoelektronice i fotowoltaice, a także projektowanie oraz badanie urządzeń elektronicznych. W dziedzinie modelowania, analizy i produkcji sprzętu do elektroniki organicznej, zwłaszcza w zakresie technologii OLED (organicznych diod elektroluminescencyjnych), uczelnia odgrywa wiodącą rolę w kraju.

W ostatnich latach Politechnika Śląska była zaangażowana w realizację ponad 20 projektów krajowych oraz pełniła funkcję koordynatora czterech projektów unijnych związanych z elektroniką organiczną, co umocniło jej pozycję w Polsce jako lidera w tej specjalistycznej dziedzinie. Istotnym osiągnięciem badaczy tej uczelni było stworzenie innowacyjnych emiterów ekscypleksowych oraz zastosowanie ich w technologii OLED, w połączeniu z mechanizmem termicznie aktywowanej opóźnionej fluorescencji. Dzięki tym sukcesom naukowcy uzyskali finansowanie z programu Horyzont 2020, co umożliwiło nawiązanie współpracy z prestiżowymi instytucjami akademickimi i firmami, takimi jak École Normale Supérieure w Paryżu, uniwersytet w Cambridge, Monash University, uniwersytet w Durham, uniwersytet w Osace czy National Taiwan University.

Elektronika organiczna stanowi obecnie jeden z najbardziej dynamicznie rozwijających się obszarów nauki, przyciągając uwagę globalnych koncernów technologicznych, takich jak Apple, LG czy Samsung. W Polsce to właśnie Politechnika Śląska prowadzi najszerze badania w tej dziedzinie, współpracując z renomowanymi firmami międzynarodowymi, w tym AIXTRON SE, Merck KGaA, Novald (Samsung) oraz Cynora.

Główne kierunki badań realizowanych na uczelni obejmują opracowywanie i zastosowanie materiałów o nowych właściwościach wynikających z ich nanorozmiarów. Do kluczowych zagadnień badawczych należy także rozwój nowoczesnych metod wytwarzania metali i ich stopów, innowacyjnych kompozytów na bazie lekkich metali, szkła metalicznego z dodatkiem pierwiastków ziem rzadkich oraz zaawansowanych powłok ochronnych, nanoszonych na materiały konstrukcyjne i narzędziowe. Istotnym obszarem działań jest również rozwój technologii laserowej i elektrochemicznej modyfikacji powierzchni stopów metali, gdzie Politechnika Śląska zajmuje w kraju pozycję lidera.

Badacze koncentrują się także na wykorzystywaniu nanorurek węglowych, dążąc do ich szerokiego zastosowania w produktach codziennego użytku. W tym celu opracowano nowatorskie, bardziej wydajne i ekologiczne metody ich syntezy oraz wytwarzania struktur makroskopowych, takich jak włókna czy powłoki. Co istotne, jako pierwsi w Polsce, naukowcy Politechniki Śląskiej opracowali precyzyjne metody kontroli struktury nanomateriałów węglowych, umożliwiając ich dostosowanie do konkretnych zastosowań. Przewiduje się, że rozwiązania oparte na nanostrukturach węglowych odegrają kluczową rolę nie tylko w fotonice i elektronice, ale także w produkcji ultralekkich, a jednocześnie niezwykle wytrzymałych materiałów.

Ze względu na istotne osiągnięcia Politechniki Śląskiej w tej dziedzinie, powstało jedyne w kraju Polsko-Niemieckie Centrum Struktur Hybrydowych Lekkich. To nowoczesne laboratorium umożliwia wspólne badania polskich i niemieckich ekspertów nad innowacyjnymi materiałami hybrydowymi, które znajdują zastosowanie m.in. w przemyśle motoryzacyjnym i lotniczym. W projekcie uczestniczą m.in. samorząd Gliwic, Katowicka Specjalna Strefa Ekonomiczna, Federacja Firm Lotniczych Bielsko, Instytut Lekkiej Inżynierii i Technologii Polimerowej Uniwersytetu Technicznego w Dreźnie oraz Technische Universität Bergakademie Freiberg. Politechnika Śląska współpracuje także z globalnymi koncernami, takimi jak Pratt & Whitney Canada.

W przyszłości naukowcy uczelni planują zastosować opracowane przez siebie materiały ekscypleksowe w organicznych tranzystorach cienkowarstwowych oraz w wysokowydajnych organicznych generatorach termoelektrycznych. Rozwój technologii elektroniki organicznej, komplementarny do badań nad ultralekkimi materiałami, otwiera możliwości tworzenia zupełnie nowych, innowacyjnych rozwiązań i rynków, które obecnie są jeszcze nieznanne. Pionierskie technologie rozwijane przez naukowców Politechniki Śląskiej wykraczają poza obecny stan wiedzy, oferując szerokie perspektywy dla przyszłości nauki i materiałoznawstwa na skalę globalną.

Realizowane projekty:

- **Katedra Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych**

- Projekt **Innoqptechol**. Ideą projektu jest opracowanie nowych koncepcji technologicznych dla ultrawysokowytrzymałych i ciągliwych blach cienkich oraz grubych dla przemysłu motoryzacyjnego, wytworzonych z ekonomicznych stali średniomanganowych typu quenching and partitioning, łączących wysoką wytrzymałość, plastyczność, odporność na pękanie oraz wykazujących korzystne właściwości technologiczne o wysokim potencjale aplikacyjnym w przemyśle motoryzacyjnym.
- Projekt **3D-BioMg development of additively manufactured magnesium-based biodegradable scaffolds and implants for orthopaedic applications**. Przedmiotem projektu jest opracowanie nowego biodegradowalnego stopu magnezowo-cynkowo-cykonowego za pomocą nowatorskich metod, które łączą szybkie prototypowanie i obróbkę końcową w celu zastąpienia obecnie stosowanych implantów stałych. Osiągnięcie celów prezentowanego projektu będzie pierwszym krokiem do wdrożenia nowej generacji biodegradowalnych/bioresorbowalnych implantów/rusztowań ułatwiających procedury leczenia złamań kości/uszkodzeń kości, które są powszechnym zagrożeniem dla zdrowia społeczeństwa.
- Projekt **Podejście termodynamiczne w projektowaniu amorficznych, nanokrystalicznych i kwazikrystalicznych stopów na podstawie aluminium o zwiększonej wytrzymałości i odporności korozyjnej do zastosowań specjalnych**. Celem projektu jest projektowanie składu chemicznego stopów typu Al-Fe-(Cu, Cr, Zr, Ni, Y) umożliwiających wytworzenie próbek o strukturze amorficznej, nanokrystalicznej i kwazikrystalicznej w oparciu o optymalizację parametrów termodynamicznych. Wybór tematu uzasadniony jest innowacyjnością, która wynika z potrzeby poszukiwania alternatywnych materiałów metalowych, których właściwości cieplne, mechaniczne i antykorozyjne można kształtować przez modyfikowanie ich struktury, zwłaszcza w zakresie nanostruktury. Zaproponowane w projekcie systemy stopowe na bazie aluminium zawierające takie dodatki, jak: Fe, Cu, Cr, Zr, Ni, Y, umożliwiają poprawę zdolności do zeszklenia lub uzyskania faz kwazikrystalicznych. W związku z tym zmiany składu chemicznego i struktury pozwalają na osiągnięcie znacznie większej wytrzymałości i odporności na korozję.
- Projekt **INNOTOCIP Innowacyjna technologia obróbki cieplnej i cieplno-plastycznej dla ultradrobnoziarnistych wysokowytrzymałych odkuwek ze stali wielofazowych**. Celem projektu jest opracowanie technologii obróbki cieplnej oraz cieplno-plastycznej dla odkuwek z ultradrobnoziarnistych, ekonomicznych stali wielofazowych łączących wysoką wytrzymałość i odporność na pękanie w warunkach obciążeń statycznych, dynamicznych oraz zmęczeniowych, o dużym potencjale aplikacyjnym w przemyśle motoryzacyjnym i maszynowym.
- Projekt **Poprawa właściwości stopów o wysokiej entropii przez projektowanie składu chemicznego, modelowanie mikrostruktury oraz wytwarzanie struktur komórkowych z wykorzystaniem technologii przyrostowych**. Projekt dotyczy uzyskania nowej klasy stopów stabilizowanych entropią (zwłaszcza stopów jednofazowych o wysokiej entropii i stopów wzmacnianych wydzieleniowo), o unikalnej strukturze zapewniającej dużą odporność korozyjną i wytrzymałość mechaniczną.
- Projekt **W kierunku określenia synergii wytrzymałości i ciągliwości: Nowa generacja heterogenicznych nanostrukturalnych stopów Al-Si – badania struktury, własności mechanicznych i mechanizmów odkształcenia plastycznego**. Proponowane w projekcie rozwiązanie obejmuje projektowanie/dostosowanie procesu obróbki cieplnej elementów wykonanych w technologii druku 3D w taki sposób, aby w jak największym stopniu zachować unikalną (metastabilną) niejednorodną mikrostrukturę, jednocześnie poprawiając wskaźniki ciągliwości.
- Projekt **Integracja zaawansowanych metod badawczych, obliczeniowych i obrazowania w celu synergicznego projektowania efektywnych strukturalnie proszków i materiałów**

w technologii przyrostowej. Projekt ma na celu opracowanie systematycznych zaawansowanych danych dla technologii druku 3D, integrujących badania i innowacje w zakresie projektowania materiałów, produkcji proszków, optymalizacji procesów i obróbki powierzchni, które są kluczowe dla zastosowań przemysłowych oraz w oparciu o system danych, opracowanie proszków i technologii drukowania dla zaawansowanych stopów metali, ze szczególnym naciskiem na kontrolę struktury i właściwości materiałów wytwarzanych w technologii addytywnej. Prace będą dotyczyły druku szerokiej grupy materiałów, w tym stali nierdzewnych (jednofazowych i dwufazowych typu duplex), stopów tytanu, aluminium i niklu oraz stopów magnezu.

- Projekt **i-Weld Integracja zaawansowanych metod badawczych, obliczeniowych oraz przetwarzania danych dla innowacji technologii spawania stali nierdzewnej typu duplex.** W ramach projektu badawczego zostaną opracowane trzy unikatowe składy chemiczne stali. Zostanie opracowana innowacyjna, energooszczędna technologia obróbki cieplno-plastycznej oraz cieplnej, której celem jest wytworzenie ultradrobnoziarnistych struktur wielofazowych o dużej jednorodności morfologicznej, co pozwoli na uzyskanie odkuwek charakteryzujących się wysoką wytrzymałością, udurowieniem oraz odpornością na pękanie w zróżnicowanych warunkach obciążenia.
- **Katedra Chemii Nieorganicznej, Analitycznej i Elektrochemii**
 - Projekt **Opracowanie technologii formowania anodowych powłok tlenkowych na stopach metali lekkich na drodze plazmowej obróbki elektrolitycznej w kierunku otrzymywania kompleksowych systemów zabezpieczenia powierzchni.** Metoda PEO (plazmowe utlenianie elektrolityczne) pozwala na formowanie grubych, ceramicznych warstw tlenkowych, które znacznie poprawiają właściwości mechaniczne (m.in. twardość) oraz odporność korozyjną stopów metali lekkich.
 - Projekt **Technologia wytwarzania warstw hybrydowych na implantach tytanowych dedykowanych zwierzętom.** Projekt dotyczy funkcjonalizacji powierzchni metalowych za pomocą plazmowego utleniania elektrolitycznego. W wyniku tego typu obróbki powstają ceramiczne warstwy tlenkowe, które w zależności od zastosowanych warunków procesowych oraz metalu podłoża mogą utworzyć powierzchnię bioaktywną na tytanowych implantach weterynaryjnych lub służyć jako inteligentny system zabezpieczania konstrukcji z aluminium i magnezu.
 - Projekt **Badania nad elektrodialitycznym odzyskiem wybranych hydrofilowych cieczy jonowych z roztworów poreakcyjnych.** Celem naukowym projektu jest zbadanie efektywności zastosowania elektrodializy do odzysku wybranych hydrofilowych cieczy jonowych z roztworów poreakcyjnych. Zasadniczym celem prowadzonych badań jest natomiast określenie wpływu wybranych parametrów elektrodializy na jej efektywność i na podstawie tego określenie podstaw umożliwiających rozwiązanie problemu odzysku cieczy jonowych z roztworów poreakcyjnych oraz z oczyszczania polimerów.
- **Katedra Fizykochemii i Technologii Polimerów**
 - Projekt **W kierunku zerowej przerwy energetycznej i nadprzewodnikowych sprzężonych wielowymiarowych polimerów.** Głównym celem projektu jest synteza nowych monomerów (prekursorów polimerów), a następnie – polimerów o strukturze uporządkowanej w trzech wymiarach, charakteryzujących się występowaniem pasma wzbronionego o wartości zbliżonej do zera.
 - Projekt **Systemy współdostarczania leków na bazie jonowych polimerów szczepionych transportujących aniony farmaceutyczne o działaniu przeciwbakteryjnym do zastosowań w terapii skojarzonej.**
 - Projekt **Nowe wzorce koncentracji spinów dla spektroskopii Elektronowego Rezonansu Paramagnetycznego oparte na domieszkowanych polimerach π -skoniugowanych.**
 - Projekt **Selektywnie degradujące nanocząstki polimerowe do transportu przezskórnego.**
 - Projekt **Kopolimery szczepione siloksanów i polimerów skoniugowanych – nowe wielofunkcyjne materiały dla optoelektroniki organicznej.**

- Projekt **Elektroaktywne polimery jako powłoki odpowiednie do sterowania wzrostem biofilmu bakteryjnego**.
- **Katedra Chemii Organicznej, Bioorganicznej i Biotechnologii**
 - Projekt **IoNanoFluids – hybrydy „ciecz jonowa-nanowęgiel” jako superlubrykanty w metalowo-polimerowych węzłach tarcia**.
- **Wydział Chemiczny**
 - Diamentowy Grant **Organiczne ogniwa Peltiera oparte na polimerach przewodzących**.
- **Katedra Techniki Ciepłej i Katedra Ochrony Powietrza**
 - Projekt **uReCOMP Europejski recykling i obieg zamknięty materiałów pochodzących z dużych komponentów kompozytowych**. Głównym celem projektu jest zapewnienie zrównoważonych metod recyklingu i ponownego wykorzystania materiałów kompozytowych, pochodzących z komponentów wykorzystywanych w różnych gałęziach przemysłu, takich jak aeronautyka i energetyka wiatrowa. EuReCOMP wypełnia istniejącą lukę w gospodarowaniu odpadami generowanymi przez usuwane FRP (materiały kompozytowe wykonane z polimerowej matrycy wzmocnionej włóknami – przyp. aut.) z sektora energetyki wiatrowej i aeronautyki.

2. Politechnika Częstochowska

Politechnika Częstochowska od wielu lat skutecznie realizuje liczne projekty finansowane zarówno z funduszy krajowych, jak i środków Unii Europejskiej. W roku akademickim 2022/2023 uczelnia prowadziła ponad 40 projektów wspieranych z różnych źródeł zewnętrznych. Wśród nich znalazły się inicjatywy współfinansowane przez Unię Europejską w ramach Funduszy Strukturalnych, takich jak PO WER (trzy projekty o łącznej wartości 15 mln PLN) oraz PO IR (pięć projektów o wartości przekraczającej 950 mln PLN). Ponadto uczelnia realizowała także projekty krajowe finansowane przez Ministerstwo Edukacji i Nauki (15 projektów na kwotę 13 mln PLN), Narodowe Centrum Nauki (osiem projektów o wartości 7 mln PLN) oraz Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

W ostatnich latach Politechnika Częstochowska aktywnie uczestniczyła w konkursach ogłaszanych przez Komisję Europejską w ramach Programu Horyzont Europa. W 2023 r. rozpoczęto realizację pierwszych projektów finansowanych z tego programu. Łączna kwota dofinansowania dla wszystkich projektów z udziałem uczelni w roku akademickim 2022/2023 wyniosła niemal miliard złotych.

Do kluczowych przedsięwzięć wpływających na rozwój uczelni należą m.in. Zintegrowany Program Rozwoju Politechniki Częstochowskiej – największy spośród realizowanych projektów, którego wartość wynosi 11 mln PLN, a także projekt Politechnika Częstochowska uczelnią dostępną, opiewający na kwotę 4 107 497,11 PLN.

Jednym z największych osiągnięć w roku akademickim 2022/2023 było uzyskanie dofinansowania na dwa projekty w ramach programu GOSPOSTRATEG, finansowanego przez NCBiR. Pierwszy z nich – Krajowy system automatycznego ważenia pojazdów w ruchu – ma wartość 7 622 205 PLN, natomiast drugi – Kompleksowy system KUMITE-WSL do zarządzania transformacją energetyczną województwa śląskiego – otrzymał dofinansowanie w wysokości 5 846 657,50 PLN.

Politechnika Częstochowska uzyskała także środki na dwa projekty w ramach konkursów ogłoszonych przez Narodowe Centrum Nauki. Pierwszy pt. Nowe trójskładnikowe związki wodorowane: wysokotemperaturowy stan nadprzewodzący w warunkach niskiego ciśnienia, został dofinansowany kwotą 1 352 680 PLN. Drugi projekt – W kierunku wykorzystania przeciwprądu pierścieniowego wywołującego niestabilność globalną jako techniki aktywnej kontroli płomienia – uzyskał wsparcie w wysokości 257 200 PLN.

Obecnie w trakcie oceny znajduje się 39 projektów o łącznej wartości dofinansowania wynoszącej 27 443 672,79 PLN.

Realizowane projekty:

- Projekt **Innowacyjne kotwy montażowe wielokrotnego użytku do betonu o podwyższonych właściwościach mechanicznych i eksploatacyjnych**. Celem projektu jest innowacja produktowa w postaci kotew montażowych wielokrotnego użytku do betonu o podwyższonych właściwościach mechanicznych i eksploatacyjnych oraz innowacja procesowa polegająca na opracowaniu nowej

metody wytwarzania znacząco ulepszanego produktu. Innowacja produktowa zostanie osiągnięta przez wprowadzenie innowacji procesowej polegającej na wytworzeniu kotew ze stali o wyższej zawartości węgla w procesach przeróbki plastycznej oraz poddaniu ich obróbce cieplno-chemicznej polegającej na nawęglaniu, hartowaniu i średnim odpuszczaniu (w zakresie 400–500°C), co umożliwi otrzymanie produktu o większej wartości Rm (wytrzymałość na rozciąganie), przy jednocześnie wyższej plastyczności szczególnie dla rdzenia kotwy.

- Projekt **Opracowanie tekstronicznej maty higienicznej z systemem aktywnej redukcji mikrobiologicznej oraz funkcją grzewczą**. Celem projektu jest opracowanie maty do użytkowania w pozycji leżącej, wyposażonej w system aktywnej redukcji mikrobiologicznej drobnoustrojów (bakterie, grzyby, wirusy) znajdujących się na jej powierzchni i we wnętrzu, w oparciu o system generujący promieniowanie UV-C, o długości fali 250–280 nm. Mata będzie kompozytem wykonanym z n-warstw dzianiny dystansowej 3D z wdzianymi w jej strukturę światłowodami z dedykowanym systemem ich połączenia i zasilania. Dodatkowo wyrób będzie zaopatrzony w elektroniczny system wykrywania zawilgocenia oraz elementy grzewcze. Rezultatem projektu będzie multiwariantowy wyrób rynkowy wraz z technologią jego wytwarzania, zgłoszony do ochrony patentowej, charakteryzujący się niespotykanymi na rynku rozwiązaniami zapewniającymi komfort użytkowania i bezpieczeństwo konserwacji.
- Projekt **Opracowanie technologii i uruchomienie produkcji niklowanych drutów spawalniczych o podwyższonej odporności na korozję**. Celem projektu jest opracowanie nowej w skali kraju technologii oraz uruchomienie produkcji drutów spawalniczych niklowanych, których zastosowanie pozwoli na wyeliminowanie wad produkowanych obecnie drutów spawalniczych miedziowanych oraz drutów spawalniczych pokrywanych warstwami niemetalicznymi. Wprowadzenie nowego produktu na rynek umożliwi uniknięcie wad drutów spawalniczych miedziowanych, takich jak słaba przyczepność oraz złuszczenie się warstwy Cu, co powoduje przyspieszoną korozję drutów, zapychanie się urządzeń spawalniczych i ich niestabilną pracę oraz ograniczy wprowadzanie do stopów żelaza miedzi ze złomu. Nowy produkt będzie charakteryzował się większą odpornością na ścieranie i odpornością na uszkodzenia mechaniczne w stosunku do drutów spawalniczych pokrywanych warstwami niemetalicznymi.
- Projekt **Nowe technologie i materiały do kontroli promieniowania terahercowego**. Projekt dotyczy opracowania nowatorskich technologii i charakteryzacji materiałów, które mają być wykorzystane synergicznie do tworzenia zaawansowanych metod oraz technik kontroli promieniowania terahercowego. Międzynarodowy zespół specjalizujący się w syntezie materiałów i technice terahercowej kieruje swoje wysiłki na rozwój innowacyjnych technologii quasi-optycznych, które pomogą znaleźć rozwiązanie efektywnego wykorzystania dielektrycznych i półprzewodnikowych materiałów krystalicznych, w tym nanokompozytów i struktur współpłaszczyznowych oraz ich zastosowanie jako elementów funkcjonalnych w urządzeniach do kontroli promieniowania terahercowego, ostatecznie skupiając się na innowacyjnych produktach gotowych do wprowadzenia na rynek.
- Projekt **Innowacyjne technologie optyczne/quasi-optyczne oraz nanotechnologia materiałów anizotropowych do tworzenia aktywnych komórek z istotnie polepszoną wydajnością energetyczną**. Głównym celem projektu jest połączenie fundamentalnej wiedzy z zakresu optyki, krytalografii oraz materiałoznawstwa z inżynierią oraz technologią materiałową, czego efektem będą nowoczesne rozwiązania w zakresie optoelektroniki, w tym wysokowydajne i energooszczędne komórki elektrooptyczne, akustooptyczne oraz nieliniowo-optyczne w zakresie fal optycznych oraz quasi-optycznych (subterahercowych).

3. Uniwersytet Bielsko-Bialski

Uniwersytet Bielsko-Bialski aktywnie uczestniczy w realizacji projektów badawczych i rozwojowych, finansowanych ze środków krajowych i unijnych. Informacje o obecnie podejmowanych inicjatywach uzyskano ze strony internetowej uczelni⁴³.

⁴³ <https://ubb.edu.pl/> (dostęp: 30.01.2025)

W 2024 r. Uniwersytet Bielsko-Bialski realizował sześć projektów badawczych i edukacyjnych finansowanych przez różne instytucje grantowe. Dwa z nich były wspierane przez Komisję Europejską, co potwierdza zaangażowanie uczelni w międzynarodowe przedsięwzięcia naukowe. Kolejne dwa projekty otrzymały dofinansowanie z Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, co wskazuje na ich znaczenie dla innowacji i rozwoju technologicznego. Dodatkowo uczelnia prowadziła projekt finansowany przez Narodową Agencję Wymiany Akademickiej (NAWA) oraz jedno badanie finansowane przez Narodowe Centrum Nauki (NCN).

W roku akademickim 2023/2024 Uniwersytet Bielsko-Bialski zrealizował dwa istotne projekty: jeden finansowany przez Komisję Europejską oraz drugi wspierany przez Narodową Agencję Wymiany Akademickiej. Udział w tego rodzaju inicjatywach świadczy o rosnącej pozycji uczelni w obszarze badań międzynarodowych oraz wymiany akademickiej.

Realizowane projekty:

- Projekt **Wysoko precyzyjne, hybrydowe centrum do druku 3D w pięciu osiach z synchroniczną obróbką frezarską drukowanych części.**
- Projekt **Gradientowe biomateriały wrażliwe na bodźce otrzymywane metodą druku 3D i 4D do regeneracji ubytków kostnochrzęstnych.**
- Projekt **Warstwowe implanty chrząstek i kości nosa wytwarzane metodą druku 3D.**

4. Uniwersytet Jana Długosza w Częstochowie

Uniwersytet Jana Długosza w Częstochowie aktywnie uczestniczy w realizacji projektów naukowych i badawczo-rozwojowych, pozyskując finansowanie zarówno z krajowych, jak i międzynarodowych źródeł. Poniżej przedstawione informacje uzyskano ze strony internetowej uczelni⁴⁴.

W 2024 r. Uniwersytet prowadził cztery projekty badawcze, w tym dwa finansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR) oraz dwa – przez Narodowe Centrum Nauki (NCN). Świadczy to o znaczącym wkładzie uczelni w rozwój nowoczesnych technologii oraz badań podstawowych.

W 2023 r. uczelnia realizowała łącznie 13 projektów naukowych. Narodowe Centrum Badań i Rozwoju dofinansowało jeden z nich, a aż siedem projektów uzyskało wsparcie z Narodowego Centrum Nauki. Pięć inicjatyw zostało natomiast sfinansowanych przez Ministerstwo Edukacji i Nauki (MEiN), co podkreśla szerokie spektrum działalności badawczej uniwersytetu w skali krajowej.

Realizowane projekty:

- Projekt **Zaawansowane metamateriały dedykowane do operacji sercowo-naczyniowych w celu zminimalizowania urazów tkanek.**
- Projekt **Opracowanie technologii wytwarzania metodą SPS martenzytycznej stali odpornej na korozję do zastosowań medycznych.**

5. Uniwersytet Śląski (Wydział Informatyki i Nauki o Materiałach)

Uniwersytet Śląski w Katowicach aktywnie uczestniczy w realizacji projektów naukowych, edukacyjnych oraz badawczo-rozwojowych, przyczyniając się do rozwoju innowacyjnych rozwiązań i współpracy międzynarodowej. Dzięki zespołowi 20 doświadczonych pracowników zajmujących się składaniem i rozliczaniem projektów w 2023 r. uczelnia złożyła 544 wnioski. Liczba obecnie podejmowanych inicjatyw, o łącznej wartości przekraczającej 419 mln PLN, wynosi 325.

W obszarze projektów edukacyjnych Uniwersytet Śląski realizuje 57 przedsięwzięć zarówno samodzielnie, jak i w ramach partnerstwa krajowego i międzynarodowego. Wśród nich znajduje się 19 projektów finansowanych z Funduszy Strukturalnych Unii Europejskiej, 13 programów partnerskich w ramach ERASMUS+, 12 inicjatyw Narodowej Agencji Wymiany Akademickiej (NAWA) oraz 13 projektów finansowanych z innych źródeł. Uczelnia angażuje się ponadto w rozwój młodych badaczy przez realizację 16 doktoratów wdrożeniowych.

Jednym z najważniejszych obszarów działalności Uniwersytetu Śląskiego są projekty badawcze i badawczo-rozwojowe (B+R), których obecnie jest realizowanych 243. Spośród nich 207

⁴⁴ <https://www.ujd.edu.pl/> (dostęp: 30.01.2025)

finansowanych jest ze środków krajowych, takich jak Narodowe Centrum Nauki (NCN) oraz Ministerstwo Edukacji i Nauki (MEiN), pięć projektów wspiera Narodowa Agencja Wymiany Akademickiej, a 26 jest finansowanych ze źródeł zagranicznych, w tym w ramach programów: Horyzont, IAEA, INTERREG, Fundusz Wyszehradzki, Polsko-Niemiecka Fundacja na rzecz Nauki, JUSTICE, ERA-NET, Mechanizm Norweski oraz Fundusze Strukturalne UE. Dodatkowo uczelnia prowadzi pięć projektów badawczo-rozwojowych (B+R) finansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR).

Oprócz projektów naukowych i edukacyjnych Uniwersytet Śląski podejmuje także działania inwestycyjne. W ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego 2014–2020 były prowadzone dwa projekty współfinansowane ze środków Funduszy Strukturalnych UE, mające na celu modernizację infrastruktury uczelnianej.

Realizowane projekty:

- Projekt **Nowe konstrukcje polimerowe do budowy ogniw fotowoltaicznych**. Zakres projektu obejmuje produkcję przewodzących kompozytów zawierających fazę rozproszoną w postaci polimeru przewodzącego lub nieorganicznych nanocząstek ZnO i TiO₂ lub układów hybrydowych z tych wypełniaczy. Przygotowanie odpowiednich kompozytów dostarczy informacji o wpływie składu materiału, rozkładu wypełniaczy, wielkości nanocząstek oraz parametrów procesu, na właściwości otrzymanych materiałów.
- Projekt **Projektowanie molekularne polimerów o unikalnych właściwościach fizycznych**.
- Projekt **Multifunkcjonalne porowate nanomateriały jako nowoczesne filtry środowiskowe do remediacji gleb i wód podziemnych**.
- Projekt **Kształtowanie struktury i właściwości stopu magnezu WE43 z metalami ziem rzadkich w procesie głębokiej obróbki kriogenicznej w połączeniu z obróbką cieplną**.

INSTYTUTY BADAWCZE

1. Sieć Badawcza Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny aktywnie uczestniczy w projektach naukowo-badawczych, pozyskując dofinansowanie zarówno ze środków Unii Europejskiej, jak i krajowych instytucji grantowych. Na podstawie danych dostępnych na stronie internetowej badanego podmiotu, można wskazać, że w 2024 r. Instytut realizował jeden projekt finansowany przez Unię Europejską, a w poprzednich latach (w 2023 r. i w 2022 r.) prowadził dwa projekty unijne. Ponadto w 2023 r. instytut uzyskał dofinansowanie na jeden projekt z Narodowego Centrum Nauki (NCN). Aktywność Górnośląskiego Instytutu Technologicznego w pozyskiwaniu funduszy badawczych potwierdza jego zaangażowanie w rozwój nowoczesnych technologii oraz innowacyjnych rozwiązań na poziomie krajowym i międzynarodowym.

Realizowane projekty:

- Projekt **Opracowanie technologii wyciskania kształtowników z ultrawytrzymałych stopów AlMgSi(Cu)**. Celem projektu jest opracowanie składu chemicznego wlewków ze stopów AlMgSi(Cu) w powiązaniu z innowacyjnymi rozwiązaniami konstrukcyjno-technologicznymi procesu wyciskania, opartymi na niskotemperaturowej obróbce cieplno-plastycznej na wybiegu prasy i starzeniu ciągłym w kontrolowanym polu temperatury. Stopy AlMgSi(Cu) dla segmentu automotive są stosowane głównie w technologiach walcowania, natomiast ich aplikacja do procesu przemysłowego wyciskania z obróbką cieplno-plastyczną jest nowością w skali kraju i świata.
- Projekt **Urządzenie do półprzemysłowej symulacji procesu regulowanego krzepnięcia i rafinacji stopów metali**. Celem inwestycji jest uzyskanie możliwości zaawansowanych badań i symulacji w skali laboratoryjnej procesów wytwarzania metali i stopów o wysokiej czystości metalurgicznej i regulowanej strukturze wewnętrznej, na półwyroby i wyroby konstrukcyjne oraz opracowanie zaawansowanych żużli rafinacyjnych.
- Projekt **MODular hybrid technology in the steel PLANT production (MODIPLANT)**.

- Projekt **Optymalizacja jakości wyrobów długich poprzez poprawę i wykorzystanie strategii procesowych prowadzących do minimalizacji naprężeń wewnętrznych (PROTEUS-RS)**. Projekt dotyczy minimalizacji niepewności związanych z efektem relaksacji naprężeń przez wprowadzenie technologii progresywnych, opracowywanych na bazie połączenia hybrydowych modeli procesów (fizycznych i statystycznych) z wirtualnym modelem linii produkcyjnej (tzw. cyfrowym bliźniakiem, ang. *digital twin*), pozwalającym na symulacje numeryczne warunków wytwarzania i przewidywania właściwości materiałowych, w tym poziomu naprężeń własnych.

2. Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych prowadzi intensywną działalność badawczo-rozwojową, realizując projekty finansowane przez krajowe instytucje grantowe. Według danych dostępnych na stronie internetowej instytut w 2024 r. realizował dwa projekty finansowane przez Narodowe Centrum Nauki (NCN) oraz jeden projekt wspierany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR). W poprzednich latach uzyskał dofinansowanie na trzy projekty NCN i jeden projekt NCBiR w 2023 r. oraz jeden projekt NCN i jeden projekt NCBiR w 2022 r. Dzięki skutecznemu pozyskiwaniu środków i realizacji innowacyjnych badań Instytut Metali Nieżelaznych umacnia swoją pozycję jako kluczowy ośrodek naukowy w obszarze zaawansowanych technologii materiałowych i metalurgii.

Realizowane projekty:

- Projekt **Opracowanie technologii wytwarzania drutu ze stopu żółtykowego o zoptymalizowanym składzie chemicznym przeznaczonego do napawania warstwy ślizgowej panewek żółtykowych metodą druku 3D WAAM**. Projekt dotyczy opracowania technologii wytwarzania drutu ze stopu żółtykowego na bazie cyny, o zoptymalizowanym składzie chemicznym, przeznaczonego do napawania warstwy ślizgowej panewek żółtykowych innowacyjną metodą druku 3D WAAM oraz opracowania technologii wytwarzania warstwy ślizgowej z nowo opracowanego drutu metodą druku 3D WAAM. Proponowana technologia stanowi alternatywę dla obecnie stosowanego procesu wylewania panewek, który jest pracochłonny, i w wyniku którego powstaje duża ilość wybraków. Nowatorskie, innowacyjne rozwiązanie proponowane w projekcie wpłynie na rozwój oraz modernizację infrastruktury kolejowej.
- Projekt **Proekologiczna technologia odzysku metali krytycznych i strategicznych z katalizatorów petrochemicznych o zredukowanym śladzie węglowym osiągnięta poprzez zastosowanie hybrydowych metod separacji**. Celem projektu jest opracowanie technologii odzysku metali z katalizatorów petrochemicznych o znaczeniu strategicznym dla gospodarki UE. Powstałe rozwiązanie będzie charakteryzowało się obniżonym śladem węglowym w porównaniu do obecnie stosowanych technologii recyklingu tego typu materiałów.
- Projekt **Opracowanie technologii wytwarzania innowacyjnych stopów cynku do cynkowania zanurzeniowego, dostosowanych do określonego typu wyrobów stalowych**. Celem projektu jest opracowanie założeń techniczno-technologicznych produkcji innowacyjnych stopów cynkowych, wykorzystywanych w ciągłej i jednostkowej metodzie cynkowania zanurzeniowego.

3. Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych Oddział Materiałów Ogniotrwałych w Gliwicach

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Oddział Materiałów Ogniotrwałych w Gliwicach aktywnie angażuje się w badania nad nowoczesnymi materiałami ogniotrwałymi i budowlanymi. Na podstawie danych dostępnych na stronie internetowej badanego podmiotu można stwierdzić, że w 2021 r. instytut realizował dwa projekty finansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR) oraz jeden projekt wspierany przez Narodowe Centrum Nauki (NCN).

Realizowane projekty:

- Projekt **Circular&Green Economy – projekty pilotażowe dla Programu Strategicznego (ECOLOOP) – Zadanie 11 Ograniczenie stosowania fluorytu w procesach produkcji stali poprzez zastosowanie surowców z recyklingu (ECOLOOP2)**. Tematyką badawczą projektu jest osiem

nowych rozwiązań z zakresu technologii gospodarki obiegu zamkniętego i recyklingu w zakresie metali i stopów, złomów elektronicznych, ceramiki ogniotrwałej, tekstyliów i żużli odpadowych.

- Projekt **Kompleksowa technologia zagospodarowania części węglanowej odpadów flotacyjnych z bieżącej produkcji KGHM i wytwarzania innowacyjnych materiałów dla budownictwa**. Celem projektu jest opracowanie kompleksowych technologii i instalacji do przetwarzania i efektywnego ekonomicznie zagospodarowania drobnoziarnistych materiałów węglanowych ze strumienia odpadów flotacyjnych, pochodzących z bieżącej produkcji Oddziału Zakłady Wzbogacania Rud KGHM Polska Miedź SA.
- Projekt **Niskoemisyjne betony z kruszywem naturalnym oraz z kruszywem z recyklingu**. Celem projektu jest zaprojektowanie i produkcja niskoemisyjnych betonów oraz betonów z kruszywem z recyklingu.
- Projekt **Opracowanie metody wytwarzania ceramicznych i kompozytowych komór spalania**. Celem projektu jest opracowanie technologii wytwarzania komór spalania z azotku krzemu, azotku krzemu wzmocnionego cząstkami węgla krzemu oraz azotku krzemu wzmocnionego włóknami węglowymi dla lotnictwa i techniki kosmicznej.
- Projekt **Opracowanie nowej technologii głębokiej rafinacji stali w procesie obróbki pozapiecowej i odlewania w kadzi pośredniej umożliwiające zwiększenie stopnia czystości stali**. Celem projektu jest opracowanie nowej metody argonowania stali w kadzi stalowniczej na stanowisku pieca kadziowego (LHF) oraz w kadzi pośredniej (KP) urządzenia do ciągłego odlewania stali (COS).

4. Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników Oddział Farb i Tworzyw w Gliwicach

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników, Oddział Farb i Tworzyw w Gliwicach realizuje projekty badawcze związane z nowoczesnymi technologiami w dziedzinie polimerów, farb i tworzyw sztucznych. Zgodnie z danymi dostępnymi na stronie internetowej badanego podmiotu w 2024 r. instytut prowadził dwa projekty badawczo-rozwojowe, natomiast w 2023 r. realizował pięć inicjatyw naukowych. Wcześniej, w 2020 r., instytut realizował dwa projekty, co świadczy o jego długofalowym zaangażowaniu w rozwój innowacyjnych rozwiązań materiałowych.

Realizowane projekty:

- Projekt **Bioprodukt przyspieszający rozkład biodegradowalnych materiałów polimerowych w kompoście**. Celem projektu jest opracowanie innowacyjnego bioproduktu przyspieszającego rozkład tworzyw biodegradowalnych w kompoście przeznaczonym do rekultywacji gleb lub na cele ogrodnicze pod uprawę wybranych gatunków roślin (m.in. wykorzystywanych do produkcji biomasy na cele energetyczne). Bioprodukt dedykowany jest zarówno dla firm przetwarzających odpady, jak i dla posiadaczy przydomowych kompostowników. Zastosowanie produktu pozwoli konsumentom na deponowanie odpadów, m.in. w naczyniu jednorazowego użytku, donicze, opakowaniu, folii ogrodniczej wykonanej z wybranych tworzyw polimerowych.
- Projekt **Development and testing of innovative solutions for the processing of hybrid materials and nanomaterials using artificial intelligence algorithms**.
- Projekt **Badanie i ocena efektywności procesu modyfikacji wybranych poliestrów biodegradowalnych metodą reaktywnego wytlaczania w celu poprawy ich właściwości fizykochemicznych**. Celem projektu jest zbadanie wpływu dodatku usieciowanej frakcji biopoliestru, jako modyfikatora wytworzonego w procesie alternatywnym (z wykorzystaniem metody reaktywnego wytlaczania), do standardowego reaktywnego wytlaczania. Wytworzony w procesie sieciowania modyfikator będzie tym samym polimerem co osnowa. Badania skupią się na poznaniu mechanizmu tworzenia się kompozytu z zastosowaniem tej metody modyfikacji.
- **Antykorozyjne utwardzane UV farby na podłoża metalowe, oparte na biosurowcach/Bio-Based UV-Curable Anti-Corrosion Coatings for Metal Substrates**. Celem projektu jest poszerzenie możliwości zastosowania wyrobów lakierowych utwardzanych promieniami UV na podłoża metalowe, dzięki poprawie ich przyczepności i odporności na korozję. Niezawierające

ropuszczalników organicznych, rodnikowo utwardzane wyroby UV sieciąją niezwykle szybko, dzięki czemu uzyskuje się zwiększenie szybkości produkcji. Technologia jest energooszczędna i przyjazna dla środowiska.

5. Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN w Zabrze

Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych Polskiej Akademii Nauk w Zabrzu prowadzi intensywne badania w zakresie nowoczesnych materiałów polimerowych i węglowych, realizując liczne projekty badawcze, finansowane zarówno ze środków krajowych, jak i międzynarodowych. Zgodnie z danymi dostępnymi na stronie internetowej badanego podmiotu, w 2021 r. instytucja prowadziła trzy projekty finansowane przez Narodowe Centrum Nauki (NCN) oraz jeden projekt wspierany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR). Rok wcześniej, w 2020 r., realizowano pięć projektów NCN oraz dwa finansowane przez Komisję Europejską.

Realizowane projekty:

- Projekt **W kierunku zerowej przerwy energetycznej i nadprzewodnikowych sprzężonych wielowymiarowych polimerów**. Głównym celem proponowanego projektu jest synteza nowych monomerów (prekursorów polimerów), a następnie – polimerów o strukturze uporządkowanej w trzech wymiarach, charakteryzujących się występowaniem pasma wzbronionego o wartości zbliżonej do zera.
- Projekt **Nowe nanowarstwy polimerów gwiazdzystych o działaniu przeciwporostowym**. Głównym celem proponowanego działania naukowego jest zaprojektowanie nowych przeciwporostowych warstw uformowanych przez hydrofilowe polimery gwiazdzyste metakrylanów glikoli oligoetylenowych, kowalencyjnie związanych z podłożem stałym. W trakcie badań planuje się określenie wpływu zmiany funkcyjności gwiazdy na właściwości przeciwporostowe otrzymywanych materiałów. Wyniki projektu pozwolą na opracowanie wysoko odpornych na osadzanie się białek nanowarstw polimerowych.
- Projekt **Innowacyjne materiały i metody dla medycyny, w tym w leczeniu trudno gojących się ran – zakup infrastruktury badawczej i przeprowadzenie prac budowlanych w Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN oraz zakup infrastruktury badawczej dla Centrum Leczenia Oparzeń im. dr. Stanisława Sakiela**. Głównym celem projektu jest stworzenie nowych materiałów i metod dla medycyny, w szczególności dla leczenia trudno gojących się ran, przez zrealizowanie szeregu prac badawczo-rozwojowych.

Logistyka i transport

Autorzy

Katarzyna Dohn*

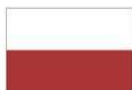
Marzena Kramarz*

Edyta Przybylska*

* Politechnika Śląska



Fundusze Europejskie
dla Śląskiego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Województwo
Śląskie

7.1. Identyfikacja obszarów technologicznych, grup technologicznych i technologii

7.1.1. Opis metodologii

Identyfikacja obszarów, grup technologicznych czy samych technologii, które w woj. śląskim uważane są za rozwojowe w perspektywie 2050 r., wymaga zastosowania odpowiedniego narzędzia badawczego. W przyjętym rozwiązaniu oparto się na rozumowaniu dedukcyjnym, czyli procesie wyprowadzania wniosków z tego, co już jest wiadome. Proces ten był wsparty wieloma metodami, które zostały zestawione w tabeli 7.1. Wykorzystanie odpowiednich metod: diamentu Portera, metody EMERALD, analizy PESTEL oraz SWOT, wymagały szerokich analiz danych zastanych (ang. *desk research*). Zaprezentowane dane zostały zweryfikowane podczas wywiadów z ekspertami i w badaniach fokusowych.

Tabela 7.1. Przyjęta metodyka badawcza

Lp.	Etap badań	Metoda badań	Narzędzia badawcze
1	Identyfikacja dotychczasowych kluczowych technologii rozwijanych w regionie	desk research	analiza krajowych i regionalnych strategicznych dokumentów analiza bazy tekstów naukowych analiza raportów sektorowych
2	Wstępna weryfikacja kluczowych technologii, które są rozwijane w regionie	wywiady z ekspertami	identyfikacja kluczowych „aktorów” i ekspertów z obszarów rozwoju technologii
3	Wskazanie technologii, które mają potencjał do rozwoju w regionie w perspektywie 2050 r.	badania fokusowe	zogniskowany wywiad grupowy z ekspertami dziedzinowymi
4	Analiza potencjału konkurencyjnego obszaru technologii (grup technologii)	diament Portera połączony z metodą EMERALD	wskaźniki ekonomiczne danej branży dane ze światowych baz danych analizy dokumentów dotyczących badań danej branży/sektora/ obszaru technologicznego dane statystyczne monitorowane przez Obserwatoria Specjalistyczne
5	Ocena uwarunkowań rozwoju obszaru technologicznego	analiza PESTEL	raporty ekonomiczne analiza dokumentów strategicznych
6	Ocena obszaru technologicznego	analiza SWOT	zogniskowany wywiad grupowy z ekspertami dziedzinowymi
7	Weryfikacja oceny obszaru technologicznego	badania fokusowe	zogniskowany wywiad grupowy z ekspertami dziedzinowymi

7.1.2. Zakres obszaru technologicznego

Woj. śląskie jest regionem dynamicznym, podlegającym intensywnym przemianom technologicznym i gospodarczym, szczególnie w kontekście współczesnych wyzwań, takich jak pandemia COVID-19 czy konflikt zbrojny w Ukrainie. Wydarzenia te wzmocniły potrzebę elastycznego reagowania przedsiębiorstw na szybko zmieniające się warunki rynkowe. W odpowiedzi na te zmienne, w Polityce Przemysłowej Polski z 2021 r. (PPP, 2021) wyznaczono pięć kluczowych osi rozwojowych dla świata po pandemii: Cyfryzacja, Lokalizacja produkcji przemysłowej, Bezpieczeństwo, Społeczeństwo wysokich kompetencji, Zielony ład. W ramach tych osi określono kierunki, cele i instrumenty polityki przemysłowej oraz zidentyfikowano kluczowe branże, które podzielono na cztery kategorie:

1. Branże tradycyjnie mocne, przed którymi stoją wyzwania: przemysł motoryzacyjny, hutniczy, chemiczny, meblarski, papierniczy.
2. Branże z dużym potencjałem rozwojowym i dynamiką: przemysł farmaceutyczny, biotechnologiczny i wyrobów medycznych, przetwórstwa spożywczego, kosmetyczny, materiałów budowlanych, elektrotechniczny, maszynowy, transportu szynowego.
3. Branże posiadające nowe perspektywy rozwoju: przemysł budowy statków specjalistycznych i jachtów, lotniczo-kosmiczny, BSP (bezzałogowy statek powietrzny), odzysku surowców wtórnych, baterijny, nowoczesnych technologii energetycznych.
4. Usługi dla przemysłu: transport, ICT (ang. *information and communication technology*), usługi biznesowe.

Woj. śląskie odgrywa kluczową rolę w implementacji tych kierunków, szczególnie w obszarze technologii transportu i logistyki, które stanowią jedne z podstawowych elementów Regionalnej

Strategii Innowacji (RIS) (Inteligentne Śląskie, 2021) oraz Programu Rozwoju Technologii Województwa Śląskiego na lata 2019–2030 (PRT, 2019). W ramach Procesu Przedsiębiorczego Odkrywania (PPO) wskazano technologie kluczowe dla rozwoju regionalnego, m.in.:

- Zintegrowane systemy zarządzania logistyką i transportem, które umożliwiają optymalizację przepływu towarów i usług w ramach globalnych łańcuchów dostaw.
- Technologie wspierające transport multimodalny, w tym rozwiązania na rzecz zintegrowanej infrastruktury dla kolei, dróg i portów.
- Systemy automatyzacji i robotyzacji w logistyce magazynowej, które przyczyniają się do zwiększenia efektywności operacyjnej.
- Nowoczesne technologie zarządzania flotą pojazdów, takie jak systemy telematyczne, pozwalające na redukcję emisji oraz poprawę bezpieczeństwa transportu.
- Rozwiązania w zakresie transportu autonomicznego i elektrycznego, wspierające przejście do gospodarki niskoemisyjnej.
- Infrastruktura cyfrowa dla logistyki i transportu, obejmująca rozwój technologii internetu rzeczy (IoT), big data oraz sztucznej inteligencji (AI) w zarządzaniu procesami logistycznymi.

Strategiczna rola technologii transportu i logistyki w woj. śląskim wynika z jego centralnego położenia oraz roli w korytarzach transportowych łączących Europę Wschodnią z Zachodnią. Region dysponuje zaawansowaną infrastrukturą badawczą, zasobami ludzkimi oraz know-how, co stwarza sprzyjające warunki dla podejmowania innowacyjnych przedsięwzięć w tej dziedzinie. Przemysły wschodzące, takie jak technologie mobilności i systemy zarządzania transportem, rozwijają się dynamicznie, oferując potencjał dla budowy nowych globalnych przewag konkurencyjnych.

Zidentyfikowane w RIS oraz PPO technologie transportu i logistyki to również:

- Systemy inteligentnego transportu (ITS), integrujące dane w czasie rzeczywistym dla poprawy płynności ruchu i minimalizacji zatorów.
- Technologie zielonej logistyki, wspierające efektywność energetyczną i redukcję emisji w całym łańcuchu dostaw.
- Innowacyjne rozwiązania dla zarządzania centrami logistycznymi, umożliwiające elastyczne reagowanie na zmiany popytu i podaży.

Rozwój tych technologii wspiera budowę zintegrowanego i innowacyjnego systemu transportowego w woj. śląskim, stanowiąc fundament jego transformacji gospodarczej i technologicznej.

Biorąc pod uwagę dokumenty strategiczne dla woj. śląskiego oraz przeprowadzone wywiady z ekspertami, wskazano cztery podstawowe grupy technologiczne:

Grupa technologii 1: Technologie dla transportu towarowego:

- technologie transportu multimodalnego i intermodalnego,
- technologie pojazdów autonomicznych i bezzałogowych statków powietrznych,
- technologie dla niskoemisyjnych środków transportu,
- technologie transportowe w zakresie ostatniej mili,
- pozostałe technologie dla transportu ostatniej mili.

Grupa technologii 2: Technologie dla transportu osób:

- technologie dla transportu zbiorowego,
- technologie pojazdów autonomicznych w przewozach pasażerskich,
- technologie dla mikromobilności,
- technologie systemów parkingowych,
- technologie dla zintegrowanego transportu.

Grupa technologii 3: Technologie informacyjne dla logistyki i transportu:

- inteligentne systemy transportowe,
- technologie w obszarze IoT dla logistyki i transportu,
- sztuczna inteligencja, wirtualna i rozszerzona rzeczywistość w logistyce,
- technologie webowe i mobilne dla transportu i logistyki,
- pozostałe technologie identyfikacji i śledzenia w transporcie i logistyce (ładunki).

Grupa technologii 4: Technologie magazynowe:

- technologie automatyzacji procesów magazynowych,
- technologie robotyzacji procesów magazynowych,
- technologie dla zielonych magazynów.

Grupa technologii 1: Technologie dla transportu towarowego

Transport towarowy przez swój komplementarny charakter jest podstawą wszelkiej działalności gospodarczej. Przypisuje się mu odpowiedzialność za rozwój zarówno poszczególnych działów gospodarki, jak i regionów. Tym samym istotne jest zwrócenie uwagi na rozwój technologii, które pozwolą na stworzenie nowoczesnego i innowacyjnego, a także przyjaznego człowiekowi i środowisku, systemu transportowego.

Część technologii związana jest z transportem multimodalnym i intermodalnym. Wpisuje się to silnie w dokumenty strategiczne, które akcentują ważność tych form transportu, np. Biała Księga (2011) czy Strategia Zrównoważonego Rozwoju Transportu do 2030 r. (Strategia, 2019). Rozwój transportu multimodalnego i intermodalnego pozwala na wpisanie się nie tylko w założenia polityki transportowej, ale także w koncepcję zrównoważonego rozwoju, czy w wytyczne rozwoju ekologicznych, mniej energochłonnych i tworzących mniejsze koszty zewnętrzne rozwiązań transportowych. Punktem wyjścia dla transportu intermodalnego jest rozwój nowoczesnych rozwiązań w zakresie przeładunku intermodalnych jednostek ładunkowych (kontenerów, nadwozi wymiennych, naczep siodłowych czy bimodalnych) zarówno w technologii przeładunku pionowego (lo-lo), jak i poziomego (ro-ro), np. Modalohr. Zarówno te, jak i inne rozwiązania w przeładunkach międzygałęziowych wymagają zastosowania technologii opartych na nowych rozwiązaniach z zakresu wagonów kolejowych, środków transportu drogowego oraz infrastruktury dla terminali przeładunkowych.

Transport towarowy jest silnie uzależniony od nowoczesnych technologii ukierunkowanych na rozwój środków transportu w ramach różnych gałęzi transportu i urządzeń ładunkowych. Innymi, szczególnie ważnymi technologiami, są te związane z autonomicznymi pojazdami czy dronami. Istnieje ogólny trend dużego zainteresowania tego typu rozwiązaniami z uwagi na ich innowacyjność, mniejsze zaangażowanie zasobów ludzkich oraz ich związek z transportem „ostatniej mili”. Szczególnie zwraca się uwagę na wykorzystanie elektrycznych oraz niskoemisyjnych samochodów dostawczych, tramwajów towarowych, rowerów dostawczych oraz innych pojazdów zasilanych alternatywnymi źródłami napędu (Taniguchi, Thompson i Yamada, 2014; Bellandi i in., 2014; Kauf, 2016; Iwan i in., 2018; Taniguchi, Thompson i Qureshi, 2020).

Dużym wyzwaniem w obszarze transportu towarowego w mieście są dostawy przesyłek związane z rozwijającym się silnie e-commerce i kształtowanie przepływów w zakresie transportu „ostatniej mili”. W tej sytuacji zarówno przedsiębiorstwa logistyczne, jak i zarządcy miast stoją przed ogromnym wyzwaniem, jakim jest zorganizowanie zrównoważonych przepływów przesyłek (Heitz i Beziat, 2016; Nathnail, Gogas i Adamos, 2016; Montwiłł, Pietrzak i Pietrzak, 2021), czego przykładami są: rozwój alternatywnych punktów nadania i odbioru przesyłek w lokalizacjach innych niż dom klienta (np. sklep lub stacja benzynowa) (Vural i Aktepe, 2021); rozwój automatów paczkowych (Taniguchi, Thompson i Qureshi, 2020); wykorzystanie dronów w dostawach przesyłek (Müller, Rudolph i Janke, 2019); rozwój miejskich centrów konsolidacji czy dystrybucji; wykorzystanie alternatywnych środków transportu (np. rowery dostawcze); rozwój koncepcji crowdshippingu (zakłada wykorzystanie tzw. potencjału tłumu) – czyli zaangażowanie do dostawy przesyłek osób, które w innych celach przemieszczają się po mieście (Chen i Pan, 2015; Pan, Chen i Zhong, 2015; Serafini i in., 2018; Taniguchi, Thompson i Qureshi, 2020).

Grupa technologii 2: Technologie dla transportu osób

Transport osób to kolejny obszar wymagający kształtowania i wdrażania nowoczesnych technologii zarówno transportu indywidualnego, jak i zbiorowego. Wykorzystywanie publicznego transportu zbiorowego jest wskazywane jako główny czynnik ograniczenia transportu drogowego w mieście, a przez to ograniczenia kosztów zewnętrznych transportu i zrównoważenia przepływu osób. Ma się

do tego przyczyniać szereg rozwiązań, np.: system kart miejskich (Grad, Ferensztajn-Galardos i Krajewska, 2013; Jaroszyński i Chład, 2015), system dynamicznej (rzeczywistej) informacji pasażerskiej (Kiba-Janiak, 2012; Grad, Ferensztajn-Galardos i Krajewska, 2013), preferencje dla transportu publicznego, np. wydzielone buspasy, wprowadzenie do komunikacji małych busów poruszających się z większą częstotliwością niż autobusy (Kiba-Janiak, 2012). Wśród innych rozwiązań pozwalających ograniczyć ruch środków transportu drogowego w mieście, wskazuje się mikromobilność umożliwiającą multimodalność podróży (systemy rowerów, hulajnóg i skuterów miejskich), rozwój carpoolingu, carsharingu oraz działania zachęcające do korzystania z transportu zbiorowego (Kiba-Janiak, 2012; Jaroszyński i Chład, 2015; Szołtysek, 2016).

Priorytetem jest budowa czy rozbudowa infrastruktury liniowej oraz punktowej w zakresie transportu szynowego, stanowiącego realną alternatywę dla transportu drogowego. Pożądana jest także zmiana taboru na bardziej ekologiczny (np. pojazdy elektryczne czy autobusy wodorowe). Jednocześnie konieczny jest rozwój infrastruktury dedykowanej tego typu pojazdom, np. parkingów, punktów napraw, stacji ładowania (Iwan i in., 2018). Wiele uwagi poświęca się również pojazdom autonomicznym i ich wykorzystaniu w transporcie osób, wskazując na korzyści, które mogą wpłynąć na środowisko, społeczeństwo i gospodarkę, np. poprawa bezpieczeństwa, zmniejszenie zatorów i poprawa płynności ruchu, zwiększenie mobilności osób niepełnosprawnych czy starszych (Platforma Przemysłu Przyszłości, 2025). Ponadto jako dobre rozwiązania wskazuje się wprowadzanie skrzyżowań wielopoziomowych i bezkolizyjnych oraz sygnalizacji świetlnej regulujących ruch, co zapewnia większe bezpieczeństwo transportu, a także budowę parkingów podziemnych czy wielopoziomowych (Stawasz, 2015). Rozwój zbiorowego transportu publicznego zarówno szynowego, jak i drogowego, a także wspomnianej wcześniej mikromobilności, wymaga dodatkowo stworzenia infrastruktury, która będzie pozwalała na multimodalność podróży. Wskazuje się głównie (Kauf, 2012; Cichosz, 2015; Bul, 2017): budowę węzłów przesiadkowych, tworzenie infrastruktury pozwalającej na łączenie komunikacji rowerowej z komunikacją zbiorową (np. B & R), tworzenie infrastruktury pozwalającej na łączenie przejazdów indywidualnymi samochodami osobowymi z komunikacją miejską (np. P & R).

Grupa technologii 3: Technologie informacyjne dla logistyki i transportu

Realizacja procesów transportowo-logistycznych jest szeroko wspierana przez rozwinięte technologie informacyjne. Wśród nich wiele uwagi poświęca się internetowi rzeczy, który jest określany jako modułowa metoda integracji różnych czujników ze wszystkimi technologiami informacyjno-komunikacyjnymi (Blicharz, 2023), czy jako ogół inteligentnych przedmiotów, mogących reagować na środowisko oraz przetwarzać informacje, a także przysyłać je do innych obiektów i użytkowników (Rot, 2017). Kluczową rolą IoT jest zbieranie danych z różnych źródeł i zarządzanie krytycznymi zasobami, takimi jak: woda, energia, transport, odpady czy bezpieczeństwo publiczne (Balicka, 2023). Zbierane dane można również wykorzystywać do zwiększania transparentności działań władz lokalnych czy świadomości mieszkańców o stanie ich miasta, a także do stymulacji udziału w działaniach na rzecz miasta (Baraniewicz-Kotasińska, 2017). W kontekście logistyki IoT wykorzystywany jest na szeroką skalę w kreowaniu inteligentnego systemu transportowego, m.in. przez inteligentne: drogi, parkingi, systemy rowerowe, pojazdy, oświetlenie uliczne, transport publiczny, zarządzanie ruchem w czasie rzeczywistym (Szum, 2021). Jego zastosowanie widoczne jest również w gospodarce odpadami (Bodnar, Panasewicz i Szpilko, 2023).

Wykorzystanie IoT widoczne jest w rozwijanych inteligentnych systemach transportowych (ang. *intelligent transport system*, ITS). Stanowią one szeroki zbiór różnorodnych technologii (telekomunikacyjnych, informatycznych, automatycznych, pomiarowych) oraz technik zarządzania stosowanych w transporcie w celu ochrony życia uczestników ruchu, zwiększenia efektywności transportu oraz ochrony zasobów środowiska naturalnego (Dembńska i in., 2018). ITS stanowią aplikacje, które wiążą zbieranie danych, komunikację, eksplorację danych, uczenie maszynowe, sztuczną inteligencję i zarządzanie bazami danych (Tomaszewska, 2022). Mają na celu świadczenie usług związanych z różnymi rodzajami transportu i zarządzaniem ruchem oraz pozwalają na lepsze informowanie różnych użytkowników, a także zapewniają bezpieczniejsze, bardziej skoordynowane i inteligentniejsze korzystanie z sieci transportowych (Wojewódzka-Król i Rolbiecki, 2018).

Sztuczna inteligencja stanowi obecnie jedno z kluczowych zastosowań w obszarze działań transportowo-logistycznych. Algorytmy AI potrafią analizować ogromne ilości danych, takich jak: lokalizacja pojazdów, stan dróg, warunki pogodowe i wzorce popytu, aby wyznaczać optymalne trasy i minimalizować czas dostaw. To przekłada się na oszczędność paliwa, redukcję emisji CO₂ i lepszą obsługę klienta. Algorytmy AI potrafią również analizować dane z czujników zamontowanych w pojazdach i maszynach, aby przewidywać awarie i zapobiegać im, zanim się wydarzą (Envio Group, 2024). Wykorzystywane technologie informacyjne związane są również z różnorodnymi aplikacjami mobilnymi i cyfrowymi platformami dedykowanymi mieszkańcom lub właścicielom nieruchomości (Jąderko, Stępień i Białecka, 2016), czy tworzącymi środowisko współdzielenia zasobów i ułatwiające integrację klientów (Strojna, Zalecka i Ryciuk, 2022). Ponadto wykorzystanie technologii informacyjnych, algorytmów maszynowego uczenia się oraz idei IoT jest główną podstawą tworzenia nowoczesnych rozwiązań w obszarze logistyki odpadów (Lewicki, 2018; Marques i in., 2019). Rozwój transportu zarówno towarowego, jak i transportu osób wymaga również wsparcia systemów automatycznej identyfikacji i technik przechwytywania danych (ang. *automatic identification and data capture*, AIDC). Automatyczna identyfikacja i odczyt danych mogą być wykorzystane do zapewnienia śledzenia przesyłek w czasie rzeczywistym, przewidywania czasu dostawy, wyjaśnienia opóźnienia dostawy i wielu innych czynników (Rusek i Pniewski, 2016).

Grupa technologii 4: Technologie magazynowe

Magazyny stanowią istotne ogniwo przepływów w łańcuchach dostaw. Poza klasyczną rolę związaną z przechowywaniem zapasów realizują obecnie szereg innych zadań dodających wartość do produktów, takich jak konfekcjonowanie, pakowanie, co-packing. Tak szeroki zakres zadań powoduje, że magazyny poszukują rozwiązań zwiększających ich konkurencyjność przez usprawnienie realizacji procesów czy obniżenie kosztów.

Główny trend, widoczny w technologiach magazynowych, jest związany z ich automatyzacją i robotyzacją. Przykładem mogą być automatyczne magazyny wysokiego składowania, w których rolę operatorów wózków widłowych przejmują układnice magazynowe. Ładunki są przemieszczane szybko i bezpiecznie, a wykorzystanie dostępnej przestrzeni magazynowej jest optymalne (Grabowy i Wielgosz, 2018). Innym przykładem zastosowania robotyki w magazynach są roboty mobilne. Pozwalają one na przemieszczanie zapasów w postaci jednostek magazynowych po przestrzeni magazynowej z punktu A do punktu B. Roboty mobilne dzielą się na dwie kategorie – AMR i AGV (Jardzioch, 2020). Technologia AGV jest oparta na wykorzystywaniu bezzałogowych pojazdów transportowych i przeznaczona do przewozu obiektów po wyznaczonej trasie (Bednarz i Popiel, 2018; Surma, 2020). Roboty AMR są bardziej rozwiniętą odmianą AGV. Posiadają one skanery oraz kamery i sensory, które umożliwiają pozyskiwanie pełnych informacji o ich otoczeniu w czasie rzeczywistym. Dzięki takim informacjom robot potrafi się poruszać po powierzchni magazynowej w pełni autonomicznie i reagować na zmieniające się otoczenie czy pojawiające się przeszkody (Jardzioch, 2020). Jeszcze innym przykładem robotyzacji są prowadzone przez Amazon testy wykorzystywania robota humanoidalnego Digit w procesach kompletacji. W działaniach magazynowych wprowadza się również bezzałogowe statki powietrzne, czyli drony. Mogą one ułatwiać kontrolę stanu hali lub prowadzenie przeglądów regałów magazynowych – wykorzystywane są również w inwentaryzacji. Unosząc się w powietrzu, mają szerokie pole widzenia, dzięki czemu mogą ułatwiać pracę magazynierom, np. wskazując bezpieczne trasy przejazdu lub wspomagając manewrowanie wózkami w ograniczonej przestrzeni. Zastosowanie dronów w inwentaryzacji przyczynia się do eliminacji błędów, oszczędności czasu i nakładów finansowych, a także do poprawy bezpieczeństwa personelu i składowanego towaru (Mecalux, 2021).

Istotnym procesem, który odbywa się w magazynach jest kompletacja produktów. Również w tym obszarze zastosowano szereg technologii, takich jak: pick by light, pick by point, pick by voice, pick by frame, pick by watch, czy pick by vision (Wróbel i Zbadyński, 2018). Szczególnie innowacyjna jest ostatnia z wymienionych technologii, którą wspomaga rzeczywistość rozszerzona (AR) (Rusek i Pniewski, 2017). W kompletacji sprawdzają się także roboty pakujące, np. FANUC, który posiada czujniki i systemy wizyjne umożliwiające lokalizowanie opakowań, produktów pakowanych oraz

miejsz odkładczych. Umożliwia on dokładne i precyzyjne pakowanie bez uszkodzeń produktów (Jardzioch, 2020).

Prowadząc rozważania dotyczące technologii magazynowych zdecydowanie należy podkreślić rozwój tzw. zrównoważonych (lub zielonych) magazynów, w których szczególne znaczenie zyskują rozwiązania proekologiczne. Wykorzystanie sprężarek do odzysku ciepła, diod elektroluminescencyjnych, destryfikatorów powietrza i automatyzacja magazynów, to tylko niektóre przykłady rozwiązań przynoszących korzyści ekologiczne (Mardeusz, 2021). W zielonych magazynach stosuje się rozmaite techniki i strategie mające na celu ograniczenie produkcji odpadów i zużycia energii w trosce o środowisko. Wpisują się one w zasady zielonej logistyki, której priorytetem jest redukcja śladu węglowego oraz racjonalne gospodarowanie zasobami (Mecalux, 2022).

7.1.3. Analiza konkurencyjności obszaru technologicznego

7.1.3.1. Opis przyjętych metod

Wśród metod oceny konkurencyjności regionów czy sektorów najczęściej jest stosowane podejście Portera, który w swoich pracach podkreślał znaczenie kształtowania i rozwoju konkurencyjności przedsiębiorstw oraz branż i gospodarek narodowych. Postrzega on konkurencyjność (i ocenę atrakcyjności) gospodarek narodowych jako zbiór konkurencyjnych branż (Porter, 1998). Oznacza to, że konkurencyjność opiera się na analizie przyczyn jej kształtowania na poziomie mezoekonomicznym. Oceniając gospodarkę danego kraju podkreśla konkurencyjność poszczególnych przemysłów, a nie pojedynczych przedsiębiorstw. Porter zakłada przy tym, że siła przedsiębiorstw w układzie branżowym jest elementem składowym konkurencyjności danej gospodarki. Popularność tego podejścia zaowocowała szeroką dyskusją na temat uwarunkowań sprzyjających rozwojowi branż, technologii, regionów i gospodarek narodowych. Noblista Paul Krugman koncentruje swoją uwagę na tzw. efektach zewnętrznych, a wśród źródeł konkurencyjności regionów wyróżnia czynniki fundamentalne, tj. podstawowe warunki zastane oraz korzyści zewnętrzne związane z działalnością i specjalizacją na danym terytorium. Są to tzw. absolutne przewagi regionu (ang. *regional absolute advantages*), czyli czynniki specyficzne tylko dla danego obszaru. Przykładem czynników fundamentalnych mogą być: dobrze wykształcone społeczeństwo lokalne, dobra jakość edukacji, lokalna kultura przedsiębiorczości, naturalne zasoby i klimat, trwałe różnice w polityce publicznej – w stawkach podatkowych i jakości infrastruktury. Krugman (1995) podkreślał, że konkurencyjność regionu nie jest jedynie wypadkową wyników działalności gospodarczej poszczególnych przedsiębiorstw, ale czymś wynikającym ze specyficznych uwarunkowań danego regionu. Prowadzona w tym zakresie polityka gospodarcza czy społeczna regionu jest kluczowa.

Cennymi modelami, które pozwalają nie tylko ocenić atrakcyjność regionu, ale również technologii, są: model diamentu (rombu) (Porter) i model szmaragdu. Model diamentu oceny przewagi konkurencyjnej opiera się na ocenie czterech grup czynników:

- czynniki produkcji – pozycja zajmowana przez dany kraj/region, biorąc pod uwagę czynniki produkcji, takie jak wykwalifikowana siła robocza lub infrastruktura, niezbędne do konkurowania w danym sektorze,
- warunki popytu – charakter krajowego/regionalnego popytu na produkty sektora/technologii,
- sektory pokrewne i wspierające – obecność lub nieobecność w danym kraju/regionalnym sektorów zaopatrzeniowych i innych pokrewnych, konkurencyjnych w skali międzynarodowej,
- strategia, struktura i rywalizacja firm – warunki w danym kraju/regionalnym określające sposób tworzenia i organizowania firm oraz zarządzania nimi.

Porter uzupełnił model o dwie kolejne grupy czynników, które bezpośrednio oddziałują na cztery podstawowe: „rząd” (państwo) i „przypadek” (szansa). Podobne rozwiązanie zaproponowali Sasson i Reve (2012). Opracowali oni model szmaragdu – sześciopłaszczyznowy system pomiaru atrakcyjności przemysłowej i regionalnej. Badania koncentrowały się na ocenie czynników z punktu widzenia rozwoju klastra. W modelu wyróżnia się sześć płaszczyzn: atrakcyjność edukacyjną, atrakcyjność talentów, atrakcyjność badawczo-rozwojową i innowacyjną, atrakcyjność własności,

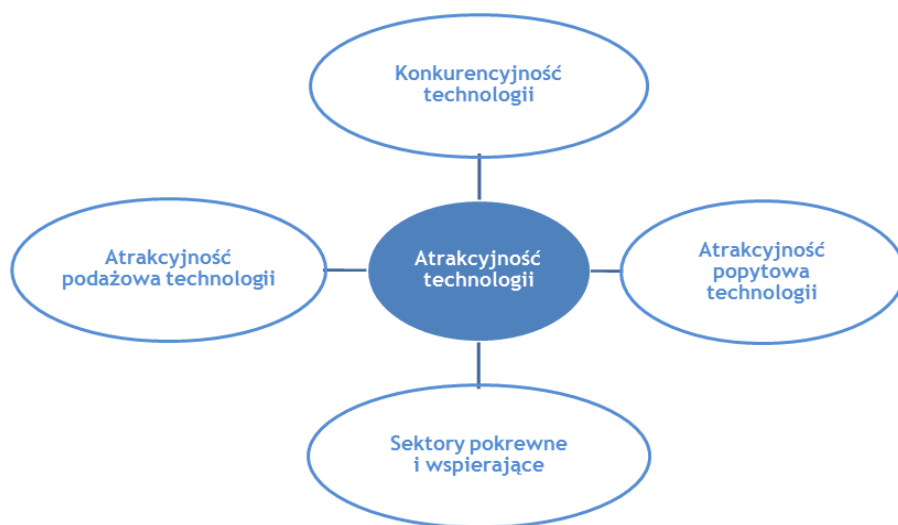
atrakcyjność środowiska i atrakcyjność klastra. Wszystkie te płaszczyzny tworzą środowisko, w którym może (lub nie) rozwijać się określony klastrowy.

Modele diamentu i szmaragdu stały się podstawą oceny atrakcyjności i konkurencyjności obszaru technologicznego transportu i logistyka. Obie koncepcje mogą koncentrować się na różnej liczbie czynników wymagających oceny eksperckiej w oparciu o dane ilościowe i badania jakościowe. Jest kilka powodów, dla których modele diamentu i szmaragdu wykorzystano do badań:

- obie koncepcje operują pojęciem atrakcyjności branży, regionu czy technologii, która jest podstawą badań,
- połączenie perspektyw obu koncepcji daje szersze możliwości badawcze dla pomiaru konkurencyjności regionu z perspektywy rozwoju nie jednego, a kilku sektorów/grup technologii,
- w ocenie wykorzystano zarówno dane ilościowe, jak i oceny eksperckie,
- elastyczność koncepcji pozwala na szeroki wybór czynników i sposobów ich oceny.

Ostatecznie badania przeprowadzono w czterech grupach czynników, które mają wpływ na przyszły rozwój technologii w obszarze transportu i logistyki (rys. 7.1):

- atrakcyjność popytowa technologii – oceniająca charakter regionalnego/krajowego/światowego popytu na produkty obszaru technologicznego,
- atrakcyjność podażowa technologii – oceniająca charakter czynników produkcji pozwalających na rozwój technologii,
- konkurencyjność technologii – czynniki konkurencyjności technologii,
- rozwój sektorów/technologii pokrewnych i wspierających – opisuje trendy oraz rozwój sektorów i technologii, które w istotny sposób wpływają na przyszłość badanych technologii.



Rys. 7.1. Model atrakcyjności technologii

Czynniki opisujące poszczególne grupy w modelu atrakcyjności technologii zostały przedstawione w tabeli 7.2.

Tabela 7.2. Czynniki opisujące model atrakcyjności technologii

Grupa czynników	Szczegółowe czynniki oceny
Atrakcyjność popytowa technologii	– istniejące i przyszłe rynki zbytu na technologie – możliwość współpracy z interesariuszami – wykorzystanie innowacji wskazywanych przez klientów do obsługi logistycznej – dostępność technologii pod względem możliwości finansowych grup popytowych – transparentność w korzystaniu z technologii – dostępność technologii dla użytkownika
Atrakcyjność podażowa technologii	– dostępność do infrastruktury liniowej – dostępność do infrastruktury punktowej – dostępna suprastruktura – stopień integracji systemów logistycznych miasta i regionu – uwarunkowania środowiskowe obsługi logistycznej

Grupa czynników	Szczegółowe czynniki oceny
	– atrakcyjność kapitału społecznego – atrakcyjność B + R + I (poziom i wzrost inwestycji w badania i rozwój oraz personelu badawczo-rozwojowego, poziom i rozwój publikacji naukowych oraz rejestracja patentów w badanym obszarze)
Konkurencyjność technologii	– atrakcyjność współpracy i powiązań sieciowych w sektorze – znaczenie zrównoważonego rozwoju w rozwoju technologii – skłonność do zmian modeli biznesu – znajomość źródeł przewag konkurencyjnych – możliwość pojawienia się konkurencyjnych technologii – możliwość rozwoju zdolności obsługi logistycznej rynku – wpływ rozwoju technologii na atrakcyjność inwestycyjną regionu (przyciąganie nowych znaczących inwestorów) – wpływ rozwoju technologii na tworzenie nowych miejsc pracy
Rozwój sektorów/technologii pokrewnych i wspierających	– obecność instytucji otoczenia biznesu i ekosystem innowacji – rozwój sektora energetycznego – dostępność i ceny mediów energetycznych – znaczenie automatyzacji i AI w rozwoju technologii

7.1.3.2. Analiza atrakcyjności popytowej technologii

Wpływ na atrakcyjność popytową technologii logistycznych mają takie czynniki, jak: istniejące i przyszłe rynki zbytu na technologie, możliwość współpracy z interesariuszami, wykorzystanie innowacji wskazywanych przez klientów do obsługi logistycznej, dostępność technologii pod względem możliwości finansowych grup popytowych, transparentność w korzystaniu z technologii, dostępność technologii dla użytkownika.

W przypadku technologii transportu osób przyszłe rynki zależą zarówno od popytu konsumenckiego, na który wpływa liczba mieszkańców oraz osób odwiedzających miasto, jak i popytu zgłaszanego przez wykonawców usług (np. ZTM, Koleje Śląskie). Woj. śląskie jest najbardziej zurbanizowanym regionem Polski (75,89% ludności miejskiej – spadek o 0,28 p.p. w porównaniu do 2021 r.) oraz o najwyższej gęstości zaludnienia w kraju (352 osób/km², przy średniej krajowej 126 osoby/km²). Zgodnie z prognozami Głównego Urzędu Statystycznego do 2050 r. liczba ludności w woj. śląskim zmniejszy się o 17,7%, czyli o ponad 770 tys. osób w porównaniu do 2022 r., zaś do 2060 r. aż o 25,1%. Zmniejszy się udział osób w wieku produkcyjnym oraz przedprodukcyjnym, natomiast wyraźnie wzrośnie udział grupy poprodukcyjnej – z 24,4% w 2022 r. do 36,0% w 2050 r. Będzie to skutkowało pojawieniem się technologii logistycznych dostosowanych do tej grupy. W 2022 r. w 12 miastach powyżej 100 tys. osób mieszkało 44,3% populacji woj. śląskiego (spadek o 0,3 p.p. w porównaniu do 2021 r.). Natomiast tereny wiejskie województwa, stanowiące 69,3% powierzchni regionu, były zamieszkiwane przez niecałe 1,05 mln osób (24,11% ogółu ludności województwa – wzrost w porównaniu do 2021 r.). Zdecydowanie największa powierzchnia obszarów wiejskich zlokalizowana jest w subregionie północnym i południowym (Raport, 2024a). Te czynniki demograficzne wpływają na rozwój technologii w obszarze transportu osób, w tym na niejednorodny rozwój mikromobilności w poszczególnych subregionach (silniej skoncentrowanej w obszarze miast akademickich, czyli Katowic, Gliwic, Chorzowa i Sosnowca), determinują inwestowanie w transport kolejowy, decydują o rozmieszczeniu innych technologii związanych z transportem autobusowym i tramwajowym. W woj. śląskim sieć tramwajowa jest nierównomierna. Badania gęstości infrastruktury transportowej przeprowadzono w 2022 r., ale wskazane tendencje były aktualne także w 2024 r. Woj. śląskie wciąż pozostaje krajowym liderem pod względem spadku liczby ludności. Według najnowszych danych Głównego Urzędu Statystycznego w regionie ubyłło ponad 26,5 tys. osób w porównaniu do 2023 r. Duży spadek odnotowano w Częstochowie i w Sosnowcu, natomiast w trendzie wzrostowym nadal jest Mikołów. Woj. śląskie posiada najwyższą gęstość zaludnienia w Polsce (średnio 350 osób na 1 km² powierzchni w 2024 r.) (Raport, 2024b). Trendy te, choć w niewielkim stopniu, hamują popyt na technologie w obszarze transportu osób. Warto podkreślić wzrost udziału gospodarstw domowych deklarujących korzystanie z transportu publicznego. W woj. śląskim taką deklarację złożyło ponad 65,4% gospodarstw domowych. Różnice w tych deklaracjach zależą od klasy miejscowości (KM) oraz delimitacji obszarów wiejskich (DOW). W największych

miastach (500 tys. lub więcej mieszkańców) odsetek gospodarstw domowych korzystających z transportu publicznego wyniósł 90,3%. Wraz ze spadkiem liczby mieszkańców miast odsetek ten sukcesywnie malał, aby w najmniejszych miastach (poniżej 20 tys.) osiągnąć 43,0%. Podobny odsetek (43,1%) gospodarstw domowych deklarował korzystanie z transportu publicznego na wsi. Różnił się on jednak między klasami według delimitacji obszarów wiejskich. Najwyższy odsetek gospodarstw deklarujących korzystanie z transportu publicznego był na aglomeracyjnych obszarach wiejskich o dużej gęstości zaludnienia (58,8%), podobnie jak w przypadku miast liczących od 20 do 99 tys. mieszkańców. Najniższy odsetek (35,8%) odnotowano na pozaaglomeracyjnych obszarach wiejskich o małej gęstości zaludnienia. Ze względu na stopień urbanizacji i gęstość zaludnienia w woj. śląskim trend ten wpływa stymulująco na rozwój technologii w obszarze transportu osób (GUS, 2025). W okresie od 3.10.2023 r. do 19.11.2023 r. wykonano badania (pomiar) liczby pasażerów przewozów kolejowych w woj. śląskim. Ich celem było uzyskanie informacji o wielkości oraz rozkładzie przestrzennym i czasowym popytu na usługi przewozowe i następnie wykorzystanie ich w pracach nad ofertą przewozową. Największe średniodobowe odcinkowe sumy liczby pasażerów z obydwu kierunków między poszczególnymi stacjami i przystankami osobowymi odnotowano w obrębie katowickiego węzła kolejowego: na odcinku Katowice-Piotrowice-Katowice-Ligota, w większym stopniu łączącym potoki pasażerskie z linii komunikacyjnych w kierunku stacji: Tychy-Lodowisko, Zwardoń, Wisła, a w mniejszym stopniu z kierunku Rybnika, gdzie uzyskano wynik 40,1 tys. pasażerów. Wysoki wynik odnotowano także na odcinku Katowice-Zawodzie-Katowice-Szopienice Południowe (33,1 tys. pasażerów), gdzie występują potoki pasażerskie dla linii komunikacyjnych w kierunku Gliwic, Częstochowy oraz Krakowa, zasilane mniejszą liczbą pasażerów z linii w kierunku Oświęcimia i Olkusza. W skali dnia roboczego popyt na usługi przewozów pasażerskich organizowanych przez woj. śląskie kształtował się na poziomie 72,8 tys. pasażerów.

Zarówno popyt na technologie w transporcie towarowym, jak i technologie w gospodarce magazynowej, uzależniony jest od liczby przedsiębiorstw przemysłowych w regionie, dla których świadczone są usługi logistyczne, wykorzystujące badane technologie. Organizacje te są zleceniobiorcami usług logistycznych. Rzeczywisty popyt na technologie zgłaszany jest także przez zleceniodawców usług logistycznych, w tym przedsiębiorstwa branży TSL. Liczba podmiotów gospodarczych w woj. śląskim w okresie 2013–2022 zwiększyła się o 13,4%, choć udział podmiotów z regionu w ogólnej liczbie podmiotów gospodarczych w Polsce zmniejszył się o 0,9 p.p. Podobnie jak w skali kraju, przyrost liczby przedsiębiorstw w regionie wynikał wyłącznie ze zwiększenia liczebności najmniejszych firm. Liczba mikroprzedsiębiorstw (czyli podmiotów zatrudniających do dziewięciu osób) zwiększyła się o 64,3 tys., co stanowiło przyrost o 14,7%, gdy w tym samym okresie łączna liczba firm małych (10–49 osób), średnich (50–249 osób) i dużych (250 i więcej zatrudnionych osób) spadła o 2,8 tys. (spadek o 11,8%). Udział podmiotów gospodarczych z województwa w ogólnej liczbie przedsiębiorstw w Polsce w okresie 2013–2022 zmniejszył się w każdej z prezentowanych grup przedsiębiorstw. W 2024 r. w woj. śląskim było zarejestrowanych ponad 460 tys. podmiotów gospodarczych. Wśród nich największą grupę stanowiły osoby fizyczne prowadzące działalność gospodarczą oraz spółki prawa handlowego. Woj. śląskie jest jednym z liderów pod względem liczby podmiotów działających w branżach wysoko technologicznych.

Region od lat znajduje się na szczycie rankingów atrakcyjności inwestycyjnej, czego potwierdzeniem jest raport przygotowany przez ekspertów Instytutu Badań nad Gospodarką Rynkową – Atrakcyjność Inwestycyjna Województw i Podregionów Polski. Decydują o tym m.in. największe zasoby pracy o najwyższej jakości, bogate tradycje przemysłowe regionu, duży rynek zbytu (drugi największy w Polsce), bardzo dobrze rozwinięty sektor instytucji otoczenia biznesu, bardzo dobrze rozwinięta infrastruktura gospodarcza i społeczna. Powoduje to nieustanny wzrost popytu na technologie zarówno w obszarze transportu towarowego, jak i gospodarki magazynowej. Duży wpływ na popyt na tego typu technologie ma rozwój sprzedaży e-commerce, który stwarza nowe potrzeby technologiczne. Handel internetowy w woj. śląskim rozwija się zgodnie z trendami w Polsce (Raport, 2024b). Eksperci uznają, że ma on jeszcze duży potencjał, ale prognozują, że nie będzie to już tak duża ekspansja jak do 2022 r. W latach 2018–2021 wartość e-commerce rosta w całym kraju rocznie średnio o 26%, podczas gdy w okresie 2022–2027 przewiduje się średnioroczną stopę wzrostu na

poziomie 11%. Hamująca dynamika jest kolejną oznaką wchodzenia polskiego sektora handlu internetowego w fazę dojrzałości. W nadchodzących latach wzrost będzie napędzany m.in. przez pojawianie się na rynku coraz młodszych roczników nabywców, dla których dokonywanie zakupów w internecie będzie czynnością coraz bardziej naturalną. Innym czynnikiem będzie udoskonalanie oferty przez e-sklepy i platformy. Firmy sprzedające online będą m.in. wprowadzać darmowe i coraz szybsze dostawy, a także innowacyjne usługi wzbogacające doświadczenie zakupowe. Te tendencje wskazują na wzrost popytu na technologie logistyczne reagujące na te wyzwania. Wzrost sprzedaży e-commerce wpływa silnie na rozwój technologii w obszarze transportu towarowego, gospodarki magazynowej oraz technologii informacyjnych, w tym informatycznych.

Technologie wskazywane w obszarze transport i logistyka podporządkowane są założeniom zrównoważonego rozwoju. Zarówno przy ich opracowywaniu, jak i wdrażaniu, niezwykle istotna jest więc współpraca między interesariuszami. Jak wskazują liczne badania, w poszukiwaniu rozwiązań doskonalenia systemu miejskiego powinni być angażowani różni interesariusze. Wśród nich istotną rolę odgrywają wcześniej wymienione grupy zgłaszające popyt na te technologie. Od 2021 r. badaniami współpracy miast woj. śląskiego wraz z interesariuszami logistyki miejskiej zajmują się: Dohn, Kramarz, Przybylska. Badania obejmują 13 grup interesariuszy, które w toku prac zostały uszczegółowione (przez wyodrębnienie lub uzupełnienie) 30 potencjalnych grup: mieszkańcy (I), przedsiębiorstwa produkcyjne (PC), przedsiębiorstwa transportu towarowego (operatorzy logistyczni, spedytory i przewoźnicy) (FTC), organizacje ekologiczne (EO), organizacje związane z ochroną zdrowia (HO), organizacje związane z kulturą i sztuką (CO), organizacje bezpieczeństwa publicznego (OPS), organizacje związane ze sportem i rekreacją (OSR), organizacje B+R (B+R), organizacje działające na rzecz osób niepełnosprawnych (OD), inne miasta (OC), organizacje związane z dostawami gastronomicznymi (FO), przedsiębiorstwa projektujące inteligentne i logistyczne rozwiązania w mieście (ISC), przedsiębiorstwa kurierskie i pocztowe (KEP), hipermarkety i dyskonty (HiD), sieci hurtowe i detaliczne (DN), hurtownie i sklepy detaliczne (DS), przedsiębiorstwa usługowe (SC), organizacje gospodarki odpadami (WMC), pozostałe przedsiębiorstwa komunalne (OCO), turyści i przyjezdni (TI), organizacje edukacyjne (E), korporacje taksówkarskie (TC), zarządcy infrastruktury transportowej (IM), organizatorzy małej mobilności (MMO), organizacje transportu publicznego (OPT), zarządcy osiedli (EM), dostawcy mediów (MS), organizacje religijne (RO), organizacje opieki społecznej (SO). Możliwość współpracy z interesariuszami uzależniona jest od siły wpływu interesariusza na rozwiązania logistyczne w mieście (interesariusz może mieć wpływ hamujący lub wspierający), poziomu przewidywalności zachowań interesariusza oraz poziomu jego interesu w rozwiązaniach logistycznych. Oceniając interesariuszy zgodnie z powyższymi kryteriami, zidentyfikowano 10 grup, których siła wpływu przez ekspertów została określona na poziomie zero, co oznacza, że interesariusze ci nie wpływają na rozwój technologii logistycznych w obszarze przepływu ładunków. Jednocześnie wszystkie te podmioty posiadają niski (poniżej 2,5) lub żaden (1) poziom interesu w rozwoju tych technologii oraz wysoką przewidywalność zachowań (powyżej 2,5). Wśród tej grupy interesariuszy znalazły się: organizacje związane z ochroną zdrowia (HO), organizacje związane z kulturą i sztuką (CO), organizacje związane ze sportem i rekreacją (OSR), organizacje działające na rzecz osób niepełnosprawnych (OD), organizacje edukacyjne (E), korporacje taksówkarskie (TC), organizacje transportu publicznego (OPT), dostawcy mediów (MS), organizacje religijne (RO), organizacje opieki społecznej (SO). Tym samym zbiór 30 grup interesariuszy logistyki miasta został zawężony do 20. Eksperci wskazali wśród nich dziewięć grup interesariuszy jako hamujących rozwój technologii logistycznych ukierunkowanych na zrównoważony rozwój, natomiast 11 jako wspierających. Analizując poziom zaangażowania interesariuszy w zrównoważony rozwój technologii logistycznych można zauważyć, że aż 25 spośród 30 badanych (83,33%) zostało wskazanych jako nieposiadających interesu lub posiadających niski poziom interesu (poniżej 2,5). W przypadku wyodrębnionej grupy 20 interesariuszy wywierających wpływ na transport towarowy – 15 (75%) charakteryzuje się niskim poziomem interesu. Stan ten może powodować brak zainteresowania ze strony niektórych grup interesariuszy wprowadzaniem zmian w transporcie. Można przewidywać, że łatwiej ich przekonać do nowych rozwiązań w przypadku, gdy dostrzegają oni możliwość uzyskania bezpośrednich własnych korzyści. Tym samym współdziałanie z tą grupą

interesariuszy jest utrudnione. Szczególnie newralgiczna wydaje się być grupa czterech interesariuszy (PC, KEP, FTC, DS), którzy posiadają niski poziom interesu w rozwoju technologii logistycznych, przy jednocześnie wysokiej, negatywnej sile wpływu. Analizując przewidywalność zmian interesariuszy logistyki miasta w ich podejściu do rozwoju technologii logistycznych ukierunkowanych na zrównoważony rozwój, widoczne jest, że 20 spośród 30 badanych charakteryzuje się wysokim poziomem w tym zakresie (powyżej 2,5). Wśród nich odznacza się grupa 10 interesariuszy, których siła wpływu została przez ekspertów oceniona na poziomie zero. Aż sześciu interesariuszy w tej grupie charakteryzuje się przewidywalnością na poziomie bardzo wysokim – powyżej 4,4. Koncentrując uwagę na interesariuszach, którzy zostali zidentyfikowani *stricte* w odniesieniu do transportu towarowego (20 interesariuszy), 10 z nich cechuje się wysokim poziomem przewidywalności zmian. Wśród interesariuszy o niskim poziomie przewidywalności problematyczna jest grupa czterech podmiotów o wysokim wpływie na rozwój SUFT (FTC, PC, ISC, IM). Istotna jest również grupa dwóch interesariuszy (KEP, DS), których poziom przewidywalności można uznać za średni (2,8) przy jednocześnie wysokiej negatywnej sile wpływu (−4,4 i −4,6).

Analogiczne badania przeprowadzone dla technologii w obszarze transportu osób pokazują, że spośród 30 analizowanych interesariuszy logistyki miasta, 24 zostało zidentyfikowanych jako interesariusze subsystemu transportu osób w mieście. Sześciu z nich zostało wskazanych przez ekspertów jako niewywierających żadnego wpływu na kształtowanie zrównoważonego transportu osób w mieście (nie hamują i nie wspierają jego rozwoju). Jednocześnie wszystkie te podmioty charakteryzują się brakiem interesu w rozwoju zrównoważonego transportu osób w mieście (uzyskane oceny mieszczą się w przedziale 0,2–0,5) oraz wysoką przewidywalnością ich zachowania w odniesieniu do tego obszaru badawczego (ocena powyżej 2,5). Są to: przedsiębiorstwa produkcyjne (PC), przedsiębiorstwa kurierskie i pocztowe (KEP), przedsiębiorstwa transportu towarowego (FTC), dostawcy mediów (MS), organizacje gospodarki odpadami (WMC), pozostałe przedsiębiorstwa komunalne (OCO). Dalsze badania zostały skoncentrowane na grupie 24 interesariuszy zrównoważonego transportu osób w mieście. Podczas analizy siły wpływu widoczne jest, że 14 interesariuszy (z 24) zostało ocenionych jako wspierający zrównoważony rozwój transportu osób w mieście, natomiast 10 postrzega się jako hamujące ten rozwój. W tej grupie trzech interesariuszy posiada dużą, hamującą siłę wpływu. Są to: hipermarkety i dyskonty (HiD), sieci hurtowe i detaliczne (DN) oraz korporacje taksówkarskie (TC). Jednocześnie grupy te są przewidywalne w swoich zachowaniach i mają niski interes w rozwoju zrównoważonego transportu osób w mieście. Wśród interesariuszy hamujących rozwój należałoby zwrócić uwagę również na mieszkańców, którzy są głównym uczestnikiem subsystemu miejskich przewozów osób. Mieszkańcy zostali wskazani jako hamujący rozwój transportu w kierunku jego zrównoważenia, jednak ich wpływ na ten proces pozostaje niewielki. Problematiczną kwestią jest ponadto nieprzewidywalność zachowań mieszkańców. Może mieć to związek z różnymi działaniami, jakie są podejmowane w mieście w obszarze zrównoważenia przepływu osób. Jedne z nich są dość chętnie akceptowane przez mieszkańców (np. mikromobilność), natomiast inne (np. ograniczenia dla ruchu samochodowego) mogą budzić sprzeciw. W tym miejscu warto również zwrócić uwagę na pewną sprzeczność, która występuje w przypadku mieszkańców. Jak wskazują uzyskane oceny eksperckie są oni grupą, która hamuje rozwój transportu osób w kierunku jego zrównoważenia, a jednocześnie posiada w tym rozwoju bardzo duży poziom interesu (4,7). Poza mieszkańcami jeszcze sześciu interesariuszy w niskim stopniu hamuje rozwój zrównoważonego transportu osób w mieście (ocena poniżej 2,5). Można przypuszczać, że ich negatywny wpływ jest powiązany z małymi potencjalnymi korzyściami, jakie wszystkie te grupy mogą zyskać ze zrównoważenia transportu (poziom interesu poniżej 2,5). Na tym tle jeszcze wyraźniej widać odrębność mieszkańców, których korzyści zostały określone na wysokim poziomie. Aspekt ten powinien zostać umiejętnie wykorzystany przez władze miast w kształtowaniu polityki transportowej i współdziałaniu z tymi grupami interesariuszy. Wśród 14 interesariuszy wspierających rozwój zrównoważonego transportu osób, połowa to podmioty o wysokiej sile wpływu (powyżej 2,5). W tej grupie najwyższy wpływ został wskazany dla dwóch interesariuszy: organizacje transportu publicznego (OPT) (ocena 4,5) oraz organizacje bezpieczeństwa publicznego (OPS) (ocena 4). Wśród innych interesariuszy z wysokim wpływem znaleźli się:

organizatorzy małej mobilności (MMO), zarządcy infrastruktury transportowej (IM), inne miasta (OC), organizacje B+R (B+R) oraz organizacje ekologiczne (EO). Pozytywne jest to, że spośród 14 interesariuszy wspierających rozwój zrównoważonego transportu osób, tylko dwóch zostało ocenionych na niskim poziomie przewidywalności. Tym samym ich zachowanie można stosunkowo dobrze analizować i przewidywać. Niepokojący jest natomiast niski poziom przewidywalności interesariuszy, jakimi są inne miasta, choć rozwój zrównoważonego transportu osób jest przecież w ich interesie. Może to powodować problemy w zakresie współpracy między sąsiadującymi miastami. Spośród wszystkich 14 interesariuszy z pozytywnym wpływem na rozwój zrównoważonego transportu osób, dziewięciu ma wysoki poziom interesu w tym rozwoju. W tej grupie wyraźnie widoczni są dwaj interesariusze: organizatorzy małej mobilności (MMO), dla których poziom interesu został oceniony na maksymalną liczbę punktów (5) oraz organizacje transportu publicznego (OPT), których interes określono na poziomie 4,6.

Dohn, Kramarz i Przybylska prowadziły także badania stopnia włączenia interesariuszy w decyzje strategiczne w polskich miastach, na tym tle przedstawiając woj. śląskie. Badania te prowadzone były dla 13 uogólnionych grup interesariuszy. Najwyższy poziom współpracy miast z interesariuszami dotyczył: przedsiębiorstw gospodarki komunalnej, organizacji związanych ze sportem i rekreacją, organizacji związanych z kulturą i sztuką, mieszkańców oraz organizacji związanych z bezpieczeństwem publicznym. Jednocześnie warto podkreślić, że oceny te oscylują w zakresie średniego poziomu współpracy. W przypadku żadnego interesariusza nie można mówić o wysokim czy bardzo wysokim poziomie. Najniższy poziom współpracy zaobserwowano dla organizacji B+R projektujących innowacyjne rozwiązania w zakresie logistyki miasta, organizacji ekologicznych oraz przedsiębiorstw transportowo-logistycznych. Szczególnie niepokojący jest niski poziom współpracy z przedsiębiorstwami transportowo-logistycznymi, które są głównymi wykonawcami obsługi logistycznej w miastach. Miasta oceniały współdziałanie z interesariuszami niejednorodnie. Współczynnik zmienności dla poszczególnych grup interesariuszy wahał się od 35,19% do 63,32%. Tym samym w większości przypadków (osiem grup interesariuszy) można mówić o przeciętnej zmienności ocen (najmniejsza dotyczy mieszkańców i przedsiębiorstw gospodarki komunalnej). W przypadku pozostałych pięciu grup interesariuszy występuje silna zmienność ocen (największa dotyczy organizacji B+R oraz przedsiębiorstw transportowo-logistycznych). Niepokojące jest, że średnia ocena współpracy miast z wszystkimi grupami interesariuszy w poszczególnych województwach waha się w granicach 2,5–3,2. Miasta mają więc stosunkowo niską świadomość potrzeby włączania interesariuszy w kształtowanie rozwiązań logistycznych. Na tym tle wyróżniają się dwa województwa: śląskie i świętokrzyskie, w których średnia ocena była najwyższa i przekroczyła 3.

Współdziałanie między interesariuszami ma decydujące znaczenie dla rozwoju innowacji, w tym zwłaszcza dla stopnia wykorzystania innowacji wskazywanych przez klientów do obsługi logistycznej. Koncentracja na zaspokajaniu potrzeb klientów, transparentność procesów operacyjnych oraz zdolność do szybkiego reagowania na nieprzewidywalne, sytuacje stanowią fundamentalne elementy sukcesu we współczesnej branży logistycznej. W praktycznym ujęciu wymaga to poszukiwania optymalizacji kosztów oraz wdrażania innowacyjnych rozwiązań, które umożliwią efektywne funkcjonowanie w konkurencyjnym środowisku, jednocześnie gwarantując rentowność działalności gospodarczej. Obecnie główną rolę w ciągłym ulepszaniu oferowanych usług logistycznych odgrywają uczenie maszynowe i sztuczna inteligencja. Branża pilnie potrzebuje cyfrowej transformacji, aby sprostać obecnym wyzwaniom społecznym, takim jak e-mobilność czy niedobór kierowców i innych wykwalifikowanych pracowników. Badania PIE wskazują, że działania przedsiębiorstw TSL współpracujących z instytucjami badawczo-rozwojowymi w woj. śląskim koncentrują się głównie w obszarach technologii cyfrowych (nauka o danych i sztuczna inteligencja), systemów lokalizacji w czasie rzeczywistym (RTLS), 5G, internetu rzeczy, pojazdów autonomicznych oraz dostosowanych systemów magazynowych (Grzeszak, 2022). Według danych za 2022 r. w woj. śląskim funkcjonowały 803 jednostki aktywne badawczo, co stanowiło 10,8% jednostek w kraju i było drugim wynikiem po woj. mazowieckim (1713 jednostek). Natomiast w przeliczeniu na 100 tys. mieszkańców regionu przypadło 18,4 jednostek, a więc mniej od średniej krajowej (19,6). Udział jednostek badawczych działających w sektorze przedsiębiorstw kształtował się na poziomie 93,5% (Raport, 2024a).

W odniesieniu do branży logistycznej w woj. śląskim w latach 2015–2022 zaobserwowano tendencję wzrostową liczby przedsiębiorstw. W 2023 r. liczba ta nieco spadła, głównie z uwagi na zmniejszenie liczby podmiotów działających jako mikroprzedsiębiorstwa. W 2023 r. w porównaniu do 2015 r. funkcjonowało o 400 więcej mikroprzedsiębiorstw zajmujących się logistyką. Najwięcej średnich przedsiębiorstw z zakresu logistyki funkcjonowało w 2021 r. – 25 podmiotów.

Tabela 7.3. Liczba przedsiębiorstw logistycznych w woj. śląskim⁴⁵

Rok	Sekcja H-52	Przewidywana liczba pracujących			
	Ogółem	0–9	10–49	50–249	≥ 250
2023	2227	2109	93	19	6
2022	2244	2126	92	20	6
2021	2162	2044	88	25	5
2020	2117	1999	92	21	5
2019	2091	1967	97	22	5
2018	1982	1855	103	19	5
2017	1961	1828	107	21	5
2016	1931	1796	107	23	5
2015	1842	1709	105	22	6

Dane wskazują na duży potencjał województwa w zakresie współpracy usługodawców logistycznych w tworzeniu i wdrażaniu innowacji wskazywanych przez klientów branży. Jak wspomniano wcześniej, wymaga to jednak wypracowania modeli współdziałania między interesariuszami.

Rozwój technologii w obszarze transport i logistyka jest silnie uzależniony od dostępności technologii, biorąc pod uwagę możliwości finansowe grup popytowych. Jak wskazano, w przypadku tych technologii grupy popytowe są bardzo niejednorodne. Jednym z kluczowych kierunków rozwoju może być implementacja technologii wspierających transport intermodalny, szczególnie istotny w kontekście przemysłowego charakteru regionu. Śląsk dysponuje rozbudowaną infrastrukturą kolejową i drogową, co sprzyja efektywnemu wykorzystywaniu transportu kombinowanego. W zakresie monitorowania i zarządzania ładunkami w czasie rzeczywistym możliwe jest zastosowanie cyfrowych platform zarządzania rezerwacjami terminali intermodalnych, systemów zarządzania transportem (TMS) oraz technologii opartych na internecie rzeczy. Tego typu rozwiązania, choć początkowo kosztowne, mogą być skalowane na potrzeby zarówno dużych przedsiębiorstw logistycznych, jak i mniejszych operatorów logistycznych. Równie istotnym obszarem innowacji jest rozwój zielonej logistyki oraz niskoemisyjnego transportu, co wpisuje się w globalne dążenie do redukcji emisji gazów cieplarnianych i dekarbonizacji gospodarki. Województwo śląskie, jako region silnie zurbanizowany i borykający się z problemem zanieczyszczenia powietrza, może skorzystać z technologii wspierających transport elektryczny, takich jak elektryczne pojazdy ciężarowe, hybrydowe lokomotywy oraz infrastruktura ładowania. Ponadto wykorzystanie narzędzi do optymalizacji tras dostaw może również przyczynić się do ograniczenia emisji oraz zwiększenia efektywności operacyjnej przedsiębiorstw logistycznych. Wdrażanie takich technologii wymaga jednak znacznych nakładów inwestycyjnych, które mogą być częściowo zrekompensowane przez wykorzystanie funduszy unijnych przeznaczonych na wsparcie transformacji energetycznej.

Kolejnym obszarem o dużym potencjale rozwoju w woj. śląskim jest obszar gospodarki magazynowej. Kluczowymi technologiami, które mogą wesprzeć jego rozwój są zautomatyzowane systemy składowania (AS/RS), autonomiczne roboty transportowe (AGV/AMR), systemy zarządzania magazynem (WMS), technologie identyfikacji (RFID), internet rzeczy oraz systemy rozpoznawania obrazu. Takie technologie są szczególnie atrakcyjne dla dużych operatorów logistycznych, którzy funkcjonują w regionie, jednak ich wysoka cena może stanowić barierę dla mniejszych przedsiębiorstw. Z uwagi na wysoką gęstość zaludnienia oraz charakter aglomeracyjny regionu, znajdują tu zastosowanie również technologie wspierające rozwój inteligentnego transportu publicznego. Do technologii, które znacząco mogą zwiększyć dostępność i efektywność komunikacji

⁴⁵ Oprac. na podst. informacji kwartalnych o podmiotach gospodarki narodowej w rejestrze REGON, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/podmioty-gospodarcze-wyniki-finansowe/zmiany-strukturalne-grup-podmiotow/kwartalna-informacja-o-podmiotach-gospodarki-narodowej-w-rejestrze-regon-rok-2023,7,13.html>.

publicznej należą m.in. dynamiczne systemy zarządzania flotą autobusów i tramwajów, rozkłady jazdy oparte na sztucznej inteligencji oraz integracja biletów elektronicznych z systemami analizy danych. Tego rodzaju technologie mogą również przyczynić się do ograniczenia zjawiska kongestii transportowej oraz poprawy jakości powietrza w regionie. W tej grupie można również wyszczególnić technologie, które pozwalają na monitorowanie jakości powietrza, zintegrowane z systemami zarządzania transportem. W zakresie technologii, które mogą wspierać inicjatywy promujące ekologiczne formy transportu (carpooling, carsharing czy korzystanie z komunikacji publicznej), można wyróżnić czujniki jakości powietrza, aplikacje mobilne dla mieszkańców oraz technologie geolokalizacji. Różnego rodzaju rozwiązania w obszarze aplikacji mobilnych są szeroko dostępne dla użytkowników i nie stanowią bariery finansowej. Transport publiczny w woj. śląskim jest również dostępny i nie stanowi bariery finansowej, jednakże warto podkreślić, że jest relatywnie drogi w stosunku do innych regionów w Polsce. Szczecin, Zielona Góra i Gorzów Wielkopolski to miasta o najtańszej komunikacji publicznej, natomiast najdroższa komunikacja jest w Poznaniu.

Struktura rynku transportu i logistyki w woj. śląskim stwarza dogodne warunki dla wdrażania nowoczesnych technologii, które mogą przyczynić się do zwiększenia efektywności operacyjnej, redukcji kosztów oraz poprawy jakości środowiska naturalnego. Kluczowe obszary rozwoju obejmują transport intermodalny, zieloną logistykę, automatyzację procesów magazynowych, inteligentny transport publiczny oraz systemy monitorowania jakości powietrza. Wdrażanie tych rozwiązań wymaga jednak wsparcia finansowego, zwłaszcza dla małych i średnich przedsiębiorstw oraz współpracy między podmiotami publicznymi i prywatnymi.

Końcowi użytkownicy nie tylko oczekują dostosowywania oferty do możliwości finansowych, ale także transparentności technologii. Wraz z rozwojem nowych technologii, a także wykładniczym rozrostem mediów społecznościowych wyraźnie wzrasta świadomość społeczeństwa w zakresie społecznej odpowiedzialności biznesu. To oznacza, że przedsiębiorstwa są coraz częściej pod presją różnych grup interesariuszy, którzy domagają się ujawnienia informacji na temat stosowanych technologii i ich wpływu na środowisko. Jest to wyzwanie dla przedsiębiorstw świadczących usługi logistyczne, które stają pod presją zarówno końcowych klientów, jak i partnerów w łańcuchu dostaw. Klienci przemysłowi oraz komercyjni obecnie wysoko cenią sobie transparentność w przepływach materiałowych. Wszelkiego typu rozwiązania związane z możliwością śledzenia przepływów, a także zabezpieczania transakcji, nieustannie się rozwijają. Ten czynnik staje się istotny w walce konkurencyjnej, w związku z czym technologie umożliwiające zwiększenie transparentności – w tym technologie informacyjne, takie jak: aplikacje mobilne, systemy GS1 (ang. *Global System One*), blockchain – nieustannie się rozwijają zgodnie ze zgłaszanym popytem. Transparentność przepływów w systemie logistycznym zwiększają standardy identyfikacyjne i komunikacyjne jako narzędzie wspomagające traceability, rozwiązania systemowe i technologiczne wspomagające dostęp do informacji i komunikację między ogniwami łańcucha dostaw, narzędzia wspomagające publiczne ujawnienia informacji niefinansowych o działaniach w łańcuchu dostaw. W celu uniknięcia braku integracji i związanych z nią konsekwencji, coraz więcej przedsiębiorstw korzysta z tzw. globalnego języka biznesu, czyli systemu GS1, który oferuje globalne standardy i rozwiązania umożliwiające efektywne zarządzanie łańcuchem dostaw, m.in. przez jednoznaczną identyfikację uczestników oraz obiektów przemieszczających się w łańcuchu dostaw, automatyczne rejestrowanie ruchu towarów i gromadzenie informacji o nich, współdzielenie się informacją o towarach i ładunkach, a także wszelkimi zdarzeniami związanymi z pozostałymi uczestnikami łańcucha dostaw. Standardy GS1 są powszechnie wprowadzane w przedsiębiorstwach logistycznych i nie wyróżniają szczególnie konkretnych regionów w Polsce. Tym samym nie stanowią przewagi konkurencyjnej, ale są niezbędne w budowaniu konkurencyjności na poziomie całych zintegrowanych systemów logistycznych wykorzystujących konkretne technologie logistyczne. Zdecydowanie wyższe standardy pod tym względem cechują przepływy towarowe i gospodarkę magazynową niż przepływy osób. W transporcie osób szczególnie istotne są systemy komunikacji, które wskazują pasażerom bieżące zakłócenia, opóźnienia, alternatywne trasy, a także dostarczają wiedzy w zakresie śladu węglowego. Tego typu aplikacje są silnie rozwijane w woj. śląskim.

W planie zrównoważonego rozwoju transportu zbiorowego publicznego wskazano zakres standaryzacji informacji pasażerskich.

Tabela 7.4. Zakres standaryzacji informacji pasażerskich

Rodzaj informacji	Minimalny zakres	Opcje dodatkowe
Informacja na przystankach	nazwa przystanku • linie obsługujące dany przystanek • rozkłady jazdy • dostępność taboru niskopodłogowego obsługującego daną linię • data obowiązywania rozkładu jazdy • numer telefonu oraz adres strony internetowej, gdzie można uzyskać szczegółowe informacje o połączeniach oraz o przewoźniku i organizatorze połączeń, w przypadku węzła przesiadkowego: • schemat węzła przesiadkowego z oznaczeniem, gdzie i jakie linie się zatrzymują • mapa okolic węzła przesiadkowego • informacje o liniach obsługujących węzeł przesiadkowy • informacje o systemie taryfowym i ulgach • regulamin przewozu • schemat sieci komunikacyjnej • informacja drogowskazowa	informacje o systemie taryfowym i ulgach • regulamin przewozu • schemat sieci komunikacyjnej • informacja dynamiczna o czasie przyjazdu na przystanek • QR-kod zawierający tabliczkę przystankową oraz przekierowanie do strony organizatora i operatora, w przypadku węzła przesiadkowego: • punkt informacji pasażerskiej
Informacja w pojazdach	tablice pokazujące schemat obsługiwaną linię • informacje o rodzaju i cenie biletów oraz ulgach • regulamin przewozów • zapowiedzi głosowe o następnym przystanku oraz tablice o zmiennej treści w przypadku transportu kolejowego • wyraźny przedni wyświetlacz (wewnątrz i na zewnątrz), umożliwiający zidentyfikowanie numeru linii, kierunku jazdy/kolejnego przystanku (żółte lub pomarańczowe litery powinny znajdować się na czarnym tle), pokazujący opóźnienia, możliwości przesiadek, usługi świadczone w pociągu	zapowiedzi głosowe o następnym przystanku oraz tablice o zmiennej treści w przypadku transportu autobusowego • foldery informacyjne dla pasażerów zawierające m.in. rozkład jazdy, cennik biletów, dane kontaktowe operatora przewozów (z możliwością umieszczania reklam)
Informacja w kanałach cyfrowych	informacja udzielana w co najmniej jednym języku obcym (np. angielskim) • narzędzie umożliwiające swobodne planowanie podróży • rozkłady jazdy • informacje o systemie taryfowym i ulgach • regulamin przewozu • schemat sieci komunikacyjnej • data obowiązywania rozkładu jazdy • dane teleadresowe organizatorów oraz operatorów transportu	schematy węzłów przesiadkowych z oznaczeniem, gdzie i jakie linie się zatrzymują • mapy okolic węzłów przesiadkowych • mapa z geolokalizacją pojazdów

Wskazane czynniki determinujące transparentność są jednocześnie czynnikami decydującymi o wzroście zapotrzebowania przedsiębiorstw realizujących procesy logistyczne na rozwiązania informatyczne wzmacniające transparentność w systemach logistycznych. Powoduje to, że ostatnia grupa technologii – technologie informacyjne – w dużej mierze skupia się na rozwijaniu rozwiązań informacyjnych zwiększających transparentność przepływów w systemach logistycznych.

Kolejnym czynnikiem mającym wpływ na zachowania popytowe jest dostępność technologii. Opanowanie technologii przez odbiorców indywidualnych wynika m.in. ze struktury ludności pod względem wieku (w tym trend starzenia się społeczeństwa), poziomu społeczeństwa informacyjnego, ale także naturalnego oporu przed zmianą. Rozwój różnorodnych aplikacji mobilnych czy webowych jest silnie powiązany z dostępem i korzystaniem z internetu. W tym zakresie w województwie widoczny jest systematyczny rozwój. Powszechny jest również dostęp do dóbr, takich jak smartfon czy komputer osobisty. Czynniki te przyczyniają się do zwiększania dostępności do różnorodnych rozwiązań informacyjnych wdrażanych w miastach.

Tabela 7.5. Dane dotyczące społeczeństwa informacyjnego w woj. śląskim. Oprac. na podst. Raport (2024b)

Wyszczególnienie	Rok			
	2020	2021	2022	2023
Odsetek gospodarstw domowych posiadających dostęp do internetu [%]	90,3	93,6	93,7	93,8
Odsetek osób korzystających z internetu (osoby w wieku 16–74 lata) [%]	89,7	90,4	91,9	92,4
Odsetek osób regularnie korzystających z internetu (w wieku 16–74 lata) [%]	84,1	85,2	87,8	88,6
Gospodarstwa domowe wyposażone w smartfony [%]	b.d.	80,8	b.d.	88,9
Gospodarstwa domowe wyposażone w komputer osobisty [%]	b.d.	74,7	b.d.	74,9

Objaśnienie: b.d. – brak danych.

W podmiotach sektora niefinansowego poziom dostępu do internetu osiąga 98%, 74,2% posiada własną stronę internetową (dane za 2021 r.). Jest to czynnik zdecydowanie pozytywny. Problemem

w branży transportowo-logistycznej jest natomiast poziom jej innowacyjności. Niestety nie jest on wysoki. Udział przedsiębiorstw aktywnych innowacyjnie⁴⁶ w latach 2020–2022 w całej Polsce dla poszczególnych działów sekcji H według PKD (GUS, 2023) był następujący:

- 30,8% przedsiębiorstw – magazynowanie i działalność usługowa wspomagająca transport,
- 29,3% przedsiębiorstw – działalność pocztowa i kurierska,
- 27,3% przedsiębiorstw – transport wodny,
- 26,3% przedsiębiorstw – transport lotniczy,
- 25,9% przedsiębiorstw – transport lądowy i rurociągowy.

W przypadku przedsiębiorstw innowacyjnych⁴⁷ w latach 2020–2022 dla sekcji H Polskiej Klasyfikacji Działalności (PKD) poziom ten był niższy. Niski poziom innowacyjności jest szczególnie widoczny w porównaniu z działem ubezpieczeń, reasekuracji i funduszy emerytalnych, gdzie poziom przedsiębiorstw aktywnych innowacyjnie wynosił 88,9% w analogicznym okresie.

7.1.3.3. Analiza atrakcyjności podażowej technologii

Atrakcyjność podażowa technologii oceniana jest przez: dostępność do infrastruktury liniowej, dostępność do infrastruktury punktowej, dostępność suprastruktury, stopień integracji systemów logistycznych miasta i regionu, uwarunkowania środowiskowe obsługi logistycznej, atrakcyjność kapitału społecznego, atrakcyjność B + R + I (poziom i wzrost inwestycji w badania i rozwój personelu badawczo-rozwojowego, poziom i rozwój publikacji naukowych oraz rejestracja patentów w badanym obszarze).

Woj. śląskie jest położone w obszarze węzłowym dwóch głównych europejskich korytarzy, które biegną z zachodu na wschód i z północy na południe Europy, są to:

- korytarz III – relacja: (Madryt–Paryż–Bruksela) Berlin–Wrocław–Katowice–Kraków–Kijów–(Azja),
- korytarz VI – relacja: (Helsinki) Sztokholm–Gdańsk–Katowice–Żyłina–(Budapeszt–Ateny), z odgałęzieniem VIB dla relacji Częstochowa–Ostrawa (Wiedeń–Wenecja).

W obszarze transportu drogowego przez region przebiegają dwie autostrady o strategicznym znaczeniu: A1 – która zapewnia połączenie w osi północ–południe oraz A4 – stanowiąca kluczowy korytarz transportowy w kierunku wschód–zachód. Obie autostrady krzyżują się w Gliwicach. Uzupełnieniem infrastruktury drogowej są trzy drogi ekspresowe: S1 – łącząca Pyrzowice z Tychami oraz odcinki Bielsko-Biała–Żywiec i Milówka–Zwardoń (granica ze Słowacją), S52 – prowadząca z Bielska-Białej do Cieszyńska (granica z Czechami) oraz S86 – która łączy Katowice z Sosnowcem. W 2022 r. długość dróg publicznych w Polsce wynosiła 428 tys. km, z czego 24,8 tys. km znajdowało się w woj. śląskim. Wskaźnik długości dróg w przeliczeniu na 100 km² powierzchni dla całego kraju wynosił 136,7 km, natomiast w woj. śląskim osiągnął wartość 201,0 km, co uplasowało region na drugim miejscu w kraju. Struktura dróg publicznych w woj. śląskim w 2022 r. była zróżnicowana pod względem kategorii. Drogi krajowe, obejmujące autostrady i drogi ekspresowe, miały łączną długość 1279,1 km, drogi wojewódzkie 1504,3 km, a drogi powiatowe 6305,6 km. Największy udział w sieci drogowej miały jednak drogi gminne, których długość wynosiła 15 708,1 km. W obszarze transportu kolejowego w 2022 r. w woj. śląskim długość eksploatowanych linii kolejowych wynosiła 1868 km. W ciągu sześciu lat długość ta zmniejszyła się o 96 km, a w 2022 r. długość linii kolejowych zelektryfikowanych wynosiła 1727 km. Wskaźnik długości linii kolejowych w przeliczeniu na 100 km² powierzchni w woj. śląskim charakteryzuje się najwyższą wartością wśród wszystkich regionów. Na każde 100 km² powierzchni woj. śląskiego przypada ponad 15 km linii kolejowych; wartość ta przez ostatnie sześć lat spadła z 15,9 km do 15,1 km w 2022 r. W obszarze transportu lotniczego

⁴⁶ Przedsiębiorstwo aktywne innowacyjnie to takie, które w badanym okresie wprowadziło przynajmniej jedną innowację produktową lub w procesach biznesowych, lub realizowało w tym okresie przynajmniej jeden projekt innowacyjny, który został przerwany lub zaniechany w trakcie badanego okresu (niezakończony sukcesem), nie został do końca tego okresu ukończony (tzn. jest kontynuowany) lub został ukończony, ale innowacja nie została jeszcze wdrożona.

⁴⁷ Przedsiębiorstwo innowacyjne to przedsiębiorstwo, które wykazuje wprowadzenie jednej lub więcej innowacji w okresie obserwacji.

w woj. śląskim zlokalizowany jest Międzynarodowy Port Lotniczy Katowice w Pyrzowicach. Pod względem liczby pasażerów zajmuje on czwarte miejsce w Polsce, po portach w Warszawie, Krakowie i Gdańsku. W 2022 r. w MPL Katowice obsłużono 4,4 mln pasażerów; wzrost w stosunku do 2016 r. wynosił 38%.



Rys. 7.2. Prognozy ruchu pasażerskiego GTL SA (Airport, 2023)

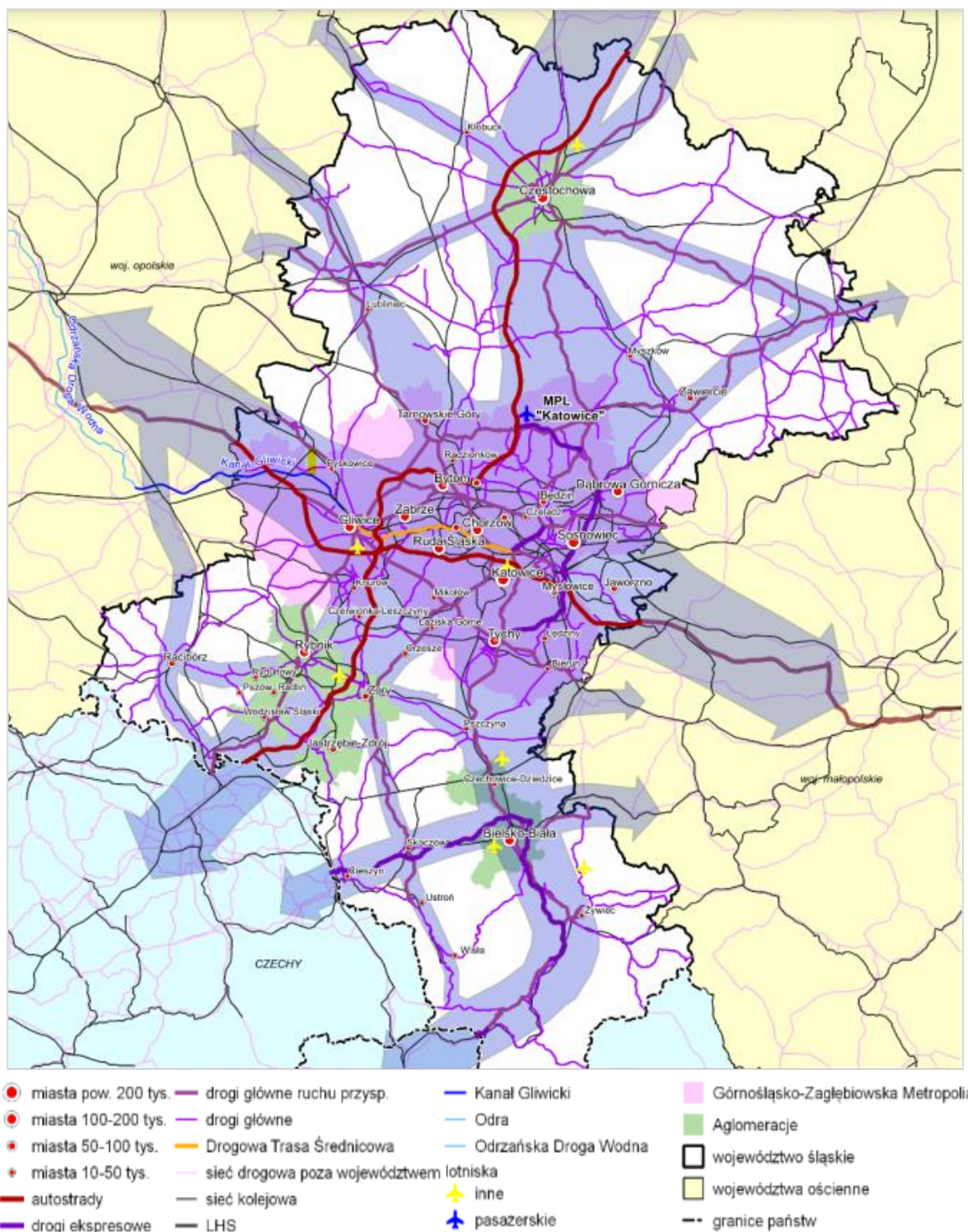
W woj. śląskim funkcjonuje śródlądowy port wodny w Gliwicach oraz Kanał Gliwicki, będący elementem Odrzańskiej Drogi Wodnej. Stanowi ona europejską drogę wodną E-30, wpisaną do katalogu polskich dróg wodnych, dzięki czemu region ma dostęp do międzynarodowej sieci dróg wodnych. Znaczenie żeglugi śródlądowej w układzie komunikacyjnym województwa jest niewielkie z uwagi na wysoki stopień zdekapitalizowania infrastruktury wodnej. Odra na odcinku od Koźła do Raciborza, posiadająca klasę żeglowności Ia, stanowi obecnie drogę o znaczeniu regionalnym, praktycznie nieprzystosowaną do współczesnej żeglugi śródlądowej. Kanał Gliwicki o klasie żeglowności III, łączący port żeglugi śródlądowej w Gliwicach z Odrzańską Drogą Wodną, umożliwia transport towarów ze Śląska do portów Bałtyku, a dzięki powiązaniom Odry z kanałami Odra–Szprewa i Odra–Hawela w Niemczech, również do wielu portów rzecznych i morskich Europy Zachodniej (Raport, 2024c).

Infrastruktura punktowa stanowi podstawę funkcjonowania transportu w regionie. Należą do niej wszelkiego rodzaju stacjonarne obiekty nastawione na obsługę osób i ładunków. W obszarze obsługi osób wymienia się przede wszystkim przystanki autobusowe (w tym trolejbusowe) i tramwajowe, a także dworce kolejowe. Ich istnienie jest szczególnie istotne z uwagi na rozwój bardziej zrównoważonej mobilności w miastach, opartej na transporcie kolejowym oraz zbiorowej komunikacji publicznej. W woj. śląskim w 2023 r. funkcjonowało 14 756 przystanków autobusowych (w tym trolejbusowych) oraz tramwajowych. W okresie pięcioletnim (w stosunku do 2019 r.) odnotowano wzrost o 1091 tego typu obiektów. W 2023 r. wśród nich były 534 przystanki tramwajowe (3,62%). Dane dotyczące wskazanych obiektów w latach 2019–2023 przedstawia tabela 7.6.

Tabela 7.6. Liczba przystanków autobusowych (w tym trolejbusowych) i tramwajowych w woj. śląskim⁴⁸

Przystanki	2019	2020	2021	2022	2023
Autobusowe (z trolejbusowymi) oraz tramwajowe	13 665	13 997	14 212	14 651	14 756
• w tym tramwajowe	519	495	523	540	534

⁴⁸ Oprac. na podst. Banku Danych Lokalnych Głównego Urzędu Statystycznego, <https://bdl.stat.gov.pl> (dostęp: 26.01.2025).



Rys. 7.3. Schemat układu transportowego woj. śląskiego (Raport, 2024c)

W ramach transportu drogowego istotnym elementem infrastruktury, który również przyczynia się do rozwoju zrównoważonego transportu w mieście, są parkingi typu Park & Ride oraz węzły przesiadkowe. W woj. śląskim w latach 2019–2023 liczba obiektów Park & Ride wzrosła z 19 do 48. W 2023 r. na tym obszarze funkcjonowało 61 węzłów przesiadkowych⁴⁹. W ramach infrastruktury punktowej do obsługi osób należy także wspomnieć o dworcach kolejowych składających się na infrastrukturę punktową do obsługi osób. Ich liczba w 2023 r. na terenie woj. śląskiego wynosiła 44. Wśród nich 34 (77%) były klasyfikowane jako przystosowane do obsługi osób niepełnosprawnych⁵⁰.

⁴⁹ Tamże.

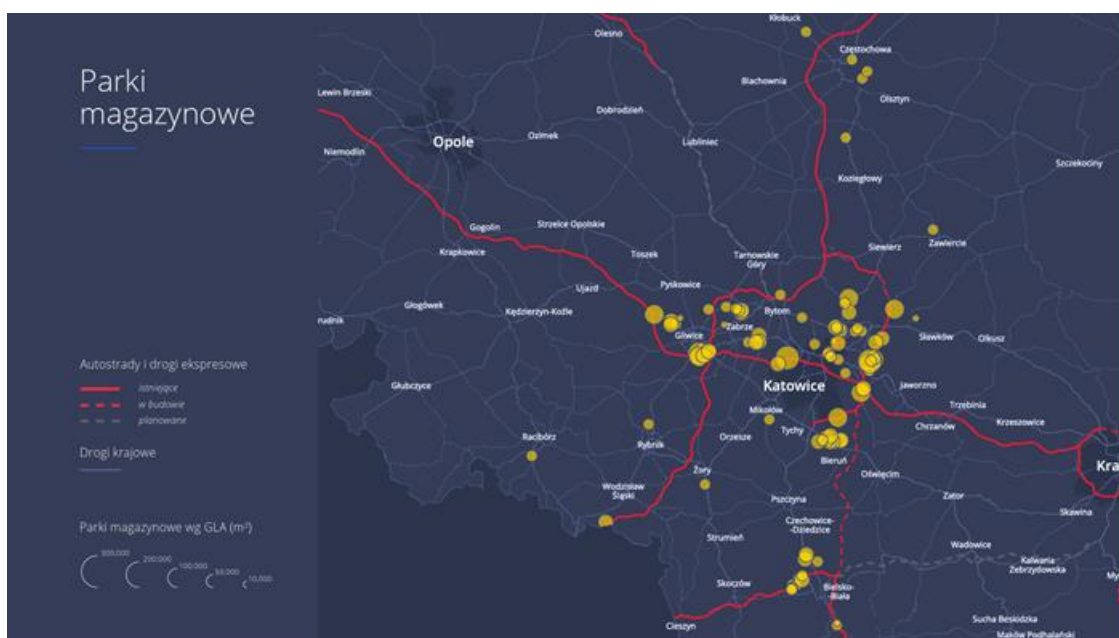
⁵⁰ Tamże.

Infrastruktura punktowa to również obiekty wykorzystywane do obsługi ładunków. W tej grupie szczególnie istotne są powierzchnie magazynowe. Pod tym względem woj. śląskie jest jednym z najbardziej uprzemysłowionych i rozwiniętych logistycznie obszarów Polski. Podstawowe parametry charakteryzujące powierzchnie magazynowe w woj. śląskim przedstawia tabela 7.7.

Tabela 7.7. Powierzchnie magazynowe w woj. śląskim w latach 2020–2023. Oprac. na podst. Colliers (2021–2024)⁵¹

Wyszczególnienie	Rok			
	2020	2021	2022	2023
Zasoby [mln m ²]	3,7	4,3	4,85	5,5
Nowa podaż [tys. m ²]	437,7	580,4	540,5	590
Powierzchnia w budowie [tys. m ²]	400,72	706,8	572,2	277
Popyt brutto [mln m ²]	1,06	1,17	1,23	0,915
Stopa pustostanów [%]	8,9	7,7	3,9	6
Czynsz bazowy [EUR/m ² /miesiąc]	3,0–3,6	3,0–3,6	3,2–4,4	3,8–4,9

Woj. śląskie stanowi drugi pod względem zasobów największy rynek przemysłowo-logistyczny w kraju. Największe skupisko powierzchni magazynowych występuje w: Gliwicach, Sosnowcu, Czeladzi i Tychach (Colliers, 2024).



Rys. 7.4. Parki magazynowe w woj. śląskim. Oprac. na podst. Colliers (2023)

Istotnym elementem infrastruktury punktowej w obsłudze ładunków są terminale intermodalne. Ich działalność dobrze wpisuje się w politykę transportową UE, nastawioną na przeniesienie części przewozów realizowanych transportem drogowym na inne rodzaje transportu, szczególnie transport kolejowy. Według danych Urzędu Transportu Kolejowego (UTK, 2025) w woj. śląskim funkcjonuje pięć terminali intermodalnych w systemie drogowo-kolejowym. Wśród nich należy wyróżnić działalność Euroterminala Sławków Sp. z o.o., który jest terminalem przeładunkowym usytuowanym na styku najdalej na zachód wysuniętego odcinka linii kolejowych o szerokim rozstawie toru (1520 mm) i linii normalnotorowej (1435 mm), dzięki czemu doskonale wpisuje się w rozwój transportu kontenerowego na trasie Daleki Wschód i Azja–Europa Zachodnia. Ponadto należy zwrócić uwagę na usytuowanie jednego z terminali (PCC Intermodal SA) na terenie Śląskiego Centrum Logistyki SA, co pozwala na kompleksową obsługę logistyczną ładunków.

Podstawowe dane dotyczące terminali intermodalnych w woj. śląskim przedstawia tabela 7.8.

⁵¹ Oprac. na podst. Raportów Colliers, <https://www.colliers.com/pl-pl> (dostęp: 26.01.2025).

Tabela 7.8. Podstawowe informacje dotyczące terminali intermodalnych w woj. śląskim. Oprac. na podst. UTK (2025)

Wyszczególnienie	Nazwa				
	Euroterminal Sławków Sp. z o.o.	Laude Smart Intermodal SA	Metrans (Polonia) Sp. z o.o.	PCC Intermodal SA	PKP Cargo Connect Sp. z o.o.
Lokalizacja	Sławków	Sosnowiec	Dąbrowa Górnicza	Gliwice	Gliwice
Powierzchnia całkowita terminala [ha]	9,33	1,75	17,00	5,00	6,50
Aktualna maksymalna roczna możliwość przeładunkowa [w TEU]	284 810,00	50 000,00	233 600,00	150 000,00	128 000,00
Powierzchnia składowa [w TEU]	3 500,00	260,00	2 550,00	3 000,00	1 800,00
Liczba bocznic kolejowych	2	1	1	1	1
Obsługiwane jednostki	kontenery ISO, nadwozia wymienne, naczepy siodłowe	kontenery 20', 40'	kontenery 20–40'/40'HC, 45'/TC, nadwozia wymienne, naczepy siodłowe	kontenery	kontenery (20', 30', 40', 45', HC), nadwozia wymienne, naczepy siodłowe, tank kontenery, jednostki izotermiczne

Ważnym punktem na mapie woj. śląskiego w zakresie infrastruktury punktowej jest Śląskie Centrum Logistyki SA zlokalizowane w Gliwicach, którego całkowita powierzchnia wynosi 53 ha. Spółka jest nowoczesnym hubem multimodalnym świadczącym kompleksowe rozwiązania w zakresie obsługi logistycznej i transportowej. Na terenie ŚCL znajdują się magazyny o łącznej powierzchni 28 tys. m² oraz place składowe o pojemności 70 tys. Mg. Ponadto zlokalizowany jest tam port śródlądowy, stacja i bocznicza kolejowa, terminal kontenerowy, parking dla pojazdów ciężarowych oraz pomieszczenia biurowe. Śląskie Centrum Logistyki oferuje również usługi agencji celnej, w tym możliwość składowania towarów w Wolnym Obszarze Celnym (WOC) oraz współpracę z firmami zagranicznymi niezarejestrowanymi w Polsce. Na terenie ŚCL funkcjonuje port rzeczny Port Gliwice, którego obecna zdolność przeładunkowa wynosi około 1 mln t towarów masowych rocznie, a pojemność zasobni portowych – 70 tys. t towarów masowych. Port jest wyposażony w dwa żurawie portowe o udźwigu 18 t i 8,5 t.

Kolejnym ważnym obiektem w woj. śląskim jest Międzynarodowy Port Lotniczy Katowice w Pyrzowicach – ważny ośrodek zarówno obsługi pasażerskiej, jak i cargo w kraju, stale rozwijający swój potencjał w tym zakresie. Spółka zarządzająca katowickim lotniskiem – Górnośląskie Towarzystwo Lotnicze SA przygotowała i realizuje program rozwoju infrastruktury Katowice Airport na lata 2024–2032. W latach 2007–2022 Spółka zrealizowała w Katowice Airport ponad 40 projektów infrastrukturalnych o łącznej wartości prawie 1 mld PLN, w tym budowę nowej drogi startowej o długości 3200 m. Plan rozwoju katowickiego lotniska do 2030 r. ma charakter kompleksowy. Jego kluczowym punktem jest budowa głównego terminalu pasażerskiego i powiązanego z nim nowego układu drogowego. Równie istotna jest rozbudowa parkingów terenowych, budowa parkingu wielopoziomowego oraz stworzenie w Katowice Airport multimodalnego centrum przesiadkowego, integrującego transport autobusowy, kolejowy i lotniczy. Lista projektów obejmuje także budowę czwartego hangaru do obsługi technicznej samolotów, drugiego terminalu towarowego, nowej strażnicy Lotniskowej Służby Ratowniczo-Gaśniczej, nowego zaplecza działu eksploatacji i transportu oraz budowę (dofinansowanego ze środków unijnych) multimodalnego węzła przeładunku towarów i paliw w oparciu o bocznicę kolejową⁵².

W woj. śląskim w latach 2020–2023 z roku na rok zwiększała się liczba samochodów ciężarowych, ciągników siodłowych oraz naczep i przyczep, co wskazuje na rozwój branży transportowej w tym okresie. Liczba autobusów również uległa zwiększeniu, co można uznać za pozytywne zjawisko z punktu widzenia rozwoju komunikacji miejskiej. Zmniejszeniu uległ natomiast tabor tramwajowy.

⁵² <https://inwestycje.katowice-airport.com/pl/o-programie/>

Tabela 7.9. Liczba środków transportu zarejestrowanych w woj. śląskim. Oprac. na podst. GUS-BDL (2021–2024)

Środek transportu	Rok			
	2020	2021	2022	2023
Samochody ciężarowe [szt.]	344 344	353 044	359 991	368 085
Ciągniki siodłowe [szt.]	42 784	45 390	48 046	50 480
Przyczepy i naczepy [szt.]	111 268	117 513	122 824	128 169
Autobusy [szt.]	1 924	1 924	2 004	2 137
Tramwaje [szt.]	345	340	330	324
Trolejbusy [szt.]	26	25	27	27

W 2023 r. woj. śląskie pod względem liczby samochodów ciężarowych oraz ciągników siodłowych zajmowało trzecie miejsce w kraju, po woj. mazowieckim i woj. wielkopolskim. Ważnym aspektem taboru komunikacji miejskiej jest stopień jego przystosowania do przewozu osób niepełnosprawnych. Pod tym względem woj. śląskie można ocenić pozytywnie, bowiem stopniowo wzrasta ilość takiego taboru. Jest to szczególnie widoczne w tramwajach, z których prawie połowa jest przystosowana do przewozu osób niepełnosprawnych. Problem ten jest szczególnie istotny w kontekście budowy zrównoważonego systemu transportowego i wpisującego się w to zagadnienia wykluczenia transportowego.

Tabela 7.10. Odsetek wozów w komunikacji miejskiej przystosowanych do przewozu osób niepełnosprawnych. Oprac. na podst. GUS-BDL (2021–2024)

Środek transportu	Rok			
	2020	2021	2022	2023
Autobusy [%]	85,3	85,2	85,4	85,5
Tramwaje [%]	33,9	41,5	43,0	43,8
Autobusy i tramwaje [%]	77,5	78,7	79,4	80,0

Wszystkie wskazane powyżej czynniki podażowe oddziałują na siebie i łączą się na poziomie integracji systemu logistycznego miasta. Integracja systemów logistycznych miast i regionów ma istotne znaczenie na wielu poziomach. Zintegrowane systemy transportu pasażerskiego (określane w literaturze mianem multimodalnych) pozwalają na elastyczną zmianę środków transportu i skracanie czasu podróży transportem publicznym. Integracja systemów transportu towarowego może być rozumiana jako łączenie różnych gałęzi transportu i jako realizacja transportu multimodalnego i intermodalnego. Ten trend wpisuje się w założenia zrównoważonego rozwoju, jednak w tym obszarze można zaobserwować pewną lukę (w woj. śląskim rozwija się on wolniej niż w Polsce lub Europie). Istotna jest także integracja technologii logistycznych obszarów transport towarowy i gospodarka magazynowa. W zintegrowanym transporcie osób szczególną rolę pełnią centra przesiadkowe, będące węzłem łączącym różne gałęzie transportu. Stanowią one istotny element sieci komunikacyjnej. Miejsca te pozwalają na komfortową zmianę środka transportu między tymi samymi i różnymi gałęziami transportu i poszczególnymi liniami komunikacyjnymi na szczeblu regionalnym lub ponadregionalnym, a także miejskim lub aglomeracyjnym. Główne węzły przesiadkowe przewozów pasażerskich na terenie woj. śląskiego na styku systemów transportowych – kolejowego i drogowego – zaplanowano w następujących miejscowościach: Bielsko-Biała, Bytom, Chorzów, Cieszyn, Czechowice-Dziedzice, Częstochowa, Dąbrowa Górnicza, Gliwice, Jaworzno, Katowice, Lubliniec, Nowy Bieruń, Mikołów, Myszków, Mysłowice, Orzesze, Pszczyna, Racibórz, Ruda Śląska, Rybnik, Skoczów, Sosnowiec, Tarnowskie Góry, Tychy, Wiśła, Wodzisław Śląski, Zabrze, Zawiercie, Żory, Żywiec. Za ważny węzeł przesiadkowy należy także uznać stację kolejową Pyrzowice Lotnisko, która obsługuje Międzynarodowy Port Lotniczy Katowice w Pyrzowicach. Na obszarze woj. śląskiego funkcjonują także stacje węzłowe umożliwiające przesiadki między połączeniami w wojewódzkich przewozach pasażerskich lub przekroczenie granicy państwa, takie jak: Chałupki, Chybie, Golezów, Nędza, Zebrzydowice, Zwardoń (RPT, 2024). Istotna jest także integracja technologii w obszarze transportu towarowego i gospodarki magazynowej z technologiami informacyjnymi oraz integracja technologii w obszarze transportu osób z technologiami informacyjnymi. Na integrację należy także patrzeć przez pryzmat współdzielenia infrastruktury logistycznej liniowej w przepływach osób i ładunków, co wskazuje na istotność tego czynnika.

Najwyższy poziom stanowi integracja wszystkich trzech subsystemów logistyki miejskiej (przepływu osób, przepływu ładunków i gospodarki odpadami). Ten poziom jest najtrudniejszy w realizacji, ponieważ wymaga wkomponowania rozwiązań logistycznych w strategię miasta. W tym zakresie badania przeprowadziły Dohn, Kramarz i Przybylska. W pierwszej kolejności analiza wyników badań dotyczyła ustalenia poziomu uwzględniania obszarów logistycznych w strategiach polskich miast w skali całego kraju. Następnie poddano ocenie lukę między stopniem uwzględnienia danego obszaru logistycznego w strategiach miast a przyjętym poziomem wzorcowym. W ten sposób określono lukę w ujmowaniu obszarów logistycznych w strategiach polskich miast. Jako krytyczne uznano te luki, które przekraczają 75% (Dohn, Kramarz i Przybylska, 2020). Przeprowadzone badania wskazały na niski poziom uwzględniania aspektów logistycznych w strategiach polskich miast. W każdym obszarze luka przekracza 46%, z czego aż w 10 przypadkach jest większa niż 60%. Jednocześnie zidentyfikowano luki krytyczne, które przekraczają 75%. Występują one w takich obszarach, jak: gospodarka obiegu zamkniętego (85,36%), lokalizacja centrów logistycznych i dystrybucyjnych (82,02%), transport towarowy (81,67%), współpraca w zakresie kreowania innowacyjnych rozwiązań w mieście (80,83%) oraz problemy małej mobilności (80,83%). Pozytywnym zjawiskiem jest zauważenie problemu i planowanie włączenia do strategii miast dwóch ostatnich spośród pięciu wymienionych obszarów (odpowiednio ok. 22,5% i ok. 21% miast). Niestety w pozostałych trzech obszarach takie plany są na bardzo niskim poziomie, z czego dla transportu towarowego jest to poziom najniższy, wynoszący zaledwie 11%. W dalszych badaniach przeprowadzonych w woj. śląskim zidentyfikowano trzy luki krytyczne obejmujące obszar transportu towarowego, gospodarkę obiegu zamkniętego, lokalizację centrów logistycznych i dystrybucyjnych. Zidentyfikowane luki i ich wielkości wskazują na konieczność sformułowania zalecenia dotyczącego zwracania większej uwagi na problemy logistyczne występujące w miastach i włączania problematyki logistycznej do strategii. Konsekwencją istniejącego stanu jest niski stopień integracji całego systemu logistycznego śląskich miast.

Analizując czynniki podażowe technologii logistycznych, istotne jest uwzględnienie uwarunkowań środowiskowych w obsłudze logistycznej. Odgrywa to szczególną rolę w przypadku woj. śląskiego, które z uwagi na swoją specyfikę, tj. duże uprzemysłowienie, dużą gęstość zaludnienia oraz urbanizację, należy do regionów o znacznym wpływie człowieka na środowisko naturalne. Woj. śląskie boryka się z dużym zanieczyszczeniem powietrza, co związane jest zarówno z rozwiniętym sektorem przemysłu, jak i z tzw. niską emisją. W województwie wytwarzana jest także znaczna ilość odpadów przemysłowych i komunalnych. Takie uwarunkowania sprawiają, że kwestia środowiskowa staje się szczególnie istotna w różnych obszarach działalności gospodarczej i społecznej, w tym również logistycznej regionu. Jest to widoczne m.in. w uchwalonym w 2020 r. dokumencie Strategia Rozwoju Województwa Śląskiego „Śląskie 2030” – Zielone Śląskie, czy w nakładach na środki trwałe służące ochronie środowiska i gospodarce wodnej.

Tabela 7.11. Nakłady na środki trwałe służące ochronie środowiska i gospodarce wodnej w woj. śląskim. Oprac. na podst. Raport (2024b)

Nakłady	Rok		
	2021	2022	2023
Na środki trwałe służące ochronie środowiska na 1 mieszkańca [PLN]	361	392	475
Nakłady na środki trwałe służące gospodarce wodnej na 1 mieszkańca [PLN]	60	64	66

Założenia środowiskowe przyjmowane w województwie są także widoczne w obsłudze logistycznej regionu. Przykładem są rozwiązania przyjazne środowisku, stosowane w magazynach. Coraz częściej nowo budowane magazyny uzyskują certyfikaty ekologiczne typu BREEM czy LEED, co najmniej na poziomie „bardzo dobrym”. Certyfikaty te kwalifikują budynki pod kątem ich oddziaływania na środowisko oraz zastosowania w nich rozwiązań zgodnych z zasadami zrównoważonego rozwoju. W woj. śląskim przykładem tego typu inwestycji jest Panattoni Park Bielsko-Biała IV. Przedsięwzięcie realizowane jest zgodnie ze zrównoważoną koncepcją „Go Earthwise with Panattoni”, co przekłada się na certyfikację BREEM na poziomie „bardzo dobrym”⁵³.

⁵³ <https://invest-in-silesia.pl/content/zielone-magazyny-przyszloscia-branzy-logistycznej>

Aspekty środowiskowe widoczne są także w rozwiązaniach stosowanych w transporcie – rozwój ścieżek rowerowych, mikromobilność czy bardziej ekologiczna flota komunikacji miejskiej.

Tabela 7.12. Drogi rowerowe oraz struktura autobusów według stosowanego paliwa w woj. śląskim. Oprac. na podst. GUS-BDL (2021–2024)

Wyszczególnienie	Rok			
	2020	2021	2022	2023
Drogi dla rowerów ogółem [km]	1 194,9	1 284,1	1 385,2	1 479,4
Autobusy – benzyna [szt.]	386,0	386,0	385,0	384,0
Autobusy – gaz (LPG) [szt.]	17,0	17,0	17,0	17,0
Autobusy – olej napędowy [szt.]	8 459,0	8 432,0	8 495,0	8 684,0
Autobusy – pozostałe [szt.]	3 148,0	3 202,0	3 259,0	3 377,0

Na podaż technologii ma wpływ siła kapitału społecznego. W porównaniu do całego kraju zatrudnienie w woj. śląskim w branży logistycznej ocenia się jako wysokie. Z kolei przeciętne wynagrodzenie w tym sektorze jest jednym z niższych wynagrodzeń na tle pozostałych sektorów gospodarki województwa. Obecnie w woj. śląskim 20% firm transportowych odczuwa stały brak kierowców, a ponad 60% ma okresowe problemy ze skompletowaniem pełnej obsady do realizacji przewozów, co stwarza ogromne zagrożenie dla sektorów transportu zarówno drogowego, jak i kolejowego czy śródlądowego. Wzrasta zapotrzebowanie nie tylko na kierowców, ale również na handlowców i magazynierów. Dostępność kadry menedżerskiej jest zdecydowanie lepsza, jednak intensywny rozwój logistyki oraz rosnące zapotrzebowanie na specjalistów z doświadczeniem i odpowiednimi kompetencjami powodują, że w niektórych obszarach tego sektora coraz częściej mówi się o rynku pracownika. Dostępność ekspertów jest wystarczająca. Wynika ona nie tylko z ich liczby w regionie, ale również z szeroko zakrojonej współpracy ekspertów z całej Polski i z zagranicy. Pozytywnym czynnikiem jest liczba studentów. Zapotrzebowanie na kierunki logistyka i transport ciągle wzrasta. Brak odpowiednich szkół branżowych powoduje natomiast niedobór wyspecjalizowanych pracowników niższego szczebla na rynku TSL.

Polska branża TSL nie charakteryzuje się wysokim poziomem innowacyjności. Większa część innowacji jest bowiem przejmowana z innych branż przemysłu. Branża TSL nie może być traktowana jako wyróżniająca się również na tle działalności usługowej. Świadczy o tym niewielka liczba patentów, innowacji oraz innowacyjnych przedsiębiorstw. W woj. śląskim wdrożono tylko 1% innowacji produktowych i 1% innowacji procesowych ze wszystkich innowacji w regionie. Lepiej wygląda to w przypadku innowacji marketingowych (3,6%) i organizacyjnych (5%). W porównaniu do innych sektorów działalność innowacyjna przedsiębiorstw z branży TSL jest mocno ograniczona, natomiast często dokonuje się adaptacji istniejących, czasami przestarzałych rozwiązań proponowanych przez inwestorów. Należy także zauważyć brak kompleksowych badań pokazujących w pełni poziom innowacyjności branży TSL w ujęciu regionalnym, a tym samym brak informacji na temat ciągłości prowadzenia polityki prorozwojowej. Rośnie natomiast znaczenie sektora TSL w regionalnych strategiach, a transport i logistyka znalazły się w grupie nowych specjalizacji regionalnych.

7.1.3.4. Konkurencyjność technologii w regionie

Konkurencyjność technologii logistycznych w regionie oceniana jest w oparciu o atrakcyjność współpracy i powiązań sieciowych w sektorze, znaczenie zrównoważonego rozwoju w postępie technologicznym, skłonność do zmian modeli biznesu, znajomość źródeł przewagi konkurencyjnej, możliwość pojawienia się technologii konkurencyjnych, możliwości rozwoju zdolności obsługi logistycznej rynku, wpływ rozwoju technologii na atrakcyjność inwestycyjną regionu (przyciąganie nowych znaczących inwestorów), wpływ rozwoju technologii na tworzenie nowych miejsc pracy.

W woj. śląskim powstały zarówno klastry transportowe, jak i klastry logistyczne, jednakże nie miały one wpływu na rozwój obszaru transportu i logistyki w województwie. Przedsiębiorstwa logistyczne chętnie korzystają z innych form usieciowienia. Tworzą relacje zarówno formalne, jak i nieformalne z innymi uczestnikami sieci logistycznej. Są także uczestnikami sieci wirtualnych i giełd transportowych. Można obserwować wzmożoną aktywność instytucji rządowych w zakresie wspierania rozwoju

transportu intermodalnego (np. ulga intermodalna, która jest wypłacana przewoźnikom towarowym od 2014 r.). Mówią o tym zapisy umowy o dofinansowanie z budżetu państwa kosztów zarządzania infrastrukturą kolejową i jej ochrony w okresie 1.01.2014 r.–31.12.2017 r., zawartej między Ministerstwem Infrastruktury i Rozwoju (obecnie Ministerstwem Infrastruktury) a PKP PLK. Współpraca międzynarodowa przedsiębiorstw oceniana jest bardzo wysoko. Najwięksi operatorzy to organizacje o zasięgu globalnym, które dla realizacji swoich podstawowych celów muszą współpracować z innymi uczestnikami sieci logistycznej na całym świecie. Mniejsi aktorzy podejmują współpracę w celu zwiększenia kompleksowości realizowanych usług oraz rozszerzenia zasięgu geograficznego. Rozwojowi obszaru transportu i logistyki w woj. śląskim sprzyjają zwłaszcza rozwiązania infrastrukturalne oraz koncentracja powierzchni magazynowych. Za silną stronę tego regionu można także uznać usieciowienie, w tym współpracę międzynarodową przedsiębiorstw. Są trzy główne problemy ograniczające wyższą dynamikę rozwoju obszaru transportu i logistyki w badanym regionie. Wśród nich są głównie czynniki charakterystyczne dla całej Polski, w tym niska prędkość handlowa pociągów, mało nowoczesna i słabo rozwinięta baza terminali lądowych oraz brak wyraźnego wsparcia systemowego dla tego ekologicznego rodzaju transportu i niska innowacyjność sektora TSL.

W budowaniu przewag konkurencyjnych nabierają znaczenia wyzwania związane ze zrównoważonym rozwojem. Wiele współczesnych technologii podporządkowywanych jest wzorcom wynikającym z filarów zrównoważonego rozwoju. W szczególności dostosowywane są pod tym względem technologie logistyczne w obszarze transportu towarowego, takie jak wspomniany rozwój transportu intermodalnego i multimodalnego, a także technologie w obszarze gospodarki magazynowej – w tym zielone magazyny i transport osób, takie jak niskoemisyjne środki transportu, rozwój technologii w obszarze transportu zbiorowego i mikromobilności. RPT (2024) wskazuje Wariant Innowacyjny Transport. Jest to wariant, w którym rozwój transportu regionalnego jest oparty na nowych, ale szybko rozwijających się rozwiązaniach transportowych. W tym wariantcie podkreślono, że rozwój systemów transportowych odbywa się również przez rozwój naukowy i technologiczny. W ostatnich latach zauważono pojawienie się nowych środków transportu, a rozwój istniejących daje im nowe możliwości. Przykładami mogą być: pojazdy elektryczne, pojazdy autonomiczne, urządzenia transportu osobistego (UTO), drony czy roboty transportowe. Pojawiły się, bądź zostały udoskonalone, systemy transportu publicznego, takie jak BRT (ang. *bus rapid transit*) czy „lekke metro”. Usprawniane są sieci transportowe przez zastosowanie rozwiązań ITS, w tym sieci sterowania i zarządzania ruchem. Pojawiły się wreszcie nowe formy organizacyjne i prawne transportu, jak: carsharing, carpooling, „bus na telefon” czy systemy rowerów miejskich. Wszystkie te innowacje wymagają działań inwestycyjnych, organizacyjnych i prawnych, a ich stopień wdrożenia w woj. śląskim jest na bardzo niskim poziomie. W tym wariantcie nadal rozwija się głównie system zbiorowego transportu publicznego, ma to być jednak system bardziej elastyczny, w którym duże inwestycje powiązane są jedynie z potencjalnie dużymi potokami, natomiast w pozostałych przypadkach należy postawić na transport zbiorowy – tańszy w użytkowaniu, z dopasowywaną ofertą przewozową. Przede wszystkim jednak system transportu publicznego powinien być w większym stopniu oparty na nowych, ekonomicznych i ekologicznych (efektywnych energetycznie) rozwiązaniach, w tym również na nowoczesnych wodorowych pojazdach kolejowych, zwłaszcza na nieelektryfikowanych odcinkach sieci kolejowej. Schemat połączeń kolejowych powinien być uzupełniany o zintegrowany taryfowo i rozkładowo system połączeń autonomicznych autobusów elektrycznych. Rozwijane są też sieci transportu indywidualnego. Ma to być transport niskoemisyjny, a sieci mają zyskać większą przepustowość, nie tylko przez ich rozbudowę, ale również przez stosowanie rozwiązań ITS i pojazdów autonomicznych. Rozwijana jest sieć międzygminnych dróg rowerowych, co wiąże się z rozwojem rowerów elektrycznych i wydłużeniem przejazdów rowerowych. W transporcie towarów ruch pojazdów dostawczych w większym stopniu zastępowany jest dostawami za pomocą rowerów towarowych i dronów. W obszarze rozwoju transportu wodnego i kolejowego zyskują one nowe możliwości przewozu, np. transportu całych zestawów drogowych („tiry na tory” i „tiry na barki”), co wiąże się ze zmianą taboru i rozbudową punktów załadunkowych oraz wyładunkowych. W transporcie lotniczym zmniejsza się niekorzystne oddziaływanie na

środowisko przez pojawienie się nowych typów samolotów. W wielu aspektach jest to wariant perspektywiczny, możliwy do realizacji w horyzoncie docelowym, niemniej szereg działań i inwestycji można zrealizować już do 2030 r. Do tego roku, z uwagi na rozwój rowerów elektrycznych, a co za tym idzie, wydłużenie drogi przejazdu rowerowego, zakłada się rozbudowę sieci regionalnych dróg rowerowych na powiązaniach międzypowiatowych oraz – jak w przypadku innych wariantów – na powiązaniach z węzłami przesiadkowymi. Przebudowa dróg wojewódzkich powinna być powiązana z budową dróg rowerowych. Temu pomysłowi sprzyjają zmiany klimatyczne i większa liczba dni bez opadów w woj. śląskim w ciągu roku. Intensywny rozwój sieci dróg rowerowych powinien dotyczyć również powiązań w ramach węzłów sieci TEN-T. Ponadto w Wariancie Innowacyjny Transport przyjęto, że po 2030 r. głównym kierunkiem rozwojowym będzie stawianie na transport innowacyjny i nisko-zeroemisyjny. Prognozy rozwoju rynku samochodów elektrycznych w Polsce do 2030 r. przewidują udział tych samochodów w parku maszyn wynoszący 4–10%. W samym modelu prognozowanie ruchu pojazdów elektrycznych nie różni się od pozostałych pojazdów, można jednak zróżnicować wyniki w zakresie emisji. W wariancie przyjęto 10% udziału pojazdów zeroemisyjnych, a w pozostałych wariantach 7,8%, dlatego planowana jest znaczna rozbudowa układu drogowego, jednak w takim wypadku konieczne będzie stosowanie dodatkowych preferencji sprzyjających rozwojowi elektromobilności. Wszystkim inwestycjom drogowym powinna towarzyszyć rozbudowa sieci stacji ładujących, nowe lub modernizowane drogi (o przekroju 2×2 m lub większym) powinny mieć dedykowany pas dla autobusów, pojazdów elektrycznych i pojazdów o wysokim napełnieniu, z jednoczesnym wprowadzaniem stref czystego transportu. W przyszłości, po 2030 r., budowa nowych dróg powinna również uwzględniać rozwiązania dla pojazdów autonomicznych. Dlatego w tym wariancie założono po 2030 r. budowę tzw. Ringu GZM, w szczególności A4bis oraz utrzymywanie wysokich parametrów dróg wewnątrz obwodnicy z uwzględnieniem powyższych zaleceń. Rozwój infrastruktury kolejowej w Wariancie Innowacyjny Transport przyjęto zgodnie z założeniami Wariantu Odniesienia. Przyjęto Wariant Kolei Metropolitalnej jak w stanie odniesienia, jednak z wyższą częstością kursowania (co 30 min na każdej linii). Spośród wariantów rozwojowych na największą skalę powinny być wprowadzane strefy czystego transportu i strefy płatnego parkowania. Nie powinno się ich ograniczać jedynie do dużych miast, a dodatkowo mogą stanowić warunek przyznania dofinansowania dla rozwoju sieci drogowej.

Jak wskazano w Regionalnym Planie Transportowym dla Województwa Śląskiego (RPT, 2024) – za uzasadnione i niezbędne uznaje się podejmowanie działań ukierunkowanych na ograniczanie zużycia energii w transporcie i związane z tym redukcję emisji zanieczyszczeń. Uzyskanie możliwie pełnego efektu wymaga zastosowania środków usprawniających transport zbiorowy oraz wpływających na ograniczanie wykorzystywania samochodów. Działania w zakresie transportu zbiorowego sprzyjają ograniczaniu emisji w sposób bezpośredni (np. przez organizację połączeń publicznego transportu zbiorowego, zwiększanie oferty przewozowej, optymalizację wykorzystywania taboru i ruchu pojazdów) oraz w sposób pośredni, głównie przez podnoszenie konkurencyjności transportu zbiorowego w stosunku do podróżowania samochodami, zachęcając użytkowników systemu transportowego do zmiany zachowań komunikacyjnych (przeniesienia podróży do transportu zbiorowego). Równie istotne jest stosowanie mechanizmów ograniczających zainteresowanie wykorzystywaniem samochodów. Dotyczy to tworzenia alternatywnych ofert odbywania podróży (transportem zbiorowym, rowerem, pieszo), stosowania metod zniechęcających do korzystania z samochodu osobowego (np. ograniczanie dostępności wybranych ulic i obszarów, oddziaływanie fiskalne), czy kształtowanie nowych zachowań komunikacyjnych, np. zachęcanie do korzystania z samochodów niskoemisyjnych, zwiększania liczby podróżujących jednym samochodem (dziś jest to średnio 1,3 osoby/pojazd), używanie samochodu jedynie do pokonania jednego z odcinków podróży, np. do stacji kolejowej. Należy podkreślić, że najlepsze efekty można osiągnąć wtedy, gdy dostępne środki finansowe będą zasilać rozwiązania o różnym charakterze. Zaczynając od działań inwestycyjnych (np. w zakresie infrastruktury transportu zbiorowego czy taboru), przez działania modernizacyjne (w zakresie taboru, organizacji tras transportu zbiorowego, systemów informacji, systemów taryfowych), aż po działania o charakterze organizacyjnym i edukacyjnym – np. związane z mobilnością i wychowaniem komunikacyjnym użytkowników systemu transportowego.

W miastach woj. śląskiego postuluje się, wspieranie projektów dotyczących: optymalizowania układu linii i częstotliwości kursowania w transporcie zbiorowym, systemów nawigacji satelitarnej wykorzystywanej do informacji pasażerskiej w transporcie zbiorowym, systemów zarządzania flotą pojazdów, systemów kontroli i nadzoru ruchu pojazdów transportu zbiorowego, rozwoju systemu parkingów typu P + R, B + R, rozbudowy infrastruktury rowerowej oraz akcji promujących korzystanie z rowerów, systemów zmniejszających zużycie energii i zarządzania energią w obiektach zaplecza technicznego transportu zbiorowego, zwiększania efektywności wykorzystywania samochodów osobowych (systemy typu carpooling, carsharing itp.), wykorzystywania samochodów niskoemisyjnych (hybrydowych, elektrycznych), tworzenia planów mobilności dla grup mieszkańców danego obszaru, zakupu niskoemisyjnego taboru transportu zbiorowego czy modernizacji taboru transportu zbiorowego w celu obniżenia emisyjności. W Regionalnym Planie Transportowym dla Województwa Śląskiego (RPT, 2024) wskazuje się, że w kolejnych latach będą kontynuowane działania mające na celu zmniejszenie udziału samochodów o napędzie konwencjonalnym – do 2030 r. o 50%, a w 2050 r. wartość ta ma zbliżyć się do 0%. By osiągnąć ten cel zaleca się: zwiększenie udziału transportu publicznego, zwiększenie efektywności energetycznej pojazdów transportu publicznego i roli kolei, budowę węzłów przesiadkowych, w tym rozwój systemów Park & Ride oraz Bike & Ride. Efektywność energetyczną pojazdów transportu publicznego można poprawić przez stosowanie energii elektrycznej magazynowanej w akumulatorach, paliwa wodorowego, biometanu oraz dostosowanie pojazdów do norm emisji spalin Euro 6, a w przyszłości Euro 7. Pozytywnym efektem stosowania powyższych technologii jest na pewno niska emisja substancji szkodliwych. Stosowanie napędów hybrydowych w pojazdach pozwala na zmniejszenie gabarytów silnika spalinowego, odzyskiwanie energii hamowania, redukcję emisji zanieczyszczeń, jak również na zmniejszenie zużycia paliwa. Pod względem transportu towarowego Polska dysponuje największą flotą samochodów ciężarowych w UE (co piąta ciężarówka poruszająca się po drogach UE zarejestrowana jest w Polsce). W kolejnych latach międzynarodowi liderzy branży TSL planują elektryfikację floty na szeroką skalę (na razie liczba pojazdów elektrycznych w tym sektorze jest niewielka). Znikoma jest także liczba stacji ładowania przystosowanych do obsługi ciężarówek elektrycznych. Znaczny rozwój infrastruktury ładowania będzie konieczny, zgodnie z unijnym rozporządzeniem AFIR. Według danych publicznego rejestru prowadzonego przez Urząd Dozoru Technicznego (Ewidencja Infrastruktury Paliw Alternatywnych, EIPA), wzdłuż sieci bazowej TEN-T w woj. śląskim były zlokalizowane 93 stacje ładowania pojazdów elektrycznych, w których znajdowało się 227 punktów ładowania. Zdecydowaną większość punktów stanowią punkty wolnego ładowania.

Nowe wyzwania i nowe potrzeby w branży TSL i sektorach pokrewnych pociągają za sobą zmiany modeli biznesu i większą ich elastyczność. Wpływ na zmianę modeli biznesu, obok wymienionych powyżej wyzwań, mają także inne czynniki. Dynamiczne zmiany systemów dystrybucji, wzrost wymagań w zakresie elastyczności i odporności systemów logistycznych, ukierunkowanie na adaptacyjność systemów, to czynniki decydujące o zmianie modeli biznesu, w szczególności w obszarze organizacji zaangażowanych w przepływy e-commerce. Część organizacji modyfikuje swoje modele biznesu, ale powstają także zupełnie nowe. Witryny firmowe i sklepy online to odpowiedniki tradycyjnych katalogów i arkuszy zamówień. Pozwalają na sprzedaż towarów i usług za pośrednictwem internetu, a także na reklamowanie się wśród większej grupy potencjalnych klientów biznesowych i indywidualnych niż tradycyjny sklep stacjonarny. Pojęcie sklepu internetowego mieści w sobie zarówno zwykły sklep online prowadzony przez jednego przedsiębiorcę, jak i marketplace, na którym sprzedają tysiące przedsiębiorców i osób prywatnych. W przypadku marketplace’u może zachodzić wiele rodzajów relacji. Firma udostępniająca platformę sprzedażową przedsiębiorcom wchodzi z nimi w relację B2B (ang. *business-to-business*) umożliwiającą dokonywanie transakcji między dwoma lub więcej podmiotami gospodarczymi, ale sama ma też możliwość bezpośredniej sprzedaży produktów klientom detalicznym (ang. *business-to-consumer*, B2C). Między sprzedawcami a konsumentami zachodzi relacja B2C (firmy sprzedają klientom indywidualnym). Na marketplace’ach mogą też odbywać się transakcje C2B (ang. *consumer-to-business*) oraz C2C (ang. *consumer-to-consumer*). Nowym modelem biznesu jest także dropshipping. Dropshipperzy pośredniczą między klientami a sprzedawcami bez sprowadzania produktów do własnych magazynów. Realizują

transakcje, ale nie posiadają fizycznie sprzedawanych rzeczy. Dropshipperem jest więc po prostu pośrednik, który łączy kupujących z producentami. Może prowadzić sprzedaż w modelu biznesowym B2B i B2C. Na rynku istnieje wiele łatwych w użyciu narzędzi (np. Spocket czy SaleHoo), które umożliwiają przedsiębiorcom zajmującym się dropshippingiem integrację swoich portali z systemami dostawców z całego świata. Możliwe jest też stworzenie rozwiązań tego typu dostosowanych do potrzeb konkretnej firmy. Kolejny model to model subskrypcji. Subskrypcja polega na powtarzającej się sprzedaży towarów lub usług dla określonego klienta (zazwyczaj w ramach z góry określonego pakietu). Model subskrypcyjny nie musi odnosić się wyłącznie do produktów cyfrowych. Branża e-commerce charakteryzuje się wieloma różnymi modelami logistycznymi. Własny magazyn – to najpopularniejszy wybór wśród właścicieli sklepów internetowych, którym zależy na niezależności, większej kontroli i łatwości w zarządzaniu towarem. Fulfillment w e-commerce oznacza kompleksową realizację zamówień internetowych. Proces ten obejmuje cały cykl obsługi zamówienia – od momentu zakupu przez klienta na stronie internetowej, przez kompletowanie, pakowanie produktów, aż po ich wysyłkę i ewentualne zarządzanie zwrotami. To złożone zadanie, które wymaga precyzyjnej logistyki, technologii oraz zorganizowanej siły roboczej. To wszystko ma ogromne znaczenie dla zapewniania płynności transakcji oraz satysfakcji klientów. W transporcie osób, obok dojrzałych już modeli biznesu, pojawiają się również nowe. Wraz z rozwojem technologii logistycznych. Wśród nich można wskazać nowe formy organizacyjne i prawne transportu, jak carsharing, carpooling, „bus na telefon”. Jednocześnie można zauważyć wpływ nowych modeli biznesu na rozwój technologii informacyjnych.

Zmiany w modelach biznesu nie są charakterystyczne dla firm prowadzących działalność w woj. śląskim, są raczej tendencją ogólnie przyjętą na świecie. Woj. śląskie wyróżnia się jednak znaczącymi przewagami konkurencyjnymi wynikającymi z innych czynników, w tym z dogodnego położenia geograficznego, rozbudowanej infrastruktury transportowej oraz przemysłowego charakteru regionu. Tradycyjne sektory, takie jak górnictwo i hutnictwo, są stopniowo zastępowane przez zaawansowane technologie, odnawialne źródła energii oraz zieloną gospodarkę. Wysoki poziom urbanizacji oraz dostępność wykwalifikowanej kadry, wspierane przez uczelnie wyższe i ośrodki badawcze, sprzyjają rozwojowi innowacji. Kluczowe znaczenie mają również regionalne inteligentne specjalizacje (energetyka, ICT, zaawansowane materiały) oraz aktywne wykorzystanie funduszy unijnych. Transformacja gospodarcza i współpraca w ramach klastrów przemysłowych umacniają pozycję regionu jako wiodącego ośrodka rozwoju w Polsce.

Atrakcyjność przemysłowa samego regionu powoduje, że warto analizować możliwości pojawienia się technologii konkurencyjnych. W 2024 roku sektor logistyczny zmierzył się z nowymi wyzwaniami wynikającymi z dynamicznego rozwoju zaawansowanych technologii, takich jak technologie przestrzenne oraz przemysłowy metawersum⁵⁴. Innowacje te mogą zrewolucjonizować sposób zarządzania łańcuchami dostaw, wpływając na ich efektywność oraz zdolność adaptacji do zmieniających się warunków rynkowych. Ponadto istotną rolę jako katalizator wzrostu odegrała generatywna sztuczna inteligencja, wspierając automatyzację i optymalizację procesów operacyjnych. Prognozy wskazują, że przychody wytwarzane przez przemysłowy metawersum mogą osiągnąć niemal 100 mld USD do 2030 r. Przewiduje się, że do 2028 r. aż 75% inżynierów oprogramowania w przedsiębiorstwach będzie wykorzystywać do kodowania asystentów AI, co stanowi znaczący wzrost w porównaniu do 10% w 2023 r. (Gartner, 2024). Znaczący postęp w implementacji zaawansowanych technologii odnotowuje się w obszarze magazynowania. Coraz powszechniejsze stają się systemy zarządzania wydajnością centrów dystrybucyjnych w czasie rzeczywistym, rozwiązania AGV, działające w modelu „towar do osoby” oraz systemy zarządzania magazynem (WMS). Efektywność w projektach pilotażowych wykazały technologie, takie jak cyfrowe bliźniaki magazynowe, dynamiczne zarządzanie pracą czy systemy śledzenia gestów i ruchów. Na etapie testowania wykonalności znajdują się natomiast w pełni zautomatyzowane systemy kompletacji towarów, cyfrowe bliźniaki sieci logistycznych oraz inteligentne półki magazynowe (McKinsey, 2023). Kluczową rolę w planowaniu logistycznym odgrywają technologie automatyzacji,

⁵⁴ <https://www.deloitte.com/pl/pl/Industries.html>

w tym systemy zautomatyzowanego uzupełniania zapasów, eksploracja danych oraz analiza przyczyn źródłowych, które są szeroko wykorzystywane w zarządzaniu wydajnością. Selektywnie stosowane jest również prognozowanie oparte na uczeniu maszynowym oraz techniki mikrosegmentacji, wykazujące potencjał do optymalizacji procesów planistycznych.

Możliwości rozwoju obsługi logistycznej w woj. śląskim są duże. Na potencjał ten składa się wiele elementów, wśród których można wymienić m.in.: dostępne punkty przeładunkowe wraz z intermodalnymi terminalami przeładunkowymi, dostępne powierzchnie magazynowe, silnie rozwinięte centrum logistyczne i port lotniczy oraz liczne przedsiębiorstwa zajmujące się obsługą transportową i logistyczną. Większość z nich została już wcześniej opisana, dlatego w tym miejscu zostanie przedstawiony potencjał rozwoju w kontekście samych przedsiębiorstw transportowo-logistycznych. Zgodnie z klasyfikacją PKD reprezentują one sekcję H – transport i gospodarka magazynowa, działy 49–53, gdzie: dział 49 – transport lądowy oraz transport rurociągowy, dział 50 – transport wodny, dział 51 – transport lotniczy, dział 52 – magazynowanie i działalność usługowa wspomagająca transport, dział 53 – działalność pocztowa i kurierska.

Tabela 7.13. Liczba przedsiębiorstw z sekcji H (według PKD 2007), świadczących obsługę transportowo-logistyczną w woj. śląskim. Oprac. na podst. GUS-BDL (2021–2024)

Wyszczególnienie	Rok			
	2020	2021	2022	2023
Sekcja H ogółem, w tym:	30 338	30 543	30 703	30 697
dział 49	26 818	26 876	26 813	26 655
dział 50	25	27	26	33
dział 51	98	98	113	137
dział 52	2 538	2 604	2 784	2 903
dział 53	859	938	967	969

Liczba przedsiębiorstw świadczących obsługę transportowo-logistyczną w woj. śląskim jest duża; w latach 2020–2021 wzrosła, natomiast w latach 2022–2023 zmalała. Najmniej liczną sekcją jest sekcja 50, czyli przedsiębiorstwa transportu wodnego, co nie jest zaskakujące, z uwagi na położenie województwa. Liczba przedsiębiorstw w tej sekcji zazwyczaj utrzymuje się na niewielkim, stabilnym poziomie. Wyjątkiem był 2023 r., kiedy nastąpił wzrost, jednak trudno stwierdzić, czy utrzyma się on w kolejnych latach, czy też będzie jednorazowym zdarzeniem. Można również zauważyć, że liczba z przedsiębiorstw trzech sekcji – 51, 52 i 53 – w analizowanym okresie sukcesywnie wzrastała, co wskazuje na rozwój branży związany z rosnącymi potrzebami w zakresie transportu lotniczego i obsługi logistycznej, w tym usług kurierskich i pocztowych oraz magazynowych i innych wspomagających transport. Jedynie w przypadku sekcji 49 (transport lądowy i rurociągowy) widoczny jest spadek liczby przedsiębiorstw w latach 2022–2023. Podając za TSL Biznes⁵⁵, rozbudowana infrastruktura drogowa, kolejowa oraz lotnicza, a także wysoka dostępność wykwalifikowanej siły roboczej na Śląsku, przyciąga kolejnych inwestorów z branży TSL. Wyjątkowy w skali krajowej system połączeń drogowych, w tym skrzyżowanie dwóch paneuropejskich korytarzy transportowych: autostrady A1 (północ-południe) oraz A4 (wschód-zachód), łatwy dostęp do dwóch lotnisk: Katowice-Pyrzowice i Kraków-Balice oraz Euroterminalu w Sławkowie, kończącego europejską część szerokotorowego szlaku kolejowego biegnącego z Azji, to doskonałe warunki rozwoju dla centrów dystrybucji z Bałkanów czy południowej części Europy Zachodniej.

Biorąc pod uwagę wskazane czynniki zarówno popytowe, jak i podażowe, warto także rozważyć wpływ rozwoju technologii z obszaru transport i logistyka na możliwość tworzenia mocnej pozycji konkurencyjnej przedsiębiorstw w regionie. Wskazana zależność jest bardzo wysoka. Silnie uprzemysłowiony region, jakim jest woj. śląskie, potrzebuje nowoczesnych technologii logistycznych, a organizacje wdrażające tego typu rozwiązania podnoszą swoją konkurencyjność. Rozwój technologii w obszarze transportu i logistyki wpływa bezpośrednio na atrakcyjność inwestycyjną województwa. W sposób syntetyczny można ją rozumieć w kategoriach „zdolności skłonienia inwestorów do wyboru regionu jako miejsca lokalizacji inwestycji” (Gawlikowska-Hueckel i Umiński, 2000, s. 7). W tym

⁵⁵ <https://tsl-biznes.pl/logistyka/slask-wsrod-najbardziej-pozadanych-w-europie>

kontekście atrakcyjność inwestycyjna rozumiana jest jako kombinacja korzyści lokalizacyjnych możliwych do osiągnięcia w trakcie prowadzenia działalności gospodarczej i wynikających ze specyficznych cech obszaru, w którym działalność ma miejsce. Korzyści te określane są mianem czynników lokalizacji. O atrakcyjności inwestycyjnej danego obszaru decyduje zatem kombinacja czynników lokalizacji. Obszary oferujące optymalną kombinację czynników lokalizacji są atrakcyjne inwestycyjnie, ponieważ pozwalają na redukcję nakładów inwestycyjnych i bieżących kosztów funkcjonowania przedsiębiorstwa, ułatwiając maksymalizację zysków i zmniejszając ryzyko niepowodzenia inwestycji. Według danych Instytutu Badań nad Gospodarką Rynkową (IBnGR), wśród czynników, które mają wpływ na atrakcyjność inwestycyjną województw, wyróżnia się czynniki bezpośrednio związane z dostępnością transportową (tab. 7.14).

Tabela 7.14. Czynniki związane z dostępnością transportową uwzględnione w rankingu atrakcyjności inwestycyjnej województw opublikowanego przez Instytut Badań nad Gospodarką Rynkową (IBnGR) – elementy uwzględnione w badaniu

Kategoria	Elementy
Dostępność transportowa	▪ koszty dostawy surowców i komponentów ▪ koszty dostarczania produktów końcowych do odbiorców ▪ warunki transportu pasażerskiego ▪ położenie względem granicy zachodniej ▪ położenie województw i podregionów względem Warszawy ▪ położenie podregionów względem ośrodków regionalnych ▪ położenie względem międzynarodowych portów lotniczych ▪ położenie względem dużych portów morskich

Woj. śląskie od kilku lat znajduje się na czele rankingu IBnGR dotyczącego atrakcyjności inwestycyjnej województw i podregionów Polski, który jest oparty na danych statystycznych, informacjach z Państwowej Agencji Informacji i Inwestycji Zagranicznych, a także materiałach kartograficznych, informacjach dotyczących siatek połączeń obsługiwanych przez poszczególne porty lotnicze, badaniach ankietowych itd.

Zauważalny jest także wpływ rozwoju badanych technologii na tworzenie nowych miejsc pracy. Branża logistyczna w woj. śląskim rozwija się bardzo intensywnie i jest gwarantem nowych miejsc pracy. Obecnie 7,3% osób pracujących w woj. śląskim jest zatrudnionych w transporcie i gospodarce magazynowej. Należy jednak pamiętać, że rozwój technologii logistycznych nie dotyczy wyłącznie przedsiębiorstw branży TSL, ale jest również zauważalny w przedsiębiorstwach zgrupowanych w sekcji przedsiębiorstwa przemysłowe (41,9% pracujących), a także handel, naprawa pojazdów samochodowych (14,6% pracujących) (Raport, 2024b). Istotne są także nowe miejsca pracy związane z rozwojem technologii informacyjnych dla logistyki. Można więc uznać, że wpływ rozwoju technologii logistycznych, tworzenie nowych modeli biznesu w obszarze przepływu osób i ładunków, to czynniki wpływające istotnie na powstawanie nowych miejsc pracy.

7.1.3.5. Rozwój sektorów/technologii pokrewnych i wspierających

Rozwój technologii w obszarze transport i logistyka uzależniony jest od sektorów oraz technologii pokrewnych i wspierających, które oceniane są według czynników, takich jak: obecność instytucji otoczenia biznesu i ekosystemu innowacji, rozwój sektora energetycznego, dostępność i ceny mediów energetycznych, znaczenie automatyzacji i AI w rozwoju technologii.

System wspierania przedsiębiorczości w woj. śląskim obejmuje szereg zintegrowanych działań i instytucji. Zgodnie z danymi Śląskiego Centrum Obsługi Inwestora i Eksportera w Katowicach (ŚCOIE), w regionie funkcjonują liczne i różnicowane instytucje otoczenia biznesu (IOB). Sieć IOB w woj. śląskim tworzą: izby gospodarcze, przemysłowe i handlowe, cechy rzemieślnicze, ośrodki wspierania przedsiębiorczości, ośrodki doradcze, ośrodki informacji gospodarczej oraz stowarzyszenia gospodarcze. Głównym dążeniem organizacji wspierających przedsiębiorczość jest wzrost konkurencyjności oraz rozwój sektora MŚP. Rozwój innowacyjności przedsiębiorstw regionu oraz transfer technologii wspierany jest przez parki przemysłowe oraz naukowo-technologiczne. Znaczącą rolę odgrywają również instytucje umożliwiające dostęp do różnego rodzaju instrumentów

finansowych: fundusze pożyczkowe, poręczeniowe, venture capital. Zgodnie z danymi ŚCOIE, przedsiębiorstwa z woj. śląskiego wspierane są w ramach działalności (Polityka, 2022, s. 48):

- 22 parków przemysłowych i naukowo-technologicznych,
- 10 agencji rozwoju,
- 24 izb gospodarczych,
- 27 klastrów,
- 10 inkubatorów przedsiębiorczości.

Gęsta i zróżnicowana sieć IOB w woj. śląskim zapewnia komplementarne względem siebie narzędzia wspierania przedsiębiorstw o różnej wielkości, strukturze, prowadzących swoją działalność w ramach różnych branż produkcyjnych i usługowych, w tym firm z branży TSL. Wybrane organizacje włączone są do śląskiego ekosystemu innowacji. Śląski ekosystem na rzecz innowacji jest konsekwentnie rozwijany od 2002 r. przez Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego oraz instytucje partnerskie, takie jak: podmioty szkolnictwa wyższego i nauki, instytucje otoczenia biznesu, klastry, Sieć Regionalnych Obserwatoriów Specjalistycznych, instytucje finansujące rozwój przedsiębiorstw i tworzące inne instrumenty wsparcia finansowego, a także jednostki samorządu terytorialnego i podmioty od nich zależne. Prace badawczo-rozwojowe oraz współpraca z przedsiębiorstwami na rzecz innowacji są ważną częścią działalności wybranych szkół wyższych. W regionie są nimi: Uniwersytet Bielsko-Bialski, Politechnika Częstochowska, Politechnika Śląska, Uniwersytet Śląski w Katowicach, Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach, Akademia WSB, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach. Uczestniczą one w projektach badawczo-rozwojowych, w opracowywaniu ekspertyz i w badaniach technicznych oraz w innych działaniach na rzecz rozwoju kompetencji obecnych i przyszłych pracowników przedsiębiorstw, w tym przedsiębiorstw działających w ramach inteligentnych specjalizacji. Warto nadmienić, że w 2019 r. Politechnika Śląska otrzymała (jako jedna z 10 uczelni w Polsce) status uczelni badawczej. W związku z tym o 10% została zwiększona jej subwencja na lata 2020–2026, co w założeniu ma wzmocnić potencjał infrastrukturalny w celu realizacji prac B+R w następujących obszarach: onkologia obliczeniowa i spersonalizowana medycyna, sztuczna inteligencja i przetwarzanie danych, materiały przyszłości, inteligentne miasta, mobilność przyszłości, automatyzacja procesów i Przemysł 4.0, ochrona klimatu i środowiska, nowoczesna energetyka. W gronie instytutów badawczych znajdują się m.in.: nadzorowane przez Ministra Aktywów Państwowych (Główny Instytut Górnictwa – Państwowy Instytut Badawczy, Instytut Technologii Paliw i Energii oraz Instytut Techniki Górniczej KOMAG) nadzorowane przez Ministra Klimatu i Środowiska (Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych) oraz instytuty Polskiej Akademii Nauk. Instytut Spawalnictwa, Instytut Metalurgii Żelaza, Instytut Metali Nieżelaznych, Instytut Technik Innowacyjnych EMAG, Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL oraz Instytut Techniki i Aparatury Medycznej w 2019 r. zostały włączone do Sieci Badawczej Łukasiewicz, która jest trzecią największą siecią badawczą w Europie. Instytuty te współpracują ze sobą w ramach sieci w czterech obszarach technologicznych. Są nimi: inteligentna mobilność, transformacja cyfrowa, zdrowie oraz zrównoważona gospodarka i energia.

Istotną rolę w regionalnym systemie innowacji odgrywają parki technologiczne i inkubatory przedsiębiorczości. Funkcjonowanie inkubatorów nie byłoby możliwe bez finansowania zapewnianego przez samorządy lokalne, a wiele zrealizowanych przedsięwzięć wdrożono dzięki dofinansowaniu ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego. Większą specjalizacją tematyczną oraz bardziej zaawansowaną ofertą doradczą muszą natomiast wykazywać się parki technologiczne, które tworzą przy znaczącym udziale finansowania unijnego, dostępnego tuż po polskiej akcesji do UE. W Katowicach swoją ofertę, przede wszystkim do firm z sektora nowej energetyki oraz ICT, kieruje Euro-Centrum SA. Technopark Gliwice skupia się na zagadnieniach cyfryzacji, a szczególnie na jej zastosowaniach przemysłowych. W Sosnowcu działa Sosnowiecki Park Naukowo-Technologiczny, natomiast nieopodal Bielska-Białej, na lotnisku w Kaniowie, Bielski Park Technologiczny Lotnictwa, Przedsiębiorczości i Innowacji Sp. z o.o. Wybrane usługi, charakterystyczne dla parków technologicznych, świadczą również Górnośląska Agencja Przedsiębiorczości i Rozwoju Sp. z o.o. z siedzibą w Gliwicach (medycyna, ICT) oraz działające w ramach jej ekosystemu: Śląskie Centrum Naukowo-Technologiczne Przemysłu Lotniczego Sp. z o.o., Centrum Edukacji i Biznesu „Nowe

Gliwice”, Bielski Park Technologiczny Lotnictwa, Przedsiębiorczości i Innowacji Sp. z o.o. z siedzibą w Kaniowie (lotnictwo), a także Agencja Rozwoju Regionalnego SA z siedzibą w Bielsku-Białej (ICT, technologie zarządzania produkcją). Ofertę inkubatorów i parków technologicznych uzupełnia aktywność uczelnianych centrów transferu technologii, które funkcjonują przy wszystkich uczelniach publicznych prowadzących działalność badawczą, mającą znaczenie dla gospodarki (Inteligentne Śląskie, 2021).

Sektorem komplementarnym, istotnie wpływającym na technologie logistyczne, jest sektor energetyczny. Rozwój sektora energetycznego w woj. śląskim jest elementem ściśle powiązanim z europejską i krajową polityką w tym zakresie. Na szczeblu europejskim odnosi się on m.in. do Europejskiego Zielonego Ładu, na szczeblu krajowym do takich dokumentów, jak: Strategia na Rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju, Krajowa Strategia Rozwoju Regionalnego 2030 (KSRR, 2019), Polityka ekologiczna państwa 2030, Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021–2030, Polityka Energetyczna Polski do 2040 roku (projekt), Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020. Na poziomie regionalnym nawiązuje do Strategii Rozwoju Województwa Śląskiego „Śląskie 2030” – Zielone Śląskie. W przypadku woj. śląskiego zarówno do produkcji energii elektrycznej, jak i energii cieplnej, był wykorzystywany głównie węgiel kamienny i gaz ziemny. W ciepłownictwie stosowano również olej opałowy lekki i olej opałowy ciężki, ale w porównaniu do ilości wykorzystanego węgla kamiennego ich udział był nieznaczny (Polityka, 2020). Węgiel kamienny odgrywa ważną rolę w przemyśle energetycznym regionu m.in. ze względu na łatwy dostęp do tego surowca. W Górnośląskim Zagłębiu Węglowym położonym w Polsce w woj. śląskim i małopolskim oraz w Czechach w kraju morawsko-śląskim. Należy zauważyć, że na powierzchni GZW wynoszącej około 5600 km² znajdują się prawie wszystkie czynne kopalnie węgla kamiennego, jak również 80% udokumentowanych zasobów bilansowych węgla kamiennego (PIG-PIB, 2025). W przypadku woj. śląskiego należy również zwrócić uwagę na potencjał regionu w zakresie wykorzystania metanu pokładów węgla (MPW) na cele energetyczne. W ostatnich latach prowadzono prace nad technologią odzysku metanu przez powierzchniowe otwory wiercyjne (takie wykorzystanie metanu pokładów węgla jest traktowane jako pozyskiwanie gazu ze źródeł niekonwencjonalnych). W Polsce metan pokładów węgla udokumentowano m.in. w złożach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego.

Według stanu na listopad 2018 r. na terenie woj. śląskiego jednostki centralnie dysponowane osiągały moc 5580 MW, z ogólnej puli 26 632 MW dostępnej mocy w KSE (Krajowym Systemie Energetycznym), co stanowi 20,7% mocy JWCD (jednostka wytwórcza centralnie dysponowana) w KSE. W 2019 r. było planowane wyłączenie czterech bloków o łącznej mocy 490 MW oraz oddanie do użytku nowego bloku Jaworzno 3 (styczeń 2020 r.) o mocy 910 MW. Łączna moc elektryczna jednostek kogeneracyjnych na terenie woj. śląskiego wynosi: 1 256,766 MW. Łączna moc elektryczna jednostek posiadających koncesję to ponad 110 MWe, a łączna moc elektryczna jednostek nieposiadających koncesji wynosi 49,23 MWe. Zużycie energii elektrycznej na terenie woj. śląskiego wynosiło 27 641 GWh. Produkcja energii wyniosła 27 834 GWh, zatem produkcja i zużycie zrównoważyły się. Bilans energii elektrycznej dla województwa ulega zmianie na niekorzyść. Jeszcze w 2011 r. produkowano o 34,3% więcej energii elektrycznej na terenie województwa niż zużywano. W 2017 r. była to wartość niższa niż średnia dla Polski⁵⁶. Łączna produkcja ciepła na terenie woj. śląskiego wyniosła 255 351 TJ. Ciepło w przeważającej części było produkowane przez sektor przemysłu w instalacjach własnych (56,47% – 144 184 TJ). Wpływ na taki stan rzeczy miał znaczny udział przedsiębiorstw energochłonnych, takich jak huty, koksownie czy kopalnie węgla kamiennego. Produkcja ciepła sieciowego na terenie województwa stanowiła 19,63% ciepła wytworzonego ogółem (CWO) i wyniosła 50 148 TJ. Produkcja ciepła wytworzonego przez gospodarstwa domowe stanowiła 18,44% CWO i wyniosła 47 081 TJ. Produkcja ciepła na terenie woj. śląskiego w 2016 r. wyniosła 255 PJ, a zapotrzebowanie na ciepło 266 PJ. Wykorzystanie źródeł i nośników ec oszacowano na 316 PJ w 2017 r. Obliczeniowe zapotrzebowanie na energię cieplną w województwie w 2017 r. było wyższe niż produkcja ec na skutek wyższych średniomiesięcznych temperatur

⁵⁶ Dane GUS-BDL na koniec 2017 r. – brak aktualnych danych.

w okresie grzewczym, a tym samym mniejszej liczby stopniogrzań. Częściowo jest to wynik niedogrzań części odbiorców ec – tj. dostarczenia mniejszej ilości ec niż wymaga tego komfort cieplny⁵⁷. W woj. śląskim zgazyfikowane są 123 gminy na 167. Najmniej gmin zgazyfikowanych jest w subregionie północnym oraz południowym. Całkowita długość gazociągów niskiego ciśnienia wynosi prawie 5 tys. km, a średniego prawie 11 tys. km. Przyłącza gazowe niskiego oraz średniego ciśnienia stanowią ponad 6 tys. km gazociągów. Prognozuje się, że po 2030 r. węgiel kamienny zostanie wyeliminowany ze zużycia przez gospodarstwa domowe oraz drobnych odbiorców (usługi) i zastąpiony ciepłem sieciowym (które w dalszym ciągu będzie wykorzystywało węgiel kamienny, lecz głównie w kogeneracji i jako źródła szczytowe), gazem ziemnym, a także biomasą oraz energią elektryczną w połączeniu z pompami ciepła. Jedna kilowatogodzina prądu pod koniec 2024 r. i na początku 2025 r. kosztowała 1,11–1,21 PLN. Podane stawki za 1 kWh energii elektrycznej odnoszą się do całego kraju i taryfy G11, a także uwzględniają koszt dostarczenia prądu i zużywanej energii. Wzrost cen prądu w Polsce to skutek działania kilku czynników. Koszt energii elektrycznej uzależniony jest m.in. od cen paliw, a zwłaszcza węgla, który wciąż stanowi podstawę polskiego miksu energetycznego. Pociąga to za sobą drugi czynnik, czyli wysokie koszty uprawnień do emisji CO₂. Opóźniona transformacja energetyczna w Polsce oraz niewielki udział OZE sprawiają, że polska gospodarka należy do najbardziej emisyjnych w UE. Węgiel i gaz, czyli paliwa kopalne, są więc drogie nie tylko w zakupie, ale i w użyciu.

Technologiami pokrewnymi i komplementarnymi względem technologii z obszaru transport i logistyka są technologie cyfrowe. Obserwuje się bardzo silny wpływ rozwoju automatyzacji i AI na rozwój technologii logistycznych. Automatyzacja to wiodący nurt w rozwoju technologii w obszarze gospodarki magazynowej. AI jest podstawą współczesnych technologii informacyjnych dla logistyki niezależnie, czy wspiera ona transport osób, przepływ ładunków czy gospodarkę magazynową. W woj. śląskim rozwijają się przedsiębiorstwa zarówno tworzące rozwiązania w zakresie automatyzacji procesów magazynowych, jak i rozwijające zastosowanie sztucznej inteligencji w logistyce. Wśród technologii automatyzacji w gospodarce magazynowej wskazuje się m.in. automatyczne magazyny paletowe (układnice magazynowe, układnice automatyczne trójstronne, przenośniki rolkowe do palet, elektryczne systemy jednoszynowe, automatyczny Pallet Shuttle, Automatyczny Pallet Shuttle 3D, windy paletowe), automatyczne magazyny pojemnikowe (układnice pojemnikowe, system Shuttle dla pojemników, przenośniki pojemnikowe, wysokowydajne stanowisko kompletacyjne, robot do kompletacji, autonomiczne roboty mobilne). AI pomaga natomiast w sporządzaniu trafniejszych prognoz popytu, co zapobiega brakom zapasu i zmniejsza koszty. Sztuczna inteligencja stanowi też wsparcie podczas realizacji pozostałych operacji w łańcuchu dostaw. AI przyczynia się do zwiększenia bezpieczeństwa i dobrostanu pracowników, ponieważ pomaga im w wykonywaniu powtarzalnych czynności, wspiera także kierownictwo magazynu pracujące nad poprawą bezpieczeństwa w obiekcie. Pozwala również zapobiegać ryzyku związanemu z czynnościami, takimi jak kompletowanie, klasyfikowanie czy pakowanie zamówień. Sztuczna inteligencja powoli zaczyna zmieniać świat transportu. Jej zastosowań jest wiele – od usprawniania komunikacji drogowej – do autonomizowania funkcjonowania samochodów, kolei, okrętów i lotnictwa.

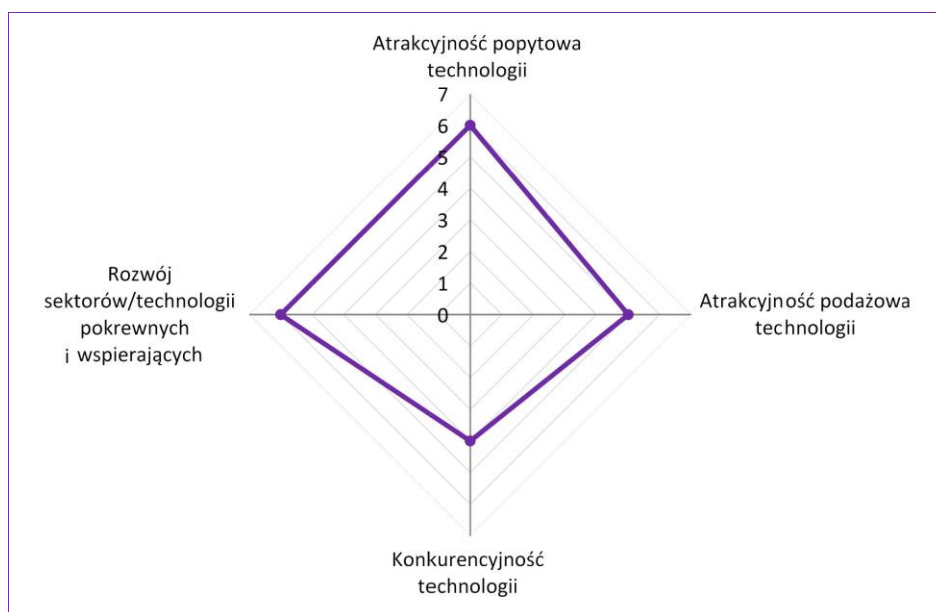
7.1.3.6. Podsumowanie

Tabela 7.15. Podsumowanie analizy potencjału konkurencyjnego dla obszaru technologicznego transport i logistyka według diamentu Portera połączonego z metodą EMERALD

Atrakcyjność popytowa technologii	Atrakcyjność podaźowa technologii	Konkurencyjność technologii	Rozwój sektorów/technologii pokrewnych i wspierających
• Rozwojowe rynki zbytu na technologie • Wdrażanie technologii zgłaszanych przez klientów • Dostępność cenowa	• gęstość infrastruktury liniowej • dostępność do infrastruktury punktowej • operatorzy logistyczni	• technologie druku 3D i produkcji addytywnej (zmniejszenie potrzeby przewożenia komponentów i gotowych produktów dzięki lokalnej produkcji addytywnej – obszary zastosowania: przemysł lotniczy, motoryzacyjny,	• internet rzeczy (IoT) i systemy telematyczne • cyfrowe bliźniaki • robotyzacja technologii • zaawansowane systemy AI

⁵⁷ https://www.pgksa.pl/04_aktualnosci/rok_2020/AKT_0585/prezentacja.pdf

Atrakcyjność popytowa technologii	Atrakcyjność podażowa technologii	Konkurencyjność technologii	Rozwój sektorów/technologii pokrewnych i wspierających
i cyfrowa technologii dla mieszkańców	- dostępność do suprastruktury - zintegrowane systemy logistyczne regionu - kapitał społeczny - potencjał B + R	- medyczny) - gospodarka obiegu zamkniętego (GOZ) i technologie recyklingu (zmniejszenie zapotrzebowania na transport surowców i odpadów przez recykling lokalny oraz ponowne wykorzystanie materiałów w regionie) - rozwój e-commerce w modelu zdecentralizowanym (oparte na lokalnych centrach mikrodystrybucji, np. dark stores) - rozwój energii odnawialnej i lokalnych mikrosieci energetycznych (możliwość wytwarzania i magazynowania energii na miejscu redukuje konieczność transportu paliw i surowców energetycznych) - autonomiczne roboty produkcyjne i systemy automatyki przemysłowej - technologie blockchain i inteligentne kontrakty (możliwość cyfrowego zarządzania łańcuchem dostaw bez fizycznego przemieszczania dokumentacji i towarów między pośrednikami) - technologie lokalnej produkcji żywności (agrotechnologie)	- napędy elektryczne i wodorowe - dynamiczne zarządzanie pracą - nowoczesne materiały i opakowania inteligentne - inteligentne systemy gospodarki odpadami



Rys. 7.5. Ocena potencjału konkurencyjnego dla obszaru technologicznego transportu i logistyki

Analiza konkurencyjności technologicznej woj. śląskiego w obszarze transportu i logistyki, przeprowadzona z wykorzystaniem diamentu Portera oraz metody EMERALD, pozwoliła na identyfikację kluczowych determinant wpływających na pozycję regionu. W zakresie atrakcyjności popytowej technologii zaobserwowano wysokie zapotrzebowanie na innowacyjne rozwiązania transportowe i logistyczne wynikające z korzystnego położenia geograficznego oraz rozwiniętej infrastruktury transportowej i przemysłowej. Rosnąca rola sektora e-commerce oraz intensyfikacja wymagań dotyczących efektywności transportu stwarzają konieczność implementacji zaawansowanych technologii, automatyzacji procesów magazynowych i wdrażania ekologicznych form transportu. Determinantą atrakcyjności podażowej technologii w regionie pozostaje dostępność zaplecza badawczo-rozwojowego oraz współpraca uczelni wyższych i instytutów badawczych z przedsiębiorstwami, co skutecznie sprzyja wdrażaniu innowacyjnych rozwiązań w transporcie i logistyce. Mimo obecności kluczowych podmiotów sektora usług logistycznych, istotnym ograniczeniem jest niedobór wykwalifikowanych specjalistów oraz wysokie koszty wdrażania

nowoczesnych technologii. Możliwość pozyskania środków finansowych na rozwój technologii związanych z zieloną transformacją transportową stanowi również znaczącą przewagę strategiczną regionu, podkreślając jego potencjał w zakresie innowacyjnego podejścia do rozwoju branży transportowo-logistycznej. Analiza konkurencyjności technologii wykazała znaczący potencjał rozwojowy w obszarze automatyzacji procesów logistycznych, inteligentnych systemów transportowych oraz elektromobilności. W porównaniu do innych regionów Polski i Europy, woj. śląskie dysponuje konkurencyjną infrastrukturą logistyczną, jednak w celu dalszego umacniania jego pozycji niezbędne są inwestycje w cyfryzację oraz wdrażanie rozwiązań zrównoważonego transportu. Wysokie bariery wejścia dla nowych podmiotów w sektorze transportowym ograniczają dynamikę rozwoju innowacyjnych rozwiązań, co wymaga podjęcia działań związanych m.in.: ze wsparciem finansowym dla start-upów transportowych, uproszczeniem postępowań administracyjnych, inwestowaniem w edukację i rozwój kompetencji oraz tworzeniem infrastruktury wspierającej nowoczesne technologie transportowe w regionie. Rozwój sektorów pokrewnych oraz technologii wspierających ma istotny wpływ na konkurencyjność regionu. Silnie rozwinięta baza przemysłowa i produkcyjna stwarza dogodne warunki dla innowacji w logistyce i transporcie. Integracja technologii Przemysłu 4.0, w tym internetu rzeczy, analizy big data oraz sztucznej inteligencji, stanowią kluczowy kierunek modernizacji sektora. Rosnące zainteresowanie zielonymi technologiami transportowymi, w tym elektromobilnością oraz wykorzystaniem wodoru jako nośnika energii, wymaga intensyfikacji działań na rzecz rozwoju odpowiedniej infrastruktury oraz wsparcia badań w zakresie wzmacniania obszaru transportu i logistyki.

Rekomendacje dotyczące pozycjonowania woj. śląskiego na rynku technologicznym wskazują na konieczność wzmacniania współpracy międzysektorowej, co pozwoli na bardziej efektywny transfer technologii oraz na szybszą komercjalizację innowacji. Inwestowanie w technologie cyfrowe i automatyzację powinno stanowić priorytet, a rozwój inteligentnych systemów transportowych oraz cyfryzacja procesów logistycznych są kluczowymi determinantami wzrostu konkurencyjności. Istotnym aspektem pozostaje też rozwój kompetencji kadr przez wdrażanie specjalistycznych programów edukacyjnych i szkoleniowych dostosowanych do wymagań nowoczesnych technologii transportowych. Wsparcie ekologicznych rozwiązań transportowych, w tym szczególnie rozwoju transportu intermodalnego, rozwój infrastruktury dla pojazdów elektrycznych i wodorowych oraz zwiększenie dostępności funduszy ze środków unijnych i krajowych, są czynnikami warunkującymi dalszy rozwój technologiczny regionu. Promowanie woj. śląskiego jako centrum innowacji logistycznych przez budowanie silnej marki technologicznej może przyczynić się do przyciągnięcia inwestorów oraz wzrostu potencjału innowacyjnego regionu. Konsekwentna realizacja tych działań umożliwi umocnienie woj. śląskiego na pozycji lidera w zakresie wprowadzania nowoczesnych technologii transportowych i logistycznych, co uczyni go konkurencyjnym na arenie krajowej i międzynarodowej.

7.2. Uwarunkowania rozwoju obszaru technologicznego – analiza PESTEL

Tabela 7.16. Analiza PESTEL dla obszaru technologicznego transport i logistyka

Obszar analizy	Nazwa czynnika	Charakter czynnika
Polityczny	• znaczenie transportu w dokumentach strategicznych	+
	• sytuacja geopolityczna	–
	• stabilność polityki państwa	0
	• integracja europejska	0
Ekonomiczny	• cykl koniunkturalny	–
	• poziom bezrobocia	–
	• inflacja	0
	• dostępność do źródeł finansowania	+
	• poziom opodatkowania	–
	• poziom wsparcia finansowego	+
	• koszty pracy	–
	• koszty energii	–
Społeczny	• starzenie się społeczeństwa	–
	• gęstość zaludnienia w miastach	–

Obszar analizy	Nazwa czynnika	Charakter czynnika
	• migracje	—
	• konsumpcyjny styl życia	+
	• mobilność społeczna	+
	• trendy zakupowe	+
	• poziom wykształcenia	+
	• poziom wynagrodzeń	+
Technologiczny	• rozwój technologii cyfrowych	+
	• poziom współpracy z jednostkami B + R	+
	• rozwój ekoinnowacji	+
	• transfer wiedzy	—
	• rozwój automatyzacji i robotyzacji	+
Środowiskowy	• świadomość środowiskowa społeczeństwa	—
	• społeczna odpowiedzialność biznesu	+
	• zagrożenia naturalne	—
	• świadomość kosztów zewnętrznych transportu i logistyki	+
	• zróżnicowanie środowiska geograficznego	0
Prawny	• regulacje w zakresie prawa budowlanego	0
	• regulacje prawne w zakresie ochrony środowiska	+
	• regulacje w zakresie ograniczeń transportu ostatniej mili	+
	• strefy czystego transportu	+
	• regulacje prawne w zakresie transparentności	+
	• regulacje w zakresie bezpieczeństwa publicznego	+
	• regulacje dotyczące zamówień publicznych	—

7.3. Ocena obszaru technologicznego – analiza SWOT

Tabela 7.17. Czynniki SWOT dla obszaru technologicznego transport i logistyka

Silne strony		Słabe strony	
S1	Duża gęstość infrastruktury liniowej	W1	Niedostateczne współdziałanie interesariuszy
S2	Duża dostępność do infrastruktury punktowej	W2	Słaba transparentność technologii
S3	Duże zróżnicowanie środków transportu	W3	Niska dostępność finansowa technologii logistycznych dla przemysłu
S4	Duży potencjał B + R	W4	Niski poziom innowacyjności branży TSL
S5	Duża liczba uczelni wyższych, w tym uczelnia badawcza w regionie	W5	Niska jakość infrastruktury kolejowej
S6	Wysoka dostępność różnych gałęzi transportu	W6	Brak wykorzystania potencjału portu śródlądowego
S7	Silna integracja systemu logistycznego regionu	W7	Odpływ specjalistów z branży transportowo-logistycznej
Szanse		Zagrożenia	
O1	Wzrastające znaczenie zrównoważonego transportu w dokumentach strategicznych	T1	Kryzys ekonomiczny
O2	Wysoki poziom popytu na technologie logistyczne ze względu na silne uprzemysłowienie regionu	T2	Niekorzystna podaż na rynku pracy
O3	Dostępność źródeł finansowania	T3	Wysokie podatki i opłaty
O4	Konsumpcyjny styl życia	T4	Koszty pracy
O5	Trendy zakupowe (e-commerce)	T5	Koszty energii
O6	Rozwój technologii cyfrowych, automatyzacji i robotyzacji	T6	Starzenie się społeczeństwa
O7	Świadomość wysokiego poziomu kosztów zewnętrznych transportu i logistyki	T7	Malejąca gęstość zaludnienia w miastach Śląska
—	—	T8	Niska świadomość środowiskowa społeczeństwa

7.4. Podsumowanie analizy SWOT

Tabela 7.18. Identyfikacja wyzwań i działań

Wyzwanie	Odpowiedź	Propozycja działań
Zielona transformacja	S1, S4 W3	• edukacja społeczeństwa i biznesu
	O1–O3, O7 T1, T2, T5, T8	• wsparcie finansowe i organizacyjne • wykorzystanie technologii OZE

Wyzwanie	Odpowiedź	Proponycja działań
Zniwelowanie luk kompetencyjnych	S5	
	W7	• kształcenie zawodowe
	O2, O3 T2, T4, T8	• zwiększenie finansowania projektów edukacyjnych
Cyfrowa transformacja	S4, S6	
	W2, W3	• rozwijanie kompetencji cyfrowych
	O2, O3, O5, O6 T1, T4	• zwiększenie nakładów finansowych
Obniżenie energochłonności	S6, S7	• wykorzystanie technologii OZE
	O2, O3	• współpraca regionalna
	T1, T3, T5	• wykorzystanie giełd energii
Rozwój zrównoważonego transportu	S1, S2, S3, S4, S6, S7	• rozwój infrastruktury ekologicznych gałęzi transportu
	W1, W3–W7	• budowa systemów wsparcia i zachęt do korzystania z ekologicznych gałęzi transportu
	O1–O5, O7	
	T2, T6–T8	
Pobudzenie innowacyjności branży TSL	S4, S5, S7	
	W1, W3, W4, W7	• rozwój współpracy między różnymi interesariuszami
	O2, O3, O5	• programy wsparcia organizacyjnego i finansowego
	T1, T3	

Literatura

- Balicka H. (2023): Internet rzeczy i modele uczenia głębokiego, w zrównoważonym rozwoju inteligentnych miast. *Współczesna Gospodarka*, T. 16(1), 27-43.
- Baraniewicz-Kotasińska S. (2017): Smart city. Ujęcie nowych technologii w koncepcji inteligentnego miasta. *Nowoczesne Systemy Zarządzania*, T. 12(3), 29-40.
- Bednarz P., Popiel J. (2018): Roboty AGV w intralogistyce – teraźniejszość i wyzwania na przyszłość. *Ekonomika i Organizacja Logistyki*, T. 3(4), 5-15.
- Bellandi M., Monti A., Scerbo M., Colomer J. V., Colomer O., Fiore M. (2014): Polis – the experience of the Tuscan innovation cluster in the field of sustainable mobility. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, Vol. 162, 398-407.
- Blicharz J. (2023): Inteligentne miasta i sztuczna inteligencja. Wrocław, Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego.
- Bodnar E., Panasewicz K., Szpilko D. (2023): Technologie wykorzystywane w gospodarce odpadami komunalnymi w smart city. *Akademia Zarządzania*, T. 7(2), 113-142.
- Bul R. (2017): Węzły przesiadkowe jako główny element zintegrowanego systemu transportu publicznego w aglomeracji poznańskiej. *Transport Miejski i Regionalny*, nr 9, s. 11-19.
- Chen C., Pan S. (2015): Using the crowd of taxis to last mile delivery in e-commerce: a methodological research. W: T. Borangiu (Red.), *Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing* (s. 61-70). Berlin, Springer.
- Cichosz M. (2015): Innowacje w logistyce miejskiej – zrównoważony transport publiczny. W: J. Witkowski, A. Skowrońska (Red.), *Ekonomiczne, społeczne i środowiskowe uwarunkowania logistyki. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu* (nr 383, s. 26-39). Wrocław, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu.
- Dembińska I., Frankowska M., Malinowska M., Tundys B. (2018): *Smart logistics*. Kraków, Edu-Libri.
- Dohn K., Kramarz M., Przybylska E. (2020): Luki i aspekty logistyczne w strategiach polskich miast. W: I. Jonek-Kowalska, J. Kaźmierczak (Red.), *Inteligentny rozwój inteligentnych miast* (s. 55-72). Warszawa, CeDeWu.
- Gawlikowska-Hueckel K., Umiński S. (2000): *Ocena konkurencyjności województw*. Gdańsk, Instytut Badań nad Gospodarką Rynkową.
- Grabowy M., Wielgosz A. (2018): Nowoczesne rozwiązania stosowane w automatycznych magazynach. *Ekonomika i Organizacja Logistyki*, T. 3(2), 35-46.
- Grad B., Ferensztajn-Galardos E., Krajewska R. (2013): Innowacyjne rozwiązania w miejskim transporcie zbiorowym na przykładzie Radomia. *Transport Miejski i Regionalny*, nr 3, 13-18.
- Grzeszak J. (2022): Branża TSL w obliczu autonomizacji i wojny. *Policy Paper* (nr 4). Warszawa, Polski Instytut Ekonomiczny.

- Heitz A., Beziat A. (2016): The Parcel Industry in the Spatial Organization of Logistics Activities in the Paris Region: Inherited Spatial Patterns and Innovations in Urban Logistics System. *Transportation Research Procedia*, Vol. 12, 812-824.
- Iwan S., Allesch J., Celebi D., Kijewska K., Hoé M., Klauenberg J., Zajicek J. (2018): Electric mobility in European urban freight and logistics – status and attempts of improvement. *Transportation Research Procedia*, Vol. 39, 112-123.
- Jardzioch A. (2020): Zastosowanie robotyki w magazynach. W: J. Brzeziński, A. Rudnicka (Red.), *Nowoczesne trendy w logistyce i zarządzaniu łańcuchem dostaw* (s. 33-41). Łódź, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego.
- Jaroszyński J. W., Chłód M. (2015): Koncepcje logistyki miejskiej w aspekcie zrównoważonego rozwoju. *Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach*, nr 249, 164-171.
- Jąderko K., Stępień M., Białecka B. (2016): Wyzwania w projektowaniu innowacyjnych systemów IT w gospodarce odpadami komunalnymi. W: A. Gembalska-Kwiecień (Red.), *Metody i narzędzia inżynierii produkcji dla rozwoju inteligentnych specjalizacji* (z. 4, s. 43-56). Gliwice, PA Nova.
- Kauf S. (2012): Logistyka miasta a technologie smart. *Studia Miejskie*, T. 6, 21-30.
- Kauf S. (2016): Współczesne wyzwania dla logistyki miasta – kształtowanie nowych struktur przestrzennych w dostawach towarów. *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Zarządzanie*, T. 1(24), 128-139.
- Kiba-Janiak M. (2012): Wybrane rozwiązania w logistyce miejskiej na rzecz poprawy jakości życia mieszkańców. *Studia Miejskie*, T. 6, 41-50.
- Krugman P. R. (1995): *Development Geography, and Economic Theory (Ohlin Lectures)*. Cambridge, London, MIT Press.
- Lewicki A. (2018): Technologie inteligentnego zarządzania gospodarką odpadami wykorzystujące architekturę Internetu rzeczy. W: A. Białowiec (Red.), *Innowacje w gospodarce odpadami* (s. 141-155). Wrocław, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.
- Mardeusz E. (2021): Ekologiczne rozwiązania w magazynach. *Journal of TransLogistics*, Vol. 7(1), 9-18.
- Marques P., Manfroí D., Deitos E., Cegoni J., Castilhos R., Rochol J., Pignaton E., Kunst R. (2019): An IoT-based smart cities infrastructure architecture applied to a waste management scenario. *Ad Hoc Networks*, Vol. 87, 200-208.
- Montwiłł A., Pietrzak O., Pietrzak K. (2021): The role of Integrated Logistics Centers (ILCs) in modelling the flows of goods in urban areas based on the example of Italy. *Sustainable Cities and Society*, Vol. 69, 102851.
- Müller S., Rudolph C., Janke C. (2019): Drones for last mile logistics: Baloney or part of the solution? *Transportation Research Procedia*, Vol. 41, 73-87.
- Nathnail E., Gogas M., Adamos G. (2016): Urban freight terminals: A sustainability cross-case: Analysis. *Transportation Research Procedia*, Vol. 16, 394-402.
- Pan S., Chen C., Zhong R. Y. (2015): A crowdsourcing solution to collect e-commerce reverse flows in metropolitan areas, *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 48(3), 1984-1989.
- Porter M. E. (1998): *The Competitive Advantage of Nations*. London, Macmillan Business.
- Rot A. (2017): Zastosowanie koncepcji Internetu rzeczy w kontekście inteligentnego miasta. Wybrane zagadnienia bezpieczeństwa. *Problemy Zarządzania*, nr 4(71), 41-53.
- Rusek D., Pniewski R. (2016): Nowoczesne technologie IT stosowane w logistyce. *Autobusy*, nr 12, 1654-1657.
- Rusek D., Pniewski R. (2017): Systemy logistyczne – wykorzystanie rozszerzonej rzeczywistości. *Autobusy*, nr 12, 1573-1577.
- Sasson A., Reve T. (2012): Competitiveness as industrial attractiveness: Operationalizing the emerald model. *Microeconomics of Competitiveness Research Workshop*, 10th December, 2012. Boston, MA, Harvard Business School.
- Serafini S., Nigro M., Gatta V., Marcucci E. (2018): Sustainable crowdshipping using public transport: a case study evaluation in Rome. *Transportation Research Procedia*, Vol. 30, 101-110.
- Stawasz D. (2015): Koncepcja Smart City a innowacyjne podejście do zarządzania sprawami publicznymi w mieście. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Ekonomiczne Problemy Usług*, nr 121, 237-253.
- Strojna N., Zalecka K., Ryciuk U. (2022): Współdzielona mikromobilność w transporcie miejskim. *Akademia Zarządzania*, T. 6(3), 363-385.
- Surma A. (2020): Roboty mobilne AGV w procesach kompletacji towarów. *Journal of Translogistics*, Vol. 6(1), 221-231.

- Szołtysek J. (2016): Ekonomia współdzielenia a logistyka miasta – rozważania o związkach. *Gospodarka Materiałowa i Logistyka*, nr 11, 2-9.
- Szum K. (2021): IoT-based smart cities: A bibliometric analysis and literature revive. *Engineering Management in Production and Services*, Vol. 13(2), 115-136.
- Taniguchi E., Thompson R. G., Qureshi A. G. (2020): Modelling city logistics using recent innovative technologies. *Transportation Research Procedia*, Vol. 46, 3-12.
- Taniguchi E., Thompson R. G., Yamada T. (2014): Recent Trends and Innovations in Modelling City Logistics. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, Vol. 125, 4-14.
- Tomaszewska E. J. (2022): Korzyści wdrożenia inteligentnego systemu transportowego w mieście. *Akademia Zarządzania*, T. 6(3), 333-362.
- Vural C., Aktepe C. (2021): Why do some sustainable urban logistics innovations fail? The case of collection and delivery points. *Research in Transportation Business & Management*, Vol. 45(Part A), 100690.
- Wojewódzka-Król K., Rolbiecki R. (2018): *Infrastruktura transportu*. Warszawa, PWN.
- Wróbel A., Zbadyński M. (2018): Efektywność wybranych metod kompletacji na podstawie systemów firmy Luca Logistics Solution. *Journal of TransLogistics*, Vol. 4(1), 175-186.

Dokumenty strategiczne

- Biała Księga (2011): Biała Księga. Plan utworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu – dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu. KOM(2011) 144, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/ALL/?uri=celex:52011DC0144> (dostęp: 27.01.2025).
- Inteligentne Śląskie (2021): Regionalna Strategia Innowacji Województwa Śląskiego 2030 – Inteligentne Śląskie, <https://scp-slask.pl/dokument/ris> (dostęp: 27.01.2025).
- KPEiK (2019): Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021-2030. Warszawa, Ministerstwo Aktywów Państwowych.
- KSRR (2019): Krajowa Strategia Rozwoju Regionalnego 2030. Warszawa.
- PEP2030 (2019): Polityka ekologiczna państwa 2030. Warszawa, Ministerstwo Środowiska.
- PEP2040 (2021): Polityka Energetyczna Polski do 2040 roku (projekt). Warszawa, Ministerstwo Klimatu i Środowiska.
- Plan (2013): Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 z perspektywą do roku 2030. Warszawa, Ministerstwo Środowiska.
- Polityka (2020): Polityka gospodarki niskoemisyjnej dla województwa śląskiego. Regionalna polityka energetyczna do roku 2030. Katowice, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego, <https://www.slaskie.pl/content/polityka-gospodarki-niskoemisyjnej-dla-wojewodztwa-slaskiego-regionalna-polityka-energetyczna-do-roku-2030-wraz-z-podsumowaniem-i-uzasadnieniem?> (dostęp: 26.01.2025).
- Polityka (2022): Polityka rozwoju gospodarczego Województwa Śląskiego 2030. Katowice, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego.
- PPP (2021): Polityka Przemysłowa Polski. Warszawa, Ministerstwo Rozwoju, Pracy i Technologii, <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologia/wicepremier-jaroslaw-gowin-przedstawil-polityke-przemyslowa-polski> (dostęp: 26.01.2025).
- PRT (2019): Program Rozwoju Technologii Województwa Śląskiego na lata 2019-2030, <https://ris.slaskie.pl/pl/dokumenty/program-rozwoju-technologii-wojewodztwa-slaskiego-na-lata-2019--2030.html> (dostęp: 26.01.2025).
- RPT (2024): Regionalny Plan Transportowy dla Województwa Śląskiego. Katowice, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego.
- Strategia (2017): Strategia na Rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030 r.). Warszawa.
- Strategia (2019): Strategia Zrównoważonego Rozwoju Transportu do 2030 roku, <https://www.gov.pl/web/infrastruktura/projekt-strategii-zrownowazonego-rozwoju-transportu-do-2030-roku2> (dostęp: 26.01.2025).
- Strategia (2020): Strategia Rozwoju Województwa Śląskiego „Śląskie 2030” – Zielone Śląskie. Katowice, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego.

Raporty i opracowania

- Colliers (2021–2024): Polska. Raporty roczne: Rynek magazynowy, <https://www.colliers.com/pl-pl> (dostęp: 26.01.2025).

Gartner (2024): Gartner's Top 10 Strategic Technology Trends, <https://www.talkspirit.com/blog/technology-trends-2024-gartner> (dostęp: 15.01.2025).

GUS (2023): Działalność innowacyjna przedsiębiorstw w latach 2020–2022. Szczecin, Główny Urząd Statystyczny.

GUS (2024): Kwartalna informacja o podmiotach gospodarki narodowej w rejestrze REGON rok 2023. Główny Urząd Statystyczny, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/podmioty-gospodarcze-wyniki-finansowe/zmiany-strukturalne-grup-podmiotow/kwartalna-informacja-o-podmiotach-gospodarki-narodowej-w-rejestrze-regon-rok-2023,7,13.html> (dostęp: 15.01.2025).

GUS (2025): Korzystanie z transportu publicznego przez gospodarstwa domowe (wyniki modułu badania modułowego EU-SILC 2024). Główny Urząd Statystyczny, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/warunki-zycia/dochody-wydatki-i-warunki-zycia-ludnosci/korzystanie-z-transportu-publicznego-przez-gospodarstwa-domowe-wyniki-modulu-badania-eu-silc-2024,37,1.html> (dostęp: 26.01.2025).

GUS-BDL (2020–2024): Transport – wyniki działalności. Bank Danych Lokalnych. Szczecin, Główny Urząd Statystyczny, <https://bdl.stat.gov.pl> (dostęp: 15.01.2025).

Raport (2024a): Raport o stanie województwa za 2023 rok. Załącznik do Uchwały Zarządu Województwa Śląskiego nr 1015/502/VI/2024 z dnia 29.04.2024 r. Katowice, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego.

Raport (2024b): Raport Województwo Śląskie w liczbach 2024. Katowice, Urząd Statystyczny.

Raport (2024c): Raport monitoringowy opracowany przez: Referat Regionalne Centrum Analiz i Planowania Strategicznego (RCAS) Departament Rozwoju i Transformacji Regionu. Katowice, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego, <https://rops-katowice.pl/wp-content/uploads/2025/06/RPDI-raport-monitoringowy-za-2024-rok.pdf> (dostęp 15.01.2025).

Publikacje internetowe

Airport (2023): Program inwestycyjny Katowice Airport 2024–2032, <https://blog.katowice-airport.com/program-inwestycyjny-katowice-airport-2024-2028/> (dostęp: 28.01.2025).

McKinsey (2023): Digital logistics: Technology race gathers momentum, <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/digital-logistics-technology-race-gathers-momentum#/> (dostęp: 12.01.2025).

Envio Group (2024): Sztuczna inteligencja w TSL: Rewolucja w transporcie i logistyce, <https://enviogroup.com/sztuczna-inteligencja-w-tsl-rewolucja-w-transporcie-i-logistyce/> (dostęp: 14.01.2025).

Mecalux (2021): Drony w logistyce – fantastyka czy rzeczywistość?, <https://www.mecalux.pl/blog/drony-logistyka> (dostęp: 22.01.2025).

Mecalux (2022): 8 sposobów jak uzyskać zielony magazyn, <https://www.mecalux.pl/blog/zielony-magazyn> (dostęp: 22.01.2025).

PIG-PIB (2025): Surowce Mineralne Polski. Państwowy Instytut Geologiczny Państwowy Instytut Badawczy, http://geoportal.pgi.gov.pl/surowce/energetyczne/wegiel_kamienny (dostęp: 26.01.2025).

Platforma Przemysłu Przyszłości (2025): Autonomiczne pojazdy i ich wpływ na społeczeństwo, <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/autonomiczne-pojazdy-i-ich-wplyw-na-spoleszenstwo/> (dostęp: 14.01.2025).

UTK (2025): Urząd Transportu Kolejowego, <https://dane.utk.gov.pl/sts/transport-intermodalny/opis-terminali> (dostęp: 26.01.2025).

Załącznik 7.2. Lista realizowanych projektów z zakresu transportu i logistyki

Uczelnie i jednostki badawcze

Lp.	Numer projektu	Tytuł	Okres realizacji	Podmioty realizujące
1	GOSPOSTRATEG-V/0005/2021	Analiza skali wykluczenia komunikacyjnego na obszarze Polski wraz z rekomendacjami zmian legislacyjnych w kontekście publicznego transportu zbiorowego	2.11.2021–30.04.2025	Politechnika Poznańska (lider), Politechnika Śląska, Politechnika Gdańska, Politechnika Warszawska
2	SKN/SP/569399/2023	Nowoczesny układ napędowy 4WD elektrycznego pojazdu wyścigowego z systemem odzyskiwania energii	19.05.2023–19.05.2024	Politechnika Śląska
3	BRIK2/0011/2022	System Ostrzegania o Pojeździe Kolejowym	1.01.2023–31.12.2025	Politechnika Śląska, KSK Developments Sp. z o.o., DR-Tech Sp. z o.o.

Lp.	Numer projektu	Tytuł	Okres realizacji	Podmioty realizujące
4	DUT/2022/93/SUMODO/2023	Zrównoważony rozwój mobilności miejskiej na obrzeżach	1.10.2023–30.09.2026	Politechnika Śląska, Miasto Katowice, Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach
5	UMO-2023/49/B/HS4/03969	Wyjaśnianie mechanizmu zrównoważonej cyfryzacji dla zrównoważonej Polski	12.01.2024–11.01.2027	Politechnika Śląska
6	DWD/4/36/2020	Innowacyjny system zapewnienia bezpieczeństwa środków technicznych wykorzystywanych w infrastrukturze krytycznej transportu kolejowego Polski (doktorat wdrożeniowy)	23.11.2020–31.10.2025	Akademia WSB
7	DWD/4/36/2020	Opracowanie i wdrożenie modelu innowacyjnego systemu zapewnienia bezpieczeństwa przewozów pasażerskich z wykorzystaniem transportu kolejowego Polski (doktorat wdrożeniowy)	23.11.2020–31.10.2025	Akademia WSB
8	GOSPOSTRATEG9/000X/2022	System automatycznego ważenia pojazdów w ruchu	1.01.2023–30.06.2026	Politechnika Częstochowska, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Ministerstwo Infrastruktury, Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki
9	2019/35/B/HS4/00056	Kształtowanie emergencji łańcucha dostaw za pomocą technologii Blockchain. Implikacje dla renty sieciowej w przechodnich triadach sfery usług	9.07.2020–8.07.2025	Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach
10	2022/45/N/HS4/01889	Zaufanie rzeczywistych i potencjalnych klientów z pokoleń X, Y, Z do systemów konwersacyjnych w sektorach e-commerce i usług konsumpcyjnych	1.02.2023–31.01.2025	Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach
11	1/Ł-KOMEL/CŁ/2021	Specjalistyczne stacje obliczeniowe dedykowane do projektowania i symulacji pracy napędów samochodów elektrycznych (PI)_4WHED_PL_KOMEL – 4WHED PL	1.06.2021–31.12.2021	Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL
12	2/Ł-KOMEL/CŁ/2020	Centrum prototypowania, badań i wdrożeń zaawansowanych napędów i maszyn elektrycznych, w tym dla elektromobilności oraz OZE (POLNAPEL)	5.10.2020–30.06.2022	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL
13	2/Ł-KOMEL/CŁ/2021	Polskie rozwiązania napędu elektrycznego w kołach (PB)_4WHED_PL_KOMEL	1.06.2021–31.05.2024	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL
14	Horyzont Europa 101101917	4 Flagowy Projekt Europe's Rail – Zrównoważone i ekologiczne systemy kolejowe	1.12.2022–30.11.2026	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Technik Innowacyjnych EMAG
15	Horyzont Europa 101101973	Europejski Projekt Flagowy w dziedzinie kolejnictwa – zarządzanie mobilnością, środowiskiem multimodalnym i narzędziami cyfrowymi	1.12.2022–30.09.2026	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Technik Innowacyjnych EMAG
16	1/Ł-KOMEL/CŁ/2020	Polska generacja elektrycznych układów napędowych z zastosowaniem do napędów autobusowych, samochodów dostawczych i ciężarowych oraz innych pojazdów użytkowych i przemysłowych: (POLNAPEL)	5.10.2020–31.12.2023	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL
17	Horyzont Europa 101120270	Bezpieczne działanie IoT z kontrolą łańcucha dostaw	1.09.2023–31.08.2026	Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej Polskiej Akademii Nauk
18	NdS-II/SP/0336/2024/01	Zaawansowana optymalizacja w służbie niezawodnego i efektywnego transportu publicznego	3.04.2024–3.04.2026	Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej Polskiej Akademii Nauk

Lp.	Numer projektu	Tytuł	Okres realizacji	Podmioty realizujące
19	POIR.04.01.04-00-0005/17	Dynamiczne środowisko komunikacji bezprzewodowej dla infrastruktury internetu rzeczy inteligentnych miast – Smart City IoT	1.03.2018–29.05.2021	Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej Polskiej Akademii Nauk
20	101101917	4 Flagowy Projekt Europe's Rail – Zrównoważone i ekologiczne systemy kolejowe	1.12.2022–30.11.2026	Alstom Transport SA, Sieć Badawcza Łukasiewicz –Instytut Technik Innowacyjnych EMAG
21	101101973	Europejski Projekt Flagowy w dziedzinie kolejnictwa - zarządzanie mobilnością, środowiskiem multimodalnym i narzędziami cyfrowymi	1.12.2022–30.09.2026	Hacon Ingenieurgesellschaft mbH Sieć Badawcza Łukasiewicz –Instytut Technik Innowacyjnych EMAG
22	POIR.04.01.04-00-0048/20-00	System monitoringu i analizy zdarzeń pozwalający na podniesienie bezpieczeństwa na przejazdach kolejowych kategorii D, a także identyfikujący przestrzeganie przepisów ruchu drogowego	1.09.2020–31.08.2023	Uniwersytet Bielsko-Bialski

Przedsiębiorcy

Lp.	Numer projektu	Tytuł	Okres realizacji	Podmioty realizujące
1	FESL.01.08-IP.01-09C1/24-003	Wdrożenie zaawansowanego narzędzia ICT – innowacyjnego konfiguratora 3D do projektowania zabudów, przyczep i naczep	21.05.2024	Nadwozia-Partner SA
2	FESL.01.08-IP.01-0988/24-003	Innowacyjne centrum intralogistyczne i dystrybucyjne dedykowane dla cyfryzacji i automatyzacji procesów biznesowych – inteligentny regał wydawczy	21.05.2024	Bielska Fabryka Dźwigów Befard Sp. z o.o.
3	FESL.01.08-IP.01-098G/24-003	Wdrożenie innowacyjnych rozwiązań w zakresie e-commerce celem zmiany sposobu świadczenia usług z zastosowaniem wysokospecjalistycznych narzędzi ICT	21.05.2024	Grembox Sp. z o.o.
4	FESL.01.08-IP.01-09C2/24-003	Pełna automatyzacja oraz optymalizacja procesów produkcyjno-magazynowych w przedsiębiorstwie wsparta wykorzystaniem mechanizmów AI	21.05.2024	Rondo 2 Krystyna Scholz
5	FESL.01.08-IP.01-09A1/24-002	Optymalizacja procesów zarządzania produkcją i magazynem w ASD Systems przez wdrożenie nowego systemu z komponentem AI	21.05.2024	ASD SYSTEMS POLSKA Sp. z o.o. Sp. k.

Przemysł maszynowy i motoryzacyjny

Autorzy

Michał Chojkowski*

Jacek Kotra*

Katarzyna Kuboś**

Andrzej Korpak***

Luk Palmen****

* Akcelerator Technologiczny Gliwice ASI Sp. z o.o.

** Park Naukowo-Technologiczny „Technopark Gliwice” Sp. z o.o.

*** Polska Izba Motoryzacji

**** InnoCo Sp. z o.o.



Fundusze Europejskie
dla Śląskiego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Województwo
Śląskie

8.1. Identyfikacja obszarów technologicznych, grup technologicznych i technologii

8.1.1. Opis metodologii

Identyfikacja grup technologicznych oraz technologii, a także cała analiza obszaru technologicznego przemysł maszynowy i motoryzacyjny była realizowana z wykorzystaniem wielu metod i narzędzi. W celu zapewnienia wysokiej jakości i rzetelności wyników zastosowano zasadę triangulacji. Polegała ona na wykorzystaniu danych z kilku źródeł: danych statystycznych, wiedzy eksperckiej pochodzącej z raportów branżowych oraz informacji z przeprowadzonych wywiadów indywidualnych.

W trakcie opracowywania raportu wykonano analizę desk research, obejmującą m.in. zebranie danych statystycznych z: baz danych GUS, baz danych o podmiotach gospodarczych, stron internetowych kluczowych podmiotów działających na rynku oraz raportów branżowych. W analizie wykorzystano także dotychczasowe dokumenty związane z polityką innowacyjną woj. śląskiego, w tym zapisy Regionalnej Strategii Innowacji oraz Programu Rozwoju Technologii.

Analiza desk research pozwoliła na zebranie danych ilościowych i jakościowych, które na dalszym etapie prac były wykorzystywane do:

1. identyfikacji grup technologicznych i technologii,
2. analizy otoczenia konkurencyjnego obszaru technologicznego z wykorzystaniem metody analizy pięciu sił Portera,
3. określenia uwarunkowań rozwoju obszaru technologicznego z wykorzystaniem analizy PESTEL,
4. oceny obszaru technologicznego z wykorzystaniem analizy SWOT.

Zebrane dane zostały zweryfikowane podczas wywiadów oraz konsultacji z ekspertami branżowymi. Indywidualne wywiady przeprowadzono zarówno z pracownikami naukowymi, jak i właścicielami firm działających w branży i zajmujących się konkretnymi obszarami technologicznymi. Umożliwiło to uzyskanie oceny zidentyfikowanych grup technologicznych i technologii pod kątem ich rzeczywistego rozwoju oraz wykorzystywania w regionie. Dane jakościowe uzyskane dzięki wywiadam pozwoliły na dokonanie oceny wyników analizy desk research oraz na weryfikację przeprowadzonej analizy i ocenę obszaru technologicznego.

8.1.2. Zakres obszaru technologicznego

Identyfikacja priorytetowych technologii woj. śląskiego dla obszaru technologicznego przemysł maszynowy i motoryzacja została przeprowadzona na podstawie metodologii opisanej w punkcie 8.1.1. W ramach prac grupy eksperckiej wskazano, że obszar technologiczny powinien zostać zawężony do technologii związanych z przemysłem motoryzacyjnym. Prace pozwoliły na określenie następującej strukturyzacji technologii:

- Poziom 1. Technologie dla przemysłu motoryzacyjnego (obszar technologii).
- Poziom 2. Cztery grupy technologii obejmujących:
 1. Technologie dla alternatywnych napędów pojazdów,
 2. Technologie dla autonomiczności pojazdów,
 3. Technologie produkcji pojazdów i ich komponentów,
 4. Technologie mobilności jutra.
- Poziom 3. Technologie wchodzące w skład poszczególnych grup:

Grupa 1: Technologie dla alternatywnych napędów pojazdów

W skład grupy technologie dla alternatywnych napędów pojazdów wchodzi następujące technologie, systemy i aplikacje:

- technologie układu napędowego: silniki elektryczne, zestawy akumulatorów, elektronika mocy (falowniki, przetwornice), ładowarki pokładowe, sterowniki silników, jednostki napędowe,

- technologie systemów akumulatorowych: ogniwa akumulatorowe, systemy zarządzania akumulatorami (BMS), termiczne akumulatory, systemy zarządzania, moduły akumulatorowe, obudowy pakietów akumulatorowych,
- technologie komponentów do ładowania: porty ładowania, kable do ładowania, szybkie ładowarki DC, bezprzewodowe systemy ładowania, domowe stacje ładowania,
- technologie systemów chłodzenia i ogrzewania: systemy zarządzania ciepłem, pompy chłodziwa, systemy ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji, wymienniki ciepła,
- technologie przekładni: przekładnie jednobiegowe, przekładnie dwubiegowe, mechanizmy różnicowe,
- technologie komponentów wewnętrznych: regulowane fotele z pamięcią, systemy klimatyzacji, oświetlenie wnętrza, zaawansowane systemy audio, systemy rozrywki dla pasażerów,
- technologie elementów zewnętrznych: panele nadwozia ze zintegrowanymi czujnikami, reflektory adaptacyjne, elementy aerodynamiczne, światła sygnalizacyjne i kierunkowskazy, inteligentne lusterka,
- technologie podwozia i zawieszenia: układy zawieszenia, układy kierownicze, układy hamulcowe, osie,
- technologie systemów bezpieczeństwa: poduszki powietrzne, strefy zgniotu, wzmocnione komory pasażera, systemy wykrywania kolizji,
- technologie okablowania i łączność: okablowanie wysokiego napięcia, okablowanie niskiego napięcia, systemy złączy, czujniki,
- technologie związane z oprogramowaniem: oprogramowanie do zarządzania akumulatorem, oprogramowanie do sterowania silnikiem, oprogramowanie do sterowania pojazdem, systemy nawigacji, systemy zdalnej aktualizacji (tzw. over-the-air),
- technologie systemów odzyskiwania energii: systemy hamowania regeneracyjnego, systemy pozyskiwania energii,
- inne: opony ze zintegrowanymi czujnikami, specjalistyczne elementy złączne, materiały izolacyjne, komponenty redukujące hałas.

Grupa 2: Technologie dla autonomiczności pojazdów

W skład grupy technologie dla autonomiczności pojazdów wchodzi następujące technologie, systemy i aplikacje:

- technologie wykrywające: czujniki lidarowe, radarowe, ultradźwiękowe, kamery (widok otoczenia, przód, tył, bok), czujniki podczerwieni,
- technologie jednostek obliczeniowych i przetwarzających: jednostki centralne, jednostki przetwarzania grafiki, akceleratory sieci neuronowych, mikrokontrolery,
- technologie systemów sterowania: autonomiczne jednostki sterujące pojazdami, jednostki sterujące pojazdami, elektroniczne jednostki sterujące, systemy drive-by-wire, steer-by-wire, brake-by-wire,
- oprogramowania i algorytmy: oprogramowanie Sensor Fusion (łączenie danych do pozycjonowania), algorytmy planowania ścieżki, modele uczenia maszynowego, oprogramowanie do rozpoznawania obiektów, oprogramowanie do lokalizacji i mapowania, algorytmy sterowania ruchem,
- technologie systemów komunikacji: systemy komunikacji pojazd-pojazd, systemy komunikacji pojazd-infrastruktura, systemy komunikacji pojazd-otoczenie, moduły 5G,
- interfejsy człowiek-maszyna: wyświetlacze dotykowe, systemy sterowania głosowego, systemy sprzężenia zwrotnego dotykowego, wyświetlacze przeziernie,
- technologie zasilania: zestawy akumulatorów, jednostki dystrybucji zasilania, falowniki i konwertery, systemy zasilania awaryjnego,
- siłowniki i mechanika: siłowniki elektryczne, hydrauliczne, silniki do układu kierowniczego i hamulcowego, adaptacyjne systemy zawieszenia,

- systemy bezpieczeństwa: systemy nadmiarowe dla funkcji krytycznych, mechanizmy zabezpieczające przed awarią, systemy zatrzymania awaryjnego, systemy zapobiegania kolizjom, strefy zgniotu i wzmocnione konstrukcje,
- nawigacja i lokalizacja: globalne systemy pozycjonowania, inercyjne jednostki pomiarowe, mapy o wysokiej rozdzielczości, kinematyczne systemy pozycjonowania w czasie rzeczywistym,
- przechowywanie i zarządzanie danymi: dyski półprzewodnikowe, rejestratory danych, rozwiązania do przechowywania danych w chmurze, urządzenia do przetwarzania brzegowego,
- technologie do testowania i walidacji: oprogramowanie symulacyjne, stanowiska testowe, rzeczywiste środowiska testowe, narzędzia do adnotacji danych,
- technologie komponentów wewnętrznych: regulowane fotele z pamięcią, systemy klimatyzacji, oświetlenie wnętrza, zaawansowane systemy audio, systemy rozrywki dla pasażerów,
- technologie elementów zewnętrznych: panele nadwozia ze zintegrowanymi czujnikami, reflektory adaptacyjne, elementy aerodynamiczne, światła sygnalizacyjne i kierunkowskazy, inteligentne lusterka,
- inne: opony ze zintegrowanymi czujnikami, specjalistyczne elementy złączne, materiały izolacyjne, komponenty redukujące hałas.

Grupa 3: Technologie produkcji pojazdów i ich komponentów

W skład grupy technologii produkcji pojazdów i ich komponentów wchodzi następujące technologie, systemy i aplikacje:

- Technologie produkcji elektroniki dla pojazdów:
 - technologia montażu powierzchniowego, w tym automatyczne umieszczanie i lutowanie komponentów elektronicznych na płytkach obwodów drukowanych,
 - lutowanie na fali i lutowanie rozplływowe, w tym techniki lutowania elementów przewlekanych i montowanych powierzchniowo.
- Technologie produkcji z lekkich materiałów i elementów konstrukcyjnych:
 - produkcja materiałów kompozytowych, w tym układanie i utwardzanie włókna węglowego (układanie prepregów z włókna węglowego, a następnie utwardzanie w autoklawie),
 - formowanie transferowe żywicy (RTM), w tym wtryskiwanie żywicy do formy zawierającej preformę włóknistą.
- Technologie produkcji z aluminium i stali o wysokiej wytrzymałości:
 - tłoczenie blachy, w tym formowanie blach aluminiowych i stalowych o wysokiej wytrzymałości w panele nadwozia i elementy konstrukcyjne,
 - cięcie i spawanie laserowe, w tym precyzyjne cięcie i spawanie w celu tworzenia skomplikowanych konstrukcji.
- Zaawansowane technologie produkcji i montażu:
 - produkcja przyrostowa (druk 3D), w tym prototypowanie komponentów pojazdów i produkcja w małych seriach,
 - produkcja przyrostowa metali, w tym techniki, takie jak: selektywne stapianie laserowe (SLM) do produkcji złożonych części metalowych.
- Robotyka i automatyka:
 - zautomatyzowane linie montażowe, w tym wykorzystanie robotów do zadań, takich jak spawanie, malowanie i montaż w celu zwiększenia precyzji i wydajności,
 - roboty współpracujące (coboty) wykorzystywane przy wykonywaniu powtarzalnych lub niebezpiecznych zadań.
- Technologie kontroli jakości i testowania:
 - badania nieniszczące, w tym testy rentgenowskie i ultradźwiękowe (kontrola struktur wewnętrznych bez uszkodzania komponentów) oraz termografia (wykorzystanie kamer termowizyjnych do wykrywania defektów w elementach elektrycznych),
 - testy środowiskowe i obciążeniowe, w tym komory temperatury i wilgotności (symulowanie ekstremalnych warunków w celu sprawdzenia trwałości komponentów) oraz testowanie wibracji i wstrząsów (upewnianie się, że komponenty wytrzymają naprężenia eksploatacyjne).

- Technologie cyfrowe:
 - projektowanie wspomagane komputerowo, w tym modelowanie i symulacja 3D komponentów przed produkcją,
 - technologia cyfrowego bliźniaka w procesie wirtualnego prototypowania i testowania.

Grupa 4: Technologie mobilności jutra

W skład grupy technologii mobilności jutra wchodzi następujące technologie, systemy i aplikacje:

- Aplikacje mobilne:
 - platformy MaaS (ang. *mobility as a service*), w tym scentralizowane aplikacje, w których użytkownicy mogą planować, rezerwować i płacić za różne środki transportu (transport publiczny, wspólne przejazdy, wynajem rowerów miejskich, wynajem pojazdów w przestrzeni miejskiej),
 - aplikacje do planowania podróży umożliwiające użytkownikom planowanie podróży przy użyciu wielu środków transportu, dostarczające informacji o trasach i harmonogramach w czasie rzeczywistym,
 - systemy ułatwiające wspólne przejazdy użytkownikom podróżującym podobnymi trasami (ang. *car pooling*).
- Systemy płatności:
 - zintegrowane bramki płatnicze, w tym platformy umożliwiające użytkownikom płacenie za różne środki transportu za pomocą jednej metody płatności,
 - portfele cyfrowe i tokeny oparte na technologii blockchain, które ułatwiają płynne, bezgotówkowe transakcje w usługach.
- Łączność pojazdów i IoT:
 - systemy telematyczne, w tym urządzenia i czujniki instalowane w pojazdach, które monitorują wydajność, śledzą lokalizację i komunikują się z platformami MaaS,
 - internet rzeczy, w tym łączność dla pojazdów, systemów rowerów publicznych i infrastruktury, umożliwiającą wymianę danych w czasie rzeczywistym oraz efektywność operacyjną.
- Analityka danych i sztuczna inteligencja:
 - analityka predykcyjna, w tym narzędzia analizujące dane historyczne i w czasie rzeczywistym w celu przewidywania popytu, optymalizacji tras i zarządzania flotą pojazdów,
 - sztuczna inteligencja i uczenie maszynowe, w tym algorytmy poprawiające wygodę użytkownika, takie jak rekomendowanie spersonalizowanych tras podróży lub optymalizacja przepływu ruchu,
 - agregowanie i analizowanie dużych zbiorów danych z różnych usług mobilnych w celu optymalizacji planowania i podejmowania decyzji,
 - chatboty i wirtualni asystenci, czyli programy oparte na sztucznej inteligencji, które pomagają użytkownikom w planowaniu podróży, rezerwacji i odpowiadaniu na pytania.
- Pojazdy autonomiczne zintegrowane z platformami MaaS:
 - platformy transportu pasażerskiego i wspólnego korzystania z samochodów, w tym platformy umożliwiające rezerwację i płacenie za przejazdy na żądanie,
 - usługi wspólnego korzystania z samochodów, w tym systemy umożliwiające użytkownikom wynajmowanie samochodów na krótki okres, zintegrowane z MaaS w celu zapewnienia bardziej elastycznych opcji podróżowania.
- Systemowe rozwiązania ładowania pojazdów elektrycznych i wodorowych:
 - sieć stacji ładowania i aplikacje mobilnych umożliwiających lokalizację zasobów ładowania pojazdów elektrycznych i wodorowych oraz zarządzanie nimi,
 - infrastruktura ładowania pojazdów współdzielonych, zintegrowana z MaaS w celu zapewnienia łatwości dostępu.
- Zarządzanie ruchem i inteligentna infrastruktura:
 - inteligentne systemy zarządzania ruchem, które optymalizują trasę dla użytkowników MaaS w oparciu o dane dotyczące ruchu w czasie rzeczywistym,
 - czujniki i systemy w infrastrukturze miejskiej (drogi, sygnalizacja świetlna, parkingi), które komunikują się z pojazdami w celu poprawy ogólnej wydajności.

- Technologie geoprzestrzenne:
 - GPS i usługi oparte na lokalizacji, w tym nawigacja w czasie rzeczywistym i śledzenie lokalizacji dla usług transportowych,
 - mapowanie i optymalizacja tras, w tym narzędzia zapewniające dokładne mapy, wskazujące najlepsze trasy i umożliwiające integrację różnych rodzajów transportu.
- Sieci komunikacyjne:
 - szybka komunikacja bezprzewodowa o niskim opóźnieniu (5G), która obsługuje przesyłanie danych w czasie rzeczywistym dla połączonych pojazdów, aplikacji i infrastruktury,
 - komunikacja V2X (ang. *vehicle-to-everything*), w tym systemy umożliwiające komunikację między pojazdami, infrastrukturą, pieszymi i sieciami w celu zwiększenia ich bezpieczeństwa i wydajności.
- Technologie blockchain w mobilności:
 - zdecentralizowane transakcje, w których blockchain zapewnia bezpieczne, przejrzyste i odporne na manipulację zarządzanie transakcjami na platformach MaaS,
 - inteligentny proces zawierania umów, w tym automatyczne umowy między użytkownikami, usługodawcami i operatorami pojazdów, zapewniające płynne świadczenie usług i płatności.

8.1.3. Analiza konkurencyjności obszaru technologicznego

8.1.3.1. Opis przyjętych metod

Analiza konkurencyjności obszaru technologicznego została przygotowana w oparciu o metodę pięciu sił Portera. Została ona wykorzystana do oceny konkurencyjności rynku i identyfikacji kluczowych czynników wpływających na rozwój technologii w sektorze. Analiza, w związku z charakterystyką branży motoryzacyjnej, została opracowana z perspektywy całego obszaru technologicznego – nie tylko grup technologicznych czy pojedynczych technologii.

W analizie uwzględniono:

- uwarunkowania popytu na technologie,
- możliwość pojawienia się nowych technologii,
- możliwość pojawienia się substytutów dla rozwijanych technologii,
- zależności i łańcuchy wartości w ramach obszaru technologii,
- intensywność konkurencji w branży.

Wyniki analizy pokażą, czy woj. śląskie, w tym działające tam podmioty, stanowi obecnie konkurencję dla innych regionów Europy i świata i jakie są potencjalne możliwości z tym związane.

W analizie wzięto pod uwagę dane statystyczne i informacje pochodzące z raportów branżowych oraz opracowywanych przez GUS.

8.1.3.2. Analiza warunków popytu na technologie w ramach obszaru technologicznego

Uwarunkowania popytu na technologie opracowywane i wdrażane w branży motoryzacyjnej woj. śląskiego są ściśle powiązane z globalnymi trendami, jakie występują w sektorze oraz zmieniającymi się uwarunkowaniami i regulacjami prawnymi Unii Europejskiej.

Trendy wpływające na obszar technologiczny

Do trendów o wymiarze globalnym, które mają istotne znaczenie dla branży motoryzacyjnej można zaliczyć te, które wywierają wpływ na wszystkie dziedziny współczesnego życia społecznego i gospodarczego. Wśród nich znajdują się: globalizacja, czwarta rewolucja przemysłowa, zmiany klimatu oraz starzenie się społeczeństw.

Globalizacja oznacza silną współzależność gospodarek nie tylko poszczególnych państw czy regionów, ale także gospodarek kontynentalnych.

Czwarta rewolucja przemysłowa wpływa znacząco na postęp technologiczny i cyfryzację wszystkich dziedzin życia, silnie oddziałuje na rynek pracy i zmiany w kontekście kluczowych umiejętności oraz kompetencji pracowników.

Zmiany klimatu wpływają znacząco na podejście do zrównoważonego i odpowiedzialnego rozwoju, tworząc nowe uwarunkowania prawne – w szczególności w obszarze emisji CO₂, gospodarki zasobami czy odpadami – mające wpływ na wdrażanie nowych produktów i metod produkcji.

Starzenie się społeczeństw i zachodzące zmiany demograficzne – szczególnie w państwach uprzemysłowionych i najbardziej rozwiniętych – wpływają z jednej strony na rynek pracy, z drugiej na zmianę wzorców konsumpcyjnych.

Wymienione megatrendy przekładają się bezpośrednio na wyzwania i kierunki rozwoju w branży motoryzacyjnej, spośród których można wymienić:

- elektryfikację,
- napędy alternatywne,
- autonomiczność,
- cyfryzację,
- współdzielenie.

Uwarunkowania prawne wpływające na obszar technologiczny

Przepisy Unii Europejskiej – m.in. w zakresie wspólnej polityki handlowej – regulujące stosunki gospodarcze między UE a państwami trzecimi, politykę ochrony środowiska i gospodarkę o obiegu zamkniętym, a także uwarunkowania bezpieczeństwa, czy rozporządzenia dotyczące wykorzystywania AI, mają znaczący wpływ na rozwój obszaru technologicznego i kierunki rozwoju poszczególnych technologii.

Opracowana przez Komisję Europejską Strategia na rzecz zrównoważonej i inteligentnej mobilności – europejski transport na drodze ku przyszłości – ma szczególnie znaczenie. Przyjęcie strategii z jednej strony uwzględnia działania, jakie muszą zostać zrealizowane, aby sektor motoryzacyjny i mobilność przyczyniły się do osiągnięcia celów Europejskiego Zielonego Ładu, z drugiej strony determinuje powstawanie innych regulacji powiązanych z przyjętymi założeniami.

W Strategii zostały wskazane konkretne etapy i cele, które dotyczą m.in. przemysłu motoryzacyjnego, w tym następujące kamienie milowe:

- do 2030 r.:
 - na europejskich drogach będzie jeździć co najmniej 30 mln samochodów bezemisyjnych,
 - 100 europejskich miast będzie neutralnych dla klimatu,
 - w całej Europie podwoi się ruch kolejowy dużych prędkości,
 - planowe podróże zbiorowe na trasach poniżej 500 km powinny być neutralne pod względem emisji dwutlenku węgla,
 - zautomatyzowana mobilność zostanie wdrożona na dużą skalę,
 - bezemisyjne statki morskie będą gotowe do wprowadzenia na rynek;
- do 2035 r.:
 - bezemisyjne, duże statki powietrzne będą gotowe do wprowadzenia na rynek;
- do 2050 r.:
 - prawie wszystkie samochody osobowe, dostawcze, autobusy, a także nowe pojazdy ciężkie będą bezemisyjne,
 - kolejowy ruch towarowy podwoi się,
 - powstanie w pełni operacyjna, multimodalna transeuropejska sieć transportowa (TEN-T),
 - zostanie wskazanych 10 kluczowych obszarów działania, dla urzeczywistnienia wizji.

W Strategii określono także konkretne 82 inicjatywy, np.:

- intensyfikacja upowszechniania bezemisyjnych pojazdów, statków i samolotów, paliw odnawialnych i amortyzatorów, paliw niskoemisyjnych i powiązanej infrastruktury, np. przez zainstalowanie 3 mln publicznych punktów ładowania do 2030 r.,
- ustalanie cen emisji dwutlenku węgla i wprowadzanie lepszych zachęt dla użytkowników, np. przez stosowanie środków zapewniających sprawiedliwe i optymalne ceny emisji we wszystkich rodzajach transportu,

- pobudzanie innowacji oraz wykorzystywanie danych i sztucznej inteligencji (AI) dla zwiększania mobilności, np. przez wspieranie wdrażania dronów i bezzałogowych statków powietrznych oraz dalsze działania na rzecz budowy europejskiej wspólnej przestrzeni danych dotyczących mobilności,
- zwiększanie bezpieczeństwa i ochrony transportu we wszystkich jego rodzajach czego efektem powinno być znaczące zminimalizowanie liczby ofiar śmiertelnych wypadków do 2050 r.

Sytuacja sektora motoryzacyjnego w Europie, Polsce oraz woj. śląskim

Według danych Europejskiego Stowarzyszenia Producentów Samochodów (ACEA) w 2023 r. zostało wyprodukowanych ponad 75,5 mln samochodów osobowych. Głównym producentem są Chiny, które w 2023 r. wyprodukowały 25,3 mln samochodów, czyli około 1/3 całej globalnej produkcji. Na drugim miejscu znalazła się Europa z produkcją prawie 15 mln sztuk, co stanowi niemal 20% udziału w rynku, z czego 112,2 mln pochodziło z Unii Europejskiej.

Na terenie Unii Europejskiej oraz Wielkiej Brytanii, według ACEA, w 2024 r. łącznie działało 255 fabryk pojazdów samochodowych, akumulatorów oraz fabryk silników, z czego 19 było zlokalizowanych w Polsce. To dość wysoka liczba fabryk, ale wśród nich jest niewielu producentów OEM (ang. *Original Equipment Manufacturer*). Dlatego też Polska nie znajduje się w pierwszej 10 państw Unii Europejskiej – producentów samochodów. Do czołówki należą natomiast: Niemcy, Hiszpania, Czechy, Słowacja i Francja.

Z danych Głównego Urzędu Statystycznego wynika, że w 2023 r. w Polsce działały łącznie 2772 podmioty zajmujące się – zgodnie z klasyfikacją PKD 2007 – produkcją pojazdów samochodowych z wyłączeniem motocykli (sekcja C – przetwórstwo przemysłowe, dział 29). Tabela 8.1 przedstawia rozkład działalności wymienionych podmiotów na województwa.

Tabela 8.1. Podmioty gospodarki narodowej według rejestru REGON, sekcji i działów PKD 2007 (sekcja C – przetwórstwo przemysłowe, dział 29). Oprac. na podst. GUS-BDL (2025)

Województwo	2021	2022	2023
Dolnośląskie	260	260	246
Kujawsko-pomorskie	126	129	128
Lubelskie	78	83	88
Lubuskie	60	60	63
Łódzkie	177	181	188
Małopolskie	178	188	192
Mazowieckie	486	474	476
Opolskie	49	48	50
Podkarpackie	151	151	148
Podlaskie	43	39	44
Pomorskie	144	150	150
Śląskie	432	437	433
Świętokrzyskie	95	98	106
Warmińsko-mazurskie	40	41	39
Wielkopolskie	330	336	335
Zachodniopomorskie	79	82	82
Suma	2 732	2 761	2 772

Z tabeli 8.1 wynika, że największy odsetek przedsiębiorstw przemysłu motoryzacyjnego jest zlokalizowany w woj. mazowieckim. Należy jednak uwzględnić fakt, że większość z nich to podmioty posiadające część administracyjną lub centra usług wspólnych zlokalizowane w Warszawie, a mniejsza część z nich to zakłady produkcyjne. Pod tym względem liderem jest woj. śląskie, gdzie lokalizację ma prawie 16% podmiotów działających w branży motoryzacyjnej. Podobna statystyka wynika z bazy danych firmy Dun & Bradstreet, Inc., w której zaewidencjonowanych jest 375 podmiotów. Ich główną działalność gospodarczą stanowi produkcja pojazdów samochodowych lub części do nich. Podmioty te działają zarówno na rynku krajowym, jak i międzynarodowym, będąc dostawcami komponentów do fabryk działających w innych krajach

UE, gdzie odbywa się końcowy montaż pojazdów. Woj. śląskie jest także liderem w Polsce pod względem zatrudnienia w branży motoryzacyjnej oraz wartości produkcji sprzedanej przemysłu (tab. 8.2, tab. 8.3).

Tabela 8.2. Wartość produkcji sprzedanej przemysłu według sekcji i działów PKD 2007 (sekcja C – przetwórstwo przemysłowe, dział 29) [mln zł]. Oprac. na podst. GUS-BDL (2025)

Województwo	2021	2022	2023
Dolnośląskie	32 252,9	39 118,8	43 385,0
Kujawsko-pomorskie	0,0	0,0	0,0
Lubelskie	2 216,1	2 398,8	2 251,7
Lubuskie	6 115,8	7 187,0	8 012,2
Łódzkie	3 001,0	3 582,5	4 644,1
Małopolskie	15 224,7	18 373,2	24 744,9
Mazowieckie	8 540,2	8 147,3	7 174,0
Opolskie	3 132,6	3 639,2	4 248,8
Podkarpackie	6 966,6	8 385,2	8 256,4
Podlaskie	0,0	0,0	0,0
Pomorskie	1 421,8	1 500,3	1 806,9
Śląskie	48 658,8	60 031,2	73 595,4
Świętokrzyskie	3 758,2	4 436,9	5 470,4
Warmińsko-mazurskie	199,5	279,5	345,5
Wielkopolskie	28 800,5	34 645,2	37 979,8
Zachodniopomorskie	1 337,3	1 505,4	1 696,6
Suma	161 626,0	193 230,5	223 611,7

W woj. śląskim jest wytwarzane 33% krajowej wartości produkcji sprzedanej przemysłu motoryzacyjnego w Polsce, co plasuje je na pierwszym miejscu, na drugim znajduje się woj. dolnośląskie (19%), a dalej woj. wielkopolskie (17%).

Należy także podkreślić, że wartość produkcji sprzedanej przemysłu motoryzacyjnego na Śląsku stanowi około 21% wartości całej produkcji sprzedanej przemysłu z sekcji B, C, D i E według PKD 2007.

Tabela 8.3. Pracujący w gospodarce narodowej według miejsca zamieszkania, sekcji i działów PKD (dane miesięczne) (ogółem oraz sekcja C – przetwórstwo przemysłowe, dział 29) – stan na grudzień 2023 r. Oprac. na podst. GUS-BDL (2025)

Województwo	Ogółem	Sekcja C, dział 29
Dolnośląskie	1 159 011	37 714
Kujawsko-pomorskie	754 539	4 087
Lubelskie	761 604	2 980
Lubuskie	366 298	8 514
Łódzkie	995 919	9 413
Małopolskie	1 440 804	16 321
Mazowieckie	2 463 404	7 829
Opolskie	342 911	7 348
Podkarpackie	758 852	13 961
Podlaskie	430 691	1 001
Pomorskie	927 968	4 667
Śląskie	1 705 248	54 909
Świętokrzyskie	429 924	8 091
Warmińsko-mazurskie	485 299	914
Wielkopolskie	1 532 916	25 469
Zachodniopomorskie	587 142	4 363
Suma	15 142 530	207 581

W woj. śląskim zatrudnionych jest prawie 26,5% ogółu osób pracujących w branży motoryzacyjnej w Polsce. Pracownicy tej branży stanowią nieco ponad 3% ogółu pracujących w regionie.

8.1.3.3. Analiza możliwości pojawienia się nowych technologii, produktów i usług

Możliwość pojawienia się w regionie nowych technologii w obszarze przemysłu motoryzacyjnego jest silnie uwarunkowana działalnością i decyzyjnością koncernów międzynarodowych, w szczególności tych, które posiadają swoje oddziały w Polsce oraz działających na poziomach Tier 1 i Tier 2. Podmioty te w większości są odpowiedzialne za rozwój i wdrażanie najnowszych technologii w branży. W ostatnich latach wiele oddziałów tych firm działających w woj. śląskim uczestniczyło w wewnątrzgrupowych projektach badawczych, opracowując nowe technologie. Wśród czołowych firm w tym obszarze można wymienić np. ZF, Nexteer, Tenneco oraz Magnę.

Możliwość pojawienia się kolejnych projektów B+R i nowych technologii w regionie jest uwarunkowana dodatkowymi czynnikami, takimi jak: zapewnianie dostępu do wykwalifikowanych kadr czy zapewnianie dostępu do zielonej energii. Istotnym czynnikiem wpływającym na pojawienie się nowych technologii będzie pozyskanie dla regionu kolejnego producenta pojazdów (OEM) i/lub uruchomienie krajowego OEM gotowego do korzystania z technologii opracowanych przez polskie przedsiębiorstwa.

Poza wiodącymi przedsiębiorstwami w branży, działalność B+R prowadzą także jednostki naukowe działające w regionie. W tabeli 8.4 przedstawiono obszary tematyczne, w jakich specjalizują się niektóre z nich.

Tabela 8.4. Obszary tematyczne wybranych jednostek naukowych współpracujących z branżą motoryzacyjną. Oprac. na podst. Silesia Automotive & Advanced Manufacturing⁵⁸ oraz stron internetowych poszczególnych podmiotów

Lp.	Podmiot	Wydział/Jednostka	Obszary tematyczne
1	Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o. ⁵⁹	Zakład Materiałoznawstwa Pracownia Badań Stanowiskowych Silników Zakład Elektrotechniki i Elektroniki Zakład Konstrukcyjno-Produkcyjny	• nowoczesne materiały i technologie łączenia materiałów • układy napędowe, silniki • nowe paliwa • kompatybilność elektromagnetyczna • techniki projektowania i szybkiego prototypowania
2	Politechnika Śląska ⁶⁰	Wydział Mechaniczny Technologiczny	• układy napędowe, silniki • nowe paliwa • nowoczesne materiały i technologie łączenia materiałów • mechatronika samochodowa • automatyzacja procesów produkcyjnych i nowe technologie produkcji • techniki projektowania i szybkiego prototypowania • kompatybilność elektromagnetyczna
		Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki, Instytut Automatyki	• mechatronika samochodowa • techniki projektowania i szybkiego prototypowania • automatyzacja procesów produkcyjnych i nowe technologie produkcji
3	Politechnika Częstochowska ⁶¹	Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki	• nowoczesne materiały i technologie łączenia materiałów
4	Uniwersytet Bielsko-Bialski ⁶²	Wydział Budowy Maszyn i Informatyki	• układy napędowe, silniki • nowe paliwa • mechatronika samochodowa • nowoczesne materiały i technologie łączenia materiałów • automatyzacja procesów produkcyjnych i nowe technologie produkcji
5	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych ⁶³	Instytut Metali Nieżelaznych Oddział w Skawinie Instytut Metali Nieżelaznych Oddział w Poznaniu	• nowoczesne materiały i technologie łączenia materiałów • nowoczesne materiały i technologie łączenia materiałów • zarządzanie zasobami naturalnymi • układy napędowe, silniki

⁵⁸ <https://www.silesia-automotive.pl/>

⁵⁹ <https://www.bosmal.com.pl/>

⁶⁰ <https://www.polsl.pl/>

⁶¹ <https://pcz.pl/>

⁶² https://rekrutacja.ubb.edu.pl/?gad_source=1&gad_campaignid=23525271513

⁶³ <https://imn.lukasiewicz.gov.pl/>

Lp.	Podmiot	Wydział/Jednostka	Obszary tematyczne
		Zakład Technologii Przetwórstwa Metali i Stopów Pracownia Surowców Wtórnych	• nowe paliwa • nowoczesne materiały i technologie łączenia materiałów • zarządzanie zasobami naturalnymi
6	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Technik Innowacyjnych EMAG ⁶⁴	–	• mechatronika samochodowa • kompatybilność elektromagnetyczna
7	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Spawalnictwa ⁶⁵	Zakład Technologii Spawalniczych Zakład Badań Spawalności i Konstrukcji Spawanych Zakład Technologii Zgrzewania i Inżynierii Środowiska Zakład Elektronicznych Urządzeń Spawalniczych i Układów Sterowania	• nowoczesne materiały i technologie łączenia materiałów • nowoczesne materiały i technologie łączenia materiałów • automatyzacja procesów produkcyjnych i nowe technologie produkcji • techniki projektowania i szybkiego prototypowania • zarządzanie zasobami naturalnymi • nowoczesne materiały i technologie łączenia materiałów • automatyzacja procesów produkcyjnych i nowe technologie produkcji
8	Śląskie Centrum Naukowo-Technologiczne Przemysłu Lotniczego Sp. z o.o. ⁶⁶	–	• nowoczesne materiały i technologie łączenia materiałów
9	Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN ⁶⁷	Pracownia Materiałów Biodegradowalnych	• nowoczesne materiały i technologie łączenia materiałów
10	Instytut Podstaw Środowiska PAN ⁶⁸	Zakład Technologii Zgrzewania i Inżynierii Środowiska	• nowoczesne materiały i technologie łączenia materiałów

Z tabeli 8.4. wynika, że największym obszarem działalności jednostek naukowych są nowoczesne materiały oraz technologie ich łączenia. Świadczą one usługi w zakresie: doradztwo i analizy, wykonywanie ekspertyz, wykonywanie badań wyrobów, prototypowanie, certyfikacja wyrobów.

Podmioty działające w branży motoryzacyjnej w latach 2013–2020 oraz 2021–2027 realizowały i realizują projekty B + R finansowane z dotacji i grantów pochodzących ze środków UE.

Na podstawie danych prezentowanych na portalu Mapa dotacji UE⁶⁹ zidentyfikowano projekty o charakterze badawczo-rozwojowym, realizowane w woj. śląskim przez podmioty działające w przemyśle motoryzacyjnym (tab. 8.5).

Tabela 8.5. Wybrane projekty związane z działalnością badawczo-rozwojową realizowane przez podmioty z woj. śląskiego w latach 2013–2024. Oprac. na podst. Mapy dotacji UE⁷⁰ i stron internetowych poszczególnych podmiotów

Lp.	Podmiot	Tytuł/zakres projektu
1	Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o. ⁷¹	E-TRACT – projekt ukierunkowany na opracowanie autobusu do 20 osób, o napędzie elektrycznym
2	Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o. ⁷²	Opracowanie dostawczego pojazdu o napędzie elektrycznym z inteligentnym systemem zarządzania energią
3	Turbo-Tec Sp. z o.o. ⁷³	Wdrożenie innowacyjnej technologii naprawy elementów wchodzących w skład regenerowanych części samochodowych
4	DCD-SEMI Sp. z o.o. ⁷⁴	IoT-Moto-IP – Nowoczesny modułowy, skalowalny System on Chip (SoC) oparty o procesor RISC V i najnowocześniejsze protokoły komunikacyjne dla IoT i automotive
5	DCD-SEMI Sp. z o.o. ⁷⁵	SecurIPy – zestaw dedykowanych IP Core z certyfikatem bezpieczeństwa Functional Safety & Security dla branży automotive

⁶⁴ <https://ai.lukasiewicz.gov.pl/>

⁶⁵ <https://git.lukasiewicz.gov.pl/centrum-spawalnictwa-2/>

⁶⁶ <https://polsa.gov.pl/baza-podmiotow/slaskie-centrum-naukowo-technologicznego-przemyslu-lotniczego-sp-z-o-o/>

⁶⁷ <https://cmpw-pan.pl/>

⁶⁸ <https://ipis.pan.pl/pl/>

⁶⁹ <https://mapadotacji.gov.pl/>

⁷⁰ Ibidem.

⁷¹ <https://www.bosmal.com.pl/>

⁷² Ibidem.

⁷³ <https://www.turbotecserwis.pl/>

⁷⁴ <https://www.dcd.pl/>

⁷⁵ <https://www.dcd.pl/>

Lp.	Podmiot	Tytuł/zakres projektu
6	Izoblok SA ⁷⁶	Wprowadzenie na rynek światowy innowacyjnych produktów dla branży automotive opartych o przeprowadzone prace B + R (wprowadzenie na rynek międzynarodowy innowacyjnych produktów – kształtek z tworzywa EPP z zaimplikowanymi wkładkami metalowymi i/lub z tworzywa sztucznego)
7	Izoblok SA ⁷⁷	Opracowanie innowacyjnej technologii spieniania tworzywa o unikatowych właściwościach funkcjonalnych
8	ArcelorMittal Distribution Solutions Poland Sp. z o.o. ⁷⁸	Innowacyjne wykoje ze stali dual i complex phase o zawężonej tolerancji płaskości i obniżonej masie dla przemysłu motoryzacyjnego
9	Polmotors Sp. z o.o. ⁷⁹	Szereg projektów dotyczących sposobów obróbki metali
10	Wulkan SA ⁸⁰	Wdrożenie innowacyjnej technologii produkcji odlewów z żeliwa szarego na potrzeby rynku motoryzacyjnego
11	Promot – Zakłady Metalowe Sp. z o.o. ⁸¹	Innowacyjny proces produkcji części dla przemysłu automotive
12	Nexteer Automotive Poland Sp. z o.o. ⁸²	Nowa generacja elektrycznego układu wspomagania typu SPEPS spełniająca przyszłe wymagania rynku europejskiego wraz z automatycznie zadawanymi funkcjami układu kierowniczego i podwyższonymi parametrami mechanicznymi
13	Nexteer Automotive Poland Sp. z o.o. ⁸³	Centrum Badawczo-Rozwojowe będące ośrodkiem badań nad konstrukcją i procesem produkcyjnym układów kierowniczych ze wspomaganie elektrycznym

Rozwojowi nowych technologii w branży sprzyja także funkcjonowanie w regionie klastra Silesia Automotive & Advanced Manufacturing (SA&AM), który jest inicjatywą Katowickiej Specjalnej Strefy Ekonomicznej SA, wspierającą przedsiębiorstwa działające w branży motoryzacyjnej oraz zaawansowanych technologii.

Klaster liczy ponad 170 członków, z czego ponad 150 to przedsiębiorstwa działające głównie w branży automotive, także w obszarze zaawansowanych systemów produkcji. Poza przedsiębiorstwami, członkami klastra są także jednostki naukowe i szkoły wyższe oraz instytucje otoczenia biznesu.

Działalność Klastra SA&AM skupia się wokół dwóch głównych zagadnień: innowacje i kooperacje oraz rynek pracy i edukacja. W ramach tych obszarów klaster prowadzi następujące działania:

- spotkania warsztatowe w grupach tematycznych,
- spotkania dotyczące wymiany dobrych praktyk,
- spotkania B2B i S2B,
- szkolenia,
- badanie rynku automotive, analizy tematyczne dla zagadnień sektora, benchmarking,
- brokerstwo indywidualne,
- prowadzenie bazy dostawców SA&AM i Centrum Technik SA&AM.

8.1.3.4. Możliwość pojawienia się substytutów rozwijanych technologii, produktów, usług

Popyt na technologie wchodzące w skład analizowanych grup technologicznych wynika bezpośrednio z uwarunkowań związanych z obecnym i planowanym zapotrzebowaniem na technologie. Ma on swoje źródła, jak wskazano w podrozdziale 8.1.3.2, w globalnych trendach występujących w sektorze, a na poziomie UE w zmieniających się uwarunkowaniach i regulacjach prawnych.

W związku z tym trudno jest wskazać substytuty, jakie miałyby się w najbliższej przyszłości pojawić na rynku. Należy zwrócić uwagę na bariery wdrażania nowych technologii w motoryzacji i wynikające stąd ograniczenia, w szczególności na:

- regulacje prawne dotyczące branży motoryzacyjnej,
- uzależnienie od decyzji geopolitycznych i uwarunkowań międzynarodowej wymiany gospodarczej,
- wysokie bariery wejścia związane z dużymi nakładami inwestycyjnymi.

⁷⁶ <https://izoblok.pl/>

⁷⁷ Ibidem.

⁷⁸ <https://distribution.arcelormittal.com/pl-PL>

⁷⁹ <https://polmotors.com.pl/>

⁸⁰ <https://www.wulkansa.com.pl/>

⁸¹ <https://promot-zm.com/>

⁸² <https://www.nexteer.com/nexteer-poland/>

⁸³ Ibidem.

8.1.3.5. Zależności i łańcuchy wartości rozwoju technologii w ramach obszaru technologii

Rozwój technologii z obszaru przemysłu motoryzacyjnego w woj. śląskim jest silnie skorelowany z łańcuchem wartości rozwoju technologii. Powiązania w ramach tego łańcucha uwarunkowane są działalnością i decyzyjnością koncernów międzynarodowych, w szczególności posiadających swoje oddziały w Polsce i działających na poziomie Tier 1 i Tier 2. Podmioty te w większości są odpowiedzialne za rozwój i wdrażanie najnowszych technologii w branży. Współcześnie wiele z nich jest zaangażowanych w prace nad nowymi technologiami, często uczestniczą one także w opracowywaniu pojedynczych elementów składowych całego rozwiązania, co powiązane jest z polityką koncernów w zakresie bezpieczeństwa rozwoju technologii i tajemnicy przedsiębiorstwa.

Dalsze uczestnictwo polskich oddziałów międzynarodowych firm, jak również firm z krajowym kapitałem w rozwoju technologii dla przemysłu motoryzacyjnego uzależnione jest od kilku czynników, które w tym obszarze mogą być zarówno szansą, jak i zagrożeniem. Wśród tych czynników znajdują się:

- doświadczenie firm z regionu w tworzeniu elementów poszczególnych technologii,
- konsolidację firm na poziomie europejskich OEM, Tier 1 i Tier 2,
- włączenie oddziałów dostawców Tier 1 w wewnątrz korporacyjne programy rozwojowe,
- wieloletnie doświadczenie firm we współpracy regionalnej, m.in. w ramach klastra Silesia Automotive & Advanced Manufacturing.

8.1.3.6. Intensywność konkurencji na rynku wdrażania technologii

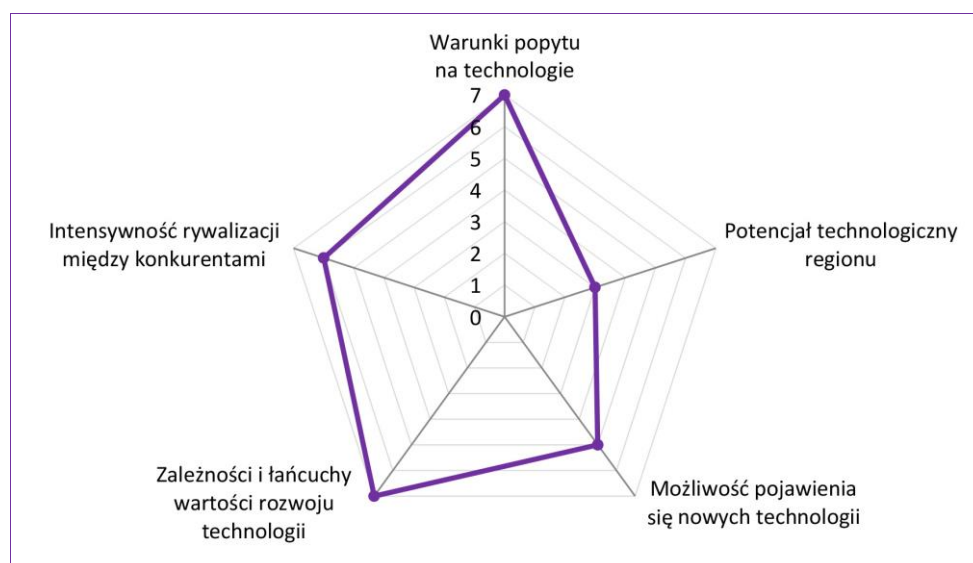
Presja konkurencji na rynku jest bardzo duża i wynika z następujących czynników:

- bardzo duża liczba konkurentów w branży, głównie koncernów międzynarodowych, działających na poziomach Tier 1 i Tier 2 oraz lokalnych dostawców działających na poziomach Tier 3 i Tier 4,
- bardzo duży rynek z perspektywą stałego kilkuprocentowego wzrostu rocznie,
- wysokie bariery wejścia spowodowane koniecznością poniesienia dużych początkowych nakładów inwestycyjnych,
- stosunkowo wysokie bariery wyjścia z rynku.

Presja konkurencji dodatkowo potęguje ryzyko pojawienia się nowych „graczy” na rynku, przede wszystkim pochodzących z Chin.

8.1.3.7. Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonej analizy pięciu sił Portera przedstawiono w tabeli 8.6 i na wykresie (rys. 8.1).



Rys. 8.1. Ocena pięciu sił Portera dla obszaru technologicznego przemysłu maszynowego i motoryzacyjnego

Tabela 8.6. Podsumowanie analizy pięciu sił Portera dla obszaru technologicznego przemysł maszynowy i motoryzacyjny

Pięć sił Portera	Charakterystyka
Warunki popytu na technologie	- Są dyktowane przez odbiorców technologii, do których należą producenci pojazdów (OEM) - Są silnie skorelowane z uwarunkowaniami prawnymi, szczególnie obszaru bezpieczeństwa oraz środowiskowego - Relatywnie bliska odległość od innych regionów znaczących w branży motoryzacyjnej (Słowacja, Czechy, Austria, Niemcy)
Potencjał technologiczny regionu	- Obecność w regionie dwóch producentów pojazdów (OEM) - Obecność w regionie kilkadziesiątu kluczowych międzynarodowych koncernów technologicznych działających w branży motoryzacyjnej na poziomie Tier 1 - Obecność w regionie uczelni wyższych oraz instytutów badawczych z wieloletnim doświadczeniem we współpracy z branżą motoryzacyjną
Możliwość pojawienia się nowych technologii (substytutów)	- Intensywny rozwój technologii motoryzacyjnych w Chinach oraz Indiach - Uzależnienie od decyzji geopolitycznych i uwarunkowań międzynarodowej wymiany gospodarczej - Wysokie bariery wejścia związane z dużymi nakładami inwestycyjnymi
Zależności i łańcuchy wartości rozwoju technologii	- Udział firm z regionu w łańcuchach rozwoju technologii, mocno uzależniony od decyzji central korporacji międzynarodowych - Udział firm z regionu w tworzeniu elementów poszczególnych technologii (nie całości) – polityka bezpieczeństwa i budowania tajemnicy przedsiębiorstwa - Konsolidacja na poziomie europejskich OEM, Tier 1 i Tier 2 - Włączenie oddziałów dostawców Tier 1 w wewnątrz korporacyjne programy rozwojowe - Wieloletnia współpraca regionalna w ramach klastra Silesia Automotive & Advanced Manufacturing
Intensywność rywalizacji między konkurentami	- Bardzo wysoka intensywność rywalizacji między konkurentami w branży - Konkurencję w branży w kontekście międzynarodowym potęguje rozwój technologiczny firm z Chin

8.2. Uwarunkowania rozwoju obszaru technologicznego – analiza PESTEL

Analiza PESTEL została opracowana na podstawie analizy raportów branżowych oraz konsultacji z ekspertami. W ten sposób zostały określone czynniki, które najbardziej oddziałują na branżę, a tym samym na rozwój technologii w ramach wszystkich wskazanych grup technologicznych.

Podsumowanie analizy PESTEL zostało przedstawione w tabeli 8.7.

Tabela 8.7. Podsumowanie analizy PESTEL dla obszaru technologicznego przemysł maszynowy i motoryzacyjny

Obszar analizy	Nazwa czynnika	Charakter czynnika
Polityczny	Uwarunkowania międzynarodowe wymiany gospodarczej – regulacje prawne/celne, w szczególności z obszarami znajdującymi się poza Europejskim Obszarem Gospodarczym (relacja UE–Chiny, relacja UE–USA, cła, Carbon Border Adjustment Mechanism, upolitycznione decyzje gospodarcze)	–
	Konflikty zbrojne, zmiany geopolityczne (ryzyko zerwania łańcuchów dostaw, kontrola nad surowcami krytycznymi)	–
	Integracja europejska i wspólna polityka europejska	+
Ekonomiczny	Konsolidacja na poziomie europejskim OEM, Tier 1 i Tier 2	+
	Kapitałochłonność procesów	–
	Siła negocjacyjna dużych koncernów, niskie marże i ograniczone rezerwy finansowe na poziomie dostawców	–
	Wzrost kosztów zapewnienia zgodności z regulacjami prawnymi	–
	Globalne centrum gospodarcze przesuwające się na Wschód	–
Społeczny	Deglobalizacja zabezpieczająca interesy i łańcuchy dostaw firm europejskich	+
	Starzejące się społeczeństwo	–
	Wzrastająca przeciętna długość życia	0
	Aktywność pozazawodowa ludności	0
	Migracje (gospodarcze, polityczne, klimatyczne)	+
Technologiczny	Nowe wzorce konsumpcji i zachowań	–
	Tworzenie regionalnych hubów technologicznych w relacjach Wschód–Zachód	+
	Zwiększające się powiązania sektora motoryzacyjnego z sektorem energetycznym na styku technologii bateryjnych i wodorowych	+
	Zaawansowane platformy komunikacji w łańcuchach dostaw (EDI, bliźniak cyfrowy)	–
	Technologie cyfrowe w pojazdach	+

Obszar analizy	Nazwa czynnika	Charakter czynnika
Środowiskowy	Atomizacja vs. interdyscyplinarność procesów rozwoju technologii w UE	–
	Cyberprzestępczość	–
	Zmiany klimatu	–
	Dostęp do surowców naturalnych	–
	Gospodarka surowcowa i gospodarka o obiegu zamkniętym	+
	Odnawialne źródła energii	+
	Oczekiwania klientów w zakresie zrównoważonego rozwoju dostawców	–
Prawny	Niski ślad środowiskowy pojazdów (elektroniczny paszport pojazdu)	–
	Regulacje dotyczące aspektów środowiskowych (polityka Green Deal, regulacje prawne związane z emisją gazów cieplarnianych, z ponownym wykorzystaniem materiałów)	–
	Regulacje dotyczące zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstw (CSRD, Taksonomia UE)	–

8.3. Ocena obszaru technologicznego – analiza SWOT

Poniżej została przedstawiona analiza SWOT, która jest analizą wynikową, prezentującą syntetyczne podsumowanie wyników wcześniej przedstawionych analiz. Została przeprowadzona w trzech etapach. W pierwszej kolejności dokonano identyfikacji poszczególnych czynników, na dalszym etapie poddano je ocenie ekspertów branżowych, którzy sprawdzili je pod względem istotności. Na ostatnim etapie dokonano oceny zależności między czynnikami oraz określono kluczowe wyzwania pod kątem wykorzystania istniejących sił, przeciwdziałania słabościom, wykorzystania istniejących szans oraz przeciwdziałania pojawiającym się zagrożeniom.

W tabeli 8.8 przedstawiono zidentyfikowane czynniki SWOT.

Tabela 8.8. Czynniki SWOT dla obszaru technologicznego przemysł maszynowy i motoryzacyjny

Silne strony		Słabe strony	
S1	Dwie montownie pojazdów (OEM) działające w regionie według modelu zestandaryzowanych wielomarkowych platform (Gliwice, Tychy)	W1	Ograniczona decyzyjność oddziałów koncernów międzynarodowych – centralizacja ośrodka decyzyjnego i kluczowych czynności (wybór i relacje z dostawcami, design, B + R)
S2	Kilkadziesiąt dostawców Tier 1 będących oddziałami koncernów międzynarodowych	W2	Niekorzystne czynniki kosztowe (wynagrodzenia, energia, zapewnienie zgodności z wymogami prawnymi) obniżające konkurencyjność komponentów wytwarzanych w woj. śląskim
S3	Włączenie oddziałów dostawców Tier 1 do wewnątrz korporacyjnych programów rozwojowych	W3	Niekorzystne pozycjonowanie geograficzne/klimatyczne regionu w kontekście zapewnienia OZE dla przemysłu – brak dostępu do taniej zielonej energii
S4	MŚP i duże przedsiębiorstwa z polskim kapitałem spełniające wymogi oraz oczekiwania klientów międzynarodowych	W4	Niekorzystne pozycjonowanie geograficzne regionu w kontekście niskoemisyjnego transportu komponentów do klientów za granicą, w tym ograniczona przepustowość infrastruktury kolejowej
S5	Wieloletnia współpraca regionalna w ramach klastra Silesia Automotive & Advanced Manufacturing	W5	Niski poziom rezerw finansowych dostawców z polskim kapitałem, ograniczający możliwość realizacji projektów badawczo-rozwojowych
S6	Współpraca uczelni i szkół technicznych z przedsiębiorstwami	W6	Wysoka rotacja wśród nowo zatrudnionych pracowników – malejący poziom etosu pracy oraz kultury technicznej
S7	Silne rozwinięte zaplecze dostawców technologii produkcyjnych, technologii cyfrowych i usług specjalistycznych	W7	Mały udział przedsiębiorstw z polskim kapitałem zajmujących się technologiami dla pojazdów autonomicznych i łączonych
Szanse		Zagrożenia	
O1	Integracja i wspólna polityka europejska	T1	Uwarunkowania międzynarodowe wymiany gospodarczej – regulacje prawne/celne dotyczące obszarów znajdujących się poza Europejskim Obszarem Gospodarczym
O2	Deglobalizacja zabezpieczająca interesy i łańcuchy dostaw firm	T2	Konsolidacja na poziomie europejskich OEM, Tier 1 i Tier 2
O3	Migracje (gospodarcze, polityczne, klimatyczne) zwiększające dostępność pracowników	T3	Siła negocjacyjna dużych koncernów wymuszająca niskie marże i ograniczone wolne środki finansowe na poziomie dostawców
O4	Gospodarka surowcowa oraz gospodarka o obiegu zamkniętym dostarczające surowców wtórnych zachowujących standard jakości	T4	Zaawansowane platformy komunikacji w łańcuchach dostaw (EDI, bliźniak cyfrowy)
O5	Tworzenie regionalnych hubów technologicznych	T5	Cyberprzestępczość
O6	Zwiększające się powiązania sektora motoryzacyjnego z sektorem energetycznym na styku technologii bateryjnych i wodorowych	T6	Regulacje dotyczące aspektów środowiskowych (polityka Green Deal, regulacje prawne związane z emisją gazów cieplarnianych czy z ponownym wykorzystaniem materiałów)
O7	Rozwój technologii cyfrowych w pojazdach	T7	Regulacje dotyczące zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstw (CSRD, Taksonomia UE)

Podsumowanie analizy SWOT

Tabela 8.9 przedstawia zidentyfikowane wyzwania i działania dotyczące rozwoju technologii dla przemysłu motoryzacyjnego w odniesieniu do określonych czynników analizy SWOT.

Tabela 8.9. Identyfikacja wyzwań i działań

Wyzwanie	Odpowiedź	Proponowane działania
Zapewnienie dostępu do wykwalifikowanych kadr (dla wzmocnienia potencjału i zniwelowania niedoborów)	S1–S4, S6 W2, W6 O3 T5	- określenie właściwych kierunków kształcenia oraz wzmocnienie współpracy między szkołami średnimi i uczelniami a przemysłem - określenie zawodów przyszłości w sektorze motoryzacji - współpraca sektora, IOB oraz szkół średnich i uczelni w zakresie rozwoju kompetencji - stworzenie odpowiednich regulacji prawnych dotyczących pracy obcokrajowców
Zapewnienie dostępu do zielonej energii (dla zniwelowania niedoborów, przeciwdziałaniu zagrożeniom)	W2, W3 O2 T6, T7	- wzrost inwestowania w infrastrukturę dostarczającą energię ze źródeł odnawialnych - przygotowywanie terenów inwestycyjnych z dostępem do zielonej energii
Zapewnienie dostępu do odpowiedniej jakości surowców wtórnych (dla zniwelowania niedoborów i przeciwdziałania zagrożeniom)	W2 O2, O4 T6, T7	- zapewnienie dostępu do nowoczesnych technologii produkcji w celu zwiększenia produktywności (również przez wykorzystanie surowców wtórnych) - usprawnienie systemu gospodarki odpadami w celu zapewnienia surowców wtórnych zachowujących standard jakości
Wzrost inwestycji w przedsiębiorstwach z polskim kapitałem w zakresie wykorzystywania technologii cyfrowych oraz zwiększenia zdolności do produkcji komponentów z większą zawartością cyfrową (dla wzmocnienia potencjału i zniwelowania niedoborów)	S2, S4, S6 W2, W5, W7 T3, T4, T5	- przejrzyste zasady uzyskiwania ulg podatkowych i instrumentów wsparcia (dotacji) w zakresie inwestycji w robotyzację i cyfryzację przedsiębiorstw produkcyjnych - kreowanie inicjatyw w zakresie testowania i demonstrowania nowych technologii - podnoszenie kompetencji w zakresie wykorzystywania technologii ICT w przedsiębiorstwach - podnoszenie świadomości i kompetencji pracowników w zakresie bezpieczeństwa cyfrowego - uruchomienie krajowego OEM, gotowego do korzystania z technologii opracowanych przez polskie przedsiębiorstwa

Literatura

Dokumenty strategiczne

Polityka (2021): Polityka Przemysłowa Polski. Warszawa, Ministerstwo Rozwoju, Pracy i Technologii, <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologie> (dostęp: 19.02.2026).

Polityka (2022): Polityka rozwoju gospodarczego województwa śląskiego 2030. Katowice, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego, <https://www.slaskie.pl> (dostęp: 19.02.2026).

Polityka (2024): Polityka Rozwoju Sztucznej Inteligencji w Polsce 2025–2030. Sekcja ds. Aktualizacji polityki rozwoju sztucznej inteligencji. Warszawa, Ministerstwo Cyfryzacji, <https://www.gov.pl/web/cyfryzacja/polityka-rozwoju-sztucznej-inteligencji-w-polsce-do-2030-roku-bezpieczne-i-odpowiedzialne-wykorzystanie-sztucznej-inteligencji> (dostęp: 19.02.2026).

Program (2011): Program Rozwoju Technologii Województwa Śląskiego na lata 2010–2020. Katowice, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego, <https://rpo.slaskie.pl> (dostęp: 19.02.2026).

Program (2019): Program Rozwoju Technologii Województwa Śląskiego na lata 2019–2030. Katowice, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego, <https://ris.slaskie.pl/pl/dokumenty/program-rozwoju-technologie-wojewodztwa-slaskiego-na-lata-2019--2030.html> (dostęp: 19.02.2026).

Strategia (2020): Strategia Polityki Społecznej Województwa Śląskiego na lata 2020–2030. Katowice, Regionalny Ośrodek Polityki Społecznej Województwa Śląskiego, <https://rops-katowice.pl> (dostęp: 19.02.2026).

Strategia (2021): Regionalna Strategia Innowacji Województwa Śląskiego 2030 – Inteligentne Śląskie. Katowice, Regionalna Strategia Innowacji, <https://ris.slaskie.pl/pl/dokumenty/regionalna-strategia-innowacji-wojewodztwa-slaskiego-2030.html> (dostęp: 19.02.2026).

Strategia (2022): Strategia Produktywności. Warszawa, Ministerstwo Rozwoju i Technologii, <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologie/strategia-produktywnosci-2031> (dostęp: 19.02.2026).

Raporty i opracowania

Raport branżowy (2024): Roland Berger GmbH, <https://www.rolandberger.com> (dostęp: 19.02.2026).

Danowska-Florczyk E., Stęchły W., Ziewiec-Skokowska G. (2021): Megatrendy w motoryzacji a inicjatywy sektorowe na rzecz rozwoju umiejętności w Europie. Warszawa, Związek Pracodawców Motoryzacji i Artykułów Przemysłowych, <https://www.pzpm.org.pl> (dostęp: 19.02.2026).

Guide (2024): The Automotive industry. Pocket guide 2024/2025. ACEA European Automobile Manufacturers' Association, <https://www.acea.auto> (dostęp: 19.02.2026).

Raport (2024): Raport Branża Motoryzacyjna 2023/2024. Polski Związek Przemysłu Motoryzacyjnego, <https://www.pzpm.org.pl/pl/Rynek-motoryzacyjny/Roczniki-i-raporty/Rocznik-PZPM-Raport-branzy-motoryzacyjnej-2023-20242> (dostęp: 19.02.2026).

Raport (2025): Raport Branża Motoryzacyjna 2024/2025. Polski Związek Przemysłu Motoryzacyjnego, <https://www.pzpm.org.pl/pl/Rynek-motoryzacyjny/Roczniki-i-raporty/Rocznik-PZPM-Raport-branzy-motoryzacyjnej-2024-2025> (dostęp: 19.02.2026).

Report (2024): Economic and Market Report Global and EU auto industry: Full year 2023. ACEA European Automobile Manufacturers' Association, <https://www.acea.auto> (dostęp: 19.02.2026).

Strategia (2025): Strategia Rozwoju Klastra Silesia Automotive & Advanced Manufacturing na lata 2022–2025. Gliwice, Katowicka Specjalna Strefa Ekonomiczna, https://www.silesia-automotive.pl/files/?id_plik=8491 (dostęp: 19.02.2026).

Strategy (2021): Sustainable and Smart Mobility Strategy – putting European transport on track for the future. European Commision, <https://transport.ec.europa.eu/system/files/2021-04/2021-mobility-strategy-and-action-plan.pdf> (dostęp: 19.02.2026).

Bazy danych

GUS-BDL (2025): Główny Urząd Statystyczny – Bank Danych Lokalnych, <https://bdl.stat.gov.pl> (dostęp: 19.02.2026).

DnB (2025): Baza danych firmy Dun & Bradstreet, <https://www.dnb.com/pl-pl/> (dostęp: 19.02.2026).

Nanomateriały i nanotechnologie

Autorzy

Joanna Śróbka*

Przemysław Ziemski**

Dorota Kosmalska***

Marek Wasilewski****

Anna Nowak*

Marcin Libera*

Katarzyna Papież-Pawełczak**

Adam Szatkowski***

Maria Garus*

Aleksandra Wierzba**

* Uniwersytet Śląski w Katowicach

** Spółka celowa Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach SPIN-US Sp. z o.o.

*** Fundacja Wspierania Nanonauk i Nanotechnologii NANONET

**** Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych



Fundusze Europejskie
dla Śląskiego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Województwo
Śląskie

9.1. Identyfikacja obszarów technologicznych, grup technologicznych i technologii

9.1.1. Opis metodologii

Dobór metod oraz ich powiązanie dla zachowania zasady triangulacji badań były podyktowane celami projektu oraz logiką procesu badawczego, jak również znanymi dobrymi praktykami z realizacji podobnych działań (Nazarko i Ejdyś, 2011; Nazarko i in., 2022). Metody badawcze stosowane w badaniach foresightowych są często porządkowane przy wykorzystaniu diamentu metodycznego foresightu (Popper i in., 2007), uwzględniającego cztery wymiary metod foresightowych, tj.: kreatywność, współdziałanie, fakty oraz ekspertyzy. Ostatecznie zaproponowane zestawienie metod badawczych oparto zarówno na doświadczeniu, jak i wiedzy zespołu realizującego badanie. Poniżej przedstawiono krótką charakterystykę stosowanych metod:

- **Analiza danych zastanych (desk research)** – obejmuje przegląd dokumentów strategicznych, dotychczasowych technologii, istniejących publikacji naukowych, raportów branżowych, patentów oraz artykułów prasowych. Kluczowe źródła danych to bazy, takie jak: Science Direct, Web of Science, Scopus, Google Scholar, a także specjalistyczne bazy patentowe, np. Espacenet, Google Patents czy USPTO. Analiza tych źródeł pozwala na identyfikację aktualnych trendów, innowacji oraz kluczowych „graczy” w branży nanotechnologii. Wyniki desk research stanowią solidną bazę wiedzy, która może być wykorzystana do weryfikacji i uzupełnienia danych zebranych z użyciem pozostałych metod. Punktem wyjścia były dane opublikowane nie wcześniej niż w 2017 r.
- **Warsztaty/panele eksperckie** – umożliwiają bezpośrednią interakcję i wymianę wiedzy między specjalistami z różnych dziedzin – zarówno tych związanych, jak i niezwiązanych z nanotechnologią – co może stać się źródłem inspiracji do tworzenia wizji rozwoju technologii, społeczeństwa czy nauki, przełamując stereotypowe myślenie. Spotkania te mogą być organizowane w formie konferencji, seminariów czy grup roboczych. Celem jest dyskusja nad wynikami zebranymi z wykorzystaniem metod crowdsourcingu i desk research, a także przedstawienie możliwości i wyzwań związanych z przyszłym rozwojem technologii w nanoskali. Warsztaty eksperckie dostarczają danych jakościowych, które można triangulować z danymi ilościowymi.
- **Badania IDI** (ang. *in-depth interviews*) – polegają na przeprowadzaniu głębokich, indywidualnych wywiadów z kluczowymi ekspertami i liderami opinii w dziedzinie nanotechnologii. Rozmowy te pozwalają na uzyskanie szczegółowych informacji na temat specyficznych zagadnień, innowacji oraz przyszłych kierunków rozwoju technologii. Dane zebrane w ramach IDI są cennym źródłem jakościowych informacji, które mogą uzupełniać i wzbogacać wyniki uzyskane z użyciem innych metod badawczych. Do identyfikacji i kontaktu z ekspertami wykorzystano sieć networkingową zespołu projektowego oraz eksperckie bazy danych, takie jak LinkedIn czy specjalistyczne bazy kontaktów branżowych.

Zaproponowane podejście integruje dwa źródła danych, tj.

- **Danych jakościowych** – opartych na opiniach ekspertów, więc poddanych w pewnym zakresie stronniczości i potencjalnemu myśleniu grupowemu. Mogą one stać się podstawą opracowania nowych rozwiązań, dzięki czemu lepiej nadają się do długoterminowych prognoz, w których rzeczywiste informacje nie są dostępne. Podejście jakościowe zachęca do różnych form myślenia kreatywnego, jak burza mózgów czy future scenario. Metody pracy systematycznej z danymi jakościowymi stają się coraz bardziej dostępne wraz z rozwojem technologii informacyjnej – narzędzi do mind mappingu oraz analizy konwersacyjnej, które mogą także być pomocnymi narzędziami w prowadzeniu spotkań czy warsztatów.
- **Danych ilościowych** – bardziej obiektywnych i mających oparcie w faktach, dzięki czemu mogą być stosowane w krótkoterminowym prognozowaniu lub prognozowaniu w obszarach, w których dostępne dane są wystarczające. Chociaż pozwalają uniknąć stronniczości, nie dają możliwości określenia zakresu bardziej intuicyjnych pomysłów, niezależnych od twardych danych o dłuższym horyzoncie czasowym z powodu braku informacji. Metody ilościowe opierają się na modelach –

prostych (stosowanych jawnie lub domyślnie) oraz złożonych. Te drugie łączą ze sobą wiele zmiennych, co pozwala śledzić ich wzajemny wpływ. Część tych metod wymaga angażowania ekspertów, którzy przypisują zdarzeniom wartości liczbowe. Dane te mogą też powstawać w oparciu o statystyczne zestawienie opinii wielu specjalistów (np. w metodzie delfickiej), gdzie liczy się stopień ich zgody co do konkretnej prognozy.

Jako uzupełnienie zastosowanej metodologii wykorzystano także elementy metody technologii krytycznych. To jest takich technologii, które w najwyższym stopniu spełniają kryteria atrakcyjności oraz wykonalności, zapewniając rozwój gospodarczy regionu. Do kryterium atrakcyjności technologii należy przyporządkować m.in. ważność ekonomiczną, społeczną, środowiskową oraz możliwość kreowania nowych kierunków badań i wdrożeń. Kryterium wykonalności determinowane jest przez potencjał aplikacyjny i wdrożeniowy technologii. Niezwykle istotną cechą technologii krytycznych, warunkujących ich zaklasyfikowanie do tej grupy, jest ich znaczenie dla polityki w obszarze rozwoju gospodarczego. Wskazanie ich umożliwia określenie priorytetów dla prac badawczo-rozwojowych prowadzonych na danym obszarze, np. w województwie czy kraju. Takie technologie wpływają na kierunek prowadzenia polityki oraz są priorytetowe przy rozdziale środków publicznych przeznaczonych na ich badanie, rozwój i wdrażanie. W aspekcie polityki technologie te wyznaczają niejako kierunek, w jakim powinny podążać zmiany polityczne i prawodawstwo. Przyjęta w ramach tego badania metoda wyłonienia technologii krytycznych zakłada ich wytypowanie przez ekspertów reprezentujących różne dyscypliny naukowe, w których nanotechnologie i nanomateriały są obecne i wykorzystywane. Stworzona lista będzie podlegała ścisłej priorytetyzacji w celu wyłonienia technologii krytycznych.

Dodatkowym narzędziem badawczym była autorska ankieta (dalej: Ankieta) stworzona przez Obserwatorium Nanotechnologii i Nanomateriałów na potrzeby niniejszego badania. Ankieta, skierowana do instytucji naukowych i przedsiębiorstw działających w obszarze nanotechnologii z terenu woj. śląskiego, zawierała 36 pytań dotyczących rozwoju nanotechnologii w tym województwie, a także w kraju i na świecie. Uzyskano 18 odpowiedzi od przedstawicieli firm z branży oraz naukowców. Wyniki Ankiety stanowią załącznik do niniejszego rozdziału.

„Właściwa mieszanka metod” wspomaga proces pracy nad Foresightem Technologii Województwa Śląskiego 2050 w obszarze identyfikacji priorytetowych technologii dla tego województwa w analizowanym obszarze technologicznym. W opinii autorów zastosowanie przedmiotowej metodologii pozwala na skuteczne prognozowanie i przygotowanie się na przyszłe wyzwania oraz wykorzystanie możliwości rozwijającej się branży nanotechnologii.

9.1.2. Zakres obszaru technologicznego

Nanotechnologia to nazwa całego zestawu technik i sposobów tworzenia różnych struktur o rozmiarach nanometrycznych, czyli na poziomie pojedynczych atomów i cząsteczek. Jej genezę wiąże się z Richardem Feynmanem, który w 1959 r. przedstawił ideę miniaturyzacji i manipulacji pojedynczymi atomami jako możliwą, a nazwa została po raz pierwszy użyta przez Norio Taniguchiego w 1974 r. Nanotechnologia jest nauką interdyscyplinarną, co oznacza, że różne aspekty jej rozwoju można przypisać różnym dziedzinom nauki i branżom przemysłowym. Nauki, które opisują nanotechnologię i zjawiska w nanoskali to chemia, fizyka i inżynieria materiałowa. Manipulacje w skali nano i rozwój w oparciu o nanotechnologie widoczne są szczególnie w przemyśle, zwłaszcza w sektorach elektronicznym i biomedycznym (Kurzydłowski i Lewandowska, 2010).

Definicja nanomateriału nie jest jednoznaczna. Za najszerszą definicję uznaje się zalecenie Komisji Europejskiej, w którym nanomateriałami określa się materiały mające co najmniej jeden zewnętrzny wymiar mieszczący się w zakresie 1–100 nm lub w rozkładzie wielkości cząstek mające co najmniej 50% cząstek w skali nanometrycznej, co występuje m.in. w materiałach kompozytowych (ECHA, 2022; Zalecenie, 2022).

Nanomateriały są grupą materiałów, które zaczęto klasyfikować i nazywać pod koniec XX w. Ich charakterystyczną cechą jest, zgodnie z wyżej podaną definicją, rozmiar nanometryczny. Dzięki tak małym rozmiarom wykazują one unikalne właściwości fizykochemiczne, różniące się od właściwości materiałów o większych rozmiarach (konwencjonalnych). Zmniejszenie rozmiaru cząstek lub wprowadzenie specjalnego uporządkowania strukturalnego prowadzi do pojawienia się nowych cech, takich jak zmienna przewodność elektryczna, bioaktywność czy właściwości optyczne. Również wysoki stosunek powierzchni do objętości w nanomateriałach intensyfikuje ich reaktywność oraz zdolność do interakcji z innymi substancjami. Właściwość ta jest kluczowa w wielu zastosowaniach nanomateriałów w przemyśle, np. w spożywczym, ochronie środowiska czy budownictwie (Geoghegan, Hamley i Kelsall, 2008; Malik, Muhammad i Waheed, 2023).

Interdyscyplinarny charakter nanotechnologii powoduje, że do jej analizy konieczny jest przegląd różnych dyscyplin i branż. Warto nadmienić, że są stosowane różne metodyki podziału tego obszaru. Należy tu wymienić m.in. Międzynarodową Klasyfikację Patentową (ang. *International Patent Classification*, IPC) z klasą B82 i Wspólną Klasyfikację Patentową (ang. *Cooperative Patent Classification*, CPC) (EPO, 2013) czy podział Organizacji Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (ang. *Organisation for Economic Co-operation and Development*, OECD) (OECD, 2025) lub klasyfikacje krajowe stosowane przez Główny Urząd Statystyczny (GUS, 2023a). Systemy klasyfikacji często się przenikają i uzupełniają, tworząc kompleksowy obraz obszaru nanotechnologii. W praktyce gospodarczej stosuje się zazwyczaj kombinację różnych systemów klasyfikacji, dostosowaną do konkretnych potrzeb danej organizacji lub celu analizy. Należy zaznaczyć, że obecnie na żadnym poziomie klasyfikacji działalności gospodarczej – międzynarodowej (ISIC Rev. 4), Unii Europejskiej (NACE Rev. 2) oraz krajowej (PKD 2025) – nie wyodrębniono branż nanotechnologicznych. W związku z tym zidentyfikowanie podmiotów działających w branży nanotechnologicznej wymaga innej metody wyszukiwania niż klasyfikacja działalności gospodarczej (GUS, 2023b).

Dla celów przedmiotowej analizy przyjęto podział nanotechnologii na podstawie metodologii Głównego Urzędu Statystycznego (GUS, 2024a). Takie podejście determinowane jest dostępem do zestandaryzowanych danych ze źródeł instytucji publicznych oraz możliwością integracji wiedzy pozyskanej z innych źródeł. Dla tak przyjętej struktury zidentyfikowano następujące grupy technologii:

Obszar technologii: Nanotechnologia i nanomateriały

Grupa technologii: Nanomateriały

Nanomateriały są grupą materiałów inżynierskich, których charakterystyczną cechą jest rozmiar mieszczący się w skali nanometrycznej. O tym, czy materiał może być zaliczony do grupy nanomateriałów, decyduje nie tylko jego wielkość, ale również właściwości wynikające z rozmiaru dotychczas niespotykanego w materiałach konwencjonalnych (Zalecenie, 2022).

Najbardziej charakterystyczna dla materiałów w skali nanometrycznej jest ich specyficzna powierzchnia właściwa i stosunek tej powierzchni do objętości. W zależności od typu nanostruktury może być to powierzchnia zewnętrzna (nanocząstki, nanorurki, nanowłókna) bądź wewnętrzna powierzchnia: granice ziaren lub granice międzyfazowe (materiały nanostrukturalne) (Baig, Kammakam i Falath, 2021). Dzięki temu może zwiększyć się szybkość dyfuzji, reaktywność chemiczna i fizyczna oraz skłonność nanomateriałów do tworzenia aglomeratów. Wraz ze zmniejszaniem wielkości ziaren w materiale do rozmiarów nanometrycznych, zgodnie z regułą Halla-Petcha, do pewnego momentu właściwości mechaniczne, takie jak granica plastyczności, twardość czy wytrzymałość na rozciąganie ulegają poprawie. Nanomateriały mogą także wykazywać lepszą przewodność elektryczną i cieplną oraz właściwości antyseptyczne i optyczne.

Technologie w ramach grupy:

- wysokoindukcyjne nanokrystaliczne materiały magnetycznie miękkie dla elektrotechniki i energetyki,
- innowacyjne nanomateriały jednowymiarowe do produkcji nanogeneratorów (Bujnik, 2025),
- kompozyty cementowe z dodatkiem grafenu do zastosowań w monitoringu strukturalnym konstrukcji budowlanych (NCN, 2019),

- nanokrystaliczne materiały magnetycznie twarde oparte na metalach ziem rzadkich (CAM, 2025),
- nanokatalizatory oparte na metalach przejściowych i półprzewodnikach, redukujące zanieczyszczenie powietrza,
- katalizatory heterogeniczne na bazie nanostruktur węglowych dla procesów chemicznych (Latos, Boncel i Chrobok, 2016),
- struktury węglowe (grafen, nanorurki węglowe, nanopłatki) (NCG, 2024),
- modyfikowane powłoki CVD i PVD (Moskal, 2005).

Grupa technologii: Nanoelektronika

Nanoelektronika to dział elektroniki zajmujący się projektowaniem i produkcją urządzeń oraz układów elektronicznych w nanoskali, w której co najmniej jeden wymiar mieści się w zakresie od 1 do 100 nm. Nanoelektronika może wykorzystywać zjawiska fizyczne charakterystyczne dla tej skali, takie jak kwantowe efekty tunelowe, ograniczenia kwantowe oraz nanostruktury, np. kropki kwantowe, nanorurki węglowe, nanometale czy grafen.

Nanoelektronika stanowi fundament współczesnych technologii informatycznych i komunikacyjnych, umożliwiając rozwój wydajnych i energooszczędnych układów scalonych, sensorów, procesorów oraz pamięci, stosowanych m.in. w urządzeniach mobilnych, komputerach, robotyce i IoT (Waser, 2012).

Technologie w ramach grupy:

- filtry z nanowłókien domieszkowane nanocząstkami magnetycznymi (Graciano Alvarez i in., 2024),
- przewodzące pasty oparte na strukturach węglowych (NCG, 2024),
- przewodzące pasty oparte na nanocząstkach srebra (SilverCon, 2023),
- półprzewodnikowe cienkie warstwy w zastosowaniu fotokatalitycznym (Politechnika Śląska, 2024a).

Grupa technologii: Nanofotonika

Nanofotonika (Femius Koenderink, Alù i Polman, 2015) to interdyscyplinarna dziedzina nauki i technologii, która zajmuje się badaniem i projektowaniem interakcji światła z materią w skali nanometrycznej. Głównym celem nanofotoniki jest zrozumienie mechanizmów fizycznych oraz rozwijanie technologii umożliwiających kontrolę i manipulację światłem, co oznacza, że struktury i materiały badane lub wykorzystywane w tej dziedzinie mają rozmiary mniejsze od długości fali światła widzialnego (400–700 nm).

Nanofotonika (Ansys, 2025) łączy w sobie elementy tradycyjnej optyki, elektroniki, chemii, materiałoznawstwa oraz nanotechnologii. Kluczowe w tej dziedzinie jest wykorzystywanie zjawisk kwantowych, takich jak efekty plazmoneczne, polarytony ekscytonowe czy emisja spontaniczna w kontrolowanych warunkach. Dzięki nanofotonice możliwe jest przekraczanie ograniczeń dyfrakcyjnych klasycznej optyki, co prowadzi do opracowania niezwykle precyzyjnych narzędzi i urządzeń o szerokim spektrum zastosowań (PPTF, 2025).

Technologie w ramach grupy:

- nanokompozyty polimerowe z hybrydowymi nanonapełniaczami dla materiałów ekranujących EMI i sensorów (CMPW PAN, 2022),
- sensory oparte na strukturach węglowych, służące do detekcji gazów (Górski i Safuta, 2025),
- sensory oparte na metalach przejściowych oraz półprzewodnikach w detekcji gazów (Politechnika Śląska, 2025).

Grupa technologii: Nanobiotechnologia i nanomedycyna

Nanobiotechnologia to interdyscyplinarna dziedzina nauki z pogranicza nanotechnologii, biotechnologii oraz biochemii. Zajmuje się badaniem, projektowaniem i wykorzystywaniem nanomateriałów, nanostruktur, nanotechnik oraz materiałów biologicznych do analizowania, modyfikowania i kontrolowania procesów biologicznych w skali nanometrycznej (1–100 nm). Nanobiotechnologia wykorzystuje unikalne właściwości nanostruktur (np. specyficzna powierzchnia właściwa) w celu rozwoju nowych metod diagnostycznych, terapeutycznych, a także wytwarzania

materiałów biologicznych i biomimetycznych. Nanobiotechnologia skupia się również na obserwacji świata biologii i przenoszenia zjawisk tam zaobserwowanych do rozwiązań technologicznych w różnych gałęziach przemysłu. Głównymi obszarami implementacji opracowanych technologii są biosensory, dodatki do żywności i nawozów, regeneracja tkanek czy biomateriały (Soni i in., 2023).

Nanomedycyna jest częścią nanobiotechnologii. Jej głównym celem jest poprawa zdrowia ludzkiego przez rozwój narzędzi diagnostycznych, bardziej precyzyjnych terapii, systemów dostarczania i projektowania leków oraz metod regeneracji tkanek (Nanonet, 2024). Nanomedycyna powstała przez zastosowanie struktur, materiałów i technologii w skali nano do diagnozowania, leczenia i zapobiegania chorobom oraz do poprawy zdrowia. Badania prowadzone w tym zakresie pozwoliły na zaprojektowanie systemów kontrolowanego dostarczania leków, które poprawiają skuteczność ich działania w określonym miejscu w organizmie, opracowanie nowych metod diagnostyki i obrazowania medycznego oraz wprowadzanie innowacyjnych terapii hybrydowych.

Technologie w ramach grupy:

- micelle polimerowe jako nanonośniki do przekraczania bariery krew-mózg (CMPW PAN, 2022),
- nanokrystaliczne tlenki żelaza do zastosowań medycznych jako nośniki leków oraz w hipertermii magnetycznej (ZFMM, 2024),
- nanoterapeutyki fulerenowe do leczenia i diagnozowania nowotworów (Uniwersytet Śląski, 2024),
- modyfikacja warstwy wierzchniej metali nanocząsteczkami w zastosowaniu w implantach kostnych (Politechnika Śląska, 2024b),
- zastosowanie nanorurek węglowych w obrazowaniu medycznym (Tomczyk, 2019),
- cienkie warstwy do stentów i innych implantów sercowo-naczyniowych (Jelonek, 2016),
- sposób otrzymywania profilaktycznych materiałów opatrunkowych do zapobiegania powstawaniu ran zespołu stopy cukrzycowej (Patent, 2024).

Grupa technologii: Filtracja i membrany

Filtracja i membrany, oparte na nanotechnologii, są stosowane w zaawansowanych technikach oczyszczania, separacji i kontroli przepływu cząsteczek w skali nanometrycznej. Dzięki wykorzystaniu materiałów i struktur w skali nano, możliwe jest osiągnięcie niezwyklej precyzji w separacji, np. w ochronie środowiska, medycynie, odsalaniu wody czy magazynowaniu energii. Membrany wytworzone z wykorzystaniem nanotechnologii są cienkimi warstwami i posiadają strukturę porów w rozmiarze nanometrycznym. Najczęściej membrany wzbogacane są o nanocząstki i katalizatory, co wpływa na ich efektywność separacyjną (Haque, 2023).

Technologie w ramach grupy:

- nanomembrany polimerowe biodegradowalne domieszkowane minerałami (haloizyt) do usuwania mikrozanieczyszczeń organicznych (Kamińska, 2022),
- nanokompozytowe membrany do separacji metali ciężkich (Kamińska i in., 2021).

9.1.3. Analiza konkurencyjności obszaru technologicznego

9.1.3.1. Opis przyjętych metod

Analiza sektora nanotechnologii i nanomateriałów w woj. śląskim, oparta na pięciu siłach Portera, wykazała:

1. Rywalizacja między istniejącymi konkurentami

- Woj. śląskie ma zróżnicowaną bazę przemysłową – z sektorami tradycyjnymi (górnictwo, hutnictwo) oraz sektorami nowych technologii (technologie medyczne, energetyczne, biotechnologia, ochrona środowiska).
- Regionalne Inteligentne Specjalizacje, zgodnie z Regionalną Strategią Innowacji Województwa Śląskiego 2030 (Strategia, 2021), obecnie obejmują: energetykę, medycynę, technologie

informacyjne i komunikacyjne, zieloną gospodarkę i przemysł wschodzący. W każdej z nich nanotechnologia i nanomateriały mogą znaleźć swoje zastosowanie.

- W woj. śląskim jest 25 firm realnie działających w obszarze nanotechnologii i nanomateriałów, natomiast liczba firm i podmiotów zrzeszonych w Śląskim Kłastrze Nano wynosi 42 (wg danych Fundacji Nanonet). W 2024 r. pojawiła się tylko jedna nowa firma (NanoCarbon Group).
- Strategiczne obszary innowacji w regionie to m.in. medycyna i technologie środowiskowe. To właśnie w tych obszarach konkurencja między istniejącymi podmiotami jest najsilniejsza (Smoliński i in., 2015).
- Wiele firm działających w obszarze nanotechnologii w ostatnich latach 2017–2022 przeniosło się poza woj. śląskie (SmartNanotechnologies, NanoTe) lub ogłosiło upadłość (Dynamax).
- Wysokie koszty prowadzenia działalności B + R w obszarze nano, brak zainteresowania wsparciem w ramach nowej perspektywy finansowej [np. program FENG; brak projektów z obszaru nanotechnologii w woj. śląskim w perspektywie finansowej 2021–2027 (Mapa Dotacji, 2019)] oraz Regulacje Komisji Europejskiej ograniczające stosowanie różnego rodzaju nanocząstek wymuszają na firmach zmianę kursu i poszukiwania innych rozwiązań (Rozporządzenie, 2024) (zmiana stosowanych/opracowywanych technologii).
- Stopień rywalizacji między istniejącymi konkurentami jest niski/średni (2–4) z racji niewielkiej liczby konkurujących podmiotów, a istotnym czynnikiem determinującym tę rywalizację, są fundusze na B + R, których śląskie firmy nie posiadają w wystarczającej ilości, aby wdrażać i komercjalizować rozwiązania z obszaru nanotechnologii i nanomateriałów.
- Firmy z obszaru nanotechnologii muszą mierzyć się nie tylko z konkurencją w skali lokalnej, ale też globalnej. Zazwyczaj jest to konkurencja między start-upami a dużymi graczami wytwarzającymi nanomateriały (Rambaran i Schirhagl, 2022).

2. Zagrożenie ze strony nowych podmiotów

- Bariery wejścia na rynek nanotechnologii są na poziomie umiarkowanym do wysokiego (5–6).
- Respondenci Ankiety za najważniejsze uznali „czynniki hamujące wprowadzenie nanotechnologii na skalę przemysłową” – wysokie koszty produkcji i brak krajowej polityki w obszarze rozwoju nanotechnologii (10), problemy z komercjalizacją (9) oraz wysoki koszt wejścia na rynek (8).
- Za najmniej istotne „czynniki hamujące wprowadzenie nanotechnologii na skalę przemysłową” respondenci Ankiety uznali brak regulacji prawnych (3) oraz brak akceptacji społecznej dla zastosowań nanotechnologii (2).
- Bariery prawne i regulacyjne wdrażania nanotechnologii w Polsce respondenci Ankiety ocenili na poziomie 3 w 5-stopniowej skali.
- W 2024 r. w woj. śląskim powstała tylko jedna firma działająca w obszarze nanotechnologii – NanoCarbon Group (dane Fundacji Nanonet).
- Trend braku funduszy na rozwój technologii z obszaru nano obserwowany jest w całym kraju. Obecna perspektywa unijna, w której realizacji występują znaczne opóźnienia, a także wprowadzane regulacje (Rozporządzenie, 2024), nie sprzyjają prowadzeniu tego typu projektów.
- Nowo powstające firmy (lub nawet te dłużej działające) niejednokrotnie przenoszą swoją działalność poza woj. śląskie, poszukując funduszy w bardziej sprzyjającym środowisku.
- Konkurencji można upatrywać w firmach spoza regionu, działających już na rynku śląskim lub chcących na niego wejść (zarówno nowo powstałych, jak i już działających), np. QNA Technology z Wrocławia, działająca w obszarze kropek kwantowych (Dobroszek, 2022).
- Wahania na rynku polskim i globalnym (wysoka inflacja, ceny surowców, rosnące koszty energii) wpływają na zainteresowanie nowymi technologiami, a co za tym idzie, ograniczają popyt na produkty zawierające komponenty nanotechnologii (Elzein, 2024). Wpływ na to ma także konkurencja alternatywnych, tańszych rozwiązań, które nie są oparte na nanotechnologii.
- Rywalizacja cenowa, która przejawia się tym, że nowe podmioty, najczęściej małe start-upy nie mają możliwości znacznego obniżenia ceny produktu czy technologii, ani nie dysponują z reguły funduszami i siecią kontaktów umożliwiającą szybką ekspansję rynkową. To sprawia, że mogą

konkurować z większymi graczami na rynku jedynie dzięki oferowaniu produktu niszowej technologii.

3. Siła przetargowa dostawców

- Nanomateriały i nanotechnologie stanowią specyficzną grupę, co ogranicza liczbę dostępnych dostawców.
- W dalszym ciągu należy identyfikować rynek polski wraz z woj. śląskim bardziej jako biorcę technologii niż jako dawcę (mała ilość firm w tym obszarze, brak start-upów). Wskazuje to na duży obszar do optymalizacji w łańcuchu rozwoju nanotechnologii, w szczególności na ostatnim jego etapie, tj. efektywnym wdrożeniu.
- Główne problemy związane z nanomateriałami to wysokie koszty ich produkcji, problemy ze skalowaniem technologii, wpływ na zdrowie i środowisko, brak standardów i ograniczona stabilność chemiczna (PARP, 2024).
- Uzależnienie od globalnych dostawców surowców wyjściowych przy produkcji nanomateriałów wytwarzanych w celach półproduktów lub produktu końcowego dostarczanego na rynek.
- Problemy z monopolizacją rynku przez firmy produkujące specjalistyczną aparaturę badawczą potrzebną w procesach produkcji nanomateriałów.
- Nanotechnologie czy nanomateriały nie są samoistne lecz stanowią część większej całości/technologii. Dlatego też „dostawcami” są często instytucje naukowe (politechniki, uniwersytety) czy instytuty badawcze, które opracowują rozwiązania z obszaru nano w ramach badań podstawowych. Identyfikowalna jest bariera w zakresie przechodzenia z rezultatów badań podstawowych do stosowanych w ujęciu zwiększania szans na komercjalizację technologii (Lipiec, 2021).
- Woj. śląskie jako dostawca nowych technologii z obszaru nano (wymienione w Arkuszu identyfikacji technologii) ma znaczny potencjał w skali krajowej. Zaplecze naukowe oraz technologiczne stanowią o jego przewadze. Na korzyść przemawia także obecność Krajowych Kłastrów Kluczowych, głównie Śląskiego Klastra NANO.
- Mimo stosunkowo sprzyjającego środowiska, nadal brakuje systemowych działań wspierających rozwój drogich technologii wysokiego ryzyka na całym etapie, od badań podstawowych do komercjalizacji (APA Group, 2019).
- Woj. śląskie stale rozwija sieć wsparcia biznesu i innowacji, co może stanowić szansę dla dostawców technologii nano w najbliższym czasie (Fundusz Górnośląski, 2024).

4. Siła przetargowa nabywców

- Rozwiązania z obszaru nano mają szerokie zastosowanie i nie są samoistne lecz istnieją w połączeniu z innymi materiałami, produktami bądź usługami (PARP, 2024).
- Grupa nabywców rozwiązań nano może być stosunkowo szeroka z racji potencjału i interdyscyplinarności produktów nano (Lipiec, 2021; Parkiet, 2021).
- Technologie nano wykorzystuje się w przemyśle chemicznym, półprzewodnikach, elektronice, lotnictwie i militariach, medycynie i farmacji, motoryzacji, tekstyliach oraz branży spożywczej (Chemia i Biznes, 2013).
- W każdym z ww. obszarów nanotechnologia może służyć zarówno do tworzenia nowych rozwiązań od podstaw (bottom-up), jak i do miniaturyzacji już istniejących do skali nano (top-down) (Chemia i Biznes, 2013).
- Z powodu wysokich kosztów badań i wdrożeń, nanotechnologie pozostają „towarem” dla podmiotów dysponujących większymi funduszami. Z tego powodu mogą nie być konkurencyjne na rynku, o ile istnieją rozwiązania odpowiadające na te same potrzeby (technologie analogiczne, ale niewykorzystujące elementów nano).
- Nanotechnologia wciąż się rozwija i nie dostarcza jeszcze rozwiązań pozwalających zaspokoić każdą zgłaszaną potrzebę. Dlatego produkty nieopierające się na nano mogą stanowić konkurencję i mieć wpływ na siłę przetargową nabywców, nie tylko w woj. śląskim.

- W woj. śląskim technologie nano rozwijają się bardziej w oparciu o podaż (prowadzone obecnie badania naukowe w obszarze badań podstawowych oraz aplikacyjnych) niż o faktyczny popyt rynkowy (zob. podrozdział 9.3).
- W woj. śląskim za głównych odbiorców można uznać firmy zrzeszone w klastrach: Silesia Automotive & Advanced Manufacturing (Krajowy Klaster Kluczowy, KKK), Śląski Klaster Lotniczy (KKK), MedSilesia (KKK), a także firmy z branż: ochrona środowiska, energetyka, elektronika czy budownictwo.
- Kluczowymi odbiorcami technologii nano nie są odbiorcy końcowi, ale podmioty, które wykorzystują te rozwiązania do wytworzenia gotowego produktu, np. Panamint Sp. z o.o., Proof-Tech Sp. z o.o.

5. Zagrożenie produktami zastępczymi

- Istnieje wysokie ryzyko pojawienia się produktów zastępczych.
- Inna skalowalność produkcji – koszty produkcji nanomateriałów są często trudne do skalowania i dają to przewagę „tradycyjnym” rozwiązaniom.
- Regulacje unijne (Rozporządzenie, 2024) mogą spowodować zmniejszenie dostępności na rynku produktów zawierających nanocząstki i powrót do rozwiązań zawierających już zarejestrowane substancje o większych rozmiarach, dopuszczone na terenie UE (np. poziom mikro, który nie jest ściśle kontrolowany). Będzie się to przekładać na zwiększenie ich ilości (aby uzyskać ten sam lub zbliżony efekt jak przy wykorzystaniu technologii nano, trzeba będzie wykorzystać więcej materiału, co oznacza, że więcej potencjalnie szkodliwych substancji może dostać się do środowiska).
- Wysokie koszty wprowadzenia danej nanotechnologii czy nanomateriału na rynek (z reguły w formie komponentu większej technologii lub produktu), co potwierdzają m.in. wyniki Ankiety.
- Mimo powyższych przeciwności 72% respondentów Ankiety odpowiedziało, że nie zna alternatywnych rozwiązań dla nanotechnologii w swojej branży. Może to wynikać z faktu, że technologie z komponentem nano rozwiązują problemy, których do tej pory nie udało się rozstrzygnąć przy wykorzystaniu „konwencjonalnych” metod.
- Za alternatywne technologie respondenci uznali takie rozwiązania, jak: modyfikacja struktury powłok w wyniku zmiennych warunków ich wytwarzania, DUV, EUV, klasyczne katalizatory i półprzewodniki, tradycyjna elektronika.
- Na średnim poziomie 2,67 (w pięciostopniowej skali) respondenci Ankiety uznali „poziom rozwój nanotechnologii/nanomateriałów w swojej branży, gdzie 1 oznaczało „bardzo niski”, a 5 „bardzo wysoki”. Wyniki te pokazują, że rozwiązania oparte na innych technologiach bądź materiałach mają dominujący lub przynajmniej równy wpływ na dany obszar, np. farmację, medycynę.
- Technologie rozwijane w woj. śląskim dotyczą głównie sposobów wytwarzania i modyfikacji już istniejących rozwiązań: nanopowłok, nanokompozytów, nanopestycydów, nanokatalizatorów, nanopolimerów, nanorurek węglowych, nanocząstek metalicznych. Większość z nich znajduje się na etapie badań podstawowych lub ma zbyt niski TRL, aby mogło dojść do komercjalizacji bez dalszych badań (np. w środowisku rzeczywistym) i środków finansowych.

Podsumowując, woj. śląskie stwarza możliwości rozwoju nanotechnologii dzięki swojej bazie przemysłowej, infrastrukturze naukowo-badawczej i potencjałowi badawczemu, stoi jednak również przed wyzwaniem związanym z konkurencją, dynamiką dostawców, siłą nabywczą i potencjalnymi substytutami na rynku.

9.1.3.2. Analiza warunków popytu na technologie w ramach obszaru technologicznego

Działalność nanotechnologiczną według GUS (2023a) w 2022 r. prowadziło 70 przedsiębiorstw, tj. o 6,7% mniej niż w poprzednim roku. W 2023 r. nastąpił wzrost o 18,6% – w obszarze nanotechnologii działały 83 przedsiębiorstwa (GUS, 2024b). Nakłady wewnętrzne poniesione przez przedsiębiorstwa na działalność nanotechnologiczną wyniosły 485,9 mln PLN w 2022 r. i były o 13,7% wyższe w porównaniu z poprzednim rokiem (2021 r.). W 2023 r. nastąpił spadek wysokości tych

nakładów do 390,0 mln PLN (–19,7%). W dziedzinie nanotechnologii w latach 2022 i 2023 pracowało odpowiednio 3687 i 3339 osób, w tym w przedsiębiorstwach odpowiednio 1344 i 1264 osoby. W 2022 r. działalność badawczą i rozwojową w dziedzinie nanotechnologii prowadziło 125 podmiotów (tak jak w poprzednim roku), natomiast w 2023 r. – 146 (wzrost o 16,8%). Nakłady wewnętrzne poniesione na działalność B+R w dziedzinie nanotechnologii w 2022 r. wyniosły 399,9 mln PLN i były o 7,1% wyższe niż w poprzednim roku. Z kolei w 2023 r. były niższe w porównaniu z poprzednim rokiem o 4,9% (wyniosły 380,0 mln PLN). W działalność badawczą i rozwojową w dziedzinie nanotechnologii w 2023 r. (2610 osób) było zaangażowanych mniej osób niż w 2022 r. (2817).

Zauważalny jest spadek liczby firm prowadzących działalność B+R w obszarze nanotechnologii z 74 w 2016 r. do 51 w 2022 r. W 2023 r. nastąpił wzrost tej liczby o 18,6% (do 68).

Tabela 9.1. Przedsiębiorstwa prowadzące działalność w dziedzinie nanotechnologii

Przedsiębiorstwa	Rok							
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Ogółem	107	88	100	86	71	75	70	83
W tym prowadzące działalność B+R	74	57	68	66	50	51	51	68

Krajowy rynek nanotechnologii wykazuje trend spadkowy w wielu obszarach, np. nakładów na działalność B+R. Mimo takiej tendencji na rynku krajowym rozwijający się globalny rynek nanotechnologii przekroczył 8,70 mld USD w 2024 r., a do 2033 r. osiągnie wartość 107,3 mld USD (Astute Analytica, 2025), inne źródła mówią o wartości 91,18 mld USD i prognozują wzrost do 332,73 mld USD do 2032 r. (Fortune Business Insights, 2024).

Komercjalizacja wyników badań wynikających z wytwarzania i zastosowania nanotechnologii nie tylko niesie ze sobą znaczące korzyści dla społeczeństwa dzięki ich różnorodnym zastosowaniom, ale jest również ekonomicznie opłacalna. W rezultacie nanotechnologia przyciąga coraz większe inwestycje ze strony rządów i agencji sektora prywatnego na całym świecie (Rambaran i Schirhagl, 2022). Dane serwisu BioSpace wskazują, że branża nanotechnologiczna odnotowała w ostatnich latach wzrost wykładniczy. Prognozy wskazują, że do 2030 r. wartość rynkowa wynosząca 85,39 mld USD w 2021 r. przekroczy 288,71 mld USD, wykazując średnioroczną stopę wzrostu (ang. *compound annual growth rate*, CAGR) na poziomie 14,5% w latach 2022–2030 (BioSpace, 2022). Zauważalne jest rosnące wykorzystanie nanomateriałów w różnych branżach, takich jak lotnictwo, opieka zdrowotna, elektronika i tekstylia, stanowi podstawę dynamicznego wzrostu sektora. W szczególności unikalne właściwości fizykochemiczne nanomateriałów uczyniły je niezbędnymi. Pandemia COVID-19 w 2020 r. była katalizatorem, przyspieszając inwestycje w badania i rozwój w celu wykorzystania potencjału nanotechnologii w profilaktyce, diagnostyce i leczeniu. W 2023 r. według GUS (2023a), dla większości badanych przedsiębiorstw dominującym obszarem zastosowania były właśnie nanomateriały. Przemysł elektroniczny z rosnącym popytem na innowacyjne produkty, takie jak spintronika, kropki kwantowe i nanodrut, ma odegrać kluczową rolę w trajektorii wzrostu rynku.

Negatywnie należy ocenić trend spadkowy zgłaszanych w UP RP wniosków o nadanie praw ochronnych w obszarze technologii mikrostrukturalne, nanotechnologie. Ich liczba spadała z 24 aplikacji w 2016 r. do 8 w 2023 r. Należy to porównać z tempem wzrostu liczby wniosków patentowych z zakresu nanotechnologii, zgłaszanych w Urzędzie Patentowym i Handlowym USA (USPTO), która w okresie od 2000 r. do 2020 r. wzrastała o około 13% rok do roku. Autorzy ze Stanów Zjednoczonych mają największą liczbę zgłoszeń w USPTO, co w latach 2019–2020 stanowiło około 41,5% wszystkich zgłoszeń. Na kolejnych miejscach znajdowały się: UE-27 (12,3%), Korea Południowa (7,2%), Japonia (5,4%) i Chiny (4,4%) (Roco, 2023).

Trendy na rynku globalnym i europejskim, a także rozwój instytucji związanych z nanotechnologią w Polsce wskazują na duży wzrost potencjału branży nanotechnologicznej i jej udziału w branżach komplementarnych. Do trendów, na które należy zwrócić szczególną uwagę, należą (Strategia, 2019):

- **Aplikacje środowiskowe i medycyna** – rosnąca liczba aplikacji nanotechnologicznych w rozwiązywaniu wyzwań, które stoją przed ludzkością w kontekście zdrowia ludzi i środowiska. Dzięki rozwojowi nanotechnologii można rozwijać nowoczesne terapie onkologiczne lub takie,

które są alternatywą dla antybiotyków. Nanostruktury mają także powszechne zastosowanie w budowie specjalistycznego sprzętu medycznego oraz wpływają bezpośrednio na ograniczenie ilości substancji czynnych w środowisku.

- **Personalizacja produktów** – silna potrzeba konsumentów związana z indywidualizacją zamówień, w połączeniu z rewolucją Przemysłu 4.0, która zakłada szybką automatyzację linii przemysłowych i daje szansę na szerokie zastosowanie nanomateriałów w tym obszarze. Dzięki właściwościom nanomateriałów jest możliwe wytwarzanie znacząco różniących się produktów, warstw czy materiałów przy niewielkiej modyfikacji linii produkcyjnych.
- **Miniaturyzacja** – do utrzymania trendu miniaturyzacji urządzeń elektronicznych konieczne jest wykorzystanie nanostruktur. Stosowane są one do budowy mniejszych procesorów, cieńszych ekranów, lżejszych baterii czy bardziej elastycznych ogniw fotowoltaicznych, co stanowi tylko niewielką część obszaru potencjalnych zastosowań nanomateriałów i dobrze rozwijającej się gałęzi przemysłu.
- **Bezpieczeństwo i standaryzacja** – powszechny dostęp do tego typu rozwiązań w produktach codziennego użytku rodzi coraz większą potrzebę identyfikacji zagrożeń, które wiążą się ze stosowaniem nanomateriałów, w szczególności ich wpływu na zdrowie człowieka i środowisko. Nowe technologie rozwijają się szybciej niż badania nad ich bezpiecznym wykorzystaniem w środowisku lub wpływem na organizm człowieka. Podobnie jest z regulacjami prawnymi, które nie „nadążają” z aktualizacją przepisów dotyczących zarządzania ryzykiem związanym z wprowadzeniem nanomateriałów do obiegu gospodarczego. Standaryzacja i rozwój instytucji certyfikujących w tej dziedzinie będą dynamicznie rozwijane w ciągu najbliższej dekady.

W Europie nanomateriały podlegają różnym przepisom UE, a niektóre z nich odnoszą się do nich wprost, używając różnych terminów, np. nanomateriał, nanomateriał inżynierski lub nanoforma, co stanowi problem podczas wdrażania innowacji opartych na nanomateriałach (Rauscher i in., 2019). Pod względem prawnym Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju wspiera regulacyjną ocenę nanomateriałów, zapewniając, że opracowane przez nią wytyczne testowe są dostępne i mogą być stosowane do badania nanomateriałów. Przepisy dotyczące nanomateriałów w UE są coraz lepiej precyzowane, a załączniki do ogólnego prawodawstwa dotyczącego chemikaliów REACH zostały niedawno zmienione w celu wyjaśnienia wymogów informacyjnych dotyczących nanoform. W dalszym ciągu istnieją jednak kwestie regulacyjne, takie jak różnice w definicjach nanomateriałów w prawodawstwie UE. Parlament Europejski niedawno zażądał harmonizacji definicji nanomateriałów w różnych przepisach, aby wyjaśnić i usunąć niejasności (Halamoda-Kenzaoui, 2019). Sugeruje się, aby definicja ta była aktualizowana zgodnie z postępem technicznym oraz naukowym i/lub uzgadniana na szczeblu międzynarodowym (Tschiche i in., 2022).

Jeśli chodzi o wykorzystanie nanomateriałów w produktach przeznaczonych do bezpośredniego użytkowania przez ludzi, takich jak żywność czy kosmetyki, Unia Europejska wprowadza regulacje i ograniczenia ich wykorzystywania w celu zapewnienia najwyższego poziomu bezpieczeństwa. Wynika to m.in. z braku wystarczających badań dotyczących wpływu takich materiałów na zdrowie ludzi i środowisko (CORDIS, 2024). Dokumentem takim jest wspomniane już rozporządzenie Komisji Europejskiej 2024/858 z 14 marca 2024 r. czy inne rozporządzenia, z 14 stycznia 2022 r., zakazujące wykorzystania ditlenku tytanu jako dodatku do żywności (CORDIS, 2024).

Spośród podmiotów gospodarczych w obszarze nanomateriałów wyróżniających się na tle kraju, należy wymienić:

- **Panamint** – śląski start-up zajmujący się produkcją modularnych wyświetlaczy segmentowych opartych na unikalnej technologii elastycznych wyświetlaczy nieemisyjnych (papier elektroniczny). Są one drukowane na zamówienie klienta, bez dodatku szkodliwych substancji. Firma produkuje także drukowalne baterie. Panamint jest laureatem programu organizowanego przez Inkubator Przedsiębiorczości Rawa.Ink, pt. Kopalnia Start-upów.
- **NanoGroup SA** – grupa spółek biotechnologicznych, której działalność skoncentrowana jest na projektach z obszarów: profilaktyka, wczesna diagnostyka, celowane terapie oraz rehabilitacja onkologiczna. NanoGroup planuje sprzedaż licencji na posiadane rozwiązania na wczesnym etapie rozwoju (faza przedkliniczna i pierwsza faza kliniczna) międzynarodowym firmom

biotechnologicznym i koncernom farmaceutycznym. W szczególności interesujący jest projekt NanOX dotyczący unikalnego systemu do przechowywania i regeneracji organów do przeszczepów.

- Spółka zależna Saule Technologies, Saule SA – światowy lider w rozwoju technologii perowskitowych ogniw fotowoltaicznych. Spółka prowadzi badania nad perowskitami od 2014 r. i opracowała metodę produkcji perowskitowych ogniw fotowoltaicznych z zastosowaniem druku atramentowego. Saule udoskonala drukowane atramentowo, ultracienkie i elastyczne ogniwa słoneczne na bazie perowskitów, które są ekologiczne i lekkie, działają w sztucznym świetle i w warunkach słabego oświetlenia. W maju 2021 r. Saule uruchomiła we Wrocławiu pierwszą na świecie pilotażową linię produkcyjną ogniw z perowskitów. Saule skupia się obecnie na zastosowaniu ogniw perowskitowych w elektronicznych etykietach cenowych wykorzystywanych przez sieci handlowe.
- Spółka QNA Technology – powstała w grudniu 2016 r. Jej założycielami oraz liderami są dr hab. inż. Artur Podhorodecki i dr inż. Mateusz Bański. Specjalizuje się w syntezie, charakteryzacji oraz funkcjonalizacji półprzewodnikowych kropek kwantowych – nanostruktur wykazujących wielki potencjał, które mogą zrewolucjonizować wiele sektorów, np. produkcję wyświetlaczy czy fotowoltaikę.
- Nanoxo – polska firma nanotechnologiczna, która opracowała przełomową technologię wytwarzania bardzo małych, monodispersyjnych i długotrwale stabilnych nanomateriałów na bazie nadtlenku cynku. To unikalne rozwiązanie daje możliwość oferowania szerokiej gamy nanostruktur ZnO_2 , które są łatwo dyspergowalne w różnych mediach organicznych, także w wodzie.
- Zespół naukowców z NanoVelos pracuje nad wytwarzaniem nanocząstek z polisacharydów – m.in. z utlenionego dekstranu. Nanocząstki na bazie dekstranu służą jako nośnik leków przeciwnowotworowych. Cechą wyróżniającą technikę NanoVelos jest możliwość uwalniania danego leku wyłącznie w komórkach nowotworowych. Badania przedkliniczne potwierdziły, że leki uwalniane z nanocząstek zachowują swój potencjał do zabijania komórek rakowych.
- UVer – start-up, w którym opracowano sposób ochrony skóry przed promieniowaniem UV przy pomocy pigmentu absorbującego szkodliwe promieniowanie w bezpieczny dla zdrowia i środowiska sposób. Rozwiązanie to stanowi innowację i alternatywę dla filtrów UV, z uwagi na swoje środowiskowe znaczenie. Obecnie stosowana technologia filtrów i powłok UV jest szkodliwa dla środowiska i często również dla zdrowia człowieka (np. zakazany w UE ditlenek tytanu w formie sprayu). Rozwiązaniem proponowanym przez UVerę zainteresował się m.in. Airbus. UVerę współtworzą Magdalena Jander, prof. Jacek Wierchoś i dr Adam Kiciak (Rozporządzenie, 2022).
- ADJ Nanotechnology Sp. z o.o. – polska firma nagrodzona wieloma nagrodami, m.in. TERAZ POLSKA czy Nagrodą Gospodarczą Prezydenta RP. Firma zajmuje się produkcją nanomateriałów o opatentowanych składach technicznych. W swojej ofercie posiadają nanoproszki – m.in. miedzi i srebra, nanokoloidy zwykłe oraz w macierzy żelowej. Produkty firmy mają szerokie zastosowanie w przemyśle (powłoki, filtracja wody i powietrza, kataliza), produkcji kosmetyków (zapobieganie kontaminacji przez mikroorganizmy) czy tworzenie tzw. smart nanotextiles (materiałów zawierających nanocząsteczki, które kontrolują namnażanie się mikroorganizmów).

Konkurencja na rynku nanotechnologii w Polsce i Unii Europejskiej jest złożonym zjawiskiem, na które składa się różnorodność zastosowań, rosnące inwestycje w B+R, wyzwania regulacyjne oraz współpraca między sektorem publicznym a prywatnym. Firmy, które skutecznie wykorzystują nanotechnologię, mają szansę na zwiększenie swojej konkurencyjności i zdobycie nowych rynków, co jest kluczowe w kontekście globalnych trendów innowacyjnych.

9.1.3.3. Możliwość pojawienia się nowych technologii, produktów i usług

Przewaga woj. śląskiego nad pozostałą częścią Polski w obszarze nanotechnologii i nanomateriałów wynika z:

- potencjału instytucji naukowych mających swoją siedzibę w tym regionie oraz ich zaplecza infrastrukturalnego, a także wielu badań podstawowych prowadzonych w obszarze nano, których wyniki mogą następnie stać się przedmiotem badań aplikacyjnych,
- zaplecza, które tworzą podmioty gospodarcze od lat działające w obszarach związanych z takimi gałęziami gospodarki, jak: energetyka, ochrona środowiska, medycyna, hutnictwo, produkcja materiałów,
- obecności Krajowego Klastra Kluczowego, jakim jest Śląski Klaster NANO, wspierającego swoimi działaniami podmioty chcące rozwijać swój potencjał w obszarze nano.

Woj. śląskie dysponuje znacznym potencjałem w obszarze badań nad nowymi nanotechnologiami i nanomateriałami. Wielu naukowców z woj. śląskiego prowadzi badania w obszarze nano. Na podstawie wywiadów indywidualnych i analizy prac prowadzonych w jednostkach naukowych z woj. śląskiego wskazano główne kierunki badań. Są nimi:

- wpływ nanocząstek na organizmy żywe oraz środowisko, w tym ocena ryzyka środowiskowego różnych nanosubstancji, np. nanopestycydów oraz badania nad wykorzystaniem nanomateriałów w medycynie, np. do opatrunków hydrożelowych, materiałów barierowych, implantów, a także oddziaływanie nanocząstek na komórki nowotworowe,
- udział nanocząstek w procesach transferu leków, powstawaniu antybiotykooporności, horyzontalny transfer genów,
- metody oceny struktury różnorodnych nanomateriałów oraz ich obrazowanie, np. z wykorzystaniem skaningowej mikroskopii elektronowej,
- badania nad mechanizmem działania nanozwiązków chemicznych,
- modyfikacja powierzchni materiałów, w tym metali, przez pokrywanie ich nanopowłokami,
- wytwarzanie i badanie właściwości materiałów nanokompozytowych, nanorurek węglowych, nanokatalizatorów, nanofarmaceutyków, nanografenów,
- nanomateriały do zastosowań w elektronice i optoelektronice,
- nanomateriały z renu i innych metali szlachetnych.

Wymieniono główne kierunki badań prowadzonych przez naukowców z jednostek naukowych woj. śląskiego, często oparte na światowych trendach (trendach w kierunkach badań naukowych). Badania podstawowe koncentrują się głównie na nich, mimo że nie zawsze na rynku krajowym czy globalnym istnieje zapotrzebowanie na ich wyniki. Nie można jednak ich dyskredytować i uznawać za nieużyteczne w procesie komercjalizacji technologii. Każda technologia, która została skomercjalizowana, miała swój początek w badaniach podstawowych.

Nanomateriały wymagają ciągłych prac badawczych nad ich wpływem na organizmy żywe i środowisko. Wyników takich badań w większości nie da się skomercjalizować, ale mogą być źródłem wiedzy przy tworzeniu aktów prawnych, opracowywaniu norm czy metod, technologii wytwarzania i pracy z nanomateriałami. Potrzeba takich badań w miarę rozwoju nanotechnologii, staje się coraz częściej przedmiotem debaty (Rozporządzenie, 2024).

W woj. śląskim siedzibę mają podmioty kluczowe dla rozwoju lokalnego obszaru nanotechnologii i nanomateriałów. Są to firmy opracowujące własne technologie lub korzystające z technologii opracowanych w śląskich ośrodkach badawczych (tab. 9.2).

Tabela 9.2. Kluczowe podmioty z branży nanotechnologii i nanomateriałów w woj. śląskim

Lp.	Nazwa	Adres
1	Abraxas Jeremiasz Olgiard	Wodzisław Śląski, Piaskowa 27
2	Certech	Kozy, Wyzwolenia 550
3	COB-ARC Jakub Scheithauer	Chorzów, Wieniawskiego 18
4	ELPLAST+	Jastrzębie-Zdrój, Świerczewskiego 8
5	EMAG-SERWIS	Katowice, Leopolda 33
6	Ex. T	Sosnowiec, Mireckiego 22
7	Helioenergia	Czerwionka-Leszczyzna, Rybnica 68
8	Paks'D	Tychy, Strzelecka 74
9	Panamint	Chorzów, Pułku Piechoty 75, budynek H, lok. 208A
10	Plasma System	Siemianowice Śląskie, Towarowa 14

Lp.	Nazwa	Adres
11	Progresja New Materials	Katowice, Teatralna 17A
12	SiD Coating's	Tychy, Sendlerowej 11
13	ZOKE	Katowice, Kościuszki 227
14	Stoelzle Częstochowa	Częstochowa, Warszawska 347
15	4nano Szczyciel	Katowice, Bażantów 35
16	Nanobiz.pl	Dąbrowa Górnicza, Perła 10G
17	Certech	Wilamowice, Więźniów Oświęcimia 38
18	Pro-chem	Gliwice, Błogosławionego Czesława 58
19	Proof-Tech	Gliwice, Sowińskiego 5
20	Gonar-Bis	Katowice, Obroki 109
21	PREVAC	Rogów, Raciborska 61
22	ITP-System	Dąbrowa Górnicza, Strzemieszycka 8
23	Guarian Glass	Częstochowa, Korfatego 31/35
24	P.H.U. GLOBAL-TECH	Dąbrowa Górnicza, Armii Krajowej 1C
25	Arsanit	Siemianowice Śląskie, Obwodowa 17
26	SK hi-tech battery materials Poland	Dąbrowa Górnicza, Innowacyjna 1
27	Elbar-Katowice	Katowice, Kolejowa 57
28	Zakłady Tworzyw Sztucznych IZO-ERG	Gliwice, Śliwki 86
29	MAAD	Częstochowa, 1 Maja 21

Oprócz kluczowych firm, na terenie województwa działają firmy i podmioty, które: są dostawcami technologii (jak podmioty naukowe), działają na rzecz branży nano lub wykorzystują jej produkty czy dostarczają sprzęt. Wszystkie są zrzeszone w Śląskim Klastrze NANO (tab. 9.3).

Tabela 9.3. Członkowie Śląskiego Klastra NANO (dane Fundacji NANONET)

Lp.	Nazwa	Adres
1	Abraxas Jeremiasz Olgierd	Wodzisław Śląski, Piaskowa 27
2	Arsanit	Siemianowice Śląskie, Obwodowa 17
3	Asklepios	Gliwice, Konarskiego 10/1A
4	Certech	Kozy, Wyzwolenia 550
5	Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN	Zabrze, Curie-Skłodowskiej 34
6	COB-ARC Jakub Scheithauer	Chorzów, Wieniawskiego 18
7	ELPLAST+	Jastrzębie-Zdrój, Świerczewskiego 8
8	EMAG-SERWIS	Katowice, Leopolda 33
9	EPIONE	Katowice, Szopienicka 59
10	Ex. T	Sosnowiec, Mireckiego 22
11	Firma Mazur	Bytom, Szyby Rycerskie 1
12	Helioenergia	Czerwionka-Leszczyny, Rybnica 68
13	Jantar	Bielsko-Biała, Piekarska 199
14	JKK Chemia	Katowice, Rzepakowa 2A
15	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych	Gliwice, Sowińskiego 5
16	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny	Gliwice, Miarki 12–14
17	Miasto Katowice	Katowice, Rynek 1
18	n-LAB Marcin Binkowski	Katowice, Grabowa 3a/12
19	Nanochem	Sosnowiec, Schonów 3
20	Paks'D	Tychy, Strzelecka 74
21	Plasma System SA	Siemianowice Śląskie, Towarowa 14
22	Politechnika Śląska	Gliwice, Akademicka 2A/24
23	Progresja New Materials	Katowice, Teatralna 17A
24	Progresja	Mysłowice, Laryska 21
25	SiD Coating's	Tychy, Kopernika 44/4
26	Suprabit	Katowice, Lwowska 38
27	Śląski Uniwersytet Medyczny	Katowice, Poniatowskiego 15
28	Technopark Gliwice	Gliwice, Konarskiego 18c
29	Uniwersytet Śląski w Katowicach	Katowice, Bankowa 12
30	ZOKE	Katowice, Kościuszki 227
31	PTS RODŁO	Bytom, Pszczyńska 13
32	Akademia Śląska	Katowice, Rolna 43
33	Stoelzle Częstochowa	Częstochowa, Warszawska 347
34	Fabryka Okien i Drzwi Wiktorczyk	Pszczyna, Bielska 29

Tabela 9.4. Uczelnie wyższe, instytuty Sieci Badawczej Łukasiewicz, jednostki Polskiej Akademii Nauk zlokalizowane w woj. śląskim

Lp.	Nazwa	Adres
1	Główny Instytut Górnictwa – Państwowy Instytut Badawczy w Katowicach	Katowice, Plac Gwarków 1
2	Instytut Technologii Paliw i Energii	Zabrze, Zamkowa 1
3	Instytut Techniki Górniczej KOMAG	Gliwice, Pszczyńska 37
4	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie. Oddział Materiałów Ogniotrwałych w Gliwicach	Gliwice, Toszecka 99
5	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników. Oddział Zamiejscowy Farb i Tworzyw w Gliwicach	Gliwice, Chorzowska 50
6	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Warszawie. Centrum Materiałów Budowlanych i Surowców Mineralnych w Katowicach (obecnie część Warszawskiego Instytutu Technologicznego)	Gliwice, Toszecka 99
7	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych	Gliwice, Sowińskiego 5
8	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Technik Innowacyjnych EMAG	Katowice, Leopolda 31
9	Instytut Inżynierii Chemicznej PAN w Gliwicach	Gliwice, Bałtycka 5
10	Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN w Zabrzu	Zabrze, Skłodowskiej-Curie 34
11	Uniwersytet Śląski w Katowicach	Katowice, Bankowa 12
12	Politechnika Śląska	Gliwice, Akademicka 2a
13	Politechnika Częstochowska	Częstochowa, Dąbrowskiego 69
14	Uniwersytet Jana Długosza	Częstochowa, Waszyngtona 4/8
15	Śląski Uniwersytet Medyczny	Katowice, Poniatowskiego 15
16	Uniwersytet Bielsko-Bialski	Bielsko-Biała, Willowa 2
17	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Spawalnictwa (obecnie Sieć Badawcza Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny)	Gliwice, Błogostawionego Czesława 16–18
18	Instytut Metalurgii Żelaza im. Stanisława Staszica (obecnie Sieć Badawcza Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny)	Gliwice, Miarki 12

W woj. śląskim działają także niepubliczne uczelnie, lecz nie mają one takiego znaczenia dla rozwoju nanotechnologii i nanomateriałów jak podmioty publiczne (w których prowadzi się badania naukowe). Kształcą jednak kadrę specjalistów, którzy mogą pracować na rzecz rozwoju tego obszaru. Mowa o Wyższej Szkole Zarządzania Ochroną Pracy w Katowicach, Akademii Polonijnej w Częstochowie, Akademii Humanitas oraz Akademii Śląskiej.

Liczba projektów wdrożeniowych w obszarze nano wzrastała w perspektywie finansowej 2014–2020. Czas pandemii z jednej strony sprzyjał rozwojowi nanotechnologii, np. w obszarze badań i rozwoju różnego rodzaju powłok barierowych. Z drugiej strony spowodował spowolnienie wielu branż czy realizacji projektów wysokiego ryzyka, jakimi są projekty z obszaru nano. Z tego powodu na Mapie Dotacji⁸⁴ obecnie nie ma projektów w obszarze wdrożeń nanotechnologii bądź nanomateriałów do działalności podmiotów gospodarczych (tab. 9.5).

Tabela 9.5. Projekty badawczo-rozwojowe, mające związek z nanotechnologią bądź nanomateriałami, z których przynajmniej jeden podmiot/konsorcjant miał siedzibę w woj. śląskim, zidentyfikowane w serwisie Mapa Dotacji

Podmiot	Tytuł projektu	Program	Krótki opis	Wdrożenie
ABRAXAS Jeremiasz Olgierd	Materiały termoprzewodzące nowej generacji do zastosowań w elektronice	POIR	Przedmiotem projektu jest opracowanie serii materiałów termoprzewodzących nowej generacji do zastosowań w elektronice. Materiały te będą oparte na kompozycji grafen-nanosrebro, zawieszonych w różnych mediach. Dzięki temu nabiorą one unikalnych właściwości przewodzenia ciepła.	b.d.
Integros	Zakup usługi polegającej na opracowaniu formuły nano-wypełniacza hydroksyapatytowego oraz metodologii wypełniania tytanowego implantu kręgosłupowego	POIR	Celem projektu jest zakup usługi badawczej w zakresie opracowania nanowypełniacza hydroksyapatytowego oraz metodologii wypełniania tytanowego implantu kręgosłupowego w zastosowaniu dla implantów.	b.d.

⁸⁴ <https://mapadotacji.gov.pl/>

Podmiot	Tytuł projektu	Program	Krótki opis	Wdrożenie
Proof-Tech	Wprowadzenie do produkcji i sprzedaży ekologicznego bezspoinowego systemu hydroizolacji dachów płaskich na bazie akrylanów i nano-surowców	POIR	Projekt polega na komercjalizacji, tj. wprowadzeniu na rynek ekologicznego bezspoinowego systemu hydroizolacji dachów płaskich na bazie akrylanów i nanosurowców – produkt opracowany w ramach projektu Ekologiczny system hydroizolacji dachów płaskich na bazie akrylanów i nanosurowców (POIR).	TAK ⁸⁵
Gonar-Bis	Opracowanie i wdrożenie innowacyjnej technologii wytwarzania ultrawtrzymałych stali przeznaczonych na strategiczne elementy maszyn stosowanych w przemyśle wydobywczym ⁸⁶	POIR	Projekt dotyczy zastosowania innowacyjnej obróbki cieplno-plastycznej w średniostopowych manganowych stalach austenitycznych, polegającej na procesie deformation & partitioning (D & P), w którym złożona obróbka cieplnoplastyczna (walcowanie na gorąco, odkształcenie na zimno/gorąco w zakresie przemiany martenzytycznej oraz starzenie), umożliwia wygenerowanie wysokiej gęstości dyslokacji w martenzytycznej odpowiadającej za wzrost R0.2 oraz powstanie tzw. mobilnych dyslokacji w austenicie, które w połączeniu z kontrolowanym efektem TRIP (ang. <i>transformation-induced plasticity</i>) odpowiadają za zwiększenie ciągliwości stali.	b.d.
PREVAC	Źródło promieniowania rentgenowskiego do obrazowania powierzchni biomedycznych	POIR	Przedmiotem projektu jest zbudowanie wysoko innowacyjnego źródła promieniowania rentgenowskiego do obrazowania powierzchni biomedycznych. W wyniku realizacji projektu zostanie stworzony produkt umożliwiający przeprowadzenie nowatorskich badań różnego rodzaju nanostruktur z wykorzystaniem spektroskopii fotoelektronowej.	TAK
Lipid Systems	Opracowanie wysokooczyszczanej formy fosfolipidów do zastosowania w produkcji liposomowych kierowanych nośników leków, wyrobów medycznych i suplementów	POIR	Projekt zakłada prowadzenie badań przemysłowych oraz prace rozwojowe nad technologią oczyszczania lecytyn dla uzyskania czystej frakcji fosfolipidowej do zastosowania w innowacyjnych technologiach farmaceutycznych, a następnie wdrożenie wyników prac przez uruchomienie produkcji wysokiej jakości surowca niezbędnego w produkcji liposomowych nośników leków.	b.d.
PREVAC	Źródło zmonochromatyzowanego promieniowania ultrafioletowego o dużej mocy do badań nanostruktur	RPO WSL 2014–2020	Przedmiotem projektu jest zbudowanie wysoko innowacyjnego źródła zmonochromatyzowanego promieniowania ultrafioletowego o dużej mocy do badań nanostruktur. W wyniku realizacji projektu zostanie stworzony produkt umożliwiający przeprowadzenie nowatorskich badań laboratoryjnych różnego rodzaju struktur niskowymiarowych z wykorzystaniem spektroskopii fotoelektronowej.	TAK
Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej (obecnie Uniwersytet Bielsko-Bialski)	Koncentraty grafenu do zastosowań w technologii druku 3D	POIR	Celem projektu jest wytworzenie koncentratów na bazie polimerów termoplastycznych zawierających grafen i jego pochodne, które zostaną wykorzystane do produkcji nowych, innowacyjnych filamentów stosowanych w druku 3D.	b.d.
Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej (obecnie Uniwersytet Bielsko-Bialski)	Materiały termoizolacyjne o zmniejszonej przewodności cieplnej zawierające grafen	POIR	Przedmiotem projektu jest przeprowadzenie prac badawczych, których efektem będzie opracowanie procesu technologicznego produkcji styropianu modyfikowanego grafenem, wykazującego zwiększone właściwości termoizolacyjne.	b.d.

Objaśnienie: b.d. – brak danych.

Wyniki niektórych projektów przedstawionych w tabeli 9.5, szczególnie w przypadku firm technologicznych, są z powodzeniem wdrażane, np. produkt HYDRONYLON® PLUS opracowany przez Proof-Tech Sp. z o.o., który powstał w wyniku realizacji dwóch projektów współfinansowanych w ramach programu POIR w perspektywie 2014–2020. Pierwszy projekt dotyczył opracowania rozwiązania (Ekologiczny system hydroizolacji dachów płaskich na bazie akrylanów i nanosurowców),

⁸⁵ <https://www.proof-tech.com/hydronylon-plus/>

⁸⁶ <https://radon.nauka.gov.pl/dane/profil/619df75614f9235546135e29>

a drugi jego komercjalizacji przez wdrożenie go do własnej produkcji (Wprowadzenie do produkcji i sprzedaży ekologicznego bezspoinowego systemu hydroizolacji dachów płaskich na bazie akrylanów i nanosuwrowców). Obecnie firma Proof-Tech świadczy usługi oparte na skomercjalizowanej technologii wytwarzania i pokrywania powierzchni środkiem HYDRONYLON® PLUS (Proof-Tech, 2022).

Kolejnym przykładem firmy wdrażającej produkty w obszarze nano jest Panamint i jej nanoelektronika oparta na nanomateriałach węglowych. Głównym kierunkiem rozwoju są inteligentne etykiety – wykorzystywane w technologii żywnościowej i opakowaniach żywności (Panamint, 2022).

Równolegle do działalności przedsiębiorstw w jednostkach naukowo-badawczych woj. śląskiego realizowane są również projekty B+R, w szczególności w obszarze badań podstawowych, gdzie przedmiotem badań są nanotechnologie i nanomateriały.

Tabela 9.6. Projekty badawczo-rozwojowe mające związek z nanotechnologią bądź nanomateriałami, z których przynajmniej jeden podmiot/konsorcjant miał siedzibę w woj. śląskim. Zidentyfikowane na podstawie bazy POL-ON oraz stron internetowych jednostek naukowo-badawczych

Nazwa projektu	Kierownik projektu	Jednostka z woj. śląskiego
Nowe konstrukcje polimerowe do budowy ogniw fotowoltaicznych	prof. dr hab. inż. Ewa Schab-Balcerzak	Instytut Chemii Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach
Detekcja nanokryształów fluorkowych rozproszonych w materiałach żol-żelowych przy użyciu dyfrakcji rentgenowskiej oraz metod mikroskopowych i spektroskopowych	prof. dr hab. Wojciech Pisarski	Instytut Chemii Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach
Otrzymywanie, stabilność, struktura i właściwości fizykochemiczne cieczy jonowych z nanostrukturami węglowymi jako materiałów do magazynowania energii	prof. dr hab. Marzena Dzida	Instytut Chemii Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach
Nowe niestopowe nano-koniugaty metaliczne na nośnikach przestrzennych do procesów katalitycznej metanizacji i redukcji tlenków azotu	prof. dr hab. inż. Jarosław Polański	Instytut Chemii Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach
Nowe modyfikowane nanomateriały węglowe w śladowej i ultraśladowej rentgenowskiej analizie fluorescencyjnej z całkowitym odbiciem promieniowania	prof. dr hab. Rafał Sitko	Instytut Chemii Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach
Rozbudowa symetrycznych 3,9-dipodstawionych perylenów <i>via</i> reakcje cykloaddycji – nowe struktury nanografenowe	mgr Aneta Kurpanik	Instytut Chemii Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach
Od perylenu do funkcjonalizowanych nanografenów o oczekiwanych właściwościach	prof. dr hab. inż. Stanisław Krompiec	Instytut Chemii Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach
Strategia APEX w syntezie funkcjonalizowanych nanografenów z 1,4-diarylo-1,3-butadiynów oraz perylenu i jego pochodnych: nowe domino Diels-Alder cykloaddycja-cykloaromatyzacja	prof. dr hab. inż. Stanisław Krompiec	Instytut Chemii Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach
Jednoczesne przekształcanie energii cieplnej otoczenia i niepożądanego drgań mechanicznych w energię elektryczną za pomocą nanotryboelektryzacji w wyniku procesów intruzji niezwilżającej cieczy w materiały nanoporowate	dr hab. Mirosław Chorażewski, prof. UŚ	Instytut Chemii Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach
Zrozumienie właściwości przewodzących nanociecz w nanoporach dla nowej generacji tryboelektrycznych nanogeneratorów – Nano2-fluid	dr Yaroslav Grosu	Instytut Chemii Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach
Nano-ograniczenia w jednym i dwóch wymiarach oraz ich wpływ na dynamikę molekularną i zachowania krystalizacyjne materiałów formujących stan szklisty	prof. dr hab. Karolina Adrjanowicz	Instytut Fizyki Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach
Zrozumienie właściwości przewodzących nanociecz w nanoporach dla nowej generacji tryboelektrycznych nanogeneratorów – Nano2-fluid	dr hab. Paweł Zajdel, prof. UŚ	Instytut Inżynierii Materiałowej Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach
Multifunkcjonalne porowate nanomateriały jako nowoczesne filtry środowiskowe do remediacji gleb i wód podziemnych	dr hab. Mateusz Dulski, prof. UŚ	Instytut Inżynierii Materiałowej Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach
Organizacja XIII Polsko-Japońskiego Seminarium nt. Mikro- i Nano Analizy. Doskonała nauka	dr hab. Tomasz Goryczka, prof. UŚ	Instytut Inżynierii Materiałowej Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach
Nanostruktura i dynamika modów kolektywnych modulowanej fazy nematycznej. Własności elektro-otyczne i elastyczne	prof. dr hab. Antoni Kocot	Instytut Inżynierii Materiałowej Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach

Nazwa projektu	Kierownik projektu	Jednostka z woj. śląskiego
Innowacyjne materiały i nanomateriały z polskich źródeł renu i metali szlachetnych dla katalizy, farmacji i organicznej elektroniki	prof. dr hab. inż. Ewa Schab-Balcerzak	Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN
Nanostrukturalne materiały funkcjonalne dla zastosowań w elektronice i optoelektronice z kopolimeru blokowego o dostosowanej morfologii indukowanej samoorganizującymi się małymi cząsteczkami organicznymi	dr Pallavi Kumari	Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN
Wytwarzanie antybakteryjnych, nanokompozytowych plastrów hydrożelowych z biopolimerów do zastosowań jako opatrunki na rany	dr Jayaramudu Tippabattini	Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN
Otrzymywanie nanorurek węglowych i wodoru w reaktorze ze złożem fluidalnym na katalizatorach niklowych	mgr inż. Agata Łamacz	Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN
Biodegradowalne polimerowe nanonośniki ftalocyjanin dla terapii fotodynamicznej raka	dr Wioleta Borzęcka	Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN
Nowe nanowarstwy polimerów gwieździstych o działaniu przeciwporostowym	dr Paulina Teper	Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN
Toksyczność nanodiamentów dla <i>Acheta domestica</i> podawanych w pokarmie przy długim czasie ekspozycji	mgr Julia Karpeta-Kaczmarek	Instytut Biologii, Biotechnologii i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach
Ocena toksyczności nanopestycydów względem mikroorganizmów glebowych nie będących celem ich działania	dr Sławomir Sułowicz	Instytut Biologii, Biotechnologii i Ochrony Środowiska
Potencjalne wykorzystanie organicznych nanocząsteczek w opryskach roślin uprawnych jako promotorów wnikania substancji czynnych do roślin na przykładzie pokonania bariery kutykularnej liści przez herbicydy	dr Michał Ludynia	Instytut Biologii, Biotechnologii i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach
Interakcja nanocząstek srebra z komórkami kalusa morfogenego <i>Fagopyrum tataricum</i> (L.)	dr Anna Milewska-Hendel	Instytut Biologii, Biotechnologii i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach
Nowoczesna nanocząstka i organizm modelowy – toksyczna relacja? Fizjologiczne i komórkowe przyczyny zaburzeń rozwojowych u <i>Acheta domestica</i> po narażeniu na tlenek grafenu drogą pokarmową	prof. dr hab. Maria Augustyniak	Instytut Biologii, Biotechnologii i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach
W poszukiwaniu podstaw hormezy – wpływ nanocząstek srebra, tlenku grafenu (GO) oraz kompozytu GO-Ag na funkcje enzymów trawiennych u <i>Acheta domestica</i>	mgr Reyhaneh Alian	Instytut Biologii, Biotechnologii i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach
Wieloaspektowa analiza wpływu nanocząstek metali na różne procesy komórkowe wybranych szczepów bakterii	mgr Oliwia Metryka	Instytut Biologii, Biotechnologii i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach
Zaawansowane technologie odlewnicze	mgr inż. Dorota Wyrobek	Wydział Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej
Kształtowanie struktury nano- i ultradrobnoziarnistej w stopach CuCr i CeFe z wykorzystaniem nowych metod dużych odkształceń plastycznych	dr hab. Kinga Bernarda Rodak, prof. PŚ	Wydział Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej
Fizykochemiczne efekty sekwestracji CO ₂ w łupkach gazonośnych na Pomorzu	dr hab. Marek Jaroński	Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej Politechniki Śląskiej
Ilościowy opis kinetyki zarodkowania i krystalizacji nano-kryształów fluorków i tlenofluorków we włóknach ze szkiele tlenofluorkowych współdomieszkowanych erbem i iterbem oraz właściwości transmisyjne i luminescencyjne włókien szklano-ceramicznych	prof. dr hab. Michał Żelechower	Wydział Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej
Wpływ modyfikacji chemicznej nanostruktur węglowych na właściwości elektromagnetyczne materiałów kompozytowych i hybrydowych	dr hab. Sławomir Boncel, prof. PŚ	Wydział Chemiczny Politechniki Śląskiej

Nazwa projektu	Kierownik projektu	Jednostka z woj. śląskiego
Badanie struktury i własności nowo opracowanych wieloskładnikowych materiałów nanostrukturalnych, w tym bimodalnych oraz powstałych z ich udziałem hybrydowych materiałów kompozytowych	dr hab. Tomasz Arkadiusz Tański, prof. PŚ	Wydział Mechaniczny Technologiczny Politechniki Śląskiej
Charakterystyka efektów strukturalnych w materiałach typu WC-Co modyfikowanych submikrometrycznymi proszkami węglików	dr Hanna Marta Myalska	Wydział Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej
Symulator odkształcenia plastycznego oraz procesów obróbki plastycznej i cieplno-plastycznej wraz z modułem do otrzymywania struktur nano-krystalicznych	dr hab. Anna Maria Timofiejczuk, prof. PŚ	Wydział Mechaniczny Technologiczny Politechniki Śląskiej
Zastosowanie MRS oraz MES w modelowaniu i optymalizacji	dr hab. Wacław Michał Kuś, prof. PŚ	Wydział Mechaniczny Technologiczny Politechniki Śląskiej
Poprawa precyzji pomiarów fotometrycznych uzyskiwanych z pierwszych polskich satelitów naukowych	dr hab. Adam Marcin Popowicz, prof. PŚ	Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej
Wykorzystanie tablic decyzyjnych do wspomagania procesu decyzyjnego w przedsiębiorstwie górniczym w zakresie poprawy wykorzystania maszyn górniczych	dr Kinga Grażyna Stecuła	Wydział Organizacji i Zarządzania Politechniki Śląskiej
Metody fizyczne w naukach przyrodniczych, technice, technologii i ochronie środowiska	dr hab. Adam Marek Michczyński, prof. PŚ	Instytut Fizyki – Centrum Naukowo-Dydaktyczne Politechniki Śląskiej
Nowoczesne metody obliczeniowe w modelowaniu elementów i materiałów	dr hab. Wacław Michał Kuś, prof. PŚ	Wydział Mechaniczny Technologiczny Politechniki Śląskiej
Specjalistyczne stanowisko do otrzymywania mikro i nanowłókien oraz mikro i nanocząsteczek polimerowych	dr hab. Tomasz Arkadiusz Tański, prof. PŚ	Wydział Mechaniczny Technologiczny Politechniki Śląskiej
Badania zależności między strukturą i własnościami materiałów inżynierskich, w tym nanostrukturalnych i biomateriałów oraz rozwoju i aplikacji metody obliczeniowej inżynierii materiałowej do modelowania wspomnianych zależności	dr hab. Tomasz Arkadiusz Tański, prof. PŚ	Wydział Mechaniczny Technologiczny Politechniki Śląskiej
Nowe niestopowe nano-koniugaty metaliczne na nośnikach przestrzennych do procesów katalitycznej metanizacji i redukcji tlenków azotu	prof. dr hab. Jarosław Krzysztof Polański, dr Błażej Szymon Tomiczek	Wydział Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach; Instytut Fizyki – Centrum Naukowo-Dydaktyczne Politechniki Śląskiej; Wydział Mechaniczny Technologiczny Politechniki Śląskiej
Technologie i badania warstwowych struktur fotonicznych	prof. dr hab. Tadeusz Piotr Pustelny	Wydział Elektryczny Politechniki Śląskiej
Analiza granic międzyfazowych w nowoczesnych kompozytach tlenki metali ziem rzadkich – stop magnezu/aluminium z wykorzystaniem spektroskopii strat energii elektronów	mgr inż. Krzysztof Michał Matus	Wydział Mechaniczny Technologiczny Politechniki Śląskiej
Wybrane właściwości fizykochemiczne powłoki DLC naniesionej na podłożu Ti-13Nb-13Zr przeznaczonej do kontaktu z krwią	dr Magdalena Antonowicz	Wydział Inżynierii Biomedycznej Politechniki Śląskiej
Właściwości elektryczne i piezorezystywne kompozytów cementowych z dodatkiem grafenu do zastosowania w monitoring strukturalnych konstrukcji budowlanych	dr Małgorzata Barbara Krystek	Wydział Budownictwa Politechniki Śląskiej
Środek teranostyczny oparty o strukturę fullereny dla leczenia i diagnozy nowotworów trzustki	dr hab. Maciej Serda, prof. UŚ	Instytut Chemii Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach
Technologia przekształcania mikro i nanowłókien otrzymywanych w polu elektrostatycznym w innowacyjne obiekty o zdefiniowanej średnicy i właściwościach	dr inż. Andrzej Hudecki	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych, Centrum Materiałów Funkcjonalnych
Nanoplatfoma senolityczna oparta na nanowłóknach elektroprzewodzących dostarczająca pochodne nutraceutyków w celu usunięcia komórek nowotworu raka piersi z zaindukowanym przez chemioterapeutyki starzeniem	dr inż. Andrzej Hudecki	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych, Centrum Materiałów Funkcjonalnych

Nazwa projektu	Kierownik projektu	Jednostka z woj. śląskiego
Opracowanie materiałów i wysokoenergetycznych technologii wytwarzania warstw i powłok o zwiększonej odporności na zużycie w warunkach tarcia	dr inż. Tomasz Pfeifer	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych
Opracowanie kompozytu do wytwarzania powłok funkcjonalnych o właściwościach przeciwwirusowych z dodatkiem ultradrobnych cząstek miedzi, tlenków miedzi, srebra oraz tlenków tytanu na powierzchniach armatury sanitarnej	dr hab. Adriana Wrona	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych, Centrum Materiałów Proszkowych i Kompozytowych
Opracowanie bardzo selektywnych, funkcjonalnych sorbentów do procesów ekstrakcji litu z roztworów wodnych	dr inż. Krzysztof Rajczykowski	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych, Centrum Ochrony Środowiska
Opracowanie i optymalizacja procesu produkcji proszków dla przyrostowych technologii wytwarzania z zastosowaniem odpadów produkcyjnych jako surowca wsadowego	dr hab. Adriana Wrona	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych, Centrum Materiałów Proszkowych i Kompozytowych
Innowacyjna technologia wytwarzania nanokomponentów Re z odpadów pochodzących z recyklingu	dr hab. Katarzyna Leszczyńska-Sejda, dr inż. Dorota Kopyto	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych, Centrum Hydroelektrometalurgii
Modyfikowane proszki ze stopów lekkich jako nowy surowiec dla technologii przyrostowych	dr hab. Adriana Wrona	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych, Centrum Materiałów Proszkowych i Kompozytowych
Nowoczesne technologie wytwarzania funkcjonalnych materiałów magnetycznych dla zastosowań elektro-mobilnych i medycznych	dr hab. Aleksandra Kolano-Burian	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych, Centrum Materiałów Funkcjonalnych
Pozyskiwanie materiałów na akumulatory z wykorzystaniem nanocząstek ligniny jako kolektorów flotacji / Supply of BATTERY minerals using lignin nanoparticles as FLOTATION collectors	–	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych
Opracowanie wysokowydajnej i bezodpadowej technologii wytwarzania nanokompozytów magnetycznie miękkich dla wysokoczęstotliwościowego przetwarzania dużych mocy	dr hab. Aleksandra Kolano-Burian	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych, Centrum Materiałów Funkcjonalnych
Nowej generacji wysokoindukcyjne nanokrystaliczne materiały magnetycznie miękkie	dr hab. Łukasz Hawełek	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych, Centrum Materiałów Funkcjonalnych
Wprowadzenie do praktyki chirurgicznej nowych technologii do rekonstrukcji i regeneracji uszkodzonych tkanek w obszarze twarzoczaszki	dr inż. Andrzej Hudecki	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach
Materiały o strukturze nanokrystalicznej i amorficznej do konstrukcji wkładek kumulacyjnych do zastosowania w przemyśle wydobywczym	dr Wojciech Burian	Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych

Do najnowszych osiągnięć naukowych i technologicznych należy m.in.: projekt koszulki monitorującej rytm pracy serca opracowany przez naukowców Politechniki Śląskiej. Koszulka została stworzona dzięki połączeniu ultradługich nanorurek węglowych z polimerem. Naukowcy z Wydziału Chemicznego Politechniki Śląskiej stworzyli wielofunkcyjny materiał z długich, nawet kilkumilimetrowych nanorurek o specjalnych parametrach geometrycznych i morfologicznych. Następnie przekształcili go w pastę przewodzącą prąd, co pozwala nadrukowywać ją na polimery i tekstylia. Podobne rozwiązania już istnieją, jednak są oparte na konwencjonalnych metalach (Kocurek, 2021; Błóński, 2023).

W woj. śląskim istnieje wiele powiązań między podmiotami naukowo-badawczymi a przedsiębiorstwami. W obszarze nanotechnologii i nanomateriałów można wyróżnić najważniejszą sieć powiązań, jaką jest Śląski Klaster NANO, będący Krajowym Klastrem Kluczowym (KKK, 2024) (do 17.12.2025 r.). Koordynatorem Klastra jest Fundacja Wspierania Nanonauk i Nanotechnologii NANONET. W jego skład wchodzi firmy i instytucje naukowe nie tylko z woj. śląskiego, ale z całej Polski. Głównym zadaniem Klastra jest stworzenie platformy do współpracy przedsiębiorców, instytucji naukowych,

administracji publicznej i organizacji wsparcia biznesu na rzecz zwiększenia znaczenia nanotechnologii w kształtowaniu przyszłego wymiaru gospodarczego i innowacyjnego woj. śląskiego. Klaster realizuje tę misję przez różnorodne działania skierowane na współpracę w ramach Klastra i poza nim. Do głównych działań Klastra należą:

- prowadzenie działalności na rzecz wzmocnienia współpracy członków Klastra z udziałem innych przedsiębiorców i instytucji naukowych, w celu podejmowania wspólnych przedsięwzięć badawczych i wdrożeniowych w dziedzinie nanotechnologii oraz efektywnego transferu rezultatów tych przedsięwzięć do praktyki gospodarczej,
- wspieranie członków Klastra w pozyskiwaniu zewnętrznych źródeł finansowania działalności badawczo-wdrożeniowej, wytwórczej i usługowej, opartej na wykorzystywaniu osiągnięć naukowych i efektów postępu technologicznego w dziedzinie nanotechnologii, w tym m.in. środków z budżetu państwa i funduszy zagranicznych,
- zwiększenie rozpoznawalności i promocji woj. śląskiego w skali krajowej i międzynarodowej jako regionu aktywnie wspierającego rozwój przedsiębiorczości w dziedzinie nanotechnologii,
- budowanie w świadomości społecznej wizerunku woj. śląskiego jako regionu, w którym stawia się na rozwój nanonauki i nanogospodarki, pozwalających m.in. na sprostanie nowym wyzwaniom cywilizacyjnym XXI w.,
- podejmowanie inicjatywy wspierających członków Klastra w internacjonalizacji,
- integrowanie wszystkich zainteresowanych nanotechnologią przez organizowanie spotkań,
- organizacja wydarzeń branżowych, z których flagową imprezą jest konferencja InterNanoPoland, odbywająca się w Katowicach od 2016 r.

W woj. śląskim funkcjonują cztery przedsiębiorstwa (ARH+ Sp. z o.o. z siedzibą w Katowicach, Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o. z siedzibą w Bielsku-Białej, KP Labs Sp. z o.o. z siedzibą w Gliwicach, PROPOINT SA z siedzibą w Gliwicach), które od Ministerstwa Rozwoju i Technologii uzyskały status centrum badawczo-rozwojowego. Żadne z nich nie zajmuje się badaniami i rozwojem w obszarze nanotechnologii. Firma Arsanit otrzymała finansowanie z programu POIR na realizację projektu pn. Centrum badawczo-rozwojowe – redukcja zanieczyszczeń powietrza dzięki wykorzystaniu procesów fotokatalizy w systemach ociepleń. Projekt ten może mieć znaczenie dla rozwoju technologii nano produkcji materiałów tynkarskich, których stosowanie zmniejszy zanieczyszczenie powietrza (Arsanit, 2014).

W ramach jednostek akademickich funkcjonują także centra transferu technologii (CTT). Ich zadania polegają na promowaniu opracowanych rozwiązań oraz potencjału jednostek macierzystych. Mają one bezpośredni dostęp do prac prowadzonych przez naukowców, które często pozostają na etapie badań podstawowych, gdy ich wdrożenie nie jest możliwe. Stają się one natomiast podstawą innych prac B + R, których efektem może być wdrożenie do działalności gospodarczej gotowych rozwiązań i technologii, także w obszarze nano. Właśnie w tym obszarze CTT pełnią istotną rolę, umożliwiając tworzenie sieci, której celem będzie komercjalizacja danego rozwiązania. Oprócz tego obsługują i wspierają cały ten proces. W woj. śląskim funkcjonuje w sumie 10 CTT (liczba określona na podstawie analizy stron internetowych śląskich CTT).

Na terenie woj. śląskiego funkcjonują również parki naukowo-technologiczne, których głównym celem jest rozwój przedsiębiorczości, wzrost konkurencyjności przedsiębiorstw, komunikowanie przedsiębiorców z instytucjami naukowymi oraz świadczenie kompleksowych usług związanych z rozwojem istniejących lub powstawaniem nowych przedsiębiorstw. Działalność niektórych z nich jest nakierowana na konkretne gałęzie przemysłu – jak Bielski Park Technologiczny Lotnictwa, Przedsiębiorczości i Innowacji, który koncentruje się na kompleksowym wspieraniu rozwoju dziedzin związanych z lotnictwem, przedsiębiorczością i innowacjami. Najczęściej usługi i obszary zainteresowania parków są jednak uniwersalne. W woj. śląskim siedzibę mają 22 parki naukowo-technologiczne (liczba określona na podstawie stron internetowych parków).

9.1.3.4. Możliwość pojawienia się substytutów dla rozwijanych technologii, produktów, usług

Wejście na rynek nowych innowacyjnych technologii w Polsce, w tym w woj. śląskim, wiąże się z licznymi wyzwaniami i barierami stojącymi na drodze rozwoju nanotechnologii/nanomateriałów. Przeprowadzona w ramach badania foresightowego ankieta pt. Stan nanotechnologii w Polsce – w którym miejscu jesteśmy? wskazuje na następujące aspekty:

- Finansowy – w kontekście wysokich kosztów produkcji oraz trudności w pozyskiwaniu środków/funduszy na rozwój technologii w obszarze nano:
 - Wysokie koszty produkcji nanomateriałów (Jurewicz, 2021) – do ich produkcji wykorzystuje się drogie materiały bazowe o wysokiej czystości (np. grafen, nanorurki węglowe, metale szlachetne, metale ziem rzadkich) – ich wysoka cena wpływa bezpośrednio na końcowy koszt nanomateriałów. Wysokie koszty wynikają również z zastosowania zaawansowanego i precyzyjnego sprzętu oraz technologii (kontrolowanie procesów na poziomie atomowym) do tworzenia nanomateriałów, np. plazmy niskotemperaturowej, nanosyntezy. Wysokie koszty produkcji są również wypadkową kosztów certyfikacji, kontroli jakości, energii, procedur patentowych oraz spełnienia rygorystycznych norm środowiskowych i bezpieczeństwa pracy (PARP, 2024).
 - Innowacyjne technologie – zwłaszcza te oparte na nanotechnologii czy zaawansowanych materiałach, wymagają dużych inwestycji w infrastrukturę badawczą i testowanie prototypów. Wysokie koszty aparatury i materiałów stanowią czynnik ograniczający wzrost rynku i są szczególnym wyzwaniem dla start-upów (Fortune Business Insight, 2024)⁸⁷.
 - Brak dotacji dedykowanych dla obszaru nanotechnologii (programy celowane) – wsparcie dla rozwoju nanotechnologii jest jedynie częścią szerszych programów obejmujących zaawansowane materiały, biotechnologię i innowacje technologiczne co, poza wyjątkami [zakończony w 2024 r. program Nano and advanced technologies for disease prevention, diagnostic and therapy (NanoTecMec, 2023) w ramach partnerstwa Era4Health, finansującego projekty z zakresu nanotechnologii i zaawansowanych technologii w profilaktyce, diagnostyce i terapii chorób], świadczy o braku dedykowanych dotacji na rozwój nanotechnologii.
- Prawny – istnieją bariery prawne, którymi są rozproszone przepisy oraz wielość regulacji unijnych dotyczących nanotechnologii i nanomateriałów, brak kompleksowych regulacji obejmujących nanotechnologię – niepewność prawna w tym obszarze utrudnia planowanie długofalowych działań biznesowych. W prawie unijnym, nanomateriały są ujęte w rygorystyczne ramy, które zapewniają bezpieczne stosowanie wszystkich chemikaliów i mieszanin. Są to rozporządzenia REACH – rejestracja substancji chemicznych, w tym nanomateriałów⁸⁸ (ang. *Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals*, REACH) i CLP – klasyfikacja, oznakowanie substancji chemicznych, w tym nanocząstek, (ang. *classification, labelling and packaging*, CLP)⁸⁹ (Rozporządzenie, 2006). Oprócz rozporządzeń REACH i CLP, w UE obowiązuje prawodawstwo sektorowe dotyczące określonych grup produktów, takich jak: produkty biobójcze, środki

⁸⁷ Produkcja nanoleków jest droższa niż leków tradycyjnych. Metody fizyczne syntezy nanocząstek są drogie. Opracowywanie i synteza nanomateriałów często wiążą się z zaawansowanymi technikami i precyzyjną kontrolą ich właściwości. Wymaga to specjalistycznego sprzętu i wykwalifikowanych badaczy, co prowadzi do wyższych wydatków na badania i rozwój. Koszty infrastruktury mogą więc sprawić, że produkty końcowe wykorzystujące nanomateriały będą droższe, co wpłynie na ich rentowność ekonomiczną i konkurencyjność rynkową.

⁸⁸ Wszystkie substancje wchodzące w zakres rozporządzenia REACH muszą być zarejestrowane, aby można było je legalnie produkować w UE lub importować do UE. W zależności od ilości wprowadzanej do obrotu substancji, producenci lub importerzy w ramach rejestracji, muszą podać informację dotyczącą wpływu zarówno na zdrowie ludzi, jak i na środowisko, a także na temat niebezpiecznych nanoform – oszacowanie narażenia w całym cyklu życia.

⁸⁹ Jeśli substancje (dotyczy również nanoform) mają właściwości niebezpieczne, rozporządzenie CLP wymaga zgłoszenia tych substancji ECHA (ang. European Chemicals Agency) oraz oznakowania i pakowania ich w sposób umożliwiający bezpieczne stosowanie, <https://euon.echa.europa.eu/pl/regulation> (dostęp: 31.01.2025).

ochrony roślin, kosmetyki, produkty lecznicze, zabawki, żywność i towary elektroniczne. Rozporządzenie w sprawie udostępniania na rynku i stosowania produktów biobójczych BPR (Rozporządzenie, 2012) dotyczy produktów z nanomateriałami o działaniu biobójczym i zawiera szczegółowe postanowienia dotyczące nanomateriałów⁹⁰. Rozporządzenie kosmetyczne (UE) 2024/858 z dnia 14 marca 2024 r. zmieniające rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1223/2009 z dnia 30 listopada 2009 r. w odniesieniu do stosowania w produktach kosmetycznych nanomateriałów (Rozporządzenie, 2024) – określa wymogi bezpieczeństwa dla produktów kosmetycznych zawierających nanomateriały, wprowadzając zakaz stosowania wielu nanosubstancji (Cosmetic Care, 2024). Ze względu na coraz częstsze stosowanie nanomateriałów w łańcuchu pasz i żywności istotne jest poznanie właściwości i charakterystyki nanomateriałów oraz określenie, czy stanowią one potencjalne zagrożenie dla zdrowia czy środowiska. Obecnie w UE w sektorze żywności obowiązują następujące rozporządzenia dotyczące stosowania nanomateriałów (EUON, 2024):

- rozporządzenie w sprawie nowej żywności (ang. *novel foods regulation*) (Rozporządzenie, 2015) określa obowiązki (dotyczy podmiotów działających na rynku spożywczym, tj. producentów, importerów) związane ze stosowaniem nanomateriałów wytworzonych celowo dla uzyskania określonych właściwości żywności oraz wymagania dotyczące wprowadzania nowej żywności do obrotu w UE,
- rozporządzenie w sprawie dodatków do żywności (ang. *food additives*) (Rozporządzenie, 2008) określa listę dopuszczonych dodatków, enzymów i aromatów wytworzonych przy użyciu nanotechnologii, dotyczy to m.in. stosowania niebezpiecznego dla zdrowia nanomateriału, jakim jest ditlenek tytanu (E171), którego stosowanie zostało zakazane rozporządzeniem UE nr 2022/63 (Rozporządzenie, 2022),
- rozporządzenie w sprawie przekazywania informacji na temat żywności (ang. *law on food information to consumers*) (Rozporządzenie, 2011a) określa zasady oznakowywania składników żywności, w tym wymagania dotyczące nanomateriałów wytworzonych w produktach żywnościowych,
- rozporządzenie w sprawie materiałów i wyrobów z tworzyw sztucznych przeznaczonych do kontaktu z żywnością (ang. *plastic materials and articles regulation*) (Rozporządzenie, 2011b).

Wymienione regulacje UE, ograniczające i zwiększające system kontroli i stosowania różnego rodzaju nanosubstancji/nanocząstek, wymusza na wielu firmach działających w obszarze nanotechnologii modyfikację procesów produkcyjnych oraz reformulację produktów (zmiana, dostosowanie składu swoich produktów, eliminacja zakazanych nanomateriałów i zastąpienie ich innymi itp.), co będzie wiązać się z dodatkowymi kosztami i dłuższym czasem badań, testów czy certyfikacji. Dla kwestii nano, w warunkach polskiej legislacji, istotne są:

- Prawo farmaceutyczne nakazujące prowadzenie badań klinicznych w zakresie produktów medycznych i leków wykorzystujących nanotechnologię, prawo pracy i BHP (nanotechnologie są regulowane w kontekście ochrony zdrowia pracowników), prawo ochrony środowiska oraz ustawa o odpadach w kontekście działalności związanej z nanotechnologią, która może wpływać na środowisko.
- Bariery związane z komercjalizacją – długie okresy testowania produktów, czasochłonne i kosztowne procedury patentowe, niepewność rynków i technologii – to jedne z najważniejszych czynników składających się na problemy związane z komercjalizacją nanotechnologii (Jurewicz, 2021).
- Możliwy niedobór wykwalifikowanej kadry – liczba specjalistów z nanotechnologii pozostaje niewystarczająca względem rosnącego zapotrzebowania, brakuje pracowników o odpowiednich kwalifikacjach (Business Insider Polska, 2023). W ostatnich latach obserwuje się spadek liczby studentów uczelni technicznych – w 2023 r. wyniósł on 5,5%, a w 2022 r. ponad 3%. Coraz

⁹⁰ W przypadku stosowania w produktach biobójczych substancji czynnych i substancji niebędących substancjami czynnymi w nanoskali, potrzebna jest odrębna ocena ryzyka. Na etykiecie produktu biobójczego należy umieścić nazwy poszczególnych nanomateriałów ze słowem „nano” w nawiasie po każdym z nich. Produkty zawierające nanomateriały są wyłączone z uproszczonej procedury udzielania zezwoleń, <https://echa.europa.eu/pl/regulations/nanomaterials-under-bpr> (dostęp: 31.01.2025).

mniejsze zainteresowanie można zaobserwować we wszystkich województwach. W woj. śląskim w latach 2021 i 2022 zanotowano spadek liczby studentów kierunków technicznych o 5,9% (Forsal, 2023).

- Brak akceptacji społecznej wynikający z niedostatecznej wiedzy o potencjale nanotechnologii (Koltor, 2024) – z nanonauką i nanotechnologią wiążą się także obawy etyczne oraz obawy wynikające z wpływu nanotechnologii i nanomateriałów na zdrowie człowieka i środowisko (CORDIS, 2023). Istotne jest zatem zwiększenie udziału społeczeństwa w podejmowaniu decyzji dotyczących rozwoju nanotechnologii, co pokazują prace prowadzone w ramach projektów DEEPEN (CORDIS, 2009) i NANODIODE (CORDIS, 2017).
- Wysoka konkurencja na rynku globalnym – technologie z Polski mają trudności z wchodzeniem na rynki zagraniczne zdominowane przez globalne firmy z USA, Szwajcarii, Niemiec, Korei Południowej oraz Chin (Securities, 2025). Przyczyną jest brak rozpoznawalności marki oraz problem spełnienia wymogów regulacyjnych innych krajów.
- Obecny brak krajowej polityki/strategii dotyczącej rozwoju nanotechnologii – w dokumencie Towards a European strategy for nanotechnology (Komunikat, 2004, 2007) UE uznaje nanotechnologię za kluczowy obszar w perspektywnym rozwoju technologicznym, gospodarczym i społecznym. W Polsce w 2006 r. powstał Raport (2006) dotyczący opracowania strategii wzmocnienia krajowej sfery badań naukowych i prac rozwojowych w dziedzinie nanonauki i nanotechnologii. Obecny brak polityki państwa w obszarze nanotechnologii skutkuje ograniczeniem konkurencyjności polskich firm na rynku międzynarodowym oraz niewystarczającym wykorzystaniem innowacyjnego potencjału nano.

9.1.3.5. Identyfikacja możliwości pojawienia się substytutów dla rozwijanych technologii

Substytuty rozwijanych nanotechnologii można zdefiniować jako technologie, materiały i rozwiązania, które mogą pełnić podobne funkcje bez wykorzystywania nanotechnologii. Mogą to być rozwiązania mniej zaawansowane technologicznie, tańsze, łatwiej dostępne oraz prostsze w stosowaniu i wdrażaniu. Alternatywą dla nanotechnologii i nanomateriałów są m.in. technologie wykorzystujące tradycyjne materiały i procesy, biotechnologię oraz inne metody, które pozwalają na pełnienie podobnych funkcji i znalezienie zastosowania podobnego do technologii nano. Przykładem mogą być konwencjonalne powłoki ceramiczne, metaliczne lub polimerowe, które są alternatywą dla nanopowłok ochronnych. Polimery, jako materiały samonaprawiające się, przewyższają nanotechnologię (TworzywaOnline, 2020; CMPW PAN, 2023; Clinex, 2025). Innym przykładem mogą być technologie oczyszczania stosowane zamiast nanofiltrów w systemach oczyszczania wody i gazów. Alternatywą są tradycyjne filtry i adsorbenty, np. adsorbenty węglowe. W zakresie biotechnologii i biomateriałów, biopolimery i enzymy mogą pełnić funkcje podobne do nanomateriałów w zastosowaniach medycznych i przemysłowych. Kolagen i chitozan również mogą być substytutami nanomateriałów w medycynie regeneracyjnej. Do technologii zastępujących lub uzupełniających nanotechnologię i nanomateriały można zaliczyć grafen, przewyższający wiele nanomateriałów pod względem przewodnictwa elektrycznego, wytrzymałości i elastyczności. Tlenek grafenu jest stosowany w elektronice, magazynowaniu energii i fotowoltaice (Emagazyn, 2021; Nanonet, 2025).

9.1.3.6. Identyfikacja podmiotów (w tym start-upów) wprowadzających rewolucyjne rozwiązania/technologie

W Polsce działają start-upy i firmy, które wprowadzają na rynek rewolucyjne rozwiązania w obszarze nanotechnologii oraz technologie alternatywne. Należą do nich m.in.:

- Biotts – wrocławski start-up opracował transdermalny system dostarczania leków przez skórę, co umożliwia stosowanie substancji wcześniej nieprzyswajalnych. Technologia znajduje zastosowanie w medycynie, np. w terapii chorób przewlekłych i leczeniu bólu (Dobroszek, 2022).
- Solhotair – rozwija technologię konwersji energii słonecznej na ciepłą, co może znaleźć zastosowanie w budynkach energooszczędnych i systemach ogrzewania (PWC, 2021).

- CO₂ Energy Storage – tworzy innowacyjne systemy sekwestracji ditlenku węgla i wodoru, przekształcając je w użyteczne chemikalia, takie jak metanol, który może być wykorzystywany do produkcji tworzyw sztucznych czy paliw (PWC, 2021).
- PREVAC – producent zaawansowanych systemów próżniowych i aparatury naukowo-badawczej, wykorzystujący nanotechnologię w swoich produktach (PREVAC, 2025).
- 3D-nano – firma specjalizująca się w produkcji nanomateriałów oraz urządzeń do ich syntezy (3D-nano, 2022).
- COAT-IT – firma technologiczna, która rozwija i produkuje dodatki na bazie nanomateriałów dla branży obróbki powierzchniowej, poprawiając właściwości powłok ochronnych (COAT-IT, 2025).

9.1.3.7. Identyfikacja zależności i łańcuchów wartości w ramach technologii

Woj. śląskie wyróżnia się na tle całego kraju większą liczbą podmiotów gospodarczych aktywnych w obszarze nano. Posiada ono również duży potencjał rozwojowy w obszarze nanotechnologii w całym łańcuchu wartości, który wymaga współpracy różnych sektorów: nauki (badania i rozwój technologii), przemysłu, firm i start-upów (produkcja nanomateriałów na skalę przemysłową, wykorzystywanie nanomateriałów w gotowych produktach), podmiotów zajmujących się komercjalizacją (wprowadzanie produktów na rynek) oraz regulatorami (zapewnianie bezpieczeństwa wyrobów i zgodności z normami i wymogami prawnymi, pozyskiwanie patentów).

Do czynników wspierających rozwój nanotechnologii w woj. śląskim należy zaliczyć:

- istniejące zaplecze naukowo-badawcze wraz z laboratoriami – uczelnie, jednostki badawczo-rozwojowe prowadzące badania i realizujące projekty badawcze dotyczące technologii i materiałów nano (m.in. Uniwersytet Śląski, Politechnika Śląska z Laboratorium Nanotechnologii Materiałów Elektronicznych, instytuty Sieci Badawczej Łukasiewicz, Śląski Uniwersytet Medyczny, Politechnika Częstochowska – szczegółowo omówione w podrozdziale 9.1.3.3),
- organizacje wspierające rozwój oraz współpracę między nauką a biznesem i administracją, promujące innowacje technologiczne oraz firmy, start-upy i inne jednostki działające w obszarze nanotechnologii, nanomateriałów, nanoinnowacyjnych rozwiązań [Śląski Klastr NANO (ŚKN, 2025), Fundacja Wspierania Nanonauk i Nanotechnologii Nanonet (2018), Klastr MedSilesia Śląska Sieć Wyrobów Medycznych (MedSilesia, 2020)], a także inkubatory przedsiębiorczości, takie jak Rawa.Ink,
- dostępność funduszy i programów wsparcia w postaci środków unijnych⁹¹ i krajowych – możliwość realizacji projektów B + R i innowacyjnych w ramach programów⁹², takich jak Horizon Europe, wcześniej H2020, Fundusze Strukturalne UE czy NCBR,
- funkcjonowanie Katowickiej Specjalnej Strefy Ekonomicznej (Invest, 2025) – ulgi podatkowe i wsparcie dla innowacyjnych przedsiębiorstw technologicznych; przejawem tworzenia kultury innowacyjności sprzyjającej również nanotechnologii jest projekt Akcelerator biznesowy KSSENON, stanowiący w założeniu centrum kreatywności, innowacyjności oraz przedsiębiorczości w Żorach; koncepcja budowy kolejnych centrów kreatywności KSSENON będzie realizowana

⁹¹ W programach współpracy międzynarodowej tematyka dotycząca nanotechnologii została ujęta jako Key Enabling Technologies (KETs). Konkursy związane z nanotechnologiami znajdują się w następujących klastrach programu Horizon Europe: Health, Digital, Industry and Space, Climate, Energy and Mobility and Food, Bioeconomy, Natural Resources, Agriculture and Environment; w Filarze I programu HE – Doskonała baza naukowa – wsparcie dla rozwoju naukowców oraz w Filarze III HE: Innowacyjna Europa – wsparcie dla przełomowych innowacji dla MŚP i start-upów. Zakładana kwota finansowania programu Horizon Europe na lata 2021–2027 wynosi 93,5 mld EUR.

⁹² Fundusze Europejskie dla Nowoczesnej Gospodarki (FENG) 2021–2027 posiadają budżet 42,9 mld PLN – około 10 mld EUR. Finansowanie obejmuje m.in. obszar nanotechnologii, projekty badawczo-rozwojowe, innowacje technologiczne oraz współpracę nauki z biznesem, głównie w ramach ścieżki Smart (nowoczesnagospodarka.gov.pl). Fundusze Europejskie na Infrastrukturę, Klimat i Środowisko (FEnIKS) mają budżet 125,8 mld PLN – około 29,3 mld EUR. Nanotechnologia jest wspierana głównie w kontekście projektów związanych z ochroną środowiska i energetyką.

w nowych lokalizacjach – Katowicka SSE planuje budowę drugiego innowacyjnego akceleratora biznesowego KSENON w Bytomiu⁹³,

- działalność Inkubatora Przedsiębiorczości Rawa.Ink – udostępnienie wygodnej przestrzeni biurowej, co daje możliwość funkcjonowania i rozwoju start-upów oraz pomoc specjalistów, partnerów inkubatora, pozwalając na sukcesywny rozwój projektu i skalowanie wdrożeń na rynek krajowy i globalny; w pierwszej edycji programu inkubatora pt. Kopalnia Start-upów dofinansowanie uzyskała firma Panamint Sp. z o.o., wdrażająca rozwiązania nanotechnologiczne w zakresie modularnych wyświetlaczy segmentowych drukowanych na zamówienie, opartych na unikalnej technologii produkcji elastycznych wyświetlaczy nieemisyjnych (papier elektroniczny) (NetTG, 2021),
- instytucje otoczenia biznesu – Górnośląski Akcelerator Przedsiębiorczości Rynkowej oraz Katowicki Park Naukowo-Technologiczny, które wspierają rozwój start-upów technologicznych,
- rozwinięty sektor przemysłowy – woj. śląskie, jako region o silnych tradycjach przemysłowych, jest odpowiednim miejscem do wdrażania technologii związanych z nanomateriałami do przemysłu, np. energetyki, metalurgii, elektroniki czy motoryzacji⁹⁴; w regionie działają także duże przedsiębiorstwa przemysłowe, co sprzyja skalowaniu innowacji i daje możliwość wdrożeń technologii nano,
- wykwalifikowaną kadrę o wysokim stopniu kompetencji w zakresie zaawansowanych technologii, jednostki akademickie i badawczo-rozwojowe dzięki programom szkoleniowo-edukacyjnym⁹⁵ o wysokim poziomie naukowym, kształtujące inżynierów, specjalistów i naukowców w obszarach związanych z nanotechnologią,
- politykę regionalną, strategię inteligentnych specjalizacji – nanotechnologia i zaawansowane materiały są jednym z obszarów strategicznych w rozwoju regionu, co przyciąga inwestycje i wspiera działalność badawczo-rozwojową,
- zapotrzebowanie rynku, globalne trendy rynkowe – wzrost zainteresowania nanotechnologią: branże, takie jak medycyna (Nanonet, 2020), energetyka, elektronika czy kosmetyka (Dąbrowska, 2023) w coraz większym stopniu wykorzystują rozwiązania oparte na nanomateriałach i nanotechnologiach.

Czynniki ograniczające rozwój nanotechnologii, odgrywające istotną rolę w łańcuchu wartości nanotechnologii w woj. śląskim

Mimo istniejącego potencjału naukowego, przemysłowego i strukturalnego regionu, rozwój nanotechnologii może być ograniczany przez występowanie różnych czynników. Kluczowe czynniki to:

- ograniczenia finansowe – finansowanie projektów nanotechnologicznych wymaga wysokich nakładów kapitałowych,
- ograniczony dostęp do programów finansujących – z uwagi na skomplikowane wymogi proceduralno-konkursowe programów finansujących badania i rozwój,
- niskie zaangażowanie firm MŚP w obszarze nano, wynikające z niepewności związanej z wysokim ryzykiem i niskiej stopy zwrotu inwestycji w zakresie nanotechnologii i innowacji,
- rosnące koszty badań, wzrost cen komponentów do wytwarzania nanomateriałów – koszty B + R w nanotechnologii wymagają zaawansowanej infrastruktury, co wiąże się z dużymi kosztami początkowymi, stanowiącymi nadmierne obciążenie finansowe dla wielu firm, szczególnie MŚP,

⁹³ <https://investmap.pl/katowicka-sse-planuje-budowe-drugiego-innowacyjnego-akceleratora-biznesowego-kssenon.a307437> (dostęp: 31.01.2025)

⁹⁴ Motoryzacja jest jednym z ważniejszych obszarów gospodarki woj. śląskiego, w którym nanomateriały i nanotechnologie znajdują zastosowanie. W tym obszarze istotną rolę odgrywa klaster Silesia Automotive & Advanced Manufacturing, działający w zakresie zaawansowanych systemów produkcji (Przemysł 4.0).

⁹⁵ Wydział Nauk Ścisłych i Technologicznych Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach prowadzi kierunek studiów mikro i nanotechnologia, <https://us.edu.pl/wydzial/wnst/studia/kandydat/oferta-dydaktyczna/mikro-i-nanotechnologia> (dostęp: 31.01.2025); Wydział Mechaniczny Technologiczny Politechniki Śląskiej prowadzi kierunek studiów nanotechnologia, <https://www.polsl.pl/rmt/kierunki/nanotechnologia/> (dostęp: 31.01.2025).

- trwająca transformacja regionu – na Śląsku przez lata dominował przemysł ciężki, co utrudnia szybkie przejście do nowoczesnych nanotechnologii,
- konkurencja zagraniczna⁹⁶ i krajowa⁹⁷,
- obawy społeczne związane z wykorzystywaniem nanomateriałów i nanotechnologii:
 - wpływ na zdrowie (potencjalna toksyczność nanocząstek, ich bioakumulacja w organizmie), wpływ na środowisko (możliwy wpływ na ekosystemy, zanieczyszczenie wód i gleb, nowe, nieznane rodzaje zanieczyszczeń),
 - manipulacje biologiczne (wykorzystywanie nanotechnologii do modyfikacji organizmów lub ingerencja w ciało ludzkie może budzić wątpliwości natury etycznej),
 - nierówności społeczne (nanotechnologia może być dostępna tylko dla wybranych grup społecznych lub krajów, co zwiększy nierówności w dostępie do nowych technologii),
 - wykorzystanie nanotechnologii w kontrolowaniu społeczeństwa (miniaturyzacja urządzeń elektronicznych może prowadzić do rozwijania technologii monitorowania, co rodzi obawy o naruszanie prywatności),
 - ryzyko regulacyjne i prawne, wysokie koszty certyfikacji, długotrwały proces uzyskiwania patentu – kwestie wyszczególnione w podrozdziale 9.1.3.4.

Identyfikacja podmiotów rywalizujących oraz współpracujących z regionalnymi dostawcami technologii

- NanoPure (2025) – firma specjalizuje się w produkcji nanocząstek srebra i innych nanomateriałów w formie koloidalnej. Opracowała również innowacyjne technologie polimerowe, takie jak antykorozyjne pigmenty POLYCOR™ o podwyższonej odporności.
- Highlander Enterprise (dawniej Advanced Graphene Products) (AGP, 2025) – wytwarza wysokiej jakości grafen płatkowy (GO, rGO), który jest przeznaczony do takich zastosowań, jak kompozyty węglowe, żywice epoksydowe, filamenty 3D, farby, powłoki antykorozyjne czy polimery. Ma własną, opatentowaną technologię produkcji grafenu powierzchniowego z ciekłego metalu – HSMG. W grudniu 2024 r. spółka rozszerzyła działalność o segment kosmetyczny (głównie o lakier hybrydowy do paznokci) (Bujnik, 2025).
- XTPL (2025) – technologiczny lider w precyzyjnym nadruku nanomateriałów, którego rozwiązania znajdują zastosowanie w elektronice drukowanej i wyświetlaczach OLED.
- ADR System (ADR, 2025) – specjalizuje się w produkcji farb i materiałów ekranujących promieniowanie elektromagnetyczne, wykorzystując nanotechnologię do poprawy właściwości antybakteryjnych i wirusobójczych.
- 3D-Nano (2022) – firma specjalizująca się w nanotechnologii stosowanej w materiałach drukarskich i zaawansowanych powłokach przemysłowych.

⁹⁶ Do czołowych firm związanych z rozwojem trendu nanotechnologicznego zaliczane są: BASF (Niemcy), Apeel Sciences (Stany Zjednoczone), Agilent (Stany Zjednoczone), Samsung Electronics (Republika Korei) i Intel Corporation (Stany Zjednoczone). Według długoterminowej prognozy wielkość globalnego rynku nanotechnologii została wyceniona na 1,76 mld USD w 2020 r. i przewiduje się, że do 2030 r. osiągnie 33,63 mld USD, rejestrując skumulowany roczny wskaźnik wzrostu (ang. *compound annual growth rate*, CAGR) na poziomie 36,4% w latach 2021–2030. Region Azji i Pacyfiku wykazywałby wówczas najwyższy CAGR wynoszący 40,0% w okresie prognozy, <https://lukasiewicz.gov.pl/siedem-trendow-technologicznych-ktore-zmienia-swiat-czy-polska-moze-byc-w-nich-liderem-raport/> (dostęp: 31.01.2025).

⁹⁷ W 2022 r. działalność w dziedzinie biotechnologii prowadziło 187 przedsiębiorstw, tj. o 8,1% więcej niż w poprzednim roku. Nakłady wewnętrzne poniesione przez przedsiębiorstwa na działalność biotechnologiczną wyniosły 1952,7 mln PLN i zwiększyły się w skali roku o 41,4%. W 2022 r. w przedsiębiorstwach zajmujących się biotechnologią pracowało 4317 osób. Działalnością badawczą i rozwojową w dziedzinie biotechnologii zajmowały się 234 podmioty, tj. o 7,8% więcej niż w 2021 r. Nakłady wewnętrzne poniesione na działalność B+R w dziedzinie biotechnologii wyniosły 1432,4 mln PLN i wzrosły o 20,9% w skali roku. W działalność badawczą i rozwojową w dziedzinie biotechnologii było zaangażowanych 8431 osób, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/nauka-i-technika-spolczenstwo-informacyjne/nauka-i-technika/biotechnologia-i-nanotechnologia-w-polsce-w-2022-roku,10,11.html> (dostęp: 31.01.2025).

Start-upy wprowadzające rozwiązania rewolucyjne/alternatywne w skali globalnej

- QuantumScape (USA) – rozwija produkcję baterii w technologii solid-state, które mają potencjał, aby zrewolucjonizować magazynowanie energii i sektor pojazdów elektrycznych. Firma, mająca swoją siedzibę w Kalifornii, ogłosiła rozpoczęcie produkcji innowacyjnych ogniw typu solid-state do pojazdów elektrycznych, które mogą zostać naładowane do poziomu 80% w 15 min (Powęska, 2024).
- BioNTech (Niemcy) – poza szczepionkami przeciw COVID-19, start-up rozwija terapie nowotworowe oparte na mRNA, co może zmienić sposób leczenia wielu chorób (Basiak, 2022).
- Helaina (USA) – start-up z obszaru biotechnologii i technologii medycznych. Specjalizuje się w wytwarzaniu białek mleka ludzkiego z wykorzystaniem metody precyzyjnej fermentacji, tworząc przełomową alternatywę dla tradycyjnych preparatów dla niemowląt przez wprowadzanie substytutów naturalnych składników mleka matki (TRUiC Team, 2025).
- Blafar Ltd. (Irlandia) w dziedzinie zaawansowanych materiałów i biopolimerów wytwarza żelatynę o wysokiej zdolności żelowania do zastosowań w inżynierii tkankowej i medycynie regeneracyjnej (StartUs, 2025).

9.1.3.8. Intensywność konkurencji na rynku wdrażania technologii

Nanotechnologia i nanomateriały to obszar, który mimo licznych badań i wdrożeń jest wciąż na wczesnym etapie rozwoju. Zarówno w regionie, jak i w kraju, działają liczne jednostki naukowo-badawcze, centra transferu technologii oraz przedsiębiorstwa, które intensywnie pracują na rzecz rozwoju tego interdyscyplinarnego obszaru, mającego wpływ na większość innowacji pojawiających się w gospodarce. Na podstawie wewnętrznych analiz Obserwatorium, zidentyfikowano ponad 200 podmiotów badawczych (w tym instytuty i centra badawcze oraz uczelnie wyższe) w kraju, które mogą prowadzić badania w obszarze nanotechnologii i nanomateriałów. Poniżej przedstawiono konkurentów firm śląskich w podziale na grupy technologiczne:

Nanomateriały

Wszystkie jednostki naukowo-badawcze działające w woj. śląskim w obszarze nanotechnologii pracują nad technologiami otrzymywania nanomateriałów, bezpieczeństwem ich stosowania i ich toksycznością czy możliwością aplikacji (zob. podrozdział 9.1.3.3). Można także stwierdzić, że wszystkie ośrodki zajmujące się nanomateriałami w Polsce i UE stanowią potencjalną konkurencję dla śląskich firm. Należy podkreślić, że duża część technologii jest na niskim poziomie TRL lub na etapie badań podstawowych.

- Jednostki naukowo-badawcze w kraju:
 - Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Materiałowej (WIM PW, 2025),
 - Akademia Górniczo-Hutnicza, Akademickie Centrum Materiałów i Nanotechnologii AGH (ACMIN, 2025),
 - Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki oraz Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej (WIiTCH PK, 2025),
 - Politechnika Poznańska, Instytut Badań Materiałowych i Inżynierii Kwantowej (IBMiK, 2025),
 - Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN (IPPT PAN, 2025).
- Przedsiębiorstwa: do przedsiębiorstw stanowiących konkurencję dla śląskich firm można zaliczyć podmioty wymienione w podrozdziałach 9.1.3.3 i 9.1.3.5. Co istotne w Polsce działa też kilka podmiotów w obszarze struktur węglowych, głównie grafenu. Są to m.in.: Nanores (2025), BeeGraphene (2025), nanoEMI (2025) [jedna ze spółek powstała w ramach flagowego programu UE Graphene Flagship (Nanonet, 2023)]. W skali UE i świata nanomateriały są w obszarze zainteresowania głównych globalnych graczy: Thermo Fisher Scientific (Thermo Fisher, 2025), IBM (2025), Tesla (2025), Artekya Technology (Artekya, 2025), Plasmachem (2025), Emfutur (2025).
- UE/świat: nad nanomateriałami pracują czołowe jednostki w UE i na świecie: niemiecka sieć instytutów Fraunhofer (2025), francuska sieć CNRS (2025), brytyjski Uniwersytet Cambridge (CAM, 2025), szwajcarska EMPA (2025) i kanadyjski Uniwersytet Waterloo (University of

Waterloo, 2025). Należy zaznaczyć, że zainteresowanie wdrażaniem nanotechnologii i nanomateriałów na świecie znacznie różni się od sytuacji w Polsce. Przedsiębiorcy współpracują z jednostkami naukowo-badawczymi w celu ulepszenia i wprowadzenia nowych rozwiązań na rynek. W Polsce istnieje bariera, najczęściej finansowa, która skutecznie oddziałuje na niski poziom wdrożeń technologii do gospodarki.

Nanoelektronika

- Jednostki naukowo-badawcze w kraju:
 - Politechnika Poznańska, Instytut Fizyki (Instytut Fizyki, 2025),
 - Uniwersytet Rzeszowski, Centrum Mikroelektroniki i Nanotechnologii (CMiN, 2025),
 - Uniwersytet Warszawski, Centrum Nowych Technologii (CENT, 2025),
 - Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki, Centrum Nanoelektroniki, Mikrosystemów i Fotoniki (IMiF, 2025).
- Przedsiębiorstwa: na rynku krajowym najbardziej znaczącą firmą w obszarze nanoelektroniki jest wrocławska firma XTPL SA (XTPL, 2025).
- UE/świat: na świecie i w UE nanoelektronikę rozwijają i wdrażają do swojej działalności największe globalne przedsiębiorstwa: Intel Corporation (NanoCorp, 2025), Samsung (2025), Sony Semiconductor Solutions (Sony, 2025). Najczęściej takie podmioty prowadzą również swoje centra badawczo-rozwojowe [np. IBM Research – Almaden (IBM, 2024)]. Podobnie jak w innych wytypowanych grupach technologicznych, badania nad nanoelektroniką prowadzi większość instytucji działających w obszarze nanotechnologii. Poważną konkurencję stanowią: instytut z niemieckiej sieci Fraunhofer, indyjski instytut Centre for Nano Science and Engineering (CENSE, 2025), czy Uniwersytet Stanforda (Stanford University, 2025).

Nanofotonika

- Jednostki naukowo-badawcze w kraju:
 - Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki (IMiF, 2025),
 - Politechnika Poznańska, Instytut Badań Materiałowych i Inżynierii Kwantowej (IBMiK, 2025),
 - Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN (INTiBS PAN, 2025),
 - Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie (UKSW, 2025).
- Przedsiębiorstwa: w Polsce nie ma podmiotów, które stanowiłyby konkurencję dla technologii wytwarzanych w woj. śląskim. Opracowywane technologie wdraża się do większych systemów i w przedsiębiorstwach. Ich zidentyfikowanie jest natomiast niemożliwe ze względu na tajemnicę przedsiębiorstwa. Warto jednak wspomnieć, że na terenie Polski działa Polska Platforma Technologiczna Fotoniki [Klaster Mikroelektroniki, Elektroniki i Fotoniki (microEPC)], której celem jest zrzeszanie podmiotów z sektora fotonicznego.
- UE/świat: podobnie jak w innych grupach technologicznych, nad rozwiązaniami w nanofotonice pracują czołowe jednostki badawcze. Do najważniejszych można zaliczyć: Uniwersytet Cambridge – NanoPhotonics Centre (2025), MIT Research Laboratory of Electronics (RLE MIT, 2025), National Institute of Standards and Technology (NIST, 2025).

Nanobiotechnologia i nanomedycyna

Na terenie woj. śląskiego prace nad nanomedycyną i nanobiotechnologią prowadzą największe uczelnie, tj. Politechnika Śląska, Uniwersytet Śląski, Śląski Uniwersytet Medyczny oraz instytuty, np. Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN.

- Do najważniejszych konkurentów w kraju należą następujące jednostki naukowo-badawcze:
 - Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej (WiTCH PK, 2025),
 - Sieć Badawcza Łukasiewicz – Krakowski Instytut Technologiczny (KIT, 2025),
 - Sieć Badawcza Łukasiewicz – PORT Polski Ośrodek Rozwoju Technologii (PORT, 2025),
 - Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Centrum NanoBioMedyczne (NCBM, 2025),
 - Uniwersytet Warszawski, Centrum Nowych Technologii (CENT, 2025),
 - Uniwersytet Gdański (2025),
 - Uniwersytet Medyczny w Łodzi, Wydział Farmaceutyczny (UM WF, 2025).

- Przedsiębiorcy: do przedsiębiorców stanowiących konkurencję dla śląskich technologii można zaliczyć start-upy, które zostały stworzone przy Uniwersytecie Gdańskim i zajmują się głównie nośnikami leków: NaNoEXPO (2025), VAXICAN (2025). Poważną konkurencją jest spółka NanoGroup – podmiot utworzony przez naukowców z Politechniki Warszawskiej, prowadzący w swoich trzech spółkach córkach badania nad transportem leków, materiałami do radioterapii oraz systemami transportu gazów w organizmie.
- UE/świat: nanomedycyna i nanobiotechnologia jest jednym z głównych obszarów zainteresowania naukowców i badaczy w kontekście nanotechnologii. Większość jednostek naukowo-badawczych zajmujących się nanotechnologią prowadzi badania nad wdrażaniem nanotechnologii w medycynie. Konkurencję stanowią organizacje zrzeszające podmioty z tego obszaru, np. prężnie działające klastry: austriacki BioNanoNet (BNN, 2025) czy belgijski Nano4Health (2025). W grupie prężnie działających przedsiębiorstw można wymienić amerykański start-up BIND Therapeutics (obecnie Pfizer) (BIND, 2025) – rozwijający metody dostarczania leków czy francuski Nanobiotix (2025) – pracujący nad dostarczaniem leków do tkanek nowotworowych.

Filtracja i membrany

W woj. śląskim ośrodkiem prowadzącym badania nad nanomembranami modyfikowanymi jest Politechnika Śląska (głównie Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki). Najczęściej jest to współpraca w międzywydziałowych, interdyscyplinarnych zespołach (Nanobiotix, 2025) złożonych z inżynierów materiałowych, technologów oraz chemików. Politechnika Śląska jest pionierem w technologii membran nanostrukturalnych, domieszkowanych cząsteczkami pochodzenia naturalnego (np. haloizytem). Na Uniwersytecie Śląskim realizowane są badania nad multifunkcjonalnymi nanomateriałami porowatymi, które mogą znaleźć zastosowanie jako nowoczesne filtry środowiskowe do remediacji gleb i wód podziemnych (Rad-Om, 2022; 145).

- Jednostki naukowo-badawcze w Polsce: Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie (Sienkiewicz, 2022) – na Wydziale Technologii i Inżynierii Chemicznej prowadzone są badania nad membranami z dodatkami mineralnymi, takimi jak haloizyt, przeznaczonymi do usuwania zanieczyszczeń z wód oraz badania nad membranami modyfikowanymi nanocząstkami, takimi jak nanosrebro. W Polsce prowadzone są także badania nad membranami, które mogą być stosowane do magazynowania energii czy odsalania wody. Prowadzi je m.in. Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie (Sokolowski i in., 2022).
- Przedsiębiorcy: na świecie można wskazać firmę SiMPore (2025), która produkuje i wprowadza na rynek zaawansowane membrany do filtracji wody.
- UE/świat: do ośrodków pracujących nad przedmiotowymi rozwiązaniami można zaliczyć: Institute on Membrane Technology (CNR-ITM) we Włoszech, University of Padova we Włoszech (Vasco i in., 2023), Çanakkale Onsekiz Mart University w Turcji (Nigiz i Karakoca, 2023), Université Claude Bernard we Francji (Sempere, 2015).

Główną ścieżką opracowywania nowych technologii w obszarze nanotechnologii są projekty B+R finansowane ze środków zewnętrznych, pozyskiwane przez jednostki naukowo-badawcze, przedsiębiorstwa lub konsorcja. Podmioty krajowe zdecydowanie rzadziej decydują się na inwestowanie środków własnych w opracowywanie nowych technologii. Komercjalizacja i wdrożenie nanotechnologii opierają się głównie na trzech mechanizmach:

- komercjalizacji wyników badań przez zespoły naukowe pracujące w jednostkach naukowo-badawczych, które tworzą spółki typu start-up, spin-off lub spin-out,
- zakupie opracowanej technologii przez jednostki naukowo-badawcze oraz przedsiębiorstwa,
- opracowywaniu nowej technologii w obrębie przedsiębiorstwa, często we współpracy z zespołami naukowymi.

Do dobrych praktyk komercjalizacji technologii należy tworzenie centrów transferu technologii przez uczelnie wyższe, których celem jest sprzedaż lub nieodpłatne wdrożenie do gospodarki wyników badań i prac rozwojowych realizowanych wewnątrz instytucji prowadzącej. Takie podmioty często mają za zadanie szkolenie, świadczenie usług doradczych czy marketingowych, ale również dbanie

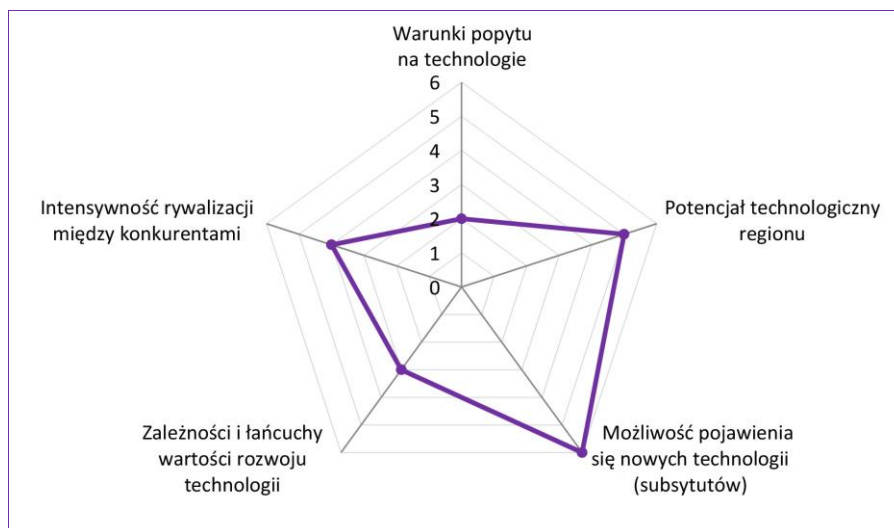
o ochronę praw własności intelektualnej i przemysłowej. Niestety w przypadku nanotechnologii proces transferu technologii jest utrudniony ze względu na biurokrację, trudność w skalowaniu technologii oraz brak dedykowanych programów, których celem byłoby skalowanie technologii nano. Choć sektor nanotechnologii i nanomateriałów podlega częściowym regulacjom unijnym (m.in. w obszarze żywności, kosmetyków czy ochrony pracowników), brak spójnych przepisów na poziomie krajowym opóźnia proces wdrażania innowacji, takich jak nanonośniki.

Wszystkie wymienione elementy składają się na sytuację, w której podaż prowadzonych badań i opracowywanych technologii jest znacząco wyższa niż popyt. Sytuacja ta jest charakterystyczna dla polskiego rynku, ponieważ inne kraje stawiają na rozwój własnych ośrodków badawczych i podmiotów gospodarczych.

9.1.3.9. Podsumowanie

Tabela 9.7. Podsumowanie analizy pięciu sił Portera dla obszaru technologicznego nanomateriały i nanotechnologie

Pięć sił Portera	Charakterystyka
Warunki popytu na technologie	• dawcami technologii są podmioty naukowe, głównie małe podmioty, start-upy • pojedyncze przykłady udanej komercjalizacji • firmy bez wystarczającego zaplecza finansowego i technologicznego • niezbędna ilość badań na wczesnym poziomie gotowości TRL • zwiększony popyt na nanotechnologie w sektorze medycznym i farmaceutycznym • duże możliwości zastosowania w przemyśle materiałowym i chemicznym regionu • wzrastające zainteresowanie producentów z branży elektronicznej i IT • ograniczenie popytu krajowych biorców technologii z uwagi na brak stabilnego systemu finansowania projektów B + R + I
Potencjał technologiczny regionu	• niewiele przykładów udanych komercjalizacji w regionie • silne zaplecze naukowo-badawcze w postaci uczelni technicznych • rozwinięta infrastruktura laboratoryjna i badawcza w parkach technologicznych • potencjał dawcy technologii ograniczony do skali laboratoryjnej, niskoskalowej produkcji • niezbędna ilość badań na wczesnym poziomie gotowości TRL • główne podmioty wdrażające technologie to start-upy lub MŚP • niewielka ilość technologii unikatowych (zob. arkusz identyfikacji technologii) • głównie technologie standardowe
Możliwość pojawienia się nowych technologii (substytutów)	• intensywny rozwój alternatywnych technologii materiałowych • konkurencyjne rozwiązania w zakresie modyfikacji powierzchni materiałów • krótki cykl życia technologii
Zależności i łańcuchy wartości rozwoju technologii	• Śląski Klaster NANO • Klaster MedSilesia • Obserwatorium Nanotechnologii i Nanomateriałów • centra transferu technologii • parki naukowo-technologiczne • współpraca w ramach realizacji projektów – czasowa • silne powiązania z dostawcami specjalistycznej aparatury badawczej • duża zależność od importu niektórych nanomateriałów i komponentów – brak lokalnych dostawców
Intensywność rywalizacji między konkurentami	• lokalny popyt jest niewielki, zaspokajany przez projekty celowane • podaż jest istotna, ale niekoniecznie odpowiada na popyt • presja ze strony zagranicznych koncernów technologicznych • konkurencja w obszarze pozyskiwania wykwalifikowanych specjalistów • rosnąca konkurencja ośrodków badawczych z innych regionów Polski i świata



Rys. 9.1. Ocena pięciu sił Portera dla obszaru technologicznego nanomateriały i nanotechnologie

Przewaga woj. śląskiego w analizowanym obszarze wynika z wielu wcześniej przedstawionych czynników. Kluczową rolę odgrywa obecność instytucji naukowych działających w obszarze nanotechnologii i nanomateriałów, a także instytucji wspierających, jak centra transferu technologii (CTT) oraz inicjatywy klastrowe. Powyższe czynniki stanowią solidną bazę dla opracowywania nowych technologii, jednak ich rozwój powinien być ściślej powiązany z rzeczywistym zapotrzebowaniem rynku. Obecnie obserwuje się rozbieżność między popytą a popytem w zakresie technologii i materiałów nano. Mimo dobrze rozwiniętego zaplecza B+R brakuje mechanizmu rozwojowego. Wiele technologii osiąga etap gotowości wdrożeniowej, jednak proces ich wdrożenia do działalności firmy nie dochodzi do skutku lub kończy się niepowodzeniem. W efekcie działania ww. mechanizmu nie powstają nowe firmy, start-upy, spin-offy, a firmy nie dysponują wystarczającym kapitałem na rozwój wymagających technologii i materiałów nano. Aby tego dokonać, przedsiębiorcy podejmują starania i próby pozyskania finansowania na realizację projektów wysokiego ryzyka. Jednakże w obecnej perspektywie, jak wykazała analiza, na terenie woj. śląskiego firmy nie realizują projektów wprost z obszaru nanotechnologii i nanomateriałów. Wynika to zarówno z kapitałochłonności nanotechnologii, jak i z barier prawnych oraz skomplikowanego procesu komercjalizacji. Ukształtowany w ten sposób ekosystem biznesowy skutecznie zniechęca przedsiębiorstwa do wdrażania innowacji w obszarze nanotechnologii, co jest kontynuacją trendu obserwowanego w poprzedniej perspektywie finansowej (2014–2020) oraz w okresie przed pandemią. Wyzwaniem nie jest brak programów i przewidzianych w ich ramach funduszy na realizację projektów. Nowa perspektywa daje różne możliwości dofinansowania prac badawczo-rozwojowych. Głównie wyzwaniem stanowi wysoki poziom ryzyka związany z realizacją projektów nano oraz brak mechanizmów ich efektywnego wdrażania. Skutkuje to niskim zainteresowaniem podmiotów takimi inicjatywami (nie ma chętnych na realizację projektów dotyczących nowych rozwiązań i technologii z obszaru nano).

Jak wynika z przeprowadzonych badań woj. śląskie posiada wysoki potencjał technologiczny. Świadczy o tym nie tylko liczba projektów prowadzonych przez śląskich naukowców, ale również ich jakość oraz perspektywa uzyskania obiecujących wyników. Znaczna część prowadzonych badań jest jednak realizowana w obszarze badań podstawowych, które choć są kluczowe dla rozwoju danej dziedziny naukowej, nie mogą stać się przedmiotem komercjalizacji. Mimo to stanowią one podwaliny nowoczesnych technologii (nie tylko w obszarze nano). Ich wdrożenie wymaga niejednokrotnie wielu dalszych badań oraz przeskalowania do skali przemysłowej, co w przypadku nanotechnologii jest szczególnie wymagające pod względem nakładów finansowych i czasowych. Należy także podkreślić, że wiele z badań realizowanych w obszarze nanotechnologii w woj. śląskim koncentruje się na zastosowaniach w medycynie oraz farmacji. Z uwagi na restrykcyjne normy, długotrwałe procesy standaryzacyjne i procedury dopuszczenia do obrotu, proces wprowadzania tych technologii jest wyjątkowo długi i kosztowny. To dodatkowe wyzwanie, które spowalnia proces komercjalizacji.

Mała konkurencja między podmiotami gospodarczymi działającymi w obszarze nanotechnologii i nanomateriałów na terenie woj. śląskiego wynika przede wszystkim z ich niewielkiej liczby. Analizując konkurencyjność tego sektora, nie można rozpatrywać tego aspektu jedynie w perspektywie regionalnej. Nanotechnologia to obszar o wysokim stopniu skomplikowania – na tyle specyficzny i trudny – że kluczowe znaczenie ma zarówno konkurencja krajowa, jak i międzynarodowa, w tym szczególnie te podmioty zagraniczne, które dysponują większymi funduszami, pozwalającymi im na intensyfikację prowadzenia badań i efektywne wdrażanie technologii nano. Mogą one korzystać z lepiej rozwiniętych ekosystemów naukowo-badawczo-rozwojowych („rynku naukowego”), co znacząco wzmacnia ich przewagę konkurencyjną. Mimo to śląskie jednostki naukowo-badawcze posiadają duży potencjał w zakresie komercjalizacji wyników badań, co wymaga aktywnego, systematycznego wspierania i promocji. Konieczne jest podejmowanie działań poza granicami województwa oraz nawiązanie nowych i pogłębienie starych kontaktów z przedsiębiorstwami, szczególnie z sektora zaawansowanych technologii. Działaniem kluczowym w tym zakresie jest ukierunkowanie prac badawczych na realne potrzeby rynku przez organizację forów dyskusyjnych, indywidualnych spotkań i konsultacji z przedstawicielami firm z obszaru nanotechnologii. Takie działania pozwolą na lepsze dopasowanie rozwiązań naukowych do oczekiwań biznesu, zwiększą szanse na pozyskanie dofinansowania oraz zacieśnią współpracę między sferą naukową a gospodarczą. Istotne jest przy tym zachowanie wartości badań podstawowych i niepomijanie ich znaczenia dla długofalowego rozwoju technologicznego.

Przeprowadzone badania wykazały, że woj. śląskie posiada wysoki potencjał rozwojowy w obszarze nanotechnologii, ujawniły także występowanie rozbieżności między podażą a popytem na technologie i materiały nano na rynku lokalnym. W celu skutecznego wykorzystania tego potencjału konieczne jest wdrożenie odpowiednich działań na poziomie regionalnym. Kluczowe znaczenie ma właściwe ukierunkowanie badań, zgodnie z globalnymi trendami w nanotechnologii oraz intensyfikacja współpracy sektora naukowego z biznesem. Wsparcie środowiska start-upowego, ułatwienie dostępu do finansowania (na etapie pozyskiwania środków, realizacji projektów, oraz komercjalizacji opracowywanych technologii), a także rozwój infrastruktury dla przedsięwzięć innowacyjnych stanowią istotne czynniki stymulujące rozwój branży.

Jednym z kluczowych elementów ekosystemu innowacji może być tworzenie cleanroomów w jednostkach akademickich i instytucjach otoczenia biznesu. Takie specjalistyczne przestrzenie umożliwiają prototypowanie, produkcję na małą skalę oraz prowadzenie zaawansowanych prac badawczo-rozwojowych. Równolegle do tych działań powinna być realizowana polityka rozwoju nowoczesnej edukacji, nadążającej za trendami rynkowymi i systemem kształcenia w obszarach STEM (ang. *Science, Technology, Engineering, Mathematics*), co przyczyni się do wykształcenia wykwalifikowanej kadry na potrzeby przemysłu. Bliskość ośrodków naukowych sprzyja powstawaniu innowacji, a dodatkowym impulsem rozwojowym może być wdrażanie agend badawczo-rozwojowych skoncentrowanych na nanotechnologii.

Należy podkreślić, że nanotechnologia ma szerokie zastosowanie, jednak jej rozwój nie następuje w izolacji – jest ściśle powiązany z postępem w miniaturyzacji w różnych obszarach nauki i techniki, dlatego kluczowe jest systemowe podejście integrujące działania naukowe, biznesowe i infrastrukturalne, które pozwoli na pełne wykorzystanie potencjału nanotechnologii w regionie. Podsumowując, aby woj. śląskie mogło skutecznie konkurować na rynku krajowym i międzynarodowym, konieczne jest wdrożenie kompleksowych działań rozwojowych. Doświadczenie oraz zasoby dostępne w regionalnych instytucjach stanowią solidną podstawę, jednak kluczowe jest ich efektywne wykorzystanie przez podejmowanie konkretnych inicjatyw na rzecz dynamicznego rozwoju tego sektora.

9.2. Uwarunkowania rozwoju obszaru technologicznego – analiza PESTEL

Dynamiczny rozwój nanotechnologii może stanowić jeden z kluczowych czynników kształtujących przyszłość gospodarczą i technologiczną Polski. Analiza PESTEL, będąca kompleksowym narzędziem badania otoczenia makroekonomicznego, pozwala na systematyczną ocenę czynników wpływających

na rozwój tego sektora w perspektywie długoterminowej. W kontekście foresightu technologicznego dla nanotechnologii analiza PESTEL umożliwia identyfikację i ocenę kluczowych trendów oraz czynników zewnętrznych w sześciu podstawowych wymiarach.

Tabela 9.8. Analiza PESTEL dla obszaru technologicznego nanotechnologia i nanomateriały dla woj. śląskiego

Obszar analizy	Nazwa czynnika	Charakter czynnika
Polityczny	wsparcie rządowe dla rozwoju nanotechnologii w Polsce, m.in. przez finansowanie badań i rozwoju (B + R) oraz tworzenie korzystnych warunków inwestycyjnych	+
	regulacje unijne dotyczące bezpieczeństwa i zrównoważonego rozwoju w obszarze nanotechnologii, takie jak Europejski Zielony Ład	+
	potrzeba dostosowania istniejących ram regulacyjnych UE do wyzwań związanych z zaawansowanymi nanomateriałami	–
Ekonomiczny	rosnący rynek nanotechnologii na świecie ze wskaźnikiem CAGR powyżej 10%	+
	konieczność tworzenia korzystnego otoczenia dla innowacji, szczególnie dla małych i średnich przedsiębiorstw (MŚP)	+
	potrzeba zwiększenia inwestycji publicznych w obszarze nanotechnologii w UE, obecnie proporcjonalnie mniejszych niż u głównych konkurentów	–
Społeczny	potencjalny wpływ nanotechnologii na życie każdego obywatela	+
	konieczność dialogu społecznego i uwzględniania opinii publicznej	0
	wyzwania związane z oceną wpływu nanotechnologii na sprawiedliwość społeczną i nierówności w globalnym łańcuchu dostaw	–
Technologiczny	szybki rozwój nanotechnologii i jej zastosowań, m.in. w rolnictwie oraz w przemyśle spożywczym, opakowaniowym i kosmetycznym, a także w medycynie	+
	potrzeba inwestycji w infrastrukturę badawczą na światowym poziomie („ośrodki doskonałości”)	–
	wyzwania związane z oceną bezpieczeństwa i zrównoważonego rozwoju zaawansowanych nanomateriałów ze względu na ich złożoność i dynamiczne zachowanie	–
Środowiskowy	potencjalny wpływ nanomateriałów na środowisko i zdrowie, wymagający badań naukowych	–
	konieczność uwzględniania aspektów środowiskowych i zdrowotnych na każdym etapie cyklu życia produktów opartych na nanotechnologii	0
	wyzwania związane z oceną narażenia środowiska na nanomateriały	–
Prawny	konieczność dostosowania istniejących ram prawnych UE, takich jak rozporządzenie REACH, dyrektywa kosmetyczna i rozporządzenie w sprawie nowej żywności, do wyzwań związanych z nanomateriałami	–
	potrzeba opracowania nowych metod oceny ryzyka lub dostosowania istniejących do specyfiki nanomateriałów	0
	wyzwania związane z zapewnieniem zgodności nanomateriałów z celami Europejskiego Zielonego Ładu	0

Objaśnienie: ocena charakteru czynnika: sprzyjający „+”, hamujący „–”, neutralny „0”.

9.3. Ocena obszaru technologicznego – analiza SWOT

Tabela 9.9 zawiera syntetyczne podsumowanie przeprowadzonych analiz ilościowo-jakościowych w postaci analizy SWOT dla branży nanotechnologii i nanomateriałów w Polsce i w woj. śląskim.

Tabela 9.9. Czynniki SWOT dla obszaru technologicznego nanotechnologii i nanomateriałów

Silne strony		Słabe strony	
S1	Potencjał naukowo-badawczy woj. śląskiego	W1	Bariery rozwojowe
S1.1	silne zaplecze naukowe w postaci uznanych uczelni technicznych	W1.1	wysokie koszty wdrożeń i komercjalizacji nanotechnologii
S1.2	rozwinięta infrastruktura laboratoryjna i badawcza	W1.2	niewystarczające nakłady na B + R w porównaniu z wiodącymi regionami UE (nakłady na B + R w 2023 r. to 1,45% PKB – 15. miejsce wśród krajów UE)
S1.3	doświadczenie w realizacji projektów B + R w obszarze nanomateriałów	W1.3	brak kompleksowego systemu wsparcia dla start-upów, w tym nanotechnologicznych
S1.4	programy kształcenia uwzględniające obszar nanotechnologii	–	–
S2	Specjalizacja przemysłowa regionu	W2	Luka kompetencyjna
S2.1	silne powiązania z przemysłem metalurgicznym i materiałowym	W2.1	niedobór wysoko wykwalifikowanych specjalistów w niektórych obszarach i odpływ talentów do innych regionów oraz za granicę
S2.2	doświadczenie w produkcji i przetwórstwie materiałów	W2.2	niedostosowanie programów kształcenia do potrzeb przemysłu
S2.3	tradycje przemysłowe i wykwalifikowana kadra	W2.3	izolacja badań akademickich przejawiająca się

techniczna		w niedostosowaniu agend badawczo-rozwojowych publicznych jednostek naukowych do potrzeb rynku; zwiększony udział innowacji podażowych względem popytowych	
S3	Współpraca międzysektorowa	W3	Problemy strukturalne
	funkcjonujące klastry technologiczne		
S3.1	(Śląski Klaster NANO, MedSilesia, Silesia Automotive & Advanced Manufacturing)	W3.1	rozdrobienie inicjatyw badawczych
S3.2	aktywna współpraca nauki z przemysłem	W3.2	niska skala produkcji nanomateriałów, niski udział projektów o podwyższonym TRL wskazujących na skalowalność w warunkach przemysłowych
S3.3	obecność parków technologicznych i inkubatorów przedsiębiorczości	W3.3	ograniczona współpraca międzynarodowa
S3.4	obecność instytucji koordynujących i wdrażających narzędzia wsparcia grantowego/projektowego dla projektów B + R + I	W3.4	niski udział patentów z obszaru nanotechnologii
Szanse		Zagrożenia	
O1	Rozwój nowych technologii	T1	Ryzyka ekonomiczne
O1.1	rosnące zapotrzebowanie na nanomateriały w przemyśle	T1.1	wysokie koszty badań i wdrożeń
O1.2	możliwość wykorzystania nanotechnologii w transformacji energetycznej regionu (np. soft magnetic nanocomposites, materiały dla magazynów energii)	T1.2	konkurencja ze strony krajów lub regionów o większym potencjale finansowym (USA, Japonia)
O1.3	zastosowania w ochronie środowiska i dekarbonizacji	T1.3	ryzyko recesji gospodarczej
–	–	T1.4	ryzyko braku ciągłości finansowania innowacji nanotechnologicznych w całym łańcuchu rozwoju
O2	Wsparcie instytucjonalne	T2	Barriere technologiczne
O2.1	dostępność funduszy UE na rozwój innowacyjnych technologii w perspektywie 2021–2027	T2.1	szybka dezaktualizacja technologii
O2.2	możliwość wykorzystania środków z Funduszu Sprawiedliwej Transformacji	T2.2	trudności w skalowaniu produkcji
O2.3	możliwość uwzględnienia specjalizacji nanotechnologicznych w działaniach Funduszu Transformacji Województwa Śląskiego	T2.3	problemy z certyfikacją i standaryzacją nanomateriałów
O3	Trendy rynkowe	T3	Wyzwania społeczne
O3.1	rosnący globalny rynek nanomateriałów	T3.1	obawy społeczne dotyczące bezpieczeństwa nanotechnologii
O3.2	rozwój nowych zastosowań w tradycyjnych gałęziach przemysłu	T3.2	potencjalne regulacje ograniczające rozwój sektora
O3.3	możliwość specjalizacji w niszowych produktach	T3.3	konkurencja podmiotów gospodarczych o utalentowanych pracowników preferująca podmioty reprezentujące gospodarki o wyższym potencjale do efektywnego wdrażania produktów nanotechnologicznych
O3.4	wdrażanie wydajnej polityki regulacyjnej zapewniającej trwałe i potwierdzone korzyści z bezpiecznego stosowania nanomateriałów (Yontar i Čevik, 2020; Jeffcoat i in., 2024)	–	–

Podsumowanie analizy SWOT

Rozwój branży nanotechnologii i nanomateriałów może stanowić jeden z kluczowych elementów transformacji gospodarczej Polski, w szczególności przez swój interdyscyplinarny charakter oddziałujący na inne obszary technologiczne. Woj. śląskie dysponuje dużym potencjałem w zakresie rozwoju nanotechnologii, który opiera się na silnym zapleczu naukowym w postaci uznanych uczelni technicznych oraz rozwiniętej infrastruktury badawczej. Istniejące zaplecze przemysłowe stwarza dogodne warunki dla rozwoju i wdrażania innowacyjnych rozwiązań nanotechnologicznych, szczególnie w obszarze metalurgii i materiałoznawstwa. Do kluczowych obszarów pod względem rozwoju nanotechnologii w woj. śląskim należą:

- Infrastruktura badawczo-rozwojowa – priorytetem jest rozwój i modernizacja infrastruktury badawczej w celu utrzymywania światowych standardów. Konieczne jest również inwestowanie w specjalistyczną aparaturę badawczą oraz rozwój zaplecza do produkcji pilotażowej dla podnoszenia gotowości technologicznej wykraczającej poza warunki laboratoryjne. Szczególnie istotne jest stworzenie systemu współdzielenia infrastruktury między instytucjami naukowymi a przedsiębiorstwami.

- Komercjalizacja i transfer technologii – skuteczna komercjalizacja wyników badań wymaga utworzenia efektywnego systemu transferu technologii. Kluczowe działania obejmują stabilizację źródeł finansowania w całym cyklu rozwoju. Istotne jest również wsparcie w zakresie ochrony własności intelektualnej i analiz rynkowych. Rozwój praktycznych zastosowań nanotechnologii powinien koncentrować się na kluczowych dla regionu branżach, takich jak energetyka, medycyna i ochrona środowiska. Niezbędne jest wspieranie pilotażowych wdrożeń oraz tworzenie demonstratorów technologii.
- Rozwój kadr i kompetencji – kształcenie i rozwój kadr stanowią fundamentalny element rozwoju branży. Niezbędne jest dostosowanie programów kształcenia do potrzeb przemysłu. Szczególną uwagę należy poświęcić przeciwdziałaniu odpływowi specjalistów oraz przyciąganiu utalentowanych pracowników z innych regionów i z zagranicy.
- Finansowanie i współpraca międzynarodowa – stabilne finansowanie rozwoju branży wymaga dywersyfikacji źródeł finansowania, w tym pozyskiwania środków z programów UE, współpracy z funduszami venture capital oraz tworzenia partnerstwa publiczno-prywatnego. Równie istotny jest rozwój współpracy międzynarodowej przez włączenie do globalnych sieci badawczych i udział w międzynarodowych projektach.

Tabela 9.10. Identyfikacja wyzwań i działań

Wyzwanie	Odpowiedź	Propozycja działań
Zwiększenie efektywności wykorzystania infrastruktury badawczej	S1.1, S1.2 S3.1, S3.2 W3.3 O1.1–O1.3 T1.1, T2.2	• inwestowanie w specjalistyczne laboratoria z obszaru nanotechnologii mające interdyscyplinarny charakter w celu utrzymania światowych standardów • modernizacja istniejących laboratoriów uczelni technicznych regionu • rozwój zaplecza do produkcji pilotażowej i małoseryjnej w celu podwyższenia gotowości wdrożeniowej rezultatów projektów B + R oraz spełnienia wymogów prawnych/certyfikacyjnych • monitoring efektywnego wykorzystania infrastruktury w celu eliminacji efektu dublowania się potencjału infrastrukturalnego • stworzenie systemu lub zwiększenie efektywności współdzielenia infrastruktury między instytucjami
Stabilizacja źródeł finansowania	S3.4 W1.1–W1.3 O2.1–O2.3 T1.1–T1.4 T3.2	• dalsza efektywna dywersyfikacja źródeł finansowania dostosowanych do różnych etapów rozwoju interdyscyplinarnych projektów • możliwość tworzenia programów badawczych dedykowanych wybranym zastosowaniom nanotechnologii bądź premiowania tej dziedziny w procesie oceny aplikacji projektowych • rozwój instrumentów finansowych w oparciu o środki unijne (FESL, FST) oraz Fundusz Transformacji Województwa Śląskiego • tworzenie partnerstwa publiczno-prywatnego w celu zwiększenia szans na efektywność komercjalizacji oraz dywersyfikacji ryzyka
Efektywna komercjalizacja wyników badań	S1.3, S2.1, S2.2, S3.2 W1.3; W1.2 W3.1; W3.2, W3.4 W2.3 O1.1–O1.3 O2.1–O2.3 O3.1–O3.3 T1.1, T1.2, T1.4 T2.2, T2.3	• rozwój efektywnych platform współpracy przez regularne uczestnictwo w wydarzeniach, podczas których duże i małe firmy mogą skutecznie formułować swoje wymagania dotyczące produktów i usług • wsparcie w zakresie ochrony własności intelektualnej o szerszym zasięgu niż polski rynek • wsparcie w zakresie badań rynkowych i analiz biznesowych w celu zwiększenia prawdopodobieństwa efektywnego transferu technologii z nauki do biznesu • rozwój współpracy z funduszami venture capital; możliwość tworzenia akademickich VC wzorem Politechniki Warszawskiej⁹⁸
Rozwój kadr i kompetencji	S1.4 S2.3 W3.3 W2.1, W2.3 O3.4 T2.1 T3.1, T3.3	• ciągłe dostosowywanie programów kształcenia do potrzeb przemysłu • przeciwdziałanie odpływowi specjalistów przez polepszenie warunków pracy i dostępu do nowoczesnego zaplecza B + R • przyciąganie utalentowanych osób z innych regionów i z zagranicy, m.in. przez zwiększenie umiędzynarodowienia projektów oraz atrakcyjności podejmowanych prac B + R • organizowanie specjalistycznych szkoleń zawodowych uwzględniających specyfikę nanotechnologii i jej interdyscyplinarny charakter • rozwój nowoczesnej edukacji nadążającej za trendami rynkowymi oraz systemu kształcenia w obszarach STEM

⁹⁸ <https://www.pw.edu.pl/aktualnosci/powstal-fundusz-venture-capital-warsaw-university-technology-investment-factory> (dostęp: 31.01.2025)

Literatura

- 3D-nano (2022): <https://3d-nano.com/pl/> (dostęp: 31.01.2025).
- ACMIN (2025): Akademickie Centrum Materiałów i Nanotechnologii, <https://acmin.agh.edu.pl/> (dostęp: 31.01.2025).
- ADR (2025): ADR System, <https://www.adr.com.pl/o-firmie/> (dostęp: 31.01.2025).
- AGP (2025): Advanced Graphene Products, <https://www.facebook.com/agpgraphene/> (dostęp: 31.01.2025).
- Ansys (2025): What is Nanophotonics?, <https://www.ansys.com/simulation-topics/what-is-nanophotonics> (dostęp: 31.01.2025).
- APA Group (2019): Dlaczego w Polsce tak trudno przychodzi wprowadzanie innowacji?, <https://apagroup.pl/apalab/dlaczego-w-polsce-tak-trudno-wprowadzac-innowacje/> (dostęp: 31.01.2025).
- Arsanit (2014): Centrum Badawczo-Rozwojowe – Redukcja zanieczyszczeń powietrza dzięki wykorzystaniu procesów fotokatalizy w systemach ociepleń, <https://arsanit.pl/wp-content/uploads/2022/10/dotacjaue-centrum-badawczo-rozwojowe.pdf> (dostęp: 31.01.2025).
- Artekya (2025): <https://www.artekya.com/?lang=en> (dostęp: 31.01.2025).
- Astute Analytica (2025): Nanotechnology Market to Surpass Valuation of US\$ 107.30 Billion By 2033. Nanotubes and Nanocomposites to Shine Brighter in the Market Says Astute Analytica, <https://www.globenewswire.com/news-release/2025/01/20/3012188/0/en/Nanotechnology-Market-to-Surpass-Valuation-of-US-107-30-Billion-By-2033-Nanotubes-and-Nanocomposites-to-Shine-Brighter-in-the-Market-Says-Astute-Analytica.html> (dostęp: 31.01.2025).
- Baig N., Kammakakam I., Falath W. (2021): Nanomaterials: a review of synthesis methods, properties, recent progress, and challenges. *Materials Advances*, Vol. 2(6), 1821–1871. <https://doi.org/10.1039/D0MA00807A>.
- Basiak P. (2022): Przełom w leczeniu nowotworów? Naukowcy wykorzystują szczepionkę mRNA. *Interia Wydarzenia*, <https://wydarzenia.interia.pl/zagranica/news-przelom-w-leczeniu-nowotworow-naukowcy-wykorzystuja-szczepionke,nld,6353085> (dostęp: 31.01.2025).
- BeeGraphene (2025): Monocrystal Graphene on SiC, <https://beegraphene.com/> (dostęp: 31.01.2025).
- BIND (2025): BIND Therapeutics, <https://www.flagshipengineering.com/companies/bind-therapeutics> (dostęp: 31.01.2025).
- BioSpace (2022): Nanotechnology Market Forecast Unprecedented CAGR of 14.5% During 2022–2030, <https://www.biospace.com/nanotechnology-market-forecast-unprecedented-cagr-of-14-5-percent-during-2022-2030> (dostęp: 31.01.2025).
- Błoński M. (2023): Na Politechnice Śląskiej powstała koszulka do monitorowania pracy serca, <https://www.onet.pl/informacje/kopalniawiedzypl/polscy-naukowcy-stworzyli-koszulke-ekg-holter/l8xsk70,30bc1058> (dostęp: 31.01.2025).
- BNN (2025): BioNanoNet, <https://www.bnn.at/> (dostęp: 31.01.2025).
- Bujnik P. (2025): Advanced Graphene Products oficjalnie zmienia nazwę na Highlander Enterprise. *Stockwatch*, https://www.polsl.pl/rjo4-citt/ps_aktualnosci/blog-technologiczny-innowacyjne-nanomaterialy-jednowymiarowe/ (dostęp: 31.01.2025).
- Business Insider Polska (2023): Praca na nich czeka, a studentów brak. Tych ekspertów szukają firmy, <https://businessinsider.com.pl/gospodarka/znow-mamy-za-malo-technicznych-studentow-przemysl-ma-problem/pgvjr9n> (dostęp: 31.01.2025).
- CAM (2025): University of Cambridge. Nanotechnology, <https://www.cam.ac.uk/topics/nanotechnology> (dostęp: 31.01.2025).
- CBR (2025): Wykaz Centrów Badawczo-Rozwojowych. Ministerstwo Rozwoju i Technologii, <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologie/wykaz-cbr> (dostęp: 31.01.2025).
- CENSE (2025): Centre for Nanoscience and Engineering, <https://www.cense.iisc.ac.in/> (dostęp: 31.01.2025).
- CENT (2025): Centrum Nowych Technologii Uniwersytetu Warszawskiego, <https://cent.uw.edu.pl/pl/main-page/> (dostęp: 31.01.2025).
- Chemia i Biznes (2013): Nanotechnologia bez granic, <https://www.chemiaibiznes.com.pl/artykuly/nanotechnologia-bez-granic> (dostęp: 31.01.2025).
- Clinex (2025): Dlaczego polimery są lepsze od nanotechnologii?, <https://www.clinex.com.pl/baza-wiedzy/dlaczego-polimery-sa-lepsze-od-nanotechnologii/> (dostęp: 31.01.2025).

- CMF (2025): Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych. Centrum Materiałów Funkcjonalnych, <https://imn.lukasiewicz.gov.pl/o-nas/centrum-materialow-funkcjonalnych/> (dostęp: 31.01.2025).
- CMin (2025): Centrum Mikroelektroniki i Nanotechnologii Uniwersytetu Rzeszowskiego, <https://www.ur.edu.pl/pl/universytet/nauka/centra-badawcze/centrum-mikroelektroniki-i-nanotechnologii> (dostęp: 31.01.2025).
- CMPW PAN (2022): Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych Polskiej Akademii Nauk, <https://cmpw-pan.pl/> (dostęp: 31.01.2025).
- CMPW PAN (2023): Tematyka badawcza. Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych Polskiej Akademii Nauk, <https://cmpw-pan.pl/tematyka-badawcza/> (dostęp: 31.01.2025).
- CMPW PAN (2024): Nauka. Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych Polskiej Akademii Nauk, <https://cmpw-pan.pl/nauka/> (dostęp: 31.01.2025).
- CNRS (2025): National Centre for Scientific Research, <https://www.cnrs.fr/en/the-cnrs> (dostęp: 31.01.2025).
- COAT-IT (2025): <https://coat-it.pl/> (dostęp: 31.01.2025).
- CORDIS (2006): Nanotechnologie – analiza argumentów za i przeciw, <https://cordis.europa.eu/article/id/26524-dissecting-the-pros-and-cons-of-nanotechnologies/pl> (dostęp: 31.01.2025).
- CORDIS (2009): Badania naukowe finansowane ze środków unijnych – polityka w zakresie nanotechnologii wymaga większego zaangażowania społeczeństwa. CORDIS – Wyniki badań wspieranych przez UE, <https://cordis.europa.eu/article/id/31300-eufunded-study-nanotechnology-decisionmaking-needs-greater-public-involvement/pl> (dostęp: 31.01.2025).
- CORDIS (2017): Nanotechnologia a odpowiedzialność społeczna. CORDIS – Wyniki badań wspieranych przez UE, <https://cordis.europa.eu/article/id/170373-the-social-responsibility-of-nanotechnology/pl> (dostęp: 31.01.2025).
- CORDIS (2023): Komisja przyjmuje kodeks postępowania w kwestii odpowiedzialności w badaniach nad nanotechnologiami. CORDIS – Wyniki badań wspieranych przez UE, <https://cordis.europa.eu/article/id/29114-commission-adopts-code-of-conduct-for-responsible-nano-research/pl> (dostęp: 31.01.2025).
- CORDIS (2024): Niedostrzegalne skutki nanocząstek w centrum uwagi. CORDIS – Wyniki badań wspieranych przez UE, <https://cordis.europa.eu/article/id/36090-spotlight-on-nanoparticles-imperceptible-effects/pl> (dostęp: 31.01.2025).
- Cosmetic Care (2024): Nano-substancje w świetle nowych regulacji, <https://www.cosmeticscare.eu/nano-substancje-w-swietle-nowych-regulacji/> (dostęp: 31.01.2025).
- Dąbrowska A. (2023): Rosnąca rola nanotechnologii w kosmetologii i pielęgnacji skóry, <https://biotechnologia.pl/kosmetologia/rosnaca-rola-nanotechnologii-w-kosmetologii-i-pielęgnacji-skory,22094> (dostęp: 31.01.2025).
- Dobroszek K. (2022): Wyleczyć świat. 10 najlepszych polskich startupów bio- i nanotechnologicznych, <https://mycompanypolska.pl/arttykul/wyleczyc-swiat-10-najlepszych-polskich-startupow-bio-i-nanotechnologicznych/8311> (dostęp: 31.01.2025).
- ECHA (2022): Nanomateriały. European Chemicals Agency, <https://echa.europa.eu/pl/regulations/nanomaterials> (dostęp: 31.01.2025).
- Elzein B. (2024): Nano Revolution: „Tiny Tech, Big Impact: How Nanotechnology is Driving SDGs Progress”. Heliyon, Vol. 10(10), e31393.
- Emagazyn (2021): Nowatorskie wytwarzanie i magazynowanie energii, <https://e-magazyny.pl/aktualnosci/nawatorskie-wytwarzanie-i-magazynowanie-energii/> (dostęp: 31.01.2025).
- Emfutur (2025): <https://emfutur.net/> (dostęp: 31.01.2025).
- EMPA (2025): <https://www.empa.ch/> (dostęp: 31.01.2025).
- EPO (2013): Nanotechnology. European Patent Office, <https://www.epo.org/en/news-events/in-focus/classification/nanotechnology> (dostęp: 31.01.2025).
- EUON (2024): Żywność. European Union Observatory for Nanomaterials, <https://euon.echa.europa.eu/pl/food> (dostęp: 31.01.2025).
- Femius Koenderink A., Alù A., Polman A. (2015): Nanophotonics: Shrinking light-based technology. Science, Vol. 348(6234), 516-521.
- Forsal (2023): Polski przemysł cierpi na niedobór specjalistów. Jak głęboki jest problem?, <https://forsal.pl/biznes/przemysl/arttykuly/9133933,polski-przemysl-cierpi-na-niedobor-specjalistow-jak-gleboki-jest-prob.html> (dostęp: 31.01.2025).
- Fortune Business Insights (2024): Nanotechnology Market Size, Share & Industry Analysis, By Type (Nanodevices and Nanosensors), By Industry (Electronics, Healthcare, Manufacturing, Energy & Power,

- Automotive, Aerospace & Defense, Food & Beverages, and Others), and Regional Forecast, 2026–2034, <https://www.fortunebusinessinsights.com/nanotechnology-market-108466> (dostęp: 31.01.2025).
- Fraunhofer (2025): <https://www.nano.fraunhofer.de/en.html> (dostęp: 31.01.2025).
- Fundusz Górnośląski (2024): Fundusz Górnośląski buduje śląskie sieci rozwoju biznesu, <https://fgsa.pl/slaskie-sieci-rozwoju-biznesu/> (dostęp: 31.01.2025).
- Geoghegan M., Hamley I. W., Kelsall R. W. (2008): *Nanotechnologie*. Warszawa, PWN.
- Górski M., Safuta M. (2025): Functional carbon-based materials for structural health monitoring and protection of concrete structures. *Structural Concrete*, Vol. 26(5), 5370-5390.
- Graciano Alvarez A. K., Dotter M., Tuvshinbayar K., Bondzio L., Ennen I., Hütten A., Blachowicz T., Ehrmann A. (2024): Electrospinning Poly(acrylonitrile) Containing Magnetite Nanoparticles: Influence of Magnetite Contents. *Fibers*, Vol. 12(3), 19.
- GUS (2023a): *Biotechnologia i nanotechnologia w Polsce w 2022 roku*. Warszawa, Główny Urząd Statystyczny, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/nauka-i-technika-spoleczenstwo-informacyjne/nauka-i-technika/biotechnologia-i-nanotechnologia-w-polsce-w-2022-roku,10,11.html> (dostęp: 31.01.2025).
- GUS (2023b): *Biotechnologia i nanotechnologia. Zeszyt metodologiczny*. Warszawa, Szczecin, Główny Urząd Statystyczny, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/nauka-i-technika-spoleczenstwo-informacyjne/nauka-i-technika/zeszyt-metodologiczny-biotechnologia-i-nanotechnologia,20,1.html> (dostęp: 31.01.2025).
- GUS (2024a): *Biotechnologia i nanotechnologia w Polsce w 2023 r. Informacja sygnałowa*. Warszawa, Główny Urząd Statystyczny.
- GUS (2024b): *Biotechnologia i nanotechnologia w Polsce w 2023 roku*. Warszawa, Główny Urząd Statystyczny, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/nauka-i-technika-spoleczenstwo-informacyjne/nauka-i-technika/biotechnologia-i-nanotechnologia-w-polsce-w-2023-roku,10,12.html> (dostęp: 31.01.2025).
- Halamoda-Kenzaoui B., Box H., Van Elk M., Gaitan S., Geertsma R., Gainza Lafuente E., Owen A., Del Pozo A., Roesslein M., Bremer S. (2019): Anticipation of regulatory needs for nanotechnology-enabled health products, EUR 29919 EN. Luxembourg, Publications Office of the European Union.
- Haque S. R. (2023): Preparation, characterization, applications and future challenges of Nanomembrane – A review. *Hybrid Advances*, Vol. 3, 100027. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2023.100027>.
- Arsanit (2025): THERMATynk nanoSN, <https://arsanit.pl/produkt/thermatynk-nanosn/> (dostęp: 31.01.2025).
- IBM (2024): Silicon Valley, <https://research.ibm.com/labs/almaden> (dostęp: 31.01.2025).
- IBM (2025): Nanotechnology, <https://www.ibm.com/history/nanotechnology> (dostęp: 31.01.2025).
- IBMilk (2025): Instytut Badań Materiałowych i Inżynierii Kwantowej, <https://phys.put.poznan.pl/instytut-badan-materialowych-i-inzynierii-quantowej> (dostęp: 31.01.2025).
- IMiF (2025): Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki, Sieć Badawcza Łukasiewicz, <https://imif.lukasiewicz.gov.pl/> (dostęp: 31.01.2025).
- Instytut Fizyki (2025): Politechnika Poznańska, <https://phys.put.poznan.pl/instytut-fizyki> (dostęp: 31.01.2025).
- INTiBS PAN (2025): Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych Polskiej Akademii Nauk, <https://www.intibs.pl/> (dostęp: 31.01.2025).
- Invest (2025): Wsparcie i zachęty dla inwestorów. Zachęty/wsparcie KSSE, <https://invest.katowice.eu/wsparcie-i-zachety-dla-inwestorow/zachety-wsparcie-ksse> (dostęp: 31.01.2025).
- IPPT PAN (2025): Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, <https://www.ippt.pan.pl/> (dostęp: 31.01.2025).
- Jeffcoat P., Di Lernia C., Hardy C., New E. J., Chrzanowski W. (2024): (Re)imagining purpose: A framework for sustainable nanotechnology innovation. *NanoImpact*, Vol. 35, 100511. <https://doi.org/10.1016/j.impact.2024.100511>
- Jelonek M. (2016): Zastosowanie nowej generacji stentów uwalniających leki w leczeniu pacjentów z ostrym zespołem wieńcowym. Rozprawa doktorska. Katowice, Śląski Uniwersytet Medyczny, <https://ppm.sum.edu.pl/info/phd/SUM15d860808fb146489742a2313786fe28/?ps=20&lang=pl&pn=1&cid=258> (dostęp: 31.01.2025).
- Jurewicz M. (2021): *Wybrane problemy komercjalizacji wiedzy w obszarze nanomateriałów*. Białystok, Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej.
- Kamińska G. (2022): *Modyfikacja membran ultrafiltracyjnych nanocząstkami i ich zastosowanie*. Monografia, T. 924. Gliwice, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.

- Kamińska G., Marszałek A., Puszczalo E., Fathy N. (2021): Removal of heavy metals in ultrafiltration with clay based mixed matrix nanocomposite membranes – mechanism and performance. W: 2nd International Conference Strategies Toward Green Deal Implementation – Water, Raw Materials & Energy, 8–10 December 2021 (s. 155). Kraków, IGSMiE PAN.
- KIT (2025): Sieć Badawcza Łukasiewicz – Krakowski Instytut Technologiczny, <https://kit.lukasiewicz.gov.pl/> (dostęp: 31.01.2025).
- KKK (2024): Lista Krajowych Kłastrów Kluczowych, <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologia/lista-kkk> (dostęp: 31.01.2025).
- Kocurek J. (2021): Od nanorurki węglowej do koszulki nano-EKG, <https://www.polsl.pl/rch/aktualnosci/43087/od-nanorurki-weglowej-do-koszulki-nano-ekg/?display=4&str=4> (dostęp: 31.01.2025).
- Koltsov D. (2024): Opportunities and trends in modern Nanotechnology. Prezentacja na Konferencji InterNanoPoland 2024, Katowice, 16–17 października 2024 (niepublikowana).
- Komunikat (2004): EU Policy for Nanosciences and Nanotechnologies, <https://www.kowi.de/Portaldata/2/Resources/fp7/coop/eu-nano-policy-2004-08-en.pdf> (dostęp: 31.01.2025).
- Komunikat (2007): Communication from the Commission Towards a European strategy for nanotechnology – Not published in the Official Journal, <https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/a-european-strategy-for-nanotechnology.html> (dostęp: 31.01.2025).
- Kurzydłowski K., Lewandowska M., Red. (2010): Nanomateriały inżynierskie konstrukcyjne i funkcjonalne. Warszawa, PWN.
- Latos P., Boncel S., Chrobok A. (2016): Katalizatory heterogeniczne na bazie nanostruktur węglowych w modelowych procesach chemicznych. *Przemysł Chemiczny*, T. 95(7), 1310-1314.
- Lipiec K. (2021): Nanotechnologia: wciąż dużo do zrobienia, <https://www.chemiaibiznes.com.pl/artykuly/nanotechnologia-wciaz-duzo-do-zrobienia> (dostęp: 31.01.2025).
- Łojkowski W. (2024): Recenzja w postępowaniu habilitacyjnym dr inż. Wiktora Matysiaka w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych, w dyscyplinie inżynieria materiałowa, https://bip.polsl.pl/wp-content/uploads/sites/4/2023/09/Habliiatacja-Matysiak_prof.W.Lojkowski.pdf (dostęp: 31.01.2025).
- Malik S., Muhammad K., Waheed Y. (2023): Nanotechnology: A Revolution in Modern Industry. *Molecules*, Vol. 28(2), 661. <https://doi.org/10.3390/molecules28020661>.
- Mapa Dotacji (2019): Mapa Dotacji UE, <https://mapadotacji.gov.pl/projekty/?search-s=nano&search-voivodeship=392&search-county=&search-fund=&search-program=&search-number-name-activity=&search-beneficiary=&search-title-of-project=&search-theme=&search-years=> (dostęp: 31.01.2025).
- MedSilesia (2020): Śląska Sieć Wyrobów Medycznych, <https://medsilesia.com/> (dostęp: 31.01.2025).
- microEPC (2025): Klaster Mikroelektroniki, Elektroniki i Fotoniki, <https://pptf.pl/klaster-mikroelektroniki-elektroniki-i-fotoniki/> (dostęp: 31.01.2025).
- Moskal G. (2005): Aluminidkowe powłoki ochronne modyfikowane krzemem uzyskane na stopie TiAlCrNb metodą Arc-PVD. W: T. Wierzchoń, J. R. Sobiecki (Red.), *Tytan i jego stopy*. VIII Ogólnopolska konferencja, Warszawa-Serock, 24–26 października 2005 (s. 229-236). Warszawa, Politechnika Warszawska.
- Nano4Health (2025): <https://nano4society.nl/challenges/nano4health/> (dostęp: 31.01.2025).
- Nanobiotix (2025): <https://nanobiotix.com/> (dostęp: 31.01.2025).
- NanoCorp (2025): <https://intelignite.com/companies/nano-corp/> (dostęp: 31.01.2025).
- nanoEMI (2025): <https://nanoemi.com/> (dostęp: 31.01.2025).
- NaNoEXPO (2025): <https://nanoexpo.eu/> (dostęp: 31.01.2025).
- NanoGroup (2025): <https://nanogroup.eu/?lang=pl> (dostęp: 31.01.2025).
- Nanonet (2018): <https://nanonet.pl/> (dostęp: 31.01.2025).
- Nanonet (2020): Nanotechnologia jako nowe podejście w medycynie, <https://nanonet.pl/nanotechnologia-jako-nowe-podejscie-w-medycynie/> (dostęp: 31.01.2025).
- Nanonet (2023): Raport 3W. Węgiel – materiał przyszłości. Katowice, Fundacja Wspierania Nanonauk i Nanotechnologii Nanonet, https://nanonet.pl/wp-content/uploads/2024/01/raport_3w_wegiel.pdf (dostęp: 31.01.2025).
- Nanonet (2024): Zalety nanomedycyny, <https://nanonet.pl/zalety-nanomedycyny/> (dostęp: 31.01.2025).
- Nanonet (2025): Grafen zwiększa swoją zdolność do magazynowania energii, <https://nanonet.pl/grafen-zwieksza-swoja-zdolnosc-do-magazynowania-energii/> (dostęp: 31.01.2025).

- NanoPhotonic Centre (2025): <https://www.np.phy.cam.ac.uk/> (dostęp: 31.01.2025).
- NanoPure (2025): NanoPure Technologies, <https://www.nanopure.pl/pl/o-nas/> (dostęp: 31.01.2025).
- Nanores (2025): Projekt grafenowy. Nanores, <https://nanores.pl/startup/projekt-grafenowy/> (dostęp: 31.01.2025).
- Nanotechnology (2025): Nanotechnology Market: By Type (Nanocomposites, Nanotubes, Nano Clays, Nano Materials, Nano Particles, Nano Devices, Nano Tools, Others); Application (Medical, Paints And Coatings, Automotive, Electronics, Energy & Power, Aerospace, Market Size, Industry Dynamics, Opportunity Analysis And Forecast) for 2025–2033. Mind Commerce, Market Research.
- NanoTecMec (2023): NanoTecMec – nowy międzynarodowy konkurs w ramach partnerstwa ERA4Health, <https://www.kpk.gov.pl/nanotecmec-nowy-miedzynarodowy-konkurs-w-ramach-partnerstwa-era4health> (dostęp: 31.01.2025).
- Nazarko J., Ejdyś J., Gudanowska A., Halicka K., Kononiuk A., Magruk A., Nazarko Ł. (2022): Roadmapping in Regional Technology Foresight: A Contribution to Nanotechnology Development Strategy. IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 69, 179–194. <https://doi.org/10.1109/TEM.2020.3004549>.
- Nazarko J., Ejdyś J., Red. (2011): Metodologia i procedury badawcze w projekcie Foresight Technologiczny «NT for Podlaskie 2020» Regionalna strategia rozwoju nanotechnologii. Białystok, Politechnika Białostocka.
- NCBM (2025): Centrum NanoBioMedyczne. Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, <https://cnbm.amu.edu.pl/> (dostęp: 31.01.2025).
- NCG (2024): NanoCarbon Group, <https://nano-c-group.org/> (dostęp: 31.01.2025).
- NCG (2025): Projects. NanoCarbon Group, <https://nano-c-group.org/research/carbon-nanomaterials/> (dostęp: 31.01.2025).
- NCN (2019): Właściwości elektryczne i piezorezystywne kompozytów cementowych z dodatkiem grafenu do zastosowań w monitoringu strukturalnym konstrukcji budowlanych. Projekty finansowane przez Narodowe Centrum Nauki, https://projekty.ncn.gov.pl/index.php?projekt_id=444399 (dostęp: 31.01.2025).
- NetTG (2021): Katowice: Wyłoniono zwycięzców I edycji miejskiego konkursu Kopalnia Startupów, <https://nettg.pl/gornictwo/177963/katowice-wyloniono-zwyciezcow-i-edycji-miejskiego-konkursu-kopalnia-startupow> (dostęp: 31.01.2025).
- Nigiz F. U., Karakoca B. (2023): Halloysite Nanotube doped poly lactic acid membrane preparation and seawater desalination. Applied Clay Science, Vol. 231, 106721. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2022.106721>.
- NIST (2025): National Institute of Standards and Technology, <https://www.nist.gov/> (dostęp: 31.01.2025).
- OECD (2025): Emerging technology indicators. Organisation for Economic Co-operation and Development, <https://www.oecd.org/en/data/datasets/emerging-technology-indicators.html> (dostęp: 31.01.2025).
- Panamint (2022): Panamint Sustainable Electronics, <https://panamint.pl/> (dostęp: 31.01.2025).
- Parkiet (2021): Nanotechnologia na zdrowie inwestorów giełdowych, <https://www.parkiet.com/felietony/art19367041-nanotechnologia-na-zdrowie-inwestorow-gieldowych> (dostęp: 31.01.2025).
- PARP (2024): PARP4Digital, <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/technologie/cyfrowe/mikro-i-nanoelektronika/nanomaterialy-stosowane-w-elektronice/> (dostęp: 31.01.2025).
- Patent (2024): Sposób otrzymywania materiałów opatrunkowych do zastosowania w leczeniu ran zespołu stopy cukrzycowej. Warszawa, Urząd Patentowy RP. Patent numer P.441025.
- Plasmachem (2025): <https://www.plasmachem.com/> (dostęp: 31.01.2025).
- Podręcznik (2005): Foresight technologiczny. Podręcznik. T. 1. Organizacja i metody. Warszawa, Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości.
- Politechnika Śląska (2024a): Działalność naukowo-badawcza – Katedra Optoelektronika, <https://www.polsl.pl/re/wydzial-elektryczny-pl/dzialalnosc-naukowo-badawcza/dzialalnosc-naukowo-badawcza-katedra-optoelektroniki/> (dostęp: 31.01.2025).
- Politechnika Śląska (2024b): POB3.5. Zaawansowane metody modyfikacji powierzchni materiałów, <https://www.polsl.pl/pob3/tematyka-badawcza/pob3-5-zaawansowane-metody-modyfikacji-powierzchni-materialow/> (dostęp: 31.01.2025).
- Politechnika Śląska (2025): Laboratorium Nanotechnologii Materiałów Elektronicznych – Katedra Cybernetyki, Nanotechnologii i Przetwarzania Danych, <https://www.polsl.pl/rau10/laboratorium-nanotechnologii-materialow-elektronicznych/> (dostęp: 31.01.2025).

Popper R., Keenan M., Miles I., Butter M., Fuente G. S. (2007): Global Foresight Outlook 2007. The European Foresight Monitoring Network.

PORT (2025): Sieć Badawcza Łukasiewicz – Polski Ośrodek Rozwoju Technologii, <https://port.lukasiewicz.gov.pl/> (dostęp: 31.01.2025).

Powęska M. (2024): Nie ma anody, a i tak naładuje się do poziomu 80 procent w 15 minut. Ten akumulator to prawdziwy gamechanger. Focus, <https://www.focus.pl/artykul/quantumscape-akumulator-bez-anody> (dostęp: 31.01.2025).

PPTF (2025): Polska Platforma Technologiczna Fotoniki, <https://pptf.pl/> (dostęp: 31.01.2025).

PREVAC (2025): <https://prevac.pl/> (dostęp: 31.01.2025).

Projekty XTPL (2025): <https://xtpl.com/pl/projekty/> (dostęp: 31.01.2025).

Proof-Tech (2022): Hydronylon Plus, <https://www.proof-tech.com/hydronylon-plus/> (dostęp: 31.01.2025).

PWC (2021): <https://www.pwc.pl/pl/media/2021/2021-07-13-startupy-wschodzace-gwiazdy-esg.html> (dostęp: 31.01.2025).

Rad-On (2022): Multifunkcjonalne porowate nanomateriały jako nowoczesne filtry środowiskowe do remediacji gleb i wód podziemnych, <https://radon.nauka.gov.pl/dane/profil/61792c31ee98f7078036aeb4> (dostęp: 31.01.2025).

Rajca M., Korus I. (2021): Membrany i procesy membranowe w ochronie środowiska: MEMPEP 2021, XIII Konferencja naukowa, 10–11 czerwca 2021, online. Politechnika Śląska.

Rambaran T., Schirhagl R. (2022): Nanotechnology from lab to industry – A look at current trends. *Nanoscale Advances*, Iss. 18, 3664-3675.

Raport (2006): Nanonauka i nanotechnologia. Narodowa strategia dla Polski. Raport. Warszawa, Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, <https://nanonet.pl/wp-content/uploads/2018/02/Nanonauka-i-nanotechnologia.-Narodowa-strategia-dla-Polski-2006.pdf> (dostęp: 31.01.2025).

Rauscher H., Mech A., Gibson N., Gilliland D., Held A., Kestens V., Koeber R., Linsinger T., Stefaniak E. (2019): Identification of nanomaterials through measurements, EUR 29942 EN. Luxembourg, Publications Office of the European Union.

RLE MIT (2025): Research Laboratory of Electronics at MIT, <https://www.rle.mit.edu/> (dostęp: 31.01.2025).

Roco M. C. (2023): National Nanotechnology Initiative at 20 years: enabling new horizons. *Journal of Nanoparticle Research*, Vol. 25, 197.

Rozporządzenie (2006): Rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 r. w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH) i utworzenia Europejskiej Agencji Chemikaliów, zmieniające dyrektywę 1999/45/WE oraz uchylające rozporządzenie Rady (EWG) nr 793/93 i rozporządzenie Komisji (WE) nr 1488/94, jak również dyrektywę Rady 76/769/EWG i dyrektywy Komisji 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/WE i 2000/21/WE. Dz. U. UE, L 396.

Rozporządzenie (2008): Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1831/2003 z dnia 22 października 2008 r. w sprawie dodatków do żywności. Dz. U. UE, L 31.

Rozporządzenie (2011a): Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1169/2011 z dnia 25 października 2011 r. w sprawie przekazywania konsumentom informacji na temat żywności, zmiany rozporządzeń Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1824/2006 i (WE) nr 1825/2006 oraz uchylenia dyrektywy Komisji 87/250/EEG, dyrektywy Rady 90/496/EEG, dyrektywy Komisji 1999/10/WE, dyrektywy 2000/13/WE Parlamentu Europejskiego i Rady, dyrektyw Komisji 2002/67/WE i 2008/5/WE oraz rozporządzenia Komisji (WE) nr 608/2004. Dz. U. UE, L 304/18.

Rozporządzenie (2011b): Rozporządzenie Komisji (UE) nr 10/2011 z dnia 14 stycznia 2011 r. w sprawie materiałów i wyrobów z tworzyw sztucznych przeznaczonych do kontaktu z żywnością. Dz. U. L 12.

Rozporządzenie (2012): Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 528/2012 z dnia 22 maja 2012 r. w sprawie udostępniania na rynku i stosowania produktów biobójczych. Dz. U. UE, L 167/1.

Rozporządzenie (2015): Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2015/2283 z dnia 25 listopada 2015 r. w sprawie nowej żywności, zmieniające rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1169/2011 oraz uchylające rozporządzenie (WE) nr 258/97 Parlamentu Europejskiego i Rady oraz rozporządzenie Komisji (WE) nr 1852/2001. Dz. U. UE, L 327/1.

Rozporządzenie (2022): Rozporządzenie Komisji (UE) 2022/63 z dnia 14 stycznia 2022 r. zmieniające załączniki II i III do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008 w odniesieniu do dodatku do żywności ditlenek tytanu (E 171). Dz. U. UE, L 11/1.

Rozporządzenie (2024): Rozporządzenie Komisji (UE) 2024/858 z dnia 14 marca 2024 r. zmieniające rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1223/2009 w odniesieniu do stosowania w produktach kosmetycznych nanomateriałów: kopolimeru styrenowo/akrylowego, soli sodowej kopolimeru styrenowo/akrylowego, miedzi, miedzi koloidalnej, hydroksypatytu, złota, złota koloidalnego, złota z tioetyloaminą i kwasem hialuronowym, acetyloheptapeptydu-9 ze złotem koloidalnym, platyny, platyny koloidalnej, acetylotetrapeptydu-17 z platyną koloidalną oraz srebra koloidalnego. Dz. U. UE L 2024/858.

Samsung (2025): <https://semiconductor.samsung.com/support/tools-resources/dictionary/so-just-how-small-is-nano/> (dostęp: 31.01.2025).

Securities (2025): <https://www.securities.io/pl/firmy-z-bran%C5%BCy-nanotechnologii/> (dostęp: 31.01.2025).

Sempere C. (2015): Nanofluidic insight into energy harvesting and desalination. Doctoral thesis, <https://theses.hal.science/tel-01258310v1/file/TH2015SempereCatherine.pdf>

Sienkiewicz P. (2022): Membrany polimerowe modyfikowane nanocząstkami do oczyszczania wody i ścieków. Rozprawa doktorska. Szczecin, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Katedra Technologii Chemicznej Nieorganicznej i Inżynierii Środowiska, <https://hdl.handle.net/20.500.12539/1683> (dostęp: 31.01.2025).

SilverCon (2023): Inteligentne rozwiązania na bazie nanosrebra, <https://silvercon.com.pl/> (dostęp: 31.01.2025).

SiMPore (2025): <https://simpore.com/technology/> (dostęp: 31.01.2025).

Słoma M. (2018): Nanomateriały węglowe w technologii elektroniki drukowanej. Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, <https://libra.ibuk.pl/reader/nanomateriały-węglowe-w-technologii-elektroniki-drukowanej-marcin-słoma-189326/2> (dostęp: 31.01.2025).

Smoliński A., Bondaruk J., Pichlak M., Trząski L., Uszok E. (2015): Science-Economy-Technology Concordance Matrix for Development and Implementation of Regional Smart Specializations in the Silesian Voivodeship, Poland. The Scientific World Journal, Vol. 15, 126760.

Sokolowski K., Blazewicz S., Nocun M., Fraczek-Szczypta A. (2021): Carbon micro- and nanofibrous materials with high adsorption capacity for water desalination. Desalination, Vol. 503, 114936. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.114936>.

Soni A., Bhandari M. P., Tripathi G. K., Bundela P., Khiriya P. K., Khare P. S., Kashyap M. K., Dey A., Vellingiri B., Sundaramurthy S., Suresh A., Pérez de la Lastra J. M. (2023): Nano-biotechnology in tumour and cancerous disease: A perspective review. Journal of Cellular and Molecular Medicine, Vol. 27(6), 737-762.

Sony (2025): <https://www.sony-semicon.com/en/index.html> (dostęp: 31.01.2025).

Stanford University (2025): <https://nano.stanford.edu/> (dostęp: 31.01.2025).

Startup (2025): Polskie startupy technologiczne – lista 62 przykładów. Projekt Startup, <https://projektstartup.pl/polskie-startupy-technologiczne-lista-62-przykladow/> (dostęp: 31.01.2025).

StartUs (2025): Discover Top 9 Biopolymer Trends and Innovations in 2025, <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/biopolymer-trends-innovation/> (dostęp: 31.01.2025).

Strategia (2019): Strategia Klastra 2019–2023, Śląski Klaster NANO, <https://nanoslask.pl/wp-content/uploads/2019/05/Strategia-Rozwoju-%C5%9A%C4%85skiego-Klastra-NANO-2019-2023.pdf> (dostęp: 31.01.2025).

Strategia (2021): Regionalna Strategia Innowacji Województwa Śląskiego 2030 – „Inteligentne Śląskie”. Katowice, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego.

ŚKN (2025): Śląski Klaster NANO, <https://nanoslask.pl/> (dostęp: 31.01.2025).

Tesla (2025): Tesla Nanocoatings, <https://teslanano.com/> (dostęp: 31.01.2025).

Thermo Fisher (2025): <https://www.thermofisher.com/pl/en/home.html> (dostęp: 31.01.2025).

Tomczyk M. (2019): Nanorurki węglowe w obrazowaniu medycznym: Projekt krajowy finansowany przez NCN: ETIUDA, <https://omega.polsl.pl/info/projectmain/PSL27dccfcd5bc04d6b85c3d0c20a41e867/> (dostęp: 31.01.2025).

TRUiC Team (2025): 100 Top Startups to Watch in 2025, <https://startupsavant.com/startups-to-watch> (dostęp: 31.01.2025).

Tschiche H., Bierkandt F., Creutzenberg O., Fessard V., Franz R., Giese B., Greiner R., Haas K. H., Haase A., Hartwig A., Kerstin H. R., Iden P., Kromer C., Loeschner K., Mutz D., Rakow A., Rasmussen K., Rauscher H., Richter H., Laux P. (2022): Environmental considerations and current status of grouping and regulation of engineered nanomaterials. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, Vol. 18, 100707.

TworzywaOnline (2020): Polimery przyszłości: materiały samonaprawiające się, <https://tworzywa.online/wiadomosci/polimery-przyszlosci-materialy-samonaprawiajace-sie/> (dostęp: 31.01.2025).

UKSW (2025): Uniwersytet Kardynała Wyszyńskiego w Warszawie, <https://uksw.edu.pl/> (dostęp: 31.01.2025).

UM WF (2025): Wydział Farmaceutyczny Uniwersytetu Medycznego w Łodzi, <https://farmacja.umed.pl/> (dostęp: 31.01.2025).

University of Waterloo (2025): Welcome to Nanotechnology at the University of Waterloo, <https://uwaterloo.ca/nanotechnology/> (dostęp: 31.01.2025).

Uniwersytet Gdański (2025): <https://ug.edu.pl/> (dostęp: 31.01.2025).

Uniwersytet Śląski (2024): Fullereny w walce z nowotworami trzustki: Badania dr. inż. Macieja Serdy, <https://agencjainformacjinaukowej.us.edu.pl/fullereny-w-walce-z-nowotworami-trzustki> (dostęp: 31.01.2025).

Vasco G., Arima V., Boudjelida S., Carraro M., Bianco M., Zizzari A., Perrone E., Galiano F., Figoli A., Cesaria M. (2023): Polymeric Membranes Doped with Halloysite Nanotubes Imaged using Proton Microbeam Microscopy. *Nanomaterials*, Vol. 13(22), 2970. <https://doi.org/10.3390/nano13222970>.

VAXICAN (2025): <https://vaxican.com/> (dostęp: 31.01.2025).

Waser R., Red. (2012): Nanoelectronics and Information Technology. Advanced Electronic Materials and Novel Devices. New York, John Wiley & Sons.

WIITCH PK (2025): Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej Politechniki Krakowskiej, <https://chemia.pk.edu.pl/> (dostęp: 31.01.2025).

WIM PW (2025): Wydział Inżynierii Materiałowej Politechnika Warszawska, <https://www.wim.pw.edu.pl/> (dostęp: 31.01.2025).

XTPL (2025): <https://xtpl.com/pl/> (dostęp: 31.01.2025).

Yontar A. K., Çevik S. (2020): Regulatory Policies For Safety Of Nanomaterials. *Open Journal of Nano*, Vol. 5(1), 1-16.

Zalecenie (2022): Zalecenie Komisji z dnia 10 czerwca 2022 r. dotyczące definicji nanomateriału. Dz. U. UE, C 229/1, [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32022H0614\(01\)&from=EN](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32022H0614(01)&from=EN) (dostęp: 31.01.2025).

ZFMM (2024): Zespół Fizyki Materiałów Magnetycznych, Politechnika Częstochowska, <https://fizyka.wip.pcz.pl/dzialalnosc-naukowo-badawcza/zaklad-badan-strukturalnych-magnetycznych/> (dostęp: 31.01.2025).

Lista podmiotów zaangażowanych w badania

Instytucje regionalne

- Spółka Celowa Uniwersytetu Śląskiego – SPIN-US Sp z o.o.

Uczelnie i jednostki badawcze

- Uniwersytet Śląski w Katowicach
- Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych
- Uniwersytet Bielsko-Bialski
- Politechnika Śląska w Gliwicach

Klastry, IOB, organizacje pozarządowe i organizacje zrzeszające przedsiębiorców

- Śląski Klaster NANO – Krajowy Klaster Kluczowy
- Fundacja Wspierania Nanonauk i Nanotechnologii NANONET

Przedsiębiorcy

- NanoCarbonGroup.com Sp. z o.o.
- Baterpol SA
- Helioenergia Sp. z o.o.
- EMAG-SERWIS Sp. z o.o.
- Progresja New Materials Sp. z o.o.

Technologie lotnicze i przemysł kosmiczny

Autorzy

Damian Buchta^{*}

Mateusz Żymła^{*}

Krzysztof Piekarczyk^{*}

Krzysztof Będkowski^{**}

^{*}Górnośląski Akcelerator Przedsiębiorczości Rynkowej Sp. z o.o.

^{**}SKYDREAM Sp. z o. o.



Fundusze Europejskie
dla Śląskiego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Województwo
Śląskie

10.1. Identyfikacja obszarów technologicznych, grup technologicznych i technologii

10.1.1. Opis metodologii

W przypadku technologii lotniczych i przemysłu kosmicznego do identyfikacji grup technologicznych oraz technologii występujących w woj. śląskim zastosowano analizę danych zastanych (desk research). Zebrane materiały zostały poddane weryfikacji ekspertów z branży.

Przyjęta w opracowaniu metodologia badawcza desk research, polegająca na zbieraniu i analizowaniu informacji z dostępnych źródeł drugorzędnych, takich jak: dokumenty, raporty, publikacje naukowe i inne opracowania branżowe, miała na celu stworzenie perspektywy szerszego spojrzenia na badane obszary, a także uzupełnienie lub potwierdzenie wiedzy na dany temat.

Główne źródło danych w przypadku technologii lotniczych i przemysłu kosmicznego stanowiły ogólnodostępne raporty oraz opracowania, takie jak:

- Branżowy Bilans Kapitału Ludzkiego II. Branża przemysł lotniczo-kosmiczny. Raport z II edycji badań (Raport BBKL II, 2023),
- Polski sektor kosmiczny 2020. Analiza stanu obecnego, trendów i technologii w ujęciu krajowym i na tle międzynarodowym (PAK, 2021),
- Informacje o perspektywicznych sektorach polskiej gospodarki – Sektor lotniczy i kosmiczny (PALiH, 2025),
- Polski Przemysł Lotniczy. Potencjał i perspektywy rozwoju (Raport, 2024a),
- Przemysł lotniczy w Polsce – możliwości, wyzwania i perspektywy (Raport, 2021),
- Wpływ polityki klimatycznej UE na branżę lotniczą (Raport, 2023a),
- Ocena stanu rozwoju badań i użytkowania przestrzeni kosmicznej w Polsce za 2023 rok (Raport, 2024b)
- Stan sektora lotniczego z perspektywy potrzeb osobowych w pierwszej połowie 2022 r. – Problemy, zagrożenia, zmiany. Zlecenie eksperckie z 11 lipca 2022 r. (Badanie, 2022),
- Perspektywy rozwoju siedemnastu branż polskiej gospodarki (Raport, 2023b),
- Program Rozwoju Technologii Województwa Śląskiego na lata 2019–2030 (Program, 2019).

Dzięki zgromadzonym danym udało się zidentyfikować grupy technologiczne oraz technologie występujące w przemyśle lotniczo-kosmicznym, które posłużyły do dalszej analizy. Weryfikacja zebranych materiałów dokonana przez specjalistów z dziedziny technologii lotniczych i przemysłu kosmicznego pozwoliła na skonfrontowanie wiedzy eksperckiej z pozyskanymi wcześniej danymi, co umożliwiło zdefiniowanie końcowego zestawu grup technologicznych i technologii o wysokim potencjale rozwojowym w woj. śląskim.

W opracowywaniu i weryfikacji materiałów uczestniczyli przedstawiciele:

- uczelni i jednostek badawczych: Politechnika Śląska – pracownicy naukowcy Wydziału Transportu i Inżynierii Lotniczej (Katedra Transportu Lotniczego),
- Śląskiego Klastra Lotniczego,
- firm reprezentujących sektor lotniczo-kosmiczny: SKYDREAM Sp. z o.o., KP Labs Sp. z o.o., Górnośląski Akcelerator Przedsiębiorczości Rynkowej Sp. z o.o.,
- innych podmiotów: Centrum Kształcenia Kadr Lotnictwa Cywilnego Europy Środkowo-Wschodniej (CKKLC), które jest jednostką pozawydziałową Politechniki Śląskiej⁹⁹.

10.1.2. Zakres obszaru technologicznego – technologie lotnicze i przemysł kosmiczny

W raporcie z drugiej edycji Branżowego Bilansu Kapitału Ludzkiego II wskazano, że przemysł lotniczo-kosmiczny odgrywa istotną rolę w funkcjonowaniu polskiej gospodarki. Polski przemysł lotniczy

⁹⁹ Utworzenie Centrum stanowi wspólną inicjatywę Politechniki Śląskiej, Urzędu Lotnictwa Cywilnego w Warszawie i Górnośląskiego Towarzystwa Lotniczego SA w Katowicach.

tworzy dziś ponad 100 spółek, które prowadzą szeroką działalność we wszystkich fazach życia produktu: od prac badawczo-rozwojowych, przez produkcję komponentów i całych produktów, aż po posprzedażową obsługę serwisową. Ten dynamiczny sektor obejmuje zarówno małe i średnie przedsiębiorstwa, jak i duże korporacje pozostające w ścisłej współpracy, które odnotowują średnie tempo wzrostu przekraczające 10% rocznie (w latach 2018–2022), ale przede wszystkim zatrudniają ponad 32 tys. pracowników wytwarzających rocznie produkt o łącznej wartości 14,5 mld PLN (Raport, 2024a, s. 10). Ma na to wpływ m.in.: bogata historia polskiego lotnictwa¹⁰⁰, uznana w świecie jakość oferowanych produktów, konkurencyjne koszty produkcji i pracy oraz ciągły rozwój działalności edukacyjnej (dostępność kierunków technicznych uczelni wyższych zorientowanych na lotnictwo) i szkoleniowej.

Przemysł lotniczy jest skoncentrowany w południowo-wschodniej Polsce, gdzie prowadzi działalność około 80% przedsiębiorstw tej branży. Duża część z nich to przedsiębiorstwa z udziałem kapitału zagranicznego oraz nieliczne przedsiębiorstwa z udziałem Skarbu Państwa. Często prowadzą one działalność w jednym z czterech klastrów, którymi są: Dolina Lotnicza, Śląski Klaster Lotniczy, Wielkopolski Klaster Lotniczy oraz Dolnośląski Klaster Lotniczy.

Przemysł kosmiczny w Polsce jest dojrzewającą dziedziną o dużym potencjale gospodarczym w Europie Środkowo-Wschodniej, który zaczął rozwijać się dynamicznie w ostatnich kilkunastu latach, w następstwie przystąpienia Polski do Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA) w 2012 r. Cele rozwoju przemysłu kosmicznego wyznaczyła Polska Strategia Kosmiczna przyjęta w 2017 r., a ich osiągnięcie ma zapewnić Krajowy Program Kosmiczny obejmujący lata 2021–2026. Polskie podmioty w ramach przynależności do Europejskiej Agencji Kosmicznej realizują projekty zorientowane na obserwację Ziemi, realizację programów dotyczących bezpieczeństwa kosmicznego, telekomunikację i zintegrowane aplikacje oraz eksplorację kosmosu. Członkostwo Polski w ESA przyczynia się również do rozwoju polskich podmiotów prowadzących działalność w przemyśle kosmicznym, które otrzymały kontrakty w ramach tej współpracy.

Można zauważyć, że przemysł lotniczo-kosmiczny (ang. *aerospace*) to sektor o bardzo szerokim zakresie działalności, obejmujący rozwój, produkcję i eksploatację statków zarówno powietrznych, jak i kosmicznych. Branża ta angażuje się w ciągłe badania i rozwój, co prowadzi do powstawania zaawansowanych technologii budowy statków powietrznych/kosmicznych, silników, systemów nawigacyjnych itp. (Analiza, 2024, s. 3-4). Sektor ten jest silnie reprezentowany w kraju, w tym w woj. śląskim, gdzie swoją działalność gospodarczą prowadzi wiele podmiotów z nim powiązanych, a większość z nich należy do Śląskiego Klastra Lotniczego. Daje to możliwość wspólnego działania i łączenia sił w celu uzyskania przewagi konkurencyjnej na rynku krajowym oraz międzynarodowym.

W Programie Rozwoju Technologii Województwa Śląskiego na lata 2019–2030 zostały wskazane trzy kluczowe grupy technologiczne dotyczące obszaru technologii lotniczych i przemysłu kosmicznego:

1. technologie projektowania i wytwarzania (komponentów i systemów) w przemyśle lotniczym i kosmicznym,
2. technologie związane z awioniką statków powietrznych i kosmicznych,
3. technologie lotniczego i satelitarnego obrazowania Ziemi oraz usług z tym związanych.

Wyodrębniony w dokumencie PRT WSL z 2019 r. zakres obszaru technologicznego technologie lotnicze i przemysł lotniczy nadal jest silnie reprezentowany w woj. śląskim. Zmiany wywołane globalnymi trendami (środowiskowymi, technologicznymi, związanymi z transformacją procesów zarządzania i organizacji produkcji) oraz uwarunkowaniami krajowymi i regionalnymi stwarzają potrzebę rewizji tego zakresu oraz identyfikacji nowych rozwijających się grup technologicznych.

W kontekście analizowanego obszaru technologicznego warto znów wspomnieć o Śląskim Klastrze Lotniczym, który został założony przez przedstawicieli przemysłu lotniczego. Jego celem jest wzmocnienie współpracy między przedsiębiorstwami oraz stworzenie optymalnych warunków dla

¹⁰⁰ Lotnictwo w Polsce ma ponad 100-letnią historię. W tym okresie zaczęto intensywnie rozwijać przemysł lotniczy dzięki nawiązywaniu międzynarodowej współpracy oraz inwestycjom zagranicznym.

ciągłego transferu wiedzy i innowacyjnych rozwiązań między członkami klastra pochodzącymi nie tylko z branży lotniczej, ale i z innych gałęzi nauki i przemysłu.

Działalność Klastra przyczynia się do wzrostu konkurencyjności oraz rozwoju lotnictwa w Polsce. Obecnie do Klastra należy ponad 120 podmiotów, w tym uczelnie wyższe i instytucje otoczenia biznesu.

Główne obszary specjalizacji Śląskiego Klastra Lotniczego obejmują:

- produkcję szybowców, samolotów lekkich i ultralekkich,
- produkcję modułów do silników lotniczych (łopatki i statory do turbiny niskiego ciśnienia),
- samoloty bezałogowe,
- centrum badań materiałów i struktur kompozytowych,
- usługi remontowe dla lotnictwa,
- usługi szkoleniowe dla branży lotniczej,
- obróbkę metali,
- systemy IT,
- naczepy, przyczepy i zabudowę samochodów ciężarowych,
- usługi doradcze.

Po przeanalizowaniu raportów sektorowych oraz struktury działalności członków Śląskiego Klastra Lotniczego, a także skonfrontowaniu wiedzy eksperckiej z zebranymi danymi, stworzono katalog grup technologicznych oraz technologii w ramach technologii lotniczych i przemysłu kosmicznego, który został przedstawiony w tabeli 10.1.

Tabela 10.1. Grupy technologiczne oraz technologie występujące w przemyśle lotniczo-kosmicznym

Grupy technologiczne	Technologie
Awionika	systemy sterowania lotem: komputerowe systemy kontrolujące lot (fly-by-wire, fly-by-light) systemy nawigacji i łączności: GPS, systemy komunikacji satelitarnej, radarowe systemy nawigacyjne czujniki i detektory: urządzenia do monitorowania warunków atmosferycznych, wysokości, prędkości itp.
Napędy i silniki	silniki odrzutowe: rozwój nowoczesnych i bardziej efektywnych silników dla samolotów cywilnych i wojskowych silniki rakietowe: napędy stosowane w rakietach kosmicznych, wykorzystujące paliwa stałe i ciekłe, a także nowe technologie, jak napędy jonowe czy nuklearne napędy hybrydowe: połączenie tradycyjnych silników odrzutowych z nowoczesnymi systemami elektrycznymi
Materiały i struktury	kompozyty i materiały lekkie materiały spełniające wysokie wymagania branży lotniczo-kosmicznej, np. odporność na ekstremalne warunki, wytrzymałość
Technologie kosmiczne	projektowanie i produkcja satelitów: satelity komunikacyjne, obserwacyjne, nawigacyjne oraz ich systemy zarządzania energią i ochrony przed promieniowaniem kosmicznym eksploracja kosmosu: technologie stosowane w misjach załogowych i bezałogowych napęd kosmiczny: nowe formy napędu, takie jak napęd plazmowy, silniki jądrowe, napęd chemiczny
Sztuczna inteligencja (AI) i automatyzacja	autonomiczne systemy sterowania: bezałogowe statki powietrzne (UAV, drony), autonomiczne systemy lądowania i nawigacji zarządzanie ruchem lotniczym: algorytmy wspierające optymalizację tras lotów, zarządzanie ruchem lotniczym w czasie rzeczywistym
Symulacje i modelowanie	symulacje lotów: modelowanie zachowania samolotów i rakiet w różnych warunkach atmosferycznych i przestrzeni kosmicznej wirtualne testowanie: stosowanie symulacji do testowania prototypów, co redukuje koszty i czas związany z testami w rzeczywistych warunkach
Zaawansowane systemy produkcji	druk 3D (ang. <i>additive manufacturing</i>): drukowanie elementów strukturalnych dla statków powietrznych i kosmicznych z zaawansowanych materiałów robotyzacja i automatyzacja: stosowane do precyzyjnego montażu komponentów lotniczych
Ekologia i zrównoważony rozwój	samoloty elektryczne: badania nad napędami elektrycznymi dla samolotów biopaliwa: rozwój bardziej ekologicznych paliw alternatywnych dla tradycyjnych paliw lotniczych technologie wodorowe do zastosowań w lotnictwie
Bezałogowe systemy powietrzne	systemy napędowe i energetyczne awionika i sterowanie: systemy nawigacyjne, sensory i kamery, komunikacja i transmisja danych, systemy bezpieczeństwa sztuczna inteligencja i algorytmy uczenia maszynowego zastosowanie specjalistycznych materiałów

Oprac. na podst. konsultacji z ekspertami branżowymi.

Charakterystyka grup technologicznych, technologii oraz wybrane przykłady firm działających w obszarze technologii lotniczych i przemysłu kosmicznego w woj. śląskim

Pierwszym z opisywanych obszarów technologicznych oraz technologii jest awionika, czyli zbiór systemów elektronicznych, elektrycznych i komputerowych stosowanych w statkach powietrznych, takich jak samoloty, śmigłowce i drony. Obejmuje ona szeroki zakres urządzeń, w tym systemy: nawigacyjne, komunikacyjne, sterowania lotem, monitorowania i diagnostyki oraz zarządzania lotem. Awionika ma kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa i efektywności lotnictwa, umożliwiając precyzyjne sterowanie, komunikację oraz monitorowanie pracy samolotu (zapewnia dostęp do informacji w czasie rzeczywistym, co z kolei przekłada się na lepsze podejmowanie decyzji) (Forum Lotnicze, 2024a). W ramach opisanej grupy technologicznej wyodrębniono następujące technologie:

- Systemy sterowania lotem, będące zestawem technologii i mechanizmów, które umożliwiają kontrolowanie trajektorii i stabilności statków powietrznych. Ich głównym zadaniem jest utrzymywanie odpowiednich parametrów lotu i reagowanie na zmiany w warunkach atmosferycznych, sterowanie prędkością, wysokością, kierunkiem lotu oraz zapewnianie bezpieczeństwa (w zależności od typu statku powietrznego i jego przeznaczenia, systemy sterowania lotem mogą się znacznie różnić).
- Systemy nawigacyjne i łączności w awionice, zapewniające bezpieczne, efektywne i precyzyjne zarządzanie ruchem lotniczym. Każdy system, od tradycyjnych technologii, takich jak VOR i ILS, po nowoczesne rozwiązania satelitarne i ADS-B, ma na celu wsparcie pilotażu, kontrolowania ruchu i zapewnianie bezpieczeństwa na różnych etapach lotu – integracja tych systemów, a także ich niezawodność, są kluczowe dla bezpieczeństwa i sprawności operacji lotniczych.
- Współczesne statki powietrzne są wyposażone w zaawansowane technologie czujników, które monitorują różne parametry związane z lotem, stanem samolotu i otoczeniem. Jednymi z najważniejszych czujników i detektorów stosowanych w lotnictwie są czujniki: prędkości, wysokości, temperatury, przyspieszenia (i żyroskopy), ciśnienia, np. w zbiornikach paliwa, tlenowe, detekcji gazów i dymu, wykrywania uderzeń i wibracji (używane do monitorowania stanu silników oraz innych wrażliwych elementów mechanicznych samolotu), detekcji awarii, radary pogodowe i detektory przeszkód, kamery i czujniki optyczne.

Należy zauważyć, że awionika przeszła ogromną transformację od czasów, gdy piloci korzystali z analogowych przyrządów. Dziś stosuje się nowoczesne, zaawansowane systemy cyfrowe. Wprowadzane zmiany miały kluczowy wpływ na bezpieczeństwo lotów (np. systemy fly-by-wire zapewniały wyższy poziom kontroli i precyzji w manewrowaniu), ale także ograniczyły ich koszty oraz wpłynęły na komfort pasażerów. Przechodzenie na technologie cyfrowe w zakresie awioniki jest nie tylko odpowiedzią na rosnące wymagania dotyczące bezpieczeństwa i efektywności, ale także okazją do istotnego przekształcenia całego przemysłu lotniczego. Wprowadzenie nowych technologii w awionice sprawiło, że:

- nowoczesne systemy awioniki są znacznie lżejsze niż ich analogowe odpowiedniki, co przekłada się na mniejsze zużycie paliwa,
- cyfrowe kokpity umożliwiają szybszą analizę danych oraz podejmowanie decyzji, co przyspiesza operacje przedstartowe i proces lotu,
- dzięki zaawansowanym systemom automatyzacji, pilotom łatwiej jest zarządzać lotem, co zmniejsza ich obciążenie i ryzyko błędów,
- cyfrowe systemy nawigacyjne oraz zaawansowane algorytmy obliczeniowe pozwalają na bardziej precyzyjne planowanie lotów, co skutkuje zmniejszeniem zużycia paliwa,
- nowoczesne systemy diagnostyczne umożliwiają bieżące śledzenie ich stanu, co pozwala na wczesne wykrycie usterek i ich eliminację przed powstawaniem większych problemów,
- zintegrowane systemy zarządzania lotem, które zastąpiły tradycyjne analogowe przyrządy, pozwoliły na bardziej precyzyjne sterowanie samolotem, co przekłada się na mniejsze turbulencje i płynniejsze manewry – dzięki temu podróż staje się znacznie bardziej komfortowa dla pasażerów.

Gdy awionika przechodzi na systemy cyfrowe, zyskuje wiele korzyści, ale napotyka też pewne wyzwania, takie jak: konieczność modyfikacji zakresu szkoleń dla pilotów w kontekście zmian technologicznych – ciągła aktualizacja wiedzy i umiejętności, integracja różnych systemów (niekompatybilne oprogramowanie lub sprzęt mogą prowadzić do zakłóceń w funkcjonowaniu całego statku powietrznego), zagrożenie atakami cybernetycznymi, tworzenie dużej ilości odpadów elektronicznych, które – nieodpowiednio przetwarzane – mogą zagrażać środowisku, wytwarzanie nowych technologii wiążące się z wysokim zużyciem energii, co w krótkim okresie może wpływać na wzrost emisji CO₂. W przypadku dwóch ostatnich wyzwań dotyczących środowiska, działania dążące do ich zminimalizowania mogą być oparte na: wprowadzaniu procesów mających na celu ponowne wykorzystanie materiałów z odpadów elektronicznych, wykorzystaniu energii słonecznej i wiatrowej w zakładach produkcyjnych i na lotniskach oraz opracowywaniu zrównoważonych paliw lotniczych, które będą miały mniejszy wpływ na klimat. Podsumowując, przyszłość awioniki w znacznym stopniu będzie zdominowana przez innowacje cyfrowe, które są napędzane dynamicznym rozwojem technologii oraz rosnącymi wymaganiami rynku lotniczego.

Przykładem podmiotu gospodarczego zajmującego się awioniką w woj. śląskim jest firma SkyDream, która jest wyłącznym dystrybutorem słoweńskiej firmy Kanardia w Polsce. Oferta SkyDream obejmuje m.in. przyrządy podstawowe, sztuczne horyzonty oraz panele monitorowania pracy silnika.

Następną grupą technologiczną są napędy i silniki stosowane w przemyśle lotniczo-kosmicznym, które są kluczowe dla funkcjonowania samolotów, śmigłowców, raket i statków kosmicznych. Można je podzielić na kilka głównych kategorii: silniki stosowane w lotnictwie (tłokowe – stosowane głównie w lekkim lotnictwie cywilnym i wojskowym, np. w małych samolotach, turbinowe – najczęściej wykorzystywane w lotnictwie komercyjnym i wojskowym), silniki stosowane w przemyśle kosmicznym (raketowe – wykorzystujące własne źródło utleniacza, co pozwala na pracę w próżni) oraz napędy przyszłości. W ramach opisanej grupy technologicznej zdiagnozowano następujące technologie:

- Silniki odrzutowe w lotnictwie – to napędy, które wykorzystują zasadę odrzutu do wytwarzania siły napędowej niezbędnej do poruszania się statku powietrznego. Silniki te są podstawowym napędem w większości współczesnych samolotów pasażerskich, wojskowych oraz odrzutowców. Podstawowe typy silników odrzutowych: turbowentylatorowy (najczęściej stosowany typ silnika w samolotach pasażerskich), turboodrzutowy, turbosprężarkowy, ramjet, scramjet.
- Silniki raketowe – to urządzenia, które umożliwiają napędzanie rakiet, wykorzystując zasadę reakcji. Istnieje kilka typów silników raketowych, w tym: chemiczne, na paliwo stałe, na paliwo ciekłe.
- Hybrydowe silniki w lotnictwie – stają się kluczowym elementem w walce z rosnącymi kosztami paliwa oraz wpływem na środowisko (samoloty hybrydowe emitują znacznie mniej CO₂ w porównaniu z ich tradycyjnymi odpowiednikami). Dzięki połączeniu tradycyjnych silników odrzutowych z nowoczesnymi systemami elektrycznymi, możliwe jest obniżenie kosztów operacyjnych (osiągnięcie znacznych oszczędności paliwa). Silniki elektryczne generują znacznie mniej hałasu, co poprawia komfort podróży pasażerów. Perspektywy rozszerzenia zastosowania technologii hybrydowych w lotnictwie są ogromne. Przykłady na całym świecie pokazują, że technologia ta rozwija się w błyskawicznym tempie. Prototypy samolotów hybrydowych są już testowane przez czołowych producentów, takich jak Boeing i Airbus. Przewiduje się, że w ciągu najbliższych dwóch dekad ich zastosowanie w komercyjnych samolotach może stać się normą. Kluczowe będzie jednak dalsze inwestowanie w badania nad nowymi materiałami oraz elektrycznymi systemami zasilania (Forum Lotnicze, 2024b).

Na Śląsku działają firmy związane z przemysłem lotniczo-kosmicznym, które specjalizują się w produkcji i serwisie napędów oraz silników lotniczych. Przykładem jest Avio Aero – firma należąca do GE Aerospace – prowadząca działalność w zakresie projektowania, produkcji i obsługi technicznej cywilnych i wojskowych komponentów oraz systemów lotniczych. Avio Aero oferuje innowacyjne rozwiązania technologiczne, które pozwalają klientom dostosować się do dynamicznych zmian zachodzących na rynku, od produkcji addytywnej, po nowe technologie przeznaczone do produkcji przekładni mechanicznych, turbin i palników komór spalania do

samolotów i śmigłowców. Główna siedziba i największy zakład produkcyjny znajdują się w Rivalta di Torino, a jeden z zakładów w Bielsku-Białej.

Avio Aero jest światowym liderem w zakresie projektowania oraz produkcji systemów i podsystemów silników lotniczych. Firma oferuje komponenty i usługi dla najbardziej popularnych silników komercyjnych, takich jak LEAP, GEnx i GE90 oraz bierze udział w programach, które mają zdefiniować przyszłość branży. Przykładem takich działań jest udział w projektach dotyczących GE9X, czyli największego i najmocniejszego na świecie silnika do samolotów komercyjnych, czy silnika turbośmigłowego Catalyst, pierwszego w 100% europejskiego silnika GE Aviation zaprojektowanego od podstaw.

W woj. śląskim funkcjonuje wiele firm z branży hutniczo-metalowej, które mogą współpracować z przemysłem lotniczym, dostarczając niezbędne komponenty i materiały.

Kolejną grupę technologiczną stanowią materiały i struktury (lekkie kompozyty oraz stopy metali) stosowane w przemyśle lotniczo-kosmicznym, które muszą charakteryzować się wyjątkową wytrzymałością, odpornością na skrajne warunki oraz niską masą przekładającą się na zużycie paliwa. Na przestrzeni ostatnich lat w tej sferze odnotowano znaczącą transformację dzięki zastosowaniu innowacyjnych materiałów. Wprowadzane rozwiązania nie tylko przyczyniają się do poprawiania osiągnięć statków powietrznych (np. wzrost efektywności aerodynamicznej), ale także wpływają na ich efektywność energetyczną, co jest kluczowe w obliczu rosnących kosztów paliwa oraz regulacji dotyczących ochrony środowiska (Forum Lotnicze, 2024c).

W ramach opisanej grupy technologicznej zdiagnozowano następujące technologie (Bielewski i in., 2015):

- Kompozyty¹⁰¹ i materiały lekkie odgrywają kluczową rolę w przemyśle lotniczo-kosmicznym, ponieważ pozwalają na znaczne zmniejszenie masy konstrukcji, co jest jednym z najważniejszych aspektów projektowania i produkcji statków powietrznych oraz kosmicznych. W tym sektorze zmniejszenie masy przekłada się bezpośrednio na lepszą efektywność paliwową, większy zasięg, lepszą manewrowość, a także większą ładowność (Raport, 2024a, s. 74-75). Przykłady materiałów kompozytowych:
 - Kompozyty węglowe są lekkie, ale jednocześnie wytrzymałe, pozwalają na znaczne obniżenie wagi samolotów, co przekłada się na mniejsze zużycie paliwa i niższą emisję CO₂ (znajdują zastosowanie w elementach konstrukcyjnych, takich jak: skrzydła, wzmocnienia kadłuba, podwozia). Materiały węglowe są mniej podatne na wpływ czynników atmosferycznych, co zmniejsza potrzebę konserwacji oraz posiadają duże możliwości formowania w różne kształty. Rosnące zainteresowanie węglowymi kompozytami sprawia, że wiele firm intensyfikuje badania nad ich wykorzystaniem. Przykłady praktycznego zastosowania materiałów węglowych: Boeing 787 Dreamliner (węglowe kompozyty w kadłubie i skrzydłach – zmniejszenie masy o 20% w porównaniu do tradycyjnych materiałów), Airbus A350 (70% kadłuba wykonane z materiałów kompozytowych – poprawa efektywności paliwowej o 25%).
 - Kompozyty epoksydowe charakteryzują się odpornością na wysokie temperatury oraz korozję (są wykorzystywane w elementach wewnętrznych samolotu).
 - Kompozyty syntetyczne – ze względu na innowacyjne procesy produkcyjne są bardziej przyjazne dla środowiska, a ich recykling staje się coraz łatwiejszy.

Warto wspomnieć także o biokompozytach (np. włókno konopne, włókna lniane), które stają się coraz bardziej popularnym rozwiązaniem w branży lotniczej, oferującym szereg korzyści mogących zrewolucjonizować konstrukcję samolotów pasażerskich. Dzięki swojej lekkości, wytrzymałości oraz ekologiczności, materiały te zyskują uznanie jako alternatywa dla tradycyjnych kompozytów wykorzystywanych w przemyśle lotniczym. Coraz więcej producentów samolotów eksperymentuje z biokompozytami, wprowadzając je do różnych elementów

¹⁰¹ W 2022 r. globalny rynek kompozytów był wyceniany na 112 mld USD, a do 2027 r. ma on rosnąć o 8% rocznie. Wzrost ten jest spowodowany zwiększającym się popytem z sektorów energetyki wiatrowej, lotnictwa i obrony oraz motoryzacji i transportu.

konstrukcyjnych wnętrza kabiny (np. fotele, panele ściennie i elementy wykończeniowe), elementów aerodynamicznych, systemów izolacyjnych. Zastosowanie biokompozytów w lotnictwie to nie tylko krok w kierunku efektywności, ale również odpowiedzialności ekologicznej.

W przemyśle lotniczo-kosmicznym materiały muszą sprostać ekstremalnym warunkom, takim jak skrajne temperatury, zmiana ciśnienia, promieniowanie, wibracje, a także wysoka prędkość i obciążenia mechaniczne. W związku z tym wykorzystuje się materiały o wyjątkowych właściwościach fizycznych i chemicznych, które zapewniają niezawodność i bezpieczeństwo statków powietrznych oraz kosmicznych. Do materiałów, które są stosowane w przemyśle lotniczo-kosmicznym należą: stopy tytanu (charakteryzujące się wysoką wytrzymałością na ciepło), stopy aluminium-litowe (wykorzystywane ze względu na swoją wytrzymałość, lekkość oraz odporność na korozję), stopy niklu, materiały ceramiczne, materiały odporne na promieniowanie, polimery (używane w elementach wnętrza kabiny, oferujące większą elastyczność projektowania), materiały termoizolacyjne, materiały do ochrony termicznej, złącza i materiały elektryczne o wysokiej niezawodności.

Podsumowując, w przemyśle lotniczo-kosmicznym dobór odpowiednich materiałów jest kluczowy, aby zapewnić bezpieczeństwo, wydajność oraz niezawodność w ekstremalnych warunkach. Biorąc pod uwagę rosnącą presję na ograniczanie zużycia paliwa oraz zmniejszanie emisji, przyszłość konstrukcji samolotów wydaje się zdominowana przez innowacyjne technologie materiałowe. Przewiduje się, że materiałami dominującymi w konstrukcji samolotów staną się zaawansowane kompozyty oraz innowacyjne stopy metali. Warto także zwrócić uwagę na inne rozwiązania, takie jak nanomateriały czy materiały samoregenerujące, które mogą w przyszłości zrewolucjonizować konstrukcje lotnicze przez zwiększenie odporności na uszkodzenia, poprawę właściwości mechanicznych oraz w znacznym stopniu poprawić bezpieczeństwo przez naprawę mikrouszkodzeń w czasie rzeczywistym. Wprowadzenie nowych materiałów do konstrukcji samolotów wiąże się jednak z wieloma wyzwaniami, które mogą wpłynąć na proces projektowania (materiały muszą spełnić określone wymagania oraz być wystarczająco wytrzymałe), produkcji (wystąpienie konieczności przystosowania istniejących procesów produkcji, co może wiązać się z dodatkowymi kosztami i czasem potrzebnym na szkolenia pracowników) i certyfikacji (konieczność przeprowadzenia serii kompleksowych testów oraz uzyskania certyfikatów). W związku z tym wiele firm stara się wprowadzać innowacje w sposób zrównoważony, ściśle współpracując z instytucjami certyfikującymi oraz innymi partnerami z branży (Forum Lotnicze, 2024c).

Przykładami firm z woj. śląskiego, które działają w obszarze materiałów i struktur wykorzystywanych w przemyśle lotniczo-kosmicznym, są:

- WB Centrum Kompozytów Sp. z o.o. w Czechowicach-Dziedzicach, wcześniej funkcjonujące jako Śląskie Centrum Naukowo-Technologiczne Przemysłu Lotniczego, specjalizujące się w badaniach i rozwoju zaawansowanych struktur kompozytowych dla nowoczesnego przemysłu, w szczególności lotniczego i kosmicznego. Firma świadczy usługi w zakresie projektowania i wytwarzania struktur kompozytowych oraz prowadzi laboratorium badań materiałów, obejmujące próby statyczne i zmęczeniowe konstrukcji.
- Wytwórnia Konstrukcji Kompozytowych Andrzej Papiorek założona w 1990 r., która jest firmą usługową produkującą części samolotów i szybowców. Specjalizuje się w projektowaniu i produkcji wyrobów z kompozytów polimerowych zbrojonych włóknami, a także w budowie oprzyrządowania, prototypowaniu oraz obsłudze i naprawach szybowców i motoszybowców. Wytwórnia jest certyfikowanym producentem lotniczym, posiadającym prawie 7000 m² powierzchni produkcyjnej oraz wyposażenie niezbędne do produkcji kompozytów.
- Firma AP Aircrafts Sp. z o.o. na przestrzeni lat stworzyła około 600 statków powietrznych różnego typu, w tym szybowce, motoszybowce oraz samoloty lekkie i ultralekkie, które latają na sześciu kontynentach. Obecnie dysponuje ona około 5000 m² powierzchni produkcyjnej i montażowo-magazynowej, wyposażonej w nowoczesne narzędzia, maszyny, a także specjalistyczne kabiny grzewcze, lakiernicze oraz służące do obróbki mechanicznej. Produkuje wysokiej jakości elementy kompozytowe, z których każdy egzemplarz wykonywany jest

ręcznie (czasami z pomocą mechaniczną). AP Aircrafts produkuje zarówno komponenty i podzespoły, jak i gotowe płatowce.

- Technologie kosmiczne – jest to szeroka dziedzina obejmująca wszystkie technologie stosowane do eksploracji i wykorzystywane w przestrzeni kosmicznej – obejmuje ona zarówno systemy rakietowe i satelitarne, jak i zaawansowane materiały, napędy oraz technologie komunikacyjne. W ramach tej grupy technologicznej zdiagnozowano następujące technologie:
 - Projektowanie i produkcja satelitów w przemyśle kosmicznym – to zaawansowany proces, który łączy inżynierię, technologie materiałowe, systemy elektroniczne oraz innowacyjne podejście do testowania, produkcji i uruchamiania satelitów. Z uwagi na ekstremalne warunki panujące w przestrzeni kosmicznej, cały proces musi uwzględniać szereg wymagań technicznych, takich jak odporność na promieniowanie, wibracje, ekstremalne temperatury, ciśnienie, a także niezawodność przez długi okres użytkowania. Kluczowe etapy projektowania i produkcji satelitów w przemyśle kosmicznym to: faza koncepcyjna i projektowanie, określenie wymagań i specyfikacji, stworzenie zespołu projektowego (prace nad projektem satelity wymagają współpracy wielu inżynierów z różnych dziedzin), wybór materiałów, faza produkcji, faza wynoszenia i uruchamiania, monitorowanie i konserwacja.
 - Technologie stosowane w misjach załogowych i bezzałogowych różnią się znacznie ze względu na różne cele i wymagania. Misje załogowe wymagają bardziej złożonych systemów podtrzymywania życia, ochrony astronautów przed niebezpiecznymi warunkami oraz systemów nawigacji i komunikacji. Misje bezzałogowe koncentrują się natomiast na autonomicznych systemach nawigacyjnych, napędach o wysokiej efektywności oraz zaawansowanych instrumentach naukowych do badań kosmicznych. Wspólnym mianownikiem dla obu typów misji jest dążenie do maksymalnej niezawodności, efektywności i bezpieczeństwa.
 - Napęd kosmiczny w przemyśle kosmicznym jest kluczowym elementem umożliwiającym przemieszczanie obiektów w przestrzeni kosmicznej. Napędy kosmiczne różnią się od tradycyjnych napędów stosowanych w atmosferze, ponieważ w próżni nie ma powietrza ani innych mediów, które mogłyby umożliwić generowanie siły napędowej za pomocą konwencjonalnych mechanizmów. W przemyśle kosmicznym stosuje się różnorodne technologie napędowe (napęd chemiczny, jonowy, elektryczny, na paliwa nuklearne), które są dopasowane do specyficznych potrzeb misji kosmicznych, takich jak eksploracja planet, transport satelitów, misje załogowe czy badania naukowe.

Biorąc pod uwagę powyższe technologie kosmiczne, należy zwrócić uwagę, że obszar naukowy polskiego sektora kosmicznego i jego część przemysłowa są wyraźnie zróżnicowane. Polskie instytucje tworzące system szkolnictwa wyższego i nauki (w sumie kilkadziesiąt ośrodków) mają wieloletnie doświadczenie w działalności kosmicznej i znaczące osiągnięcia w tym obszarze, zwłaszcza w budowie instrumentów badawczych dla misji naukowych i edukacyjnych oraz elementów do satelitów, a także w przetwarzaniu danych uzyskiwanych z kosmosu. Sektor naukowy prowadzi aktywną współpracę międzynarodową z czołowymi ośrodkami w Europie i na świecie. Na szczególną uwagę zasługuje dorobek i osiągnięcia Centrum Badań Kosmicznych PAN, które od ponad 40 lat prowadzi działalność kosmiczną zarówno w zakresie badań naukowych, jak i rozwoju technologii, uczestnicząc przy tym w wielu ważnych misjach ESA. Inaczej wygląda przemysłowa część polskiego sektora kosmicznego. To młoda branża, wśród której dominują małe i średnie przedsiębiorstwa. Jako obszary specjalizacji, w których rozwijają się polskie podmioty, w tym podmioty z woj. śląskiego, można wymienić takie dziedziny, jak: oprogramowanie kosmiczne i naziemne, mechanika precyzyjna, rozwiązania robotyczne, optyka, optoelektronika, awionika, systemy orientacji na orbicie i korekcji orbity, systemy zasilania, struktury, technologie materiałowe i kompozyty oraz technologie materiałów pędnych. Duży potencjał mają także systemy obserwacji przestrzeni kosmicznej zarówno optyczne, jak i radarowe. Polskie firmy oferują także usługi oparte na wykorzystywaniu technik satelitarnych. W ciągu ostatnich kilku lat powstało wiele innowacyjnych zastosowań w obszarze obrazowania satelitarnego, nawigacji satelitarnej oraz łączności satelitarnej. Potwierdzają to projekty związane z rozwojem technologii kosmicznych i technik satelitarnych finansowane ze środków krajowych

instytucji sektora publicznego, które pochodzą przede wszystkim z różnych horyzontalnych programów wsparcia oferowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR) oraz Narodowe Centrum Nauki (NCN). Zakres tematyczny realizowanych projektów obejmuje takie obszary, jak: satelitarna obserwacja Ziemi, przetwarzanie danych satelitarnych, technologie związane z napędem chemicznym i elektrycznym, technologie i komponenty mikrofalowe na potrzeby łączności, systemy i podsystemy niewielkich satelitów, systemy mechaniczne, testowanie infrastruktury satelitarnej oraz systemy wynoszenia (PAK, 2021, s. 21, s. 28-29).

Do firm działających w regionie w obszarze technologii kosmicznych należą:

- KP Labs – firma new space, której misją jest przyspieszenie eksploracji kosmosu przez rozwój autonomicznych statków kosmicznych i technologii robotycznych. Doświadczenie firmy obejmuje m.in. tworzenie oprogramowania pokładowego, urządzeń do obrazowania hyperspektralnego, algorytmów sztucznej inteligencji oraz wysokowydajnych komputerów.
- 4D Fusion – firma założona przez inżynierów z Politechniki Śląskiej. W 2024 r. wprowadziła na rynek nową technologię druku przyrostowego. To rozwiązanie otworzyło nowe możliwości dla producentów i projektantów zaawansowanych materiałów, materiałów smart, sensorów oraz struktur polimerowych. Firma opracowała innowacyjne rozwiązania, takie jak: drukowane sensory, magnetycznie aktywne polimery oraz szeroką gamę materiałów funkcjonalnych. Oferuje również usługi w zakresie rozwiązywania problemów tam, gdzie dostępne na rynku polimery i technologie druku nie spełniają wysokich wymagań, np. w technologii kosmicznej.
- Sztuczna inteligencja i automatyzacja, która ma kluczowe znaczenie dla rozwoju przemysłu lotniczo-kosmicznego – wpływa na bezpieczeństwo, wydajność operacyjną oraz innowacyjność. Oto kilka najważniejszych obszarów zastosowań sztucznej inteligencji oraz automatyzacji w tym sektorze:
 - projektowanie i optymalizacja statków powietrznych i kosmicznych,
 - produkcja i konserwacja predykcyjna,
 - autonomiczne systemy lotnicze,
 - zarządzanie ruchem lotniczym,
 - eksploracja kosmosu i robotyka,
 - personalizacja doświadczeń pasażerów.
 - Technologie zdiagnozowane w ramach opisanej grupy technologicznej:
 - dzięki zastosowaniu AI, algorytmów uczenia maszynowego, sensorów i zaawansowanej elektroniki, autonomiczne systemy sterowania pozwalają na podejmowanie decyzji w czasie rzeczywistym, wykonywanie złożonych manewrów oraz minimalizowanie błędów ludzkich,
 - zarządzanie ruchem lotniczym obejmuje szereg technologii i systemów, które umożliwiają kontrolowanie, monitorowanie oraz koordynowanie ruchu samolotów na różnych etapach ich lotu – od startu po lądowanie, a także w przestrzeni powietrznej. W skład tych technologii wchodzi np.:
 - radary i technologie bezradarowe, które są podstawą systemów zarządzania ruchem lotniczym; ich zadaniem jest monitorowanie pozycji samolotów w przestrzeni powietrznej,
 - systemy komunikacji – technologie te obejmują różne systemy łączności zarówno w przestrzeni powietrznej, jak i na ziemi,
 - systemy zarządzania ruchem w przestrzeni powietrznej,
 - nawigacja satelitarna – dzięki technologii GNSS (ang. *global navigation satellite system*), samoloty mogą precyzyjnie określać swoje położenie w przestrzeni powietrznej i nawigować w trudnych warunkach atmosferycznych,
 - algorytmy AI w kwestii zarządzania ruchem umożliwiają m.in. automatyczne analizowanie danych o ruchu lotniczym, wykrywanie potencjalnych konfliktów i kolizji w przestrzeni powietrznej, optymalizowanie tras i zmniejszanie opóźnień.

Ze względu na międzynarodowy charakter transportu lotniczego systemy zarządzania ruchem lotniczym muszą być interoperacyjne i zgodne z międzynarodowymi standardami.

Przykładem śląskiej firmy opracowującej rozwiązania oparte na sztucznej inteligencji jest StorkJet Sp. z o.o. Firma opracowała modele wydajności specyficzne dla usterzenia statków powietrznych,

oparte na sztucznej inteligencji, przewidujące zużycie paliwa w niemal każdych warunkach atmosferycznych i fazach lotu. Średni błąd w przewidywaniu spalania paliwa wynosi zaledwie kilka kilogramów na godzinę lotu, co sprawia, że modele wydajności są najdokładniejsze na rynku. Technologia ta jest obecnie wykorzystywana we wszystkich produktach i usługach StorkJet.

Sztuczna inteligencja i automatyzacja rewolucjonizują przemysł lotniczo-kosmiczny, czyniąc go bardziej efektywnym, bezpiecznym i ekologicznym. Przykładowo, analizując dane dotyczące lotów w ramach linii lotniczych, dzięki specjalistycznemu oprogramowaniu, można oszczędzać paliwo i redukować emisję CO₂, co sprawia, że lotnictwo staje się bardziej wydajne niż kiedykolwiek wcześniej (EASA, 2024).

Mając na uwadze powyższe informacje można przewidywać, że rozwój tych technologii będzie kluczowy dla przyszłości lotnictwa komercyjnego, wojskowego i eksploracji kosmosu.

- Symulacje i modelowanie – w przemyśle lotniczo-kosmicznym znajdują zastosowanie w projektowaniu, testowaniu i eksploatacji statków powietrznych oraz systemów kosmicznych, które umożliwiają przeprowadzanie analiz wirtualnych przed wykonaniem fizycznych prototypów, co obniża koszty i zwiększa bezpieczeństwo.

W ramach opisanej grupy technologicznej zdiagnozowano następujące technologie:

- Symulacje lotów to zaawansowane technologicznie narzędzia, które umożliwiają odwzorowanie rzeczywistych warunków lotu w kontrolowanym, wirtualnym środowisku. Służą do szkoleń, testowania nowych technologii, projektowania samolotów, a także do analizy różnych scenariuszy lotniczych. Symulacje lotów są wykorzystywane zarówno w przemyśle lotniczym, jak i w nauce, szkoleniu personelu oraz w badaniach operacyjnych.
- Wirtualne testowanie w przemyśle lotniczo-kosmicznym to technologia, która wykorzystuje symulacje komputerowe, modelowanie 3D, rzeczywistość wirtualną (VR), rozszerzoną rzeczywistość (AR) oraz inne narzędzia cyfrowe do przeprowadzania testów i analiz, które normalnie wymagałyby fizycznych prototypów. Dzięki wirtualnym testom możliwe jest znaczne obniżenie kosztów i skrócenie czasu rozwoju nowych technologii, a także przeprowadzanie testów w bardziej kontrolowanych, bezpiecznych i wydajnych warunkach. Wirtualne testowanie jest wykorzystywane w różnych fazach projektowania i produkcji, od koncepcji po gotowe rozwiązania.

Zastosowania symulacji i modelowania obejmują:

- aerodynamikę i dynamikę lotu,
- projektowanie i testowanie materiałów,
- symulatory lotu i szkolenie pilotów,
- modelowanie systemów kosmicznych,
- integrację systemów i cyfrowe bliźniaki,
- testowanie napędów i systemów silnikowych,
- bezpieczeństwo i analizę ryzyka.

W woj. śląskim działa firma MSP InnTech Sp. z o.o., która specjalizuje się w weryfikacji charakterystyk lotu projektowanych samolotów załogowych. Wykorzystuje do tego celu pomniejszone modele, które zachowują podobieństwo aerodynamiczne, masowe i dynamiczne docelowej konstrukcji. Przeprowadzane kompleksowe badania w locie z użyciem bezzałogowych samolotów badawczych przynoszą wymierne korzyści. Taka metodyka badawcza umożliwia wykrycie, identyfikację i usunięcie ewentualnych wad docelowej konstrukcji już na wczesnym etapie procesu projektowego. Wykorzystanie modeli dynamicznie podobnych przekłada się na znaczące obniżenie kosztów i ryzyka związanego z analogicznymi badaniami dla samolotów załogowych.

- Zaawansowane systemy produkcji w sektorze lotniczo-kosmicznym, odgrywają kluczową rolę w zapewnianiu wysokiej jakości, precyzji oraz efektywności wytwarzania skomplikowanych komponentów wykorzystywanych do produkcji statków powietrznych i kosmicznych. Technologie te obejmują szeroki wachlarz zaawansowanych metod i narzędzi umożliwiających tworzenie

elementów o skomplikowanej geometrii oraz wymagających wysokiej niezawodności. Firmy z branży lotniczej na Śląsku wykorzystują technologię druku 3D, która stała się nieodzownym narzędziem w przemyśle lotniczym, umożliwiając tworzenie prototypów, części zamiennych oraz gotowych elementów maszyn. Przyczynia się to do skrócenia czasu produkcji, obniżenia kosztów i poprawy jakości produktów. W ramach opisanej grupy technologicznej zdiagnozowano następujące technologie:

- Druk 3D zyskuje coraz większą popularność w przemyśle lotniczo-kosmicznym – technologia ta pozwala na tworzenie obiektów warstwa po warstwie na podstawie cyfrowych modeli, z czego wynikają wymierne korzyści w produkcji, serwisowaniu oraz projektowaniu komponentów wykorzystywanych w lotnictwie i kosmonautyce. Oto kilka głównych zastosowań druku 3D w badanym sektorze: prototypowanie (możliwość szybkiego tworzenia i testowania prototypów przyspiesza procesy projektowe), produkcja części i komponentów (w tradycyjnych metodach produkcji wytwarzanie skomplikowanych kształtów może być trudne i kosztowne, podczas gdy w technologii druku 3D możliwe jest tworzenie części o skomplikowanej konstrukcji, które są trudne do wyprodukowania tradycyjnymi metodami) (AT-Machining, 2024).
- Robotyzacja i automatyzacja odgrywają kluczową rolę w modernizacji produkcji, poprawie jakości, obniżaniu kosztów i zwiększaniu bezpieczeństwa w przemyśle lotniczo-kosmicznym (Raport, 2024a). Technologie te są stosowane zarówno w procesach produkcyjnych, jak i w misjach kosmicznych, co pozwala na osiąganie większej precyzji, efektywności i niezawodności. Oto kilka głównych obszarów, w których robotyzacja i automatyzacja mają szczególne znaczenie: produkcja komponentów lotniczych i kosmicznych, automatyzacja procesów produkcji w fabrykach (automatyzacja pozwala na eliminowanie błędów ludzkich i zwiększenie powtarzalności produkcji), testowanie i badania, zastosowanie robotów w przestrzeni kosmicznej, autonomiczne pojazdy i drony, zaawansowana symulacja i kontrola procesów, przemiany w łańcuchu dostaw.
- Ekologia i zrównoważony rozwój w przemyśle lotniczym i kosmicznym stają się coraz bardziej istotne w obliczu wyzwań związanych ze zmianami klimatu oraz wyczerpywaniem się zasobów naturalnych. Przemiany te wymagają innowacji technologicznych, nowego podejścia do produkcji, eksploatacji i zarządzania odpadami oraz większej odpowiedzialności wobec środowiska (Zrównoważony rozwój, 2024).

Lotnictwo jest odpowiedzialne za część emisji gazów cieplarnianych, dlatego temat zrównoważonego rozwoju w tym sektorze jest szczególnie ważny¹⁰². Przemysł lotniczy podejmuje inicjatywy, takie jak: rozwój paliw alternatywnych, elektryfikacja i napędy hybrydowe, zrównoważona produkcja samolotów, optymalizacja tras lotów i zarządzanie ruchem powietrznym.

Przemysł kosmiczny również znacząco wpływa na środowisko. W tym przypadku także podejmowane są działania na rzecz zrównoważonego rozwoju, takie jak rozwój technologii rakietowych, zrównoważona eksploatacja przestrzeni kosmicznej, miniaturyzacja satelitów oraz recykling w przemyśle kosmicznym.

W ramach opisanej grupy technologicznej wyodrębniono następujące technologie wpływające na jej ekologiczny rozwój:

- Samoloty elektryczne uchodzą za jedno z najbardziej obiecujących rozwiązań w przemyśle lotniczym, szczególnie w kontekście zrównoważonego rozwoju i redukcji emisji gazów cieplarnianych. Technologia ta jest wciąż w fazie rozwoju. Użytkowanie samolotów elektrycznych może przynieść szereg korzyści, w tym mniejsze koszty operacyjne, cichsze loty i zmniejszenie oddziaływania na środowisko (Włostowski, 2024). Zastosowanie elektryczności w lotnictwie zmienia sposób myślenia o przyszłości transportu lotniczego. Należy jednak pamiętać o wyzwaniach i ograniczeniach, jakie stoją przed tego typu rozwiązaniami, np.:

¹⁰² Z danych Komisji Europejskiej wynika, że lotnictwo globalne przyczynia się do około 2% emisji dwutlenku węgla. W samej UE te bezpośrednie emisje odpowiadają za około 14% emisji w sektorze transportu.

- Ograniczony zasięg – obecne technologie akumulatorów, choć szybko się rozwijają, nie oferują jeszcze takiej pojemności jak paliwa lotnicze. Większość samolotów elektrycznych może obecnie latać na stosunkowo krótkie odległości, co czyni je bardziej odpowiednimi do lotów regionalnych, a nie transatlantycznych.
 - Waga akumulatorów – akumulatory elektryczne wciąż stanowią duży procent wagi samolotu, co ogranicza jego możliwości transportowe; im większy akumulator, tym cięższy samolot, co wpływa na jego efektywność i zasięg.
 - Infrastruktura ładowania – aby samoloty elektryczne mogły być powszechnie wykorzystywane, konieczne jest zbudowanie odpowiedniej infrastruktury dla ich ładowania. Wymaga to zarówno rozwoju odpowiednich stacji ładowania na lotniskach, jak i dalszych inwestycji w technologie szybkiego ładowania.
 - Technologia akumulatorów – rozwój akumulatorów lekkich, bezpiecznych i trwałych, które będą w stanie przechowywać odpowiednią ilość energii, jest kluczowy. Współczesne akumulatory mają ograniczenia, zwłaszcza w kontekście potrzeb przemysłu lotniczego, gdzie waga i pojemność są kluczowe.
- Zastosowanie biopaliw i paliw syntetycznych w lotnictwie to jedno z kluczowych rozwiązań mających na celu zrównoważenie przemysłu lotniczego, zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych i walkę ze zmianami klimatu. Przemysł lotniczy, będący jednym z istotnych źródeł emisji dwutlenku na świecie, staje przed wyzwaniem przekształcenia swojego modelu działania na bardziej ekologiczny. Zastosowanie biopaliw daje dużą nadzieję na zmniejszenie wpływu lotnictwa na środowisko, nie rezygnując przy tym z jego dalszego rozwoju.

Krokiem w tym kierunku jest rozporządzenie SAF (ang. sustainable aviation fuels) (European Green Deal, 2023) wprowadzone w ramach pakietu Fit for 55¹⁰³, które ma na celu promowanie zrównoważonych biopaliw zamiast tradycyjnych, pochodzących ze źródeł kopalnych. Dostawcy paliwa, począwszy od 2025 r., muszą zapewniać odpowiedni odsetek biopaliw w mieszance paliwowej dostarczanej operatorom lotniczym wynoszący na początku 2%, następnie: 5% w 2030 r., 20% w 2035 r., 32% w 2040 r., 38% w 2045 r. oraz 63% w 2050 r. Rozporządzenie narzuca także obowiązek dostarczania paliw syntetycznych w mieszance, począwszy od 2030 r. (0,7%). W kolejnych latach udział ten będzie wzrastać aż do 28% w 2050 r.

Tak jak w przypadku samolotów elektrycznych, również w technologii biopaliw i paliw syntetycznych występują różnego rodzaju wyzwania, m.in.:

- Koszty – biopaliwa lotnicze są obecnie droższe od tradycyjnych paliw kopalnych. Produkcja biopaliw na dużą skalę wiąże się z wysokimi kosztami, co może utrudniać ich powszechne wdrożenie w lotnictwie, zwłaszcza w obliczu dużych kosztów operacyjnych w branży.
- Skala produkcji – choć potencjał biopaliw jest ogromny, obecnie produkcja SAF wciąż jest niewielka w porównaniu z globalnym zapotrzebowaniem na paliwa lotnicze. Przemiany w skali produkcji i infrastruktury są niezbędne, aby biopaliwa stały się konkurencyjne cenowo i dostępne w dużych ilościach.
- Wpływ na środowisko – choć biopaliwa mają mniejszą emisję CO₂ niż paliwa kopalne, ich produkcja może wiązać się z innymi problemami środowiskowymi, takimi jak użytkowanie dużych obszarów ziemi pod uprawy roślin energetycznych, zmniejszanie bioróżnorodności czy zużycie wody.

Biopaliwa w lotnictwie stanowią obiecujący kierunek w kontekście zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych i poprawy zrównoważonego rozwoju branży. Choć ich wdrażanie wiąże się z poważnymi wyzwaniami dotyczącymi kosztów, procesu produkcji i wpływu na środowisko, to ich rozwój jest kluczowy dla przyszłości lotnictwa. Postęp technologiczny będzie sprzyjał rozwojowi produkcji i infrastruktury, a biopaliwa mogą stać się fundamentem zrównoważonego transportu lotniczego.

W przypadku technologii, które mogą przyczynić się do dekarbonizacji lotnictwa i ograniczenia emisji uznano, że wodór (H₂) może odegrać istotną rolę w przyszłych rozwiązaniach. Przykładem

¹⁰³ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_2389

jego wykorzystania jest projekt Airbus ZEROe (H2Poland, 2025) – koncepcja samolotu hybrydowego napędzanego wodorem, który mógłby wejść do użytku już w 2035 r. – lub projekt HYDEA koordynowany przez firmę GE Avio SRL w ramach programu Clean Aviation – skupiający się na sposobach magazynowania, dystrybucji i spalania wodoru.

Szacuje się, że przy szerokim wdrożeniu wodoru ma potencjał do redukcji emisji CO₂ w lotnictwie nawet o 50%. Można go spalać w zmodyfikowanych silnikach z turbinami gazowymi lub przekształcać w energię elektryczną, która uzupełnia pracę turbiny gazowej. Odbywa się to za pośrednictwem ogniw paliwowych zasilających, które oprócz napędu samolotu, zasilają także różne systemy pokładowe, przyczyniając się dodatkowo do zwiększenia efektywności energetycznej statków powietrznych (Raport, 2024a).

W woj. śląskim firma SkyDream jest przedstawicielem firmy Pipistrel, która stworzyła pierwszy na świecie samolot elektryczny z certyfikatem EASA CS-LSA. Ten dwumiejscowy samolot, przeznaczony przede wszystkim do podstawowego szkolenia pilotów (m.in. do uzyskania licencji PPL), wyróżnia się innowatorskimi technologiami i niskimi kosztami eksploatacji. Dzięki niskiemu poziomowi hałasu jaki generuje, jest mniej uciążliwy dla mieszkańców. Stanowi więc dobre rozwiązanie dla ośrodków szkoleniowych zlokalizowanych w pobliżu aglomeracji miejskich. Velis Electro, z certyfikatem EASA, otwiera nowy rozdział w rozwoju bezemisyjnego i ekologicznego lotnictwa.

Innym przedstawicielem grupy technologicznej w regionie jest firma SkyTech eLab Sp. z o.o. (STeL) założona przez zespół pracowników Politechniki Śląskiej Wydziału Mechanicznego Technologicznego, którzy prowadzą badania w zakresie nowoczesnych lekkich konstrukcji lotniczych i energooszczędnych elektrycznych systemów napędowych przeznaczonych do zastosowania w lotnictwie, motoryzacji i robotyce mobilnej. Firma ma stanowić pomost między badaniami naukowymi prowadzonymi w uczelniach a zapotrzebowaniem przemysłu lotniczego, kosmicznego oraz motoryzacyjnego.

- Bezzałogowe systemy powietrzne (BSP) znane powszechnie jako drony (ang. *unmanned aerial vehicles*, UAV). To statki powietrzne operujące bez załogi na pokładzie, sterowane zdalnie lub działające autonomicznie. Są one wykorzystywane w różnych sektorach, od wojskowości po zastosowania cywilne i komercyjne (Raport, 2024a). W woj. śląskim działa wiele firm z tej grupy technologicznej przemysłu lotniczo-kosmicznego. W ramach opisanej grupy technologicznej zdiagnozowano technologie:
 - Systemy napędowe i energetyczne w dronach – są kluczowe dla ich wydajności, zasięgu, czasu lotu i zdolności operacyjnych. Technologie te są dostosowywane do celu stosowania dronów – modele hobbystyczne, drony komercyjne, drony wykorzystywane w celach wojskowych i przemysłowych. Stosowane są następujące systemy:
 - systemy napędowe w dronach:
 - napędy elektryczne (silniki bezszczotkowe) są stosowane najczęściej w wersjach zarówno komercyjnych, jak i wojskowych; silniki te charakteryzuje: wysoka sprawność, niezawodność, cicha praca oraz niski koszt produkcji,
 - napędy spalinowe są rzadziej stosowane, np. w dużych dronach, które potrzebują dużej mocy i długiego czasu lotu; silniki te są wykorzystywane w dronach o dużym udźwigu lub w dronach przeznaczonych do transportu,
 - napędy hybrydowe – w niektórych przypadkach drony wykorzystują hybrydowe systemy napędowe, które łączą silnik elektryczny i spalinowy – silnik spalinowy napędza generator zasilający silniki elektryczne;
 - systemy energetyczne w dronach:
 - baterie litowo-polimerowe (LiPo) to najczęściej stosowane źródło energii w dronach, szczególnie w modelach komercyjnych i hobbystycznych; charakteryzują się stosunkowo wysoką gęstością energii i szybkim czasem ładowania,
 - baterie litowo-jonowe (Li-Ion) są stosowane w większych dronach, które wymagają dłuższego czasu lotu i większej stabilności energetycznej; mają mniejszą gęstość energii niż LiPo, ale są bardziej trwałe i bezpieczne,

- wodorowe ogniwa paliwowe to technologia rozwijająca się w dronach o dużym zasięgu; drony napędzane ogniwami paliwowymi mogą latać przez długi czas, a ich głównym paliwem jest wodór, który może być przechowywany w postaci gazowej,
- superkondensatory są wykorzystywane w niektórych dronach do szybkiego magazynowania i uwalniania energii, zwłaszcza w aplikacjach wymagających dużych chwilowych skoków mocy (np. przy starcie lub manewrach).

Rozwój dronów będzie w dużej mierze zależał od postępów w technologii napędu i przechowywania energii. Potencjalne kierunki rozwoju to: energooszczędne baterie, zwiększona efektywność ogniw paliwowych, napędy hybrydowe. Dzięki tym innowacjom drony w przyszłości będą jeszcze bardziej wydajne, a ich zastosowanie rozszerzy się na nowe obszary przemysłowe, wojskowe i cywilne.

- Awionika i systemy sterowania w dronach są istotne dla ich funkcjonowania zarówno w kontekście lotów autonomicznych, jak i zdalnego sterowania. Awionika odnosi się do systemów elektronicznych i technologicznych w statkach powietrznych, które umożliwiają ich kontrolę, komunikację, nawigację oraz zapewniają bezpieczeństwo. W przypadku dronów awionika i systemy sterowania są znacznie bardziej zminiaturyzowane, ale nadal pełnią podobną rolę jak w większych samolotach. Do podstawowych komponentów awioniki w dronach i UAV można zaliczyć (Forum Lotnicze, 2024d):
 - Systemy nawigacyjne – niezbędne do sprawnego działania dronów, zapewniające precyzyjność, stabilność i autonomię z wykorzystaniem różnych technologii – GPS, systemy inercyjne, zaawansowane systemy wizyjne – umożliwiające dronom wykonywanie coraz bardziej skomplikowanych misji w różnych środowiskach. W przyszłości technologia dronów będzie coraz bardziej zaawansowana, a ich systemy nawigacyjne będą bardziej niezawodne i precyzyjne, umożliwiając nowe zastosowania w różnych dziedzinach.
 - Komunikację i transmisję danych – mające wpływ na działanie dronów, szczególnie w zastosowaniach: komercyjnych, wojskowych, ratunkowych czy przemysłowych, gdzie wymagana jest szybka i niezawodna wymiana informacji między dronem a jego operatorem lub innymi urządzeniami. W dronach używana jest różna technologia i systemy do przesyłania danych, takich jak: sygnały sterujące, dane telemetryczne, obrazy z kamer czy informacje o statusie drona. Nowoczesne drony wymagają nie tylko efektywnej komunikacji, ale także zapewnienia odpowiednich zabezpieczeń dla przesyłanych danych, co jest istotne w kontekście bezpieczeństwa misji oraz ochrony prywatności.
 - Sensory i kamery w dronach – to niezwykle ważne elementy, które umożliwiają dronom wykonywanie różnorodnych zadań, takich jak: monitoring, inspekcje, nawigacja, zbieranie danych czy mapowanie terenu. Dzięki tym urządzeniom drony mogą zbierać informacje o otoczeniu, analizować je w czasie rzeczywistym i podejmować odpowiednie decyzje. Precyzyjnie:
 - Kamery są podstawowym narzędziem w dronach wykorzystywanych do monitoringu, fotografowania, filmowania i inspekcji. W zależności od zadania, kamery mogą mieć różne specyfikacje, np. rozdzielczość, możliwość obracania, stabilizację obrazu czy technologie umożliwiające nagrywanie w trudnych warunkach oświetleniowych.
 - Wykorzystanie różnego rodzaju sensorów umożliwia dronom orientację w przestrzeni, unikanie przeszkód, monitorowanie środowiska oraz zapewnia bezpieczeństwo w trakcie lotu. Sensory są kluczowe dla autonomii dronów, szczególnie w zastosowaniach profesjonalnych.
- Systemy bezpieczeństwa w dronach są istotnym elementem zapewniającym ich bezpieczne użytkowanie podczas ochrony osób i mienia oraz zapewniają wykonywanie przez dron zadań w sposób niezawodny i kontrolowany. Drony, zwłaszcza te mające zastosowanie: profesjonalne, przemysłowe, wojskowe czy komercyjne, wymagają zaawansowanych systemów bezpieczeństwa, które pomagają w unikaniu kolizji podczas awarii technicznych, a także zapewniają zgodność z przepisami i normami.

- Sztuczna inteligencja i algorytmy uczenia maszynowego (ML) w dronach stanowią podstawę nowoczesnych rozwiązań, pozwalając na wykonywanie bardziej zaawansowanych i autonomicznych zadań. Dzięki integracji z systemami AI, drony są w stanie „podejmować decyzje” w czasie rzeczywistym, optymalizować swoje działania, unikać przeszkód, a także adaptować się do zmieniających się warunków otoczenia (Dron, 2025).
- Zastosowanie specjalistycznych materiałów w dronach zapewnia im odpowiednie właściwości mechaniczne, wytrzymałościowe oraz operacyjne. Drony stają się coraz bardziej zaawansowane, a wykorzystanie nowoczesnych materiałów jest jednym z głównych czynników wpływających na ich efektywność, trwałość i możliwości operacyjne. Specjalistyczne materiały w dronach są wykorzystywane zarówno w konstrukcji zewnętrznej, jak i w wewnętrznych komponentach, takich jak: silniki, akumulatory czy systemy elektroniczne (Muszyński i in., 2021).

Flytronic SA jest wiodącym polskim ośrodkiem projektującym i produkującym specjalistyczne, bezzałogowe systemy powietrzne. Prowadzone w firmie badania przemysłowe i prace rozwojowe w zakresie elektroniki, informatyki oraz mechaniki lotniczej charakteryzują się innowacyjnością na skalę światową.

W regionie funkcjonują również ośrodki szkoleniowe z zakresu obsługi bezzałogowych systemów powietrznych, takie jak dron.edu.pl – ogólnopolska sieć ośrodków szkoleniowych, która specjalizuje się w szkoleniach z zakresu obsługi bezzałogowych statków powietrznych, oferując wiedzę i umiejętności niezbędne do komercyjnego wykorzystania dronów. Szkolenia obejmują zarówno uzyskanie uprawnień państwowych, jak i specjalistyczne kursy dostosowane do potrzeb profesjonalistów.

Woj. śląskie, z uwagi na swoją historię przemysłową oraz rozwiniętą infrastrukturę, stało się ważnym punktem na mapie polskiego sektora technologii lotniczych i przemysłu kosmicznego. Analiza charakterystyki grup technologicznych oraz przykładów firm działających w tym obszarze pozwala na wyciągnięcie kilku kluczowych wniosków:

- Silne zaplecze przemysłowe: Śląsk posiada dobrze rozwiniętą infrastrukturę przemysłową, co sprzyja rozwojowi firm technologicznych. W regionie znajdują się zakłady produkcyjne, centra badawczo-rozwojowe oraz uczelnie techniczne, które dostarczają wykwalifikowaną kadrę.
- Współpraca międzysektorowa: wiele firm w regionie współpracuje z uczelniami oraz instytucjami badawczymi, co sprzyja innowacjom i transferowi technologii. Tego rodzaju partnerstwo jest kluczowe dla rozwoju nowoczesnych rozwiązań w lotnictwie i przemyśle kosmicznym.
- Zróżnicowanie technologiczne: firmy działające w tym obszarze oferują różnorodne produkty i usługi – od zaawansowanych systemów awioniki, przez materiały kompozytowe, po technologie satelitarne. To zróżnicowanie świadczy o elastyczności i zdolności adaptacji do zmieniających się potrzeb rynku.
- Inwestycje w badania i rozwój: wiele firm z branży lotniczej i kosmicznej inwestuje znaczące środki w badania i rozwój, co pozwala na wprowadzanie innowacyjnych rozwiązań oraz zwiększa konkurencyjność na rynku międzynarodowym.
- Wyzwania związane z regulacjami: przemysł lotniczy i kosmiczny podlega rygorystycznym regulacjom. Firmy muszą dostosowywać swoje procesy i produkty do wymogów środowiskowych i bezpieczeństwa oraz standardów jakości, co może stanowić wyzwanie, ale również stwarzać możliwość rozwoju technologii spełniających te normy.
- Rola klastrów i inkubatorów technologicznych: w regionie funkcjonują klastry i inkubatory, które wspierają rozwój start-upów i innowacyjnych przedsięwzięć. Tego rodzaju wsparcie jest kluczowe dla młodych firm, które chcą zaistnieć na rynku.
- Globalizacja i konkurencja: firmy z woj. śląskiego muszą zmagać się z rosnącą konkurencją na rynku globalnym. Dlatego istotne jest ciągłe doskonalenie technologii oraz poszukiwanie nowych rynków zbytu.
- Współpraca z uczelniami wyższymi: firmy z sektora technologii lotniczych i kosmicznych często współpracują z uczelniami technicznymi, co sprzyja wymianie wiedzy oraz dostosowywaniu

programów nauczania do potrzeb rynku pracy. Warto zauważyć, że uczelnie powinny stale aktualizować swoje programy, aby przygotować studentów na dynamicznie zmieniające się wymagania branży.

- Kształcenie specjalistów: sektor lotniczy i kosmiczny wymaga wysoko wykwalifikowanej kadry inżynierskiej oraz technicznej. Uczelnie powinny kształcić specjalistów w dziedzinach, takich jak: inżynieria lotnicza, mechanika, elektronika czy informatyka, aby zapewnić odpowiednią bazę kadrową dla rozwijających się firm.
- Programy stażowe i praktyki: wspieranie studentów przez programy stażowe i praktyki w firmach technologicznych pozwala na zdobycie przez nich doświadczenia praktycznego i lepsze zrozumienie realiów pracy w branży. Firmy mogą również zyskać potencjalnych pracowników oraz świeże spojrzenie na swoje projekty.
- Inwestycje w badania i rozwój: przemysł lotniczy i kosmiczny opiera się na innowacjach, dlatego ważne jest wsparcie dla badań i rozwoju. Uczelnie, współpracując z przemysłem, mogą prowadzić badania, które odpowiadają na konkretne wyzwania technologiczne, co w konsekwencji przyczynia się do wzrostu konkurencyjności regionu.
- Edukacja techniczna na poziomie podstawowym i średnim: wzmacnianie podstaw edukacji technicznej w szkołach podstawowych i średnich jest kluczowe. Wprowadzenie programów promujących naukę przedmiotów ścisłych oraz technologii już na wczesnym etapie kształcenia może przyczynić się do zwiększenia zainteresowania młodzieży pracą w branży lotniczej i kosmicznej.
- Wsparcie dla start-upów i innowacyjnych firm: w regionie warto tworzyć inkubatory i akceleratorzy dla start-upów technologicznych, które mogą stymulować rozwój innowacji w obszarze lotnictwa i kosmosu. Takie inicjatywy mogą przyciągnąć młodych przedsiębiorców oraz inwestycje.
- Zróżnicowanie oferty edukacyjnej: uczelnie powinny oferować różnorodne ścieżki kształcenia, w tym studia podyplomowe i kursy zawodowe, które odpowiadają na potrzeby rynku. Warto również rozwijać programy interdyscyplinarne łączące różne dziedziny wiedzy.
- Promocja kariery w przemyśle technologii lotniczych i kosmicznych: warto prowadzić działania promujące karierę zawodową w tych sektorach, aby przyciągnąć młodych ludzi, którzy mogą mieć potencjał do pracy w tych dynamicznie rozwijających się dziedzinach.

Podsumowując, woj. śląskie dysponuje znaczącym potencjałem w obszarze technologii lotniczych i przemysłu kosmicznego, jednak wymaga dalszych inwestycji, innowacji oraz współpracy wewnątrzsektorowej, aby w pełni wykorzystać swoje możliwości. Istotna jest ścisła współpraca między sektorem edukacji a sektorem przemysłu, w celu stworzenia odpowiednich warunków rozwoju dla kadry inżynierskiej tak, aby była przygotowana na innowacje pojawiające się w obszarze technologii lotniczych i kosmicznych w woj. śląskim.

10.1.3. Analiza konkurencyjności obszaru technologicznego

10.1.3.1. Opis przyjętych metod

Model pięciu sił Portera jest kompleksowym narzędziem analizy konkurencyjności, które można zastosować w różnych sektorach, w tym w obszarze technologii lotniczych i przemysłu kosmicznego. Analiza ta umożliwiła identyfikację kluczowych czynników wpływających na konkurencyjność w badanym obszarze, co jest istotne dla zrozumienia dynamiki rynku oraz identyfikacji możliwości rozwoju. W kontekście technologii lotniczych i kosmicznych analiza ta pozwoliła na określenie:

- warunków popytu na technologie,
- możliwości pojawienia się nowych technologii, produktów i usług,
- możliwości pojawienia się substytutów dla rozwijanych technologii, produktów i usług,
- zależności i łańcuchów wartości rozwoju technologii w ramach obszaru,
- presji konkurencji na rynku wdrażania technologii.

10.1.3.2. Analiza warunków popytu na technologie w ramach obszaru technologicznego

Identyfikacja podmiotów gospodarczych wdrażających nowe rozwiązania/technologie lub współpracujących z „regionalnymi dostawcami technologii”, wyróżniającymi się na tle kraju/UE i zgłaszającymi zapotrzebowanie na nowe rozwiązania

W woj. śląskim działają firmy zaangażowane w przemysł lotniczy i kosmiczny, które są innowacyjne i współpracują z regionalnymi dostawcami technologii. Oto kilku kluczowych „graczy”:

- WB Centrum Kompozytów Sp. z o.o. (dawniej Śląskie Centrum Naukowo-Technologiczne Przemysłu Lotniczego) z siedzibą w Czechowicach-Dziedzicach – firma specjalizuje się w zaawansowanych strukturach kompozytowych, stanowiących kluczowy element dla przemysłu lotniczego i kosmicznego. Jako jedyny kwalifikowany polski dostawca struktur kosmicznych nie tylko produkuje, ale również oferuje usługi w zakresie projektowania prototypów oraz testowania materiałów i struktur.
- Flytronic SA – wiodący polski ośrodek, w którym projektowane są specjalistyczne bezzałogowe systemy powietrzne. Prowadzone w firmie badania przemysłowe i prace rozwojowe w zakresie elektroniki, informatyki oraz mechaniki lotniczej charakteryzują się innowacyjnością na skalę światową.
- KP Labs Sp. z o.o. – firma new space, której misją jest przyspieszenie eksploracji kosmosu przez rozwój autonomicznych statków kosmicznych i technologii robotycznych. Obszar działalności firmy obejmuje m.in. tworzenie oprogramowania pokładowego, urządzeń do obrazowania hiperspektralnego, algorytmów sztucznej inteligencji oraz wysokowydajnych komputerów.

Jak można zauważyć, profile działalności wymienionych wyżej firm charakteryzuje wysoki stopień innowacyjności.

Zmiany zachodzące na rynku oraz trendy technologiczne

W obszarze technologii lotniczych i kosmicznych obserwuje się wyraźnie trendy, które wpływają na popyt na innowacje. Trendy występujące w branży lotniczej i kosmicznej (LOT-KOS) to (Raport BBKL II, 2023):

- Szybki rozwój materiałów i komponentów, które mogą być zastosowane w branży lotniczo-kosmicznej (w tym nanomateriałów, materiałów kompozytowych oraz technologii wytwarzania materiałów).
- Postępujący od lat 90. XX w. rozwój automatyzacji, robotyzacji, a także cyfryzacji, technologii wirtualnych i technologii rozszerzonej rzeczywistości we wszystkich obszarach branży LOT-KOS – od prac B + R i projektowania, przez produkcję, montaż (z wyłączeniem sektora kosmicznego), eksploatację, serwisowanie, aż po szkolenia i wsparcie pracowników w codziennych zadaniach stanowiskowych.
- Postępujący rozwój technologii napędów elektrycznych i wodorowych w lotnictwie, którego pierwszym etapem będzie wdrożenie i popularyzacja napędów hybrydowych.
- Realizowane od lat 90. zmiany w organizacji i przebiegu procesów produkcyjnych w związku z ograniczaniem substancji niebezpiecznych dla środowiska naturalnego oraz wzrostem świadomości ochrony zdrowia (fizycznego i psychicznego) pracowników.
- Rosnące możliwości wykorzystania dużych zbiorów danych (przez rozwój infrastruktury obliczeniowej) w celu optymalizowania procesów zachodzących w branży (np. technologicznych, biznesowych).
- Postępujący rozwój i rosnąca powszechność wykorzystania systemów bezzałogowych.
- Upowszechnienie się wirtualnej kontroli lotów bezzałogowych w ramach koncepcji U-Space (integracja statków bezzałogowych i lotnictwa załogowego).
- Wzrost możliwości zastosowań usług opartych na nawigacji i obserwacji satelitarnej w wielu dziedzinach gospodarki. Coraz powszechniejsze wchodzenie do sektora kosmicznego firm dotychczas nieprowadzących w nim działalności – obniżenie progu wejścia do branży jako cecha charakterystyczna koncepcji Space 4.0.
- Rozwój miejskiej mobilności powietrznej.

BRANŻE GOSPODARKI ROZWIJAJĄCE OBSZAR TECHNOLOGICZNY

Branża lotniczo-kosmiczna to jeden z najbardziej innowacyjnych sektorów, który rozwija się w odpowiedzi na globalne wyzwania, takie jak zrównoważony rozwój, bezpieczeństwo oraz potrzeba efektywności operacyjnej. Oto kluczowe obszary, które kształtują ten sektor:

- **Produkcja statków powietrznych i kosmicznych**

Obejmuje projektowanie i produkcję samolotów, śmigłowców, dronów, rakiet, statków kosmicznych oraz ich komponentów. Firmy zajmujące się tym sektorem często łączą zaawansowane technologie inżynierskie i produkcyjne, np. w zakresie materiałów kompozytowych, napędów czy systemów awioniki.

- **Technologie napędu**

Rozwój napędów rakietowych, silników odrzutowych, silników elektrycznych do dronów, a także technologii napędu w kosmosie, np. silników jonowych. Współczesne rozwiązania w tej branży zmieniają sposób podróży w powietrzu i przestrzeni kosmicznej.

- **Infrastruktura kosmiczna**

Rozwój infrastruktury dla wspierania działalności kosmicznej, w tym budowa i obsługa satelitów, stacji kosmicznych, systemów nawigacyjnych (GPS), a także rozwój technologii komunikacyjnych związanych z przestrzenią kosmiczną.

- **Drony i bezałogowe systemy powietrzne (UAV)**

Branża związana z bezałogowymi statkami powietrznymi zyskuje na znaczeniu, nie tylko w lotnictwie cywilnym, ale także w rolnictwie, logistyce, ochronie środowiska, geodezji oraz w służbach ratunkowych czy wojskowych.

- **Big data i sztuczna inteligencja**

Technologie związane z przetwarzaniem dużych zbiorów danych (ang. *big data*) oraz sztuczną inteligencją mają ogromne znaczenie dla analizy danych pochodzących z misji kosmicznych czy obserwacji satelitarnych, a także dla optymalizacji procesów inżynierskich w produkcji statków powietrznych.

- **Nauka i technologie materiałowe**

Postęp dokonuje się w dziedzinie materiałów o wysokiej wytrzymałości, takich jak kompozyty, materiały odporne na ekstremalne warunki panujące w atmosferze i przestrzeni kosmicznej a także w technologiach ochrony przed promieniowaniem kosmicznym i innymi zagrożeniami.

- **Cyfryzacja i technologie komunikacyjne**

Branża cyfrowa dostarcza innowacje w zakresie komunikacji satelitarnej, systemów nawigacyjnych, zarządzania ruchem lotniczym oraz bezpieczeństwa w przestrzeni powietrznej i kosmicznej.

- **Recykling i zrównoważony rozwój w lotnictwie i kosmonautyce**

Wzrost znaczenia zrównoważonego rozwoju sprawia, że branża lotnicza i kosmiczna zaczynają badać technologie zmniejszające wpływ na środowisko, takie jak napędy elektryczne, biopaliwa czy technologie odzyskiwania i recyklingu sprzętu kosmicznego. Wszystkie te branże współpracują ze sobą, tworząc ekosystem innowacji w sektorze lotniczo-kosmicznym, który z kolei staje się fundamentem rozwoju nowych technologii.

Popyt na innowacje technologiczne oraz ich uwarunkowania rynkowe

Popyt na innowacyjne technologie, produkty i usługi w przemyśle lotniczo-kosmicznym jest kształtowany przez szereg czynników technologicznych, ekonomicznych i regulacyjnych. Trendy w tym obszarze są powiązane z dążeniem do zwiększania efektywności operacyjnej i poprawy bezpieczeństwa, autonomizacją procesów oraz dostosowywaniem się do coraz bardziej rygorystycznych norm środowiskowych i regulacji. Branża koncentruje się na rozwoju zaawansowanych materiałów, wykorzystywaniu sztucznej inteligencji, wdrażaniu autonomicznych systemów, innowacjach z zakresu technologii rakietowych oraz doskonaleniu metod produkcji i bezpieczeństwa. Rosnące zainteresowanie zrównoważonym rozwojem oraz cyfryzacją wpływa także na kształtowanie nowych wymagań i standardów w sektorze.

Konkurencja w sektorze lotniczo-kosmicznym

Firmy z branży lotniczo-kosmicznej w woj. śląskim funkcjonują w dynamicznie rozwijającym się sektorze, który charakteryzuje rosnąca konkurencja na poziomie zarówno krajowym, jak i międzynarodowym. W Polsce systematycznie zwiększa się liczba przedsiębiorstw zaangażowanych w projekty lotnicze i kosmiczne, co intensyfikuje rywalizację na rynku krajowym.

Główna konkurencja dla śląskich firm z branży lotniczo-kosmicznej

- **Podmioty zagraniczne z Czech i Niemiec**

Czeski sektor lotniczy posiada kilka kluczowych przewag konkurencyjnych:

- mniej restrykcyjne wymagania certyfikacyjne oraz uproszczone procedury ich uzyskiwania, długa tradycja w projektowaniu i produkcji samolotów wojskowych, cywilnych oraz komponentów lotniczych,
- specjalizowanie się w produktach niszowych, takich jak lekkie samoloty czy elementy do dużych samolotów pasażerskich, co przekłada się na wysoką jakość i konkurencyjne ceny,
- rozwinięty system kształcenia technicznego, w którego skład wchodzi uczelnie, takie jak Czeski Uniwersytet Techniczny w Pradze czy Uniwersytet Technologiczny w Brnie zapewniające wykwalifikowaną kadrę inżynierów i techników dla sektora lotniczego,
- niższe koszty pracy niż w krajach Europy Zachodniej, co pozwala firmom na oferowanie atrakcyjnych cen zachowując wysoką jakość,
- dynamiczny rozwój technologii bezzałogowych statków powietrznych (UAV), które znajdują zastosowanie w sektorze wojskowym i cywilnym,
- korzystne położenie geograficzne ułatwiające eksport produktów do krajów UE, a także do Azji i Ameryki.

Niemiecki sektor lotniczy jest jednym z najbardziej rozwiniętych na świecie, co stawia polskie firmy, w tym te zlokalizowane na Śląsku, w sytuacji konkurenta na wielu płaszczyznach. Niemieckie przedsiębiorstwa dysponują zaawansowaną technologią, znacznymi zasobami finansowymi oraz szerokimi sieciami dystrybucji, co może stanowić wyzwanie dla śląskich firm działających w branży lotniczej.

- **Dolina Lotnicza w Polsce**

Największym krajowym konkurentem jest Dolina Lotnicza, klaster przemysłu lotniczego zlokalizowany w południowo-wschodniej Polsce. Skupia ponad 200 podmiotów, w tym producentów komponentów lotniczych, ośrodki naukowo-badawcze oraz posiada duże zaplecze edukacyjne i szkoleniowe. Siedziba Stowarzyszenia Grupy Przedsiębiorców Przemysłu Lotniczego „Dolina Lotnicza” znajduje się w Rzeszowie. Głównym jego celem jest umocnienie roli południowo-wschodniej Polski jako jednego z wiodących w Europie regionów przemysłu lotniczego przez:

- organizację i rozwijanie efektywnego kosztowo łańcucha dostawców,
- stworzenie dogodnych warunków dla rozwoju przedsiębiorstw przemysłu lotniczego w regionie,
- dalszy rozwój badań, umiejętności i kwalifikacji w zakresie lotnictwa,
- współpracę i rozwój przemysłu lotniczego i uczelni wyższych, które będą promować nowe koncepcje oraz rozwijać sektor badawczo-rozwojowy w przemyśle lotniczym,
- promocję polskiego przemysłu lotniczego,
- wspieranie przedsiębiorstw z przemysłu lotniczego,
- wpływanie na politykę gospodarczą polskiego rządu w kwestiach związanych z przemysłem lotniczym.

Szczegółowe zadania klastra koncentrują się na polepszaniu istniejącej bazy produkcyjnej, tworzeniu trwałej i niezawodnej sieci poddostawców oraz efektywnego kosztowo łańcucha dostawców, przyciąganiu inwestorów zagranicznych, rozwijaniu współpracy z innymi europejskimi ośrodkami przemysłu lotniczego, promowaniu współpracy przemysłu lotniczego z uczelniami technicznymi, instytutami naukowymi i jednostkami badawczymi.

10.1.3.3. Identyfikacja możliwości pojawienia się nowych technologii, produktów i usług**Przewaga badań, rozwoju i innowacji (B + R + I) woj. śląskiego**

Woj. śląskie odgrywa istotną rolę w polskim sektorze lotniczo-kosmicznym, wyróżniając się na tle kraju i UE w zakresie badań, rozwoju i innowacji (B + R + I).

Kluczowe atuty regionu:

- rozwinięta sieć poddostawców i kooperantów w branży lotniczej,
- wysoka jakość oferowanych produktów oraz wysoko wykwalifikowana kadra inżynierska, w tym absolwenci Politechniki Śląskiej,
- konkurencyjne koszty produkcji i pracy,
- intensywny rozwój edukacji i szkoleń, m.in. dla pilotów oraz operatorów dronów,
- rosnąca aktywność firm w zakresie badań i rozwoju,
- obecność klastra lotniczego wspierającego działalność B + R + I.

Działalność klastra lotniczego na Śląsku obejmuje:

- współpracę z instytucjami biznesowymi, finansowymi oraz jednostkami naukowymi i badawczo-rozwojowymi,
- wsparcie transferu technologii z sektora B + R do przemysłu,
- pomoc w pozyskiwaniu funduszy na działalność badawczo-rozwojową i innowacyjną,
- udostępnianie nowoczesnej infrastruktury badawczej.

Bielski Park Technologiczny Lotnictwa, Przedsiębiorczości i Innowacji pełni funkcję centrum wspierającego rozwój branży lotniczej w regionie. Obejmuje m.in. zarządzanie lotniskiem EPKW Kaniów oraz przyległymi terenami, w tym halami produkcyjnymi.

Sektor kosmiczny w woj. śląskim

Polska, w tym woj. śląskie, posiada bogate tradycje związane z sektorem kosmicznym i aktywnie uczestniczy w międzynarodowych projektach badawczo-technologicznych:

- W 2012 r. Polska dołączyła do Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA), co umożliwiło firmom i naukowcom pełne uczestnictwo w programach kosmicznych.
- W 2014 r. powołano Polską Agencję Kosmiczną (POLSA), której zadaniem jest wspieranie badań i rozwoju technologii kosmicznych.
- Na Śląsku działa Klaster Technologii Kosmicznych, który współpracuje z ekosystemem Idei 3W w celu rozwijania innowacyjnych rozwiązań i wzmacniania pozycji polskiego sektora kosmicznego na świecie.

Identyfikacja potencjału B + R + I – kierunków prowadzonych badań i posiadanej wiedzy oraz przykłady wdrożeń realizowanych przez regionalne podmioty

Najważniejszą jednostką naukową w regionie w obszarze badań i rozwoju technologii lotniczych jest Politechnika Śląska, w szczególności Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej.

Obszary badawcze będące przedmiotem specjalizacji Wydziału Transportu i Inżynierii Lotniczej (Katedry Transportu Lotniczego) to (PS, 2025):

- nowoczesne technologie w lotnictwie cywilnym,
- systemy automatyzacji vs. poziom bezpieczeństwa realizacji zadań lotniczych,
- nowoczesne technologie w badaniu atmosfery ziemskiej,
- systemy informatycznego wsparcia w lotnictwie,
- systemy napędowe konstrukcji lotniczych,
- badania konstrukcyjne silników lotniczych,
- badania właściwości użytkowych materiałów i powłok ochronnych,
- diagnostyka techniczna w transporcie,
- implementacja technik i technologii satelitarnych w działaniach operacyjnych,
- ekosferyczne systemy bezzałogowe,
- systemy nawigacji satelitarnej w transporcie lotniczym,

- oddziaływanie transportu na środowisko realizacji zadań operacyjnych,
- badania modelowe i doświadczalne układów napędowych,
- energy harvesting,
- nieliniowa dynamika układów mechanicznych,
- metody numeryczne w mechanice (FEM, MBD),
- bezpieczeństwo systemów lotniczych,
- systemy monitorowania bezpieczeństwa energetycznych linii przesyłowych,
- badania incydentów i wypadków lotniczych.

W kontekście technologii lotniczych i przemysłu kosmicznego warto również wspomnieć o Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Śląskiej, który dysponuje nowoczesnymi laboratoriami przemysłowymi i prowadzi badania w kluczowych obszarach, takich jak sztuczna inteligencja i przetwarzanie danych oraz materiały przyszłości. Obszary te mają istotny wpływ na rozwój nowoczesnych technologii w lotnictwie i przemyśle kosmicznym.

Tematyka badawcza: Ultralekkie i wysokoodporne materiały w konstrukcjach motoryzacyjnych i lotniczych

Główne kierunki badań realizowanych w obszarze ultralekkich i wysokoodpornych materiałów obejmują:

- wytwarzanie, charakterystykę oraz aplikację materiałów lekkich, w tym kompozytowych, zawierających komponenty mikro- i makrostrukturalne, np. włókna węglowe o lepszych właściwościach użytkowych,
- rozwój kompozytów metalowo-ceramicznych przeznaczonych do pracy w warunkach wysokich obciążeń, zwłaszcza w węzłach tarcia,
- opracowywanie lekkich kompozytów polimerowych oraz kompozytów żywicznych z nanokomponentami piezoelektrycznymi, umożliwiającymi monitorowanie konstrukcji,
- badania nad materiałami wykazującymi efekt pamięci kształtu, stosowanymi w kompozytach polimerowych.

Naukowcy z Politechniki Śląskiej prowadzą również prace nad projektowaniem, syntezą i charakterystyką nowoczesnych materiałów ceramicznych o ultraniskim przewodnictwie cieplnym, opartych na: cyrkonianach, ceranach, hafnianach, niobianach i tantalach pierwiastków ziem rzadkich.

W zakresie nowych technologii wytwarzania metali i ich stopów są prowadzone badania nad:

- stopami metali lekkich o średniej i wysokiej entropii (ang. *high-entropy alloys*, HEA),
- materiałami gradientowymi (ang. *functionally graded materials*, FGM), stosowanymi m.in. do aktywnej kontroli hałasu.
- We współpracy z przemysłem lotniczym Politechnika Śląska prowadzi badania nad:
- zaawansowanymi technikami kształtowania elementów z żarowytrzymałych i żaroodpornych nadstopów niklu z wykorzystaniem metody hydroformingu,
- spawaniem i napawaniem nowoczesnych stopów metali lekkich w celu określenia możliwości ich łączenia, regeneracji i naprawy wad powstałych w procesie odlewniczym,
- zastosowaniem technologii laserowych, zgrzewania z mieszaniem w stanie stałym (ang. *friction stir welding*, FSW) oraz nowoczesnych procesów klejenia.

Materiały i technologie opracowywane przez naukowców Politechniki Śląskiej wykraczają poza obecnie znane i stosowane rozwiązania, co stwarza szerokie możliwości wpływu na światową naukę i kształtowanie przyszłych trendów w obszarze technologii materiałowych.

Kluczowe podmioty działające na rzecz rozwoju technologii lotniczych i przemysłu kosmicznego

WB Centrum Kompozytów Sp. z o.o. (założona w 2012 r.) pełni rolę ośrodka innowacyjności, oferując usługi w zakresie rozwoju i produkcji struktur kompozytowych w technologii autoklawowej. Firma posiada laboratorium badań materiałów oraz infrastrukturę technologiczną wspierającą klientów na każdym etapie procesu – od projektowania po produkcję gotowych elementów. Główna działalność spółki obejmuje wytwarzanie lekkich struktur kompozytowych w technologii autoklawowej oraz paneli strukturalnych do statków kosmicznych z poszyciem CFRP i z blachy aluminiowej do produkcji statków kosmicznych i powietrznych.

Misją spółki jest wdrożenie technologii autoklawowej stosowanej w lotnictwie – także do innych sektorów – m.in. motoryzacyjnego, jachtowego, kolejowego oraz jej wykorzystanie w produkcji elementów turbin wiatrowych – wszędzie tam, gdzie niezbędne jest połączenie optymalnych parametrów mechanicznych i użytkowych struktury lub jej elementów z zachowaniem bezpieczeństwa końcowego użytkownika.

Flytronic SA jest wiodącym polskim ośrodkiem, w którym są projektowane i produkowane specjalistyczne bezzałogowe systemy powietrzne. Prowadzone w firmie badania przemysłowe i prace rozwojowe w zakresie elektroniki, informatyki oraz mechaniki lotniczej charakteryzują się innowacyjnością na skalę światową. W GRUPIE WB spółka pełni funkcję ośrodka badawczo-rozwojowego w dziedzinie systemów obserwacyjno-rozpoznawczych opartych na bezzałogowych platformach latających. Spółka prowadzi unikalną w skali światowej działalność w następujących obszarach:

- projektowanie i produkcja bezzałogowych platform latających,
- projektowanie i programowanie systemów kontroli i sterowania lotem,
- projektowanie i programowanie systemów transmisji danych,
- projektowanie i produkcja głowic obserwacyjnych.

KP Labs Sp. z o.o jest spółką new space, której celem jest przyspieszenie eksploracji kosmosu przez rozwój autonomicznej obsługi misji kosmicznych oraz technologii robotycznej. Firma jest kompleksowym dostawcą oferującym zintegrowany pakiet sprzętu, oprogramowania i algorytmów opracowanych we własnym zakresie do przetwarzania danych na pokładzie satelitów. Obecnie KP Labs realizuje ponad 25 projektów dla ESA, NASA i podmiotów prywatnych, aktywnie uczestnicząc w misjach kosmicznych w ramach międzynarodowych konsorcjów. Firma zatrudnia około 80 specjalistów i posiada status Centrum Badawczo-Rozwojowego nadany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

10.1.3.4. Identyfikacja możliwości pojawienia się substytutów dla rozwijanych technologii, produktów, usług

Identyfikacja istniejących barier wejścia na rynek nowych technologii

Wejście na rynek nowych technologii w przemyśle lotniczo-kosmicznym na Śląsku, podobnie jak w innych wysoko zaawansowanych sektorach, napotyka na liczne bariery, które mogą znacznie utrudniać rozwój nowych podmiotów. Przemysł lotniczy i kosmiczny charakteryzuje się wysokimi wymaganiami technologicznymi, rygorystycznymi normami jakości oraz długim cyklem rozwoju i certyfikacji produktów, co stanowi istotne wyzwanie dla nowych firm i instytucji badawczych. Główne bariery wejścia na rynek to¹⁰⁴:

- Wysokie wymagania kapitałowe: rozpoczęcie działalności w tym sektorze wymaga znacznych nakładów finansowych na zakup specjalistycznego sprzętu, budowę infrastruktury oraz inwestycje na badania i rozwój. Koszty te mogą stanowić istotną przeszkodę dla nowych firm.
- Dostęp do zaawansowanych technologii i know-how: branża lotniczo-kosmiczna opiera się na zaawansowanych technologiach oraz specjalistycznej wiedzy, które często są chronione patentami i tajemnicą handlową. Nowe firmy muszą inwestować w rozwój własnych technologii lub pozyskiwać odpowiednich ekspertów, co może być czasochłonne i kosztowne.
- Bariery regulacyjne i certyfikacyjne: przemysł lotniczo-kosmiczny podlega ścisłym regulacjom prawnym krajowym i międzynarodowym dotyczącym bezpieczeństwa, jakości oraz ochrony środowiska. Spełnienie tych wymogów może być skomplikowane i kosztowne dla nowych podmiotów.
- Konkurencja ze strony ugruntowanych na rynku firm: działają już duże przedsiębiorstwa z uznaną pozycją, które dysponują znacznymi zasobami finansowymi, technologicznymi oraz rozwiniętymi sieciami dystrybucji. Nowe firmy muszą konkurować z nimi, co może być trudne bez odpowiedniego wsparcia i strategii.

¹⁰⁴ Oprac. na podst. konsultacji z ekspertami branżowymi.

- Dostęp do finansowania i inwestorów: mimo rosnącego zainteresowania inwestorów sektorem kosmicznym, pozyskanie finansowania na wczesnym etapie rozwoju firmy może być wyzwaniem. Inwestorzy często obawiają się długiego okresu zwrotu z inwestycji oraz wysokiego ryzyka związanego z nowymi technologiami.

Wszystkie wymienione bariery sprawiają, że rozwój nowych technologii w przemyśle lotniczo-kosmicznym wymaga ścisłej współpracy między sektorem publicznym, uczelniami technicznymi i podmiotami prywatnymi. Kluczowe znaczenie ma dostęp do finansowania z funduszy krajowych i europejskich, tworzenie wspólnych centrów badawczo-rozwojowych oraz prowadzenie polityki wspierającej innowacyjne start-upy i spin-offy technologiczne.

Identyfikacja podmiotów (np. start-upów) wprowadzających przełomowe lub nowe rozwiązania i technologie zastępujące te dotychczas stosowane lub wdrażane

Na Śląsku działają podmioty wprowadzające innowacyjne technologie w przemyśle lotniczo-kosmicznym, np. WB Centrum Kompozytów Sp. z o.o. czy Flytronic SA. Poniżej przedstawiono przykładowe produkty/usługi oferowane przez te firmy:

- Bezzałogowy System Powietrzny FT5 (Flytronic SA):

FT5 to nowatorska konstrukcja charakteryzująca się prostą logistyką i obsługą, a jednocześnie długotrwałością lotu. Bezzałogowy System Powietrzny FT5 posiada dwusilnikową konstrukcję znacznie zwiększającą niezawodność i tym samym gwarancję wykonania misji. FT5 może być wyposażony w głowice optoelektroniczne, sensory COMINT/ELINT, detektory rozpoznawania skażeń, a także w uzbrojenie. System FT5 może być wykorzystywany do:

- misji wywiadowczych,
- obserwacji pola walki,
- konwojowania,
- monitorowania skutków katastrof,
- patrolowania granic państw.

Modułowa konstrukcja FT5 ułatwia transport. Gotowość do startu osiągana jest ciągu około 30 min. Zastosowana technologia zapewnia w pełni autonomiczny start oraz lądowanie.

Bezzałogowy System Powietrzny FT5 jest platformą nośną, standardowo wyposażoną w głowice optoelektroniczne (obserwacyjne), lekkie systemy rozpoznawania radioelektronicznego i sensory rozpoznawania skażeń. Dwie kamery Bezzałogowego Systemu Powietrznego FT5 w głowicy (kamera światła dziennego i termowizyjna) umożliwiają obserwację terenu w dwóch zakresach pasma. W zależności od zastosowania istnieje możliwość modyfikacji wyposażenia systemu zgodnie z indywidualnymi potrzebami. Rozwiązanie to jest kolejnym produktem, po cieszącym się dużym zainteresowaniem systemie bezzałogowym FlyEye, w ofercie GRUPY WB z zakresu bezzałogowych systemów powietrznych.

WB Centrum Kompozytów Sp. z o.o., świadczy usługi badawczo-rozwojowe na rzecz przedsiębiorców w obszarze wdrażania i wytwarzania struktur z zaawansowanych kompozytów dla nowoczesnego przemysłu – wszędzie tam, gdzie jest konieczne zastosowanie lekkich i jednocześnie wytrzymałych materiałów – czyli przede wszystkim dla lotnictwa (samolotów, szybowców i dronów) oraz przemysłu kosmicznego. Infrastrukturę technologiczną Centrum można podzielić na dwie podstawowe jednostki, tj. laboratorium struktur kompozytowych, które zajmuje się projektowaniem i wytwarzaniem kompletnych struktur kompozytowych dla przemysłu oraz laboratorium badań materiałów, którego zakres prac badawczych obejmuje próby statyczne i zmęczeniowe kompletnych konstrukcji lub ich elementów. Stosowane technologie to: TD 20 Structures & Pyrotechnics, TD 24 Material & Processes, TD 25 Quality, Dependability and Safety.

Choć wymienione podmioty nie są start-upami, odgrywają kluczową rolę we wprowadzaniu innowacyjnych technologii zastępujących tradycyjne rozwiązania w przemyśle lotniczo-kosmicznym na Śląsku.

Identyfikacja technologii zastępujących te dotychczas rozwijane

W przemyśle lotniczo-kosmicznym na Śląsku obserwuje się dynamiczny rozwój nowoczesnych technologii, które zastępują tradycyjne rozwiązania. Kluczową rolę w tym procesie odgrywa WB Centrum Kompozytów Sp. z o.o. Firma specjalizuje się w projektowaniu i wytwarzaniu zaawansowanych struktur kompozytowych, głównie dla przemysłu lotniczego i kosmicznego. Zastosowanie kompozytów pozwala na tworzenie lżejszych i jednocześnie wytrzymałych elementów konstrukcyjnych, co stanowi nowoczesną alternatywę dla tradycyjnych materiałów.

WB Centrum Kompozytów Sp. z o.o. jest obecnie jedynym w Polsce kwalifikowanym dostawcą struktur kompozytowych dla przemysłu kosmicznego. Firma uczestniczyła w realizacji kontraktów na produkcję paneli strukturalnych dla satelitów telekomunikacyjnych oraz brała udział w projektowaniu i wytwarzaniu modułu ogniskowej dla misji ATHENA (ang. *Advanced Telescope for High Energy Astrophysics*).

Innym istotnym podmiotem w regionie jest KP Labs Sp. z o.o. specjalizująca się w rozwijaniu technologii związanych z przetwarzaniem danych na pokładzie satelitów oraz autonomiczną obsługą misji kosmicznych. Ich innowacyjne podejście do analizy danych w czasie rzeczywistym zastępuje tradycyjne metody przetwarzania informacji, zwiększając efektywność i niezawodność systemów kosmicznych. Firma jest zaangażowana w projekt budowy satelity Intuition-1. Celem tej misji jest prowadzenie obserwacji Ziemi z wykorzystaniem instrumentu hiperspektralnego oraz zaawansowanego przetwarzania danych na pokładzie, opartego na głębokich sieciach neuronowych. Intuition-1 będzie pierwszym na świecie satelitą o takiej mocy przetwarzania, co pozwoli na segmentację obrazów hiperspektralnych bezpośrednio na orbicie.

Inne projekty rozwojowe realizowane przez KP Labs obejmują m.in. innowacyjne systemy, takie jak Antelope (nowoczesny komputer pokładowy) oraz Leopard (jednostka przetwarzania danych). To technologie, które korzystają z zaawansowanej sztucznej inteligencji i algorytmów uczenia maszynowego. Odgrywają one kluczową rolę w rozwoju misji satelitarnych. Komputer pokładowy Antelope zwiększa niezawodność i efektywność operacyjną satelitów, zarządzając ich funkcjami w trudnych warunkach kosmicznych, gdy Leopard przetwarza dane na orbicie, co pozwala na szybsze i dokładniejsze reagowanie na zmiany środowiskowe obserwowane z Ziemi.

Dzięki takim inicjatywom Śląsk staje się ważnym ośrodkiem innowacji w dziedzinie nowoczesnych technologii lotniczo-kosmicznych, zastępując tradycyjne metody produkcji bardziej zaawansowanymi i efektywnymi rozwiązaniami.

10.1.3.5. Identyfikacja zależności i łańcuchów wartości rozwoju technologii w ramach obszaru technologii**Identyfikacja podmiotów rywalizujących oraz współpracujących z regionalnymi dostawcami technologii**

Woj. śląskie staje się coraz ważniejszym ośrodkiem rozwoju technologii lotniczych i kosmicznych w Polsce. W regionie działa wiele podmiotów, które nie tylko współpracują w zakresie innowacji, ale również rywalizują na rynkach – krajowym i międzynarodowym. Identyfikacja firm zarówno współpracujących, jak i konkurencyjnych, pozwala lepiej zrozumieć dynamikę rynku oraz mechanizmy wspierające rozwój sektora. Kluczowe znaczenie ma integracja przemysłu, uczelni oraz centrów badawczo-rozwojowych, co sprzyja wdrażaniu nowoczesnych technologii i zwiększa konkurencyjność regionu. Taką współpracę prowadzi np. firma SkyDream Sp. z o. o. – przedstawiciel firmy Pipistrel – światowego lidera w produkcji ultralekkich samolotów. Rozwijając swoją działalność nawiązała współpracę z firmą JMB Aircraft, uzyskując wyłączną dystrybucję modelu VL-3 w Polsce. Niedługo po tym w ofercie firmy znalazły się również produkty prestiżowego producenta samolotów Bristell. Do tej pory na polski rynek zostało wprowadzonych już ponad 100 nowych samolotów, co jest kluczowe dla popularyzacji nowoczesnych statków powietrznych w Polsce. Firma prowadzi aktywną współpracę z innymi regionalnymi podmiotami z branży lotniczej, szczególnie w obszarze technologii i innowacji.

W woj. śląskim firmy z branży lotniczej często współpracują ze sobą w celu lepszego dostosowania się do potrzeb rynku i reagowania na dynamicznie zmieniające się wymagania technologiczne. Rywalizacja odbywa się natomiast głównie na poziomie ponadregionalnym – kluczowymi konkurentami są podmioty z innych województw oraz zagraniczne firmy, szczególnie z Czech, Niemiec i Republiki Południowej Afryki.

Analiza podmiotów współpracujących i konkurujących w obszarze technologii lotniczo-kosmicznych w woj. śląskim wskazuje na silne powiązania między przedsiębiorstwami a sektorem naukowym i badawczo-rozwojowym. Firmy działające w regionie wykazują dużą otwartość na współpracę, co sprzyja transferowi technologii i wdrażaniu innowacyjnych rozwiązań. Jednocześnie konkurencja na poziomie ponadregionalnym oraz międzynarodowym motywuje podmioty do stałego podnoszenia jakości oferowanych technologii i produktów. Dalszy rozwój tego sektora w woj. śląskim będzie uzależniony od skutecznej współpracy między przedsiębiorstwami, uczelniami i instytucjami badawczymi oraz od zdolności firm do konkurowania na rynkach międzynarodowych.

Identyfikacja czynników zakłócających i wspierających rozwój technologii w ramach obszaru technologicznego

W woj. śląskim funkcjonuje dynamicznie rozwijający się ekosystem przedsiębiorstw i instytucji zaangażowanych w sektor lotniczo-kosmiczny. Według danych Polskiej Agencji Kosmicznej (POLSA), polskie firmy działają w takich obszarach, jak: robotyka, automatyka, mechatronika, systemy zasilania urządzeń pokładowych, systemy optyczne i komunikacyjne dla satelitów oraz oprogramowanie testujące systemy i podsystemy obiektów wynoszonych na orbitę. Na Śląsku są obecne podmioty, które uczestniczą w tych segmentach rynku – zarówno jako dostawcy technologii, jak i konkurenci – co wpływa na rozwój i konkurencyjność branży w regionie.

Istotnym czynnikiem wspierającym rozwój technologii lotniczo-kosmicznych są klastry lotnicze, które umożliwiają współpracę między firmami, jednostkami badawczymi i uczelniami. W woj. śląskim są podejmowane inicjatywy tego typu, integrujące podmioty w zakresie transferu wiedzy, innowacji oraz wdrażania nowych technologii. Klastry sprzyjają nie tylko efektywnej kooperacji, ale również stymulują konkurencję, co wpływa na poprawę jakości i innowacyjności rozwijanych rozwiązań.

Podsumowując, rozwój sektora lotniczo-kosmicznego w woj. śląskim zależy od szeregu czynników, które mogą zarówno sprzyjać jego ekspansji, jak i stanowić bariery dla dalszego wzrostu. Klastry i współpraca międzysektorowa odgrywają kluczową rolę w przyspieszaniu innowacji i wdrażaniu nowych rozwiązań technologicznych. Jednocześnie rywalizacja na poziomie krajowym i międzynarodowym, dostęp do wykwalifikowanych kadr oraz infrastruktury badawczej stanowią istotne czynniki determinujące tempo rozwoju branży. W tabeli 10.5 przedstawiono czynniki wspierające i zakłócające rozwój technologii w woj. śląskim.

Tabela 10.2. Czynniki wspierające i zakłócające rozwój technologii lotniczo-kosmicznych

Czynniki wspierające	Czynniki zakłócające
Dostęp do wykwalifikowanej kadry: obecność uczelni technicznych i instytutów badawczych w regionie sprzyja kształceniu specjalistów w dziedzinie inżynierii lotniczej i kosmicznej	Brak koordynacji i strategii: niedostateczna koordynacja działań oraz brak spójnej strategii rozwoju sektora kosmicznego w Polsce mogą prowadzić do rozproszenia działań i niewykorzystania dostępnych zasobów
Infrastruktura przemysłowa: Śląsk, z uwagi na swoje przemysłowe dziedzictwo, dysponuje rozwiniętą infrastrukturą, która może być zaadaptowana do potrzeb sektora lotniczo-kosmicznego	Ograniczone środki finansowe: niski poziom inwestycji w badania i rozwój w porównaniu z innymi krajami może hamować innowacyjność i rozwój nowych technologii
Wsparcie instytucjonalne: członkostwo Polski w Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA) oraz działalność Polskiej Agencji Kosmicznej (POLSA) umożliwia lokalnym firmom i instytucjom udział w międzynarodowych projektach kosmicznych	Niedostateczna współpraca międzysektorowa: ograniczona współpraca między przemysłem, uczelniami a instytucjami rządowymi może prowadzić do niewykorzystania potencjału regionu w zakresie technologii lotniczo-kosmicznych
Dostęp do funduszy europejskich: programy, takie jak Horyzont Europa, oferują finansowanie dla projektów badawczo-rozwojowych w dziedzinie technologii kosmicznych	–

Oprac. na podst. konsultacji z ekspertami branżowymi.

Mimo zdefiniowanych wyzwań, sektor lotniczo-kosmiczny w woj. śląskim stopniowo zwiększa swoją konkurencyjność na arenie międzynarodowej.

10.1.3.6. Presja konkurencji na rynku wdrażania technologii

Charakter rynku w obszarze technologicznym, z uwzględnieniem istniejącej konkurencji

Sektor lotniczo-kosmiczny odgrywa istotną rolę w polskiej gospodarce, co wynika z długoletniej tradycji lotniczej, uznanej na arenie międzynarodowej jakości produktów, konkurencyjnych kosztów produkcji oraz rozwiniętego systemu edukacji i szkoleń.

W woj. śląskim obserwuje się intensywną współpracę między przedsiębiorstwami zajmującymi się produkcją i dystrybucją szybowców, samolotów lekkich i ultralekkich. Kooperacja ta dotyczy zarówno obszaru materiałowego, jak i kapitału ludzkiego. Zidentyfikowanymi silnymi konkurentami są podmioty zagraniczne, głównie z Czech i Niemiec. Istotnym czynnikiem konkurencyjnym jest ponadto działalność stowarzyszenia przedsiębiorców przemysłu lotniczego Dolina Lotnicza, które zrzesza ponad 200 podmiotów i stanowi silny ośrodek przemysłu lotniczego w południowo-wschodniej Polsce.

Charakter współpracy z przedsiębiorstwami we wdrażaniu technologii

Wdrażanie technologii w woj. śląskim jest oparte na współpracy przedsiębiorstw z sektorem naukowo-badawczym oraz organizacjami branżowymi. Region ten, dzięki rozwiniętemu przemysłowi i zapleczu badawczo-rozwojowemu, aktywnie uczestniczy w krajowych i międzynarodowych inicjatywach technologicznych podejmowanych w obszarze przemysłu lotniczego i kosmicznego.

Ministerstwo Rozwoju i Technologii, we współpracy z Polską Agencją Kosmiczną oraz organizacjami branżowymi, opracowało Krajowy Program Kosmiczny na lata 2023–2027. Program ten ma na celu wsparcie przedsiębiorstw w sektorze kosmicznym, w tym finansowanie prac badawczo-rozwojowych oraz wdrożeń z zakresu kluczowych technologii. Jego istotnym elementem jest rozwój kadr przez zwiększanie liczby absolwentów kierunków technicznych, co ma być osiągnięte m.in. dzięki kształceniu dualnemu oraz kierunkom zamawianym, dostosowanym do potrzeb sektora.

W Polsce w październiku 2022 r. powstało Centrum Inkubacji Przedsiębiorczości ESA (ESA BIC), które wspiera rozwój start-upów związanych z przemysłem i usługami kosmicznymi. Choć jego siedziba znajduje się w Warszawie i Rzeszowie, inicjatywa ta może również stanowić impuls dla przedsiębiorstw z woj. śląskiego do angażowania się w projekty kosmiczne.

Współpraca w regionie śląskim koncentruje się na integracji potencjału przemysłowego z zapleczem naukowym, co sprzyja tworzeniu innowacyjnych rozwiązań w przemyśle lotniczo-kosmicznym. Dzięki temu przedsiębiorstwa z tego obszaru mają szansę na aktywny udział w międzynarodowych projektach oraz włączanie się w globalne łańcuchy dostaw sektora kosmicznego.

Przykłady dobrych i złych praktyk w kontekście komercjalizacji i wdrażania technologii

Komercjalizacja i wdrażanie technologii lotniczych to proces, który wymaga odpowiedniej strategii, odpowiedniego podejścia i najlepszych praktyk. Dla technologii lotniczych można wskazać zarówno dobre, jak i złe praktyki, które mają kluczowe znaczenie:

Dobre praktyki w komercjalizacji technologii lotniczo-kosmicznych obejmują:

- strategiczną współpracę z ośrodkami badawczo-rozwojowymi, która umożliwia efektywne wykorzystywanie wyników badań i ich wdrażanie do przemysłu,
- dbałość o zrównoważony rozwój i inwestycje na innowacje, co wiąże się z prowadzeniem badań nad nowymi materiałami oraz technologiami produkcyjnymi zwiększającymi konkurencyjność regionu,
- wdrożenie systemów certyfikacji i norm jakości, co gwarantuje spełnienie międzynarodowych standardów, a to ułatwia ekspansję na zagraniczne rynki.

Złe praktyki, które mogą ograniczać rozwój technologii to:

- brak współpracy między sektorem prywatnym a nauką, co ogranicza możliwość wdrażania nowych rozwiązań,

- niedostateczna infrastruktura badawcza i technologiczna, która może utrudniać testowanie i certyfikację nowych technologii,
- nieadekwatne strategie komercjalizacyjne, takie jak nieuwzględnianie wymagań rynku, co może prowadzić do trudności we wdrażaniu innowacyjnych rozwiązań.

Kluczem do sukcesu jest połączenie innowacyjności z odpowiednim podejściem do bezpieczeństwa, rynku oraz współpracy między różnymi podmiotami w regionie.

Podaż i popyt prac B + R + I oraz ich wyników

Przemysł lotniczo-kosmiczny na Śląsku odgrywa istotną rolę w krajowej gospodarce, a prace badawczo-rozwojowe i innowacyjne (B + R + I) są kluczowe dla jego rozwoju. Popyt na tego rodzaju prace wynika z potrzeby wdrażania nowoczesnych technologii oraz utrzymywania konkurencyjności na rynkach międzynarodowych.

Na Śląsku funkcjonują przedsiębiorstwa i instytucje naukowe (np. Politechnika Śląska) działające w sektorze lotniczo-kosmicznym. Podmioty te identyfikują potrzeby branży, przyczyniają się do rozwoju kompetencji (m.in. przez system edukacji i rynek pracy) oraz wspierają współpracę w ramach sektora, np. przez Śląski Klaster Lotniczy.

Na podaż prac B+R+I w regionie ma wpływ obecność uczelni technicznych oraz instytutów badawczych (np. Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych Polskiej Akademii Nauk), które kształcą specjalistów w dziedzinach związanych z przemysłem lotniczo-kosmicznym. Współpraca między sektorem edukacji a przemysłem umożliwia realizację projektów badawczych oraz transfer wiedzy i technologii.

Prace B+R+I dla przemysłu lotniczo-kosmicznego na Śląsku obejmują m.in. rozwój nowoczesnych technologii, takich jak druk 3D komponentów z metali, wdrażanie innowacyjnych rozwiązań w silnikach i przekładniach lotniczych oraz tworzenie oprogramowania do sterowania silnikami.

Na Śląsku istnieje znaczący potencjał w zakresie prac B+R+I w przemyśle lotniczo-kosmicznym, wynikający ze współpracy między przedsiębiorstwami, instytucjami badawczymi oraz jednostkami edukacyjnymi. Kontynuacja i intensyfikacja tych działań przyczyniają się do dalszego rozwoju sektora oraz wzrostu jego konkurencyjności na arenie międzynarodowej.

Podsumowanie

Rozwój technologii w sektorze lotniczo-kosmicznym w woj. śląskim zależy od wielu czynników, w tym od warunków popytu, potencjału technologicznego regionu oraz możliwości pojawienia się nowych technologii substytucyjnych. Kluczowe znaczenie mają również zależności wynikające z łańcucha wartości oraz intensywność rywalizacji między podmiotami działającymi w branży. Woj. śląskie charakteryzuje się wysokim poziomem współpracy między przedsiębiorstwami oraz instytucjami badawczo-rozwojowymi, a także rosnącym zainteresowaniem ze strony podmiotów zagranicznych i krajowych.

Tabela 10.3. Podsumowanie analizy pięciu sił Portera dla obszaru technologicznego technologie lotnicze i przemysł kosmiczny

Pięć sił Portera	Charakterystyka
Warunki popytu na technologie	• Firmy wdrażające nowe technologie oraz współpracujące z regionalnymi dostawcami technologii: WB Centrum Kompozytów Sp. z o.o., Flytronic SA, KP Labs Sp. z o.o. • Trendy w branży LOT-KOS, np. szybki rozwój materiałów i komponentów, rozwój technologii napędów elektrycznych i wodorowych, rozwój automatyzacji, robotyzacji oraz cyfryzacji, zmiany w organizacji i przebiegu procesów w wyniku zwiększenia świadomości środowiskowej, produkcji, rosnące możliwości wykorzystania zbiorów danych, upowszechnienie się wirtualnej kontroli lotów bezzałogowych w ramach koncepcji U-Space, wzrost możliwości stosowania w wielu dziedzinach gospodarki usług opartych na nawigacji i obserwacji satelitarnej, rozwój miejskiej mobilności powietrznej. • Branże gospodarki rozwijające obszar technologiczny: produkcja statków powietrznych i kosmicznych, technologie napędu, drony i bezzałogowe systemy powietrzne, big data i sztuczna inteligencja, nauka i technologie materiałowe, cyfryzacja i technologie komunikacyjne, recykling i zrównoważony rozwój w lotnictwie i kosmonautyce.

Pięć sił Portera	Charakterystyka
	- W przemyśle lotniczo-kosmicznym popyt na innowacyjne technologie, produkty i usługi jest napędzany przez potrzebę poprawy efektywności operacyjnej, zrównoważonego rozwoju, bezpieczeństwa, autonomizacji oraz dostosowania się do zaostrzających się norm środowiskowych i regulacji. - Największą konkurencję dla firm, które działają na terenie woj. śląskiego mogą stanowić podmioty zagraniczne.
Potencjał technologiczny regionu	- Wyróżniający się potencjał w obszarze B + R + I w porównaniu do innych regionów w kraju i UE: rosnąca tendencja prowadzenia przez firmy prac badawczo-rozwojowych, istnienie klastra lotniczego, który wspiera swoich członków w zakresie B + R + I, Bielski Park Technologiczny Lotnictwa koncentrujący się na wspieraniu rozwoju dziedzin związanych z lotnictwem, przedsiębiorczością i innowacjami, członkostwo w Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA) pozwalające polskim firmom i naukowcom na pełne uczestnictwo w licznych europejskich programach i misjach kosmicznych, utworzenie Polskiej Agencji Kosmicznej (POLSA), która ma na celu wspieranie badań i rozwoju nowych technologii kosmicznych, istnienie Klastra Technologii Kosmicznych, który dołączył do ekosystemu Idei 3W – celem rozwoju technologii kosmicznych - oraz upowszechnianie innowacyjnych rozwiązań. - Posiadanie szerokiej wiedzy przez pracowników naukowych Katedry Transportu Lotniczego Politechniki Śląskiej z różnych obszarów lotnictwa – prowadzenie badań nad ultralekkimi i wysoko odpornymi materiałami w konstrukcjach lotniczych. - Kluczowe podmioty działające na rzecz rozwoju technologii lotniczych i przemysłu kosmicznego: WB Centrum Kompozytów Sp. z o.o., Flytronic SA, KP Labs Sp. z o.o.
Możliwość pojawienia się nowych technologii (substytutów)	- Istniejące bariery wejścia na rynek nowych technologii: wysokie wymagania kapitałowe, dostęp do zaawansowanych technologii i know-how, bariery regulacyjne i certyfikacyjne, konkurencja ze strony ugruntowanych na rynku firm, dostęp do finansowania i inwestorów. - Podmioty wprowadzające innowacyjne technologie w przemyśle lotniczo-kosmicznym na Śląsku: Flytronic SA (projektowanie i produkcja specjalistycznych bezzałogowych systemów powietrznych), WB Centrum Kompozytów Sp. z o.o. (badania i rozwój zaawansowanych struktur kompozytowych dla nowoczesnego przemysłu), Śląski Kłaster Lotniczy, którego celem jest wspieranie współpracy i innowacji w sektorze lotniczym w regionie. - Technologie zastępujące dotychczas rozwijane technologie: projektowanie i wytwarzanie zaawansowanych struktur kompozytowych (WB Centrum Kompozytów Sp. z o.o.), głównie dla przemysłu lotniczego i kosmicznego. Zastosowanie kompozytów pozwala na tworzenie lżejszych i jednocześnie wytrzymałych elementów konstrukcyjnych, co stanowi nowoczesną alternatywę dla tradycyjnych materiałów.
Zależności i łańcuchy wartości rozwoju technologii	- W przypadku woj. śląskiego firmy z branży lotniczej współpracują ze sobą, aby móc odpowiedzieć na sygnały/potrzeby wychodzące z rynku. Rywalizacja odbywa się na poziomie ponadregionalnym – podmioty zlokalizowane w innych województwach Polski (np. Stowarzyszenie Grupy Przedsiębiorców Przemysłu Lotniczego „Dolina Lotnicza” – stowarzyszenie przedsiębiorców przemysłu lotniczego z południowo-wschodniej Polski) lub zagranicą (np. Czechy, Niemcy, RPA). - Czynniki wspierające rozwój technologii lotniczo-kosmicznych: dostęp do wykwalifikowanej kadry, infrastruktura przemysłowa, wsparcie instytucjonalne, dostęp do funduszy europejskich. - Czynniki zakłócające rozwój technologii lotniczo-kosmicznych: brak koordynacji i strategii, ograniczone środki finansowe, niedostateczna współpraca międzysektorowa.
Intensywność rywalizacji między konkurentami	- W woj. śląskim jest rozwinięta współpraca między producentami/ dystrybutorami specjalizującymi się np. w szybowcach, samolotach lekkich i ultralekkich, w obszarze zarówno materiałowym, jak i zasobów ludzkich. Z kolei konkurencja występuje w postaci podmiotów zagranicznych, np. z Czech lub Niemiec oraz Dolina Lotnicza działająca w południowo-wschodniej Polsce, która zrzesza ponad 200 członków. - W przypadku technologii lotniczych dobre praktyki to: współpraca strategiczna z ośrodkami badawczo-rozwojowymi, dbałość o zrównoważony rozwój oraz inwestycje w innowacje i infrastrukturę. Złe praktyki to: unikanie współpracy między sektorami, zaniedbywanie standardów certyfikacji, niedostateczna infrastruktura i brak odpowiedniej strategii komercjalizacji. - Śląski przemysł lotniczo-kosmiczny odgrywa istotną rolę w krajowej gospodarce, a prace badawczo-rozwojowe i innowacyjne (B + R + I) są kluczowe dla jego rozwoju. Popyt na tego rodzaju prace wynika z potrzeby wdrażania nowoczesnych technologii oraz utrzymywania konkurencyjności na rynkach międzynarodowych. - Wyniki prac B + R + I z obszaru lotniczo-kosmicznego na Śląsku obejmują rozwój nowoczesnych technologii, takich jak druk 3D komponentów z metali, wdrażanie innowacyjnych rozwiązań w silnikach i przekładniach lotniczych oraz tworzenie oprogramowania do sterowania silnikami. - W woj. śląskim współpraca w zakresie wdrażania technologii w przemyśle lotniczo-kosmicznym jest oparta na współpracy między przedsiębiorstwami, instytucjami naukowymi oraz organizacjami branżowymi. Woj. śląskie jest znane z rozwiniętego przemysłu i zaplecza badawczo-rozwojowego, aktywnie uczestniczy w krajowych i międzynarodowych inicjatywach kosmicznych.

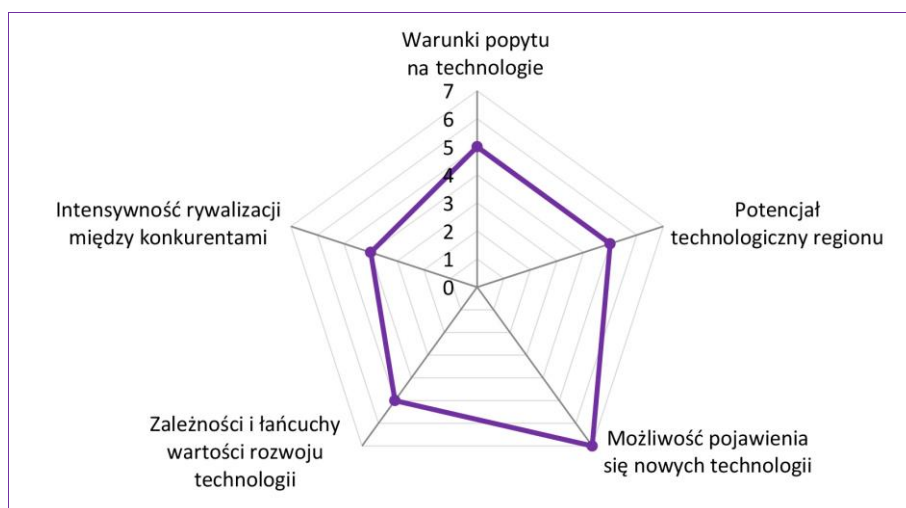
Analiza rynku technologii lotniczo-kosmicznych w woj. śląskim wskazuje na dynamiczny rozwój oraz istotne szanse wynikające z popytu na innowacyjne produkty i usługi. Wzrost znaczenia technologii napędów elektrycznych i wodorowych, automatyzacji, cyfryzacji oraz big data wpływa na kierunki rozwoju sektora. Istotnym atutem regionu jest obecność kluczowych firm wdrażających nowoczesne technologie, takich jak WB Centrum Kompozytów, Flytronic czy KP Labs.

Potencjał technologiczny woj. śląskiego jest wspierany przez instytucje badawcze oraz organizacje branżowe, takie jak: Politechnika Śląska czy Bielski Park Technologiczny Lotnictwa. Czynnikiem sprzyjającym innowacjom jest członkostwo Polski w ESA oraz istnienie Klastra Technologii Kosmicznych.

Mimo dużego potencjału rynek technologii lotniczo-kosmicznych napotyka istotne bariery wejścia, takie jak wysokie koszty inwestycyjne, dostęp do zaawansowanych technologii, restrykcyjne regulacje oraz trudności w pozyskiwaniu finansowania. Dodatkowym wyzwaniem jest silna konkurencja zagranicznych podmiotów, zwłaszcza z Czech i Niemiec, a także krajowych organizacji, takich jak Dolina Lotnicza.

W woj. śląskim jest rozwijana szeroka współpraca między producentami i dystrybutorami specjalizującymi się w szybowcach, samolotach lekkich oraz ultralekkich. Rozwój nowoczesnych technologii, takich jak zaawansowane struktury kompozytowe, otwiera nowe możliwości dla przemysłu.

Podsumowując, woj. śląskie ma bardzo duży potencjał rozwojowy w obszarze technologii lotniczo-kosmicznych, który może być efektywnie wykorzystany dzięki dalszej współpracy sektora naukowego i przemysłowego, a także wprowadzenia skutecznych strategii komercjalizacji innowacji. Dalsze inwestycje w obszarze B+R+I, rozwój infrastruktury oraz dostosowanie się do globalnych trendów pozwolą na wzmocnienie pozycji regionu w sektorze lotniczo-kosmicznym zarówno w Polsce, jak i na arenie międzynarodowej.



Rys. 10.1. Ocena pięciu sił Portera dla obszaru technologicznego technologii lotniczych i przemysł kosmiczny; oprac. na podst. konsultacji z ekspertami z branży

10.2. Uwarunkowania rozwoju obszaru technologicznego – analiza PESTEL

Analiza PESTEL pozwoliła na dokonanie oceny środowiska makroekonomicznego i jego wpływu na rozwój obszaru technologicznego technologii lotniczych i przemysł kosmiczny. W porównaniu z klasyczną analizą PEST, która skupia się tylko na politycznych, ekonomicznych, społecznych i technologicznych aspektach, PESTEL uwzględnia dodatkowo środowisko i prawo, co w przypadku tego sektora odgrywa istotną rolę. Wszystkie czynniki zostały zestawione w tabeli 10.3.

Tabela 10.4. Identyfikacja wyzwań i działań; oprac. na podst. (Badanie, 2022; Raport, 2023a, 2023b)

Obszar analizy	Nazwa czynnika	Charakter czynnika
Polityczny	brak koordynacji działań IP zaangażowanych w realizację i finansowanie polityki kosmicznej	–
	udział jednostek samorządu terytorialnego w kształtowaniu lokalnej polityki rozwoju z uwzględnieniem transportu lotniczego	0
	implementacja europejskiego prawa, liberalizacja gospodarcza	0
Ekonomiczny	wpływ firm na przepisy dotyczące branży lotniczej kształtowane przez Urząd Lotnictwa Cywilnego	+
	integracja z rynkiem globalnym (korzystanie z międzynarodowej współpracy i dostępu do	+

Obszar analizy	Nazwa czynnika	Charakter czynnika
Społeczny	zagranicznych inwestycji oraz źródeł finansowania)	+
	rosnące możliwości wykorzystania dużych zbiorów danych w celu optymalizacji procesów biznesowych	+
	rozwój potencjału w krajach o niższych kosztach pracy/produkcji, będących jednocześnie dużymi odbiorcami produktów przemysłu lotniczo-kosmicznego	–
	ograniczenie dostępności i wzrost cen kluczowych zasobów wykorzystywanych w przemyśle lotniczym i kosmicznym	–
	finansowanie modernizacji i budowy infrastruktury transportowej	+
Technologiczny	wzrost zainteresowania turystyką zagraniczną/emigracja zarobkowa/podróż służbowe (mobilność, zmiana stylu życia)	+
	rosnący stopień zainteresowania kierunkami studiów powiązanymi z sektorem lotniczo-kosmicznym	+
Środowiskowy	rozwój materiałów i komponentów posiadających zastosowanie w branży lotniczo-kosmicznej	+
	cyfryzacja, automatyzacja i robotyzacja	0
	rosnące możliwości wykorzystania dużych zbiorów danych w celu optymalizowania procesów technologicznych	+
Prawny	wzrost świadomości i dbałości o środowisko naturalne	0
	ograniczanie negatywnego wpływu gospodarki na środowisko naturalne (zaostrzane normy środowiskowe i tendencja do rezygnacji z napędów, które przyczyniają się do zanieczyszczania środowiska)	–
Prawny	coraz bardziej rygorystyczne regulacje prawne związane z ograniczaniem stosowania substancji niebezpiecznych dla środowiska naturalnego, wpływające istotnie na zmiany w organizacji i przebieg procesów produkcyjnych	–

Objaśnienie: ocena charakteru czynnika: sprzyjający „+”; hamujący „–”; neutralny „0”.

Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że głównymi czynnikami sprzyjającymi rozwojowi obszaru technologii lotniczo-kosmicznych w regionie, są: rozwój materiałów i komponentów posiadających zastosowanie w branży lotniczo-kosmicznej, wzrost zainteresowania turystyką zagraniczną, emigracją zarobkową, podróżami służbowymi (mobilność, zmiana stylu życia), integracja z rynkiem globalnym, rosnące możliwości wykorzystania dużych zbiorów danych w kontekście optymalizowania procesów technologicznych i biznesowych oraz wzrost zainteresowania kierunkami studiów powiązanymi z sektorem lotniczo-kosmicznym, co ma przełożenie na wzrost potencjału kapitału ludzkiego. Czynniki, które mogą negatywnie oddziaływać na sektor lotniczo-kosmiczny, są: coraz bardziej rygorystyczne regulacje prawne związane z ograniczaniem substancji niebezpiecznych dla środowiska naturalnego, ograniczanie dostępności i wzrost cen kluczowych zasobów wykorzystywanych w przemyśle lotniczym i kosmicznym oraz rozwój potencjału w krajach o niższych kosztach pracy/produkcji, będących jednocześnie dużymi odbiorcami produktów przemysłu lotniczo-kosmicznego.

10.3. Ocena obszaru technologicznego – analiza SWOT

Do oceny obszaru technologicznego technologie lotnicze i przemysł kosmiczny została wykorzystana analiza SWOT. Narzędzie to posłużyło do określenia sytuacji obszaru technologicznego. W wyniku analizy zidentyfikowano mocne i słabe strony oraz szanse i zagrożenia, które występują w badanym obszarze (tab. 10.5).

Tabela 10.5. Czynniki SWOT dla obszaru technologicznego technologie lotnicze i przemysł kosmiczny; oprac. na podst. (Program, 2019; Raport BBKL II, 2023)

Silne strony		Słabe strony	
S1	Doskonale rozwinięta sieć poddostawców i kooperantów	W1	Brak adekwatnego wsparcia sektora lotniczego i kosmicznego ze strony instytucji państwowych
S2	Uznana w świecie jakość oferowanych produktów	W2	Niewielka baza jednostek naukowych o specjalizacji lotniczo-kosmicznej
S3	Wysoka jakość zasobów ludzkich (absolwenci Politechniki Śląskiej)	W3	Niższy potencjał finansowy regionalnego przemysłu lotniczo-kosmicznego w porównaniu z innymi krajami
S4	Konkurencyjne koszty produkcji i pracy	W4	Mała liczba dużych firm lotniczych w regionie
S5	Rosnąca tendencja do prowadzenia przez firmy prac badawczo-rozwojowych	W5	Stosunkowo niska kooperacja na poziomie krajowym
S6	Istnienie klastrów lotniczych (Śląski Klaster Lotniczy)	W6	Niewielkie tradycje lotnicze w porównaniu z resztą kraju
S7	Lokalizacja geograficzna	W7	Wysokie koszty wynagrodzeń wysoko wykwalifikowanych pracowników
S8	Infrastruktura lotnicza	W8	Brak pracowników w wybranych obszarach (np. mechaników

w lotnictwie lekkim)		
S9	Specjalizacja w produkcji wybranych produktów, takich jak lekkie samoloty, kompozyty czy komponenty do satelitów	W9 Gorsza pozycja na rynku globalnym w porównaniu do firm z innych krajów, np. z Czech czy Niemiec
S10	Wysoko wykwalifikowana kadra nauczycielska i instruktorska	W10 Bariery regulacyjne i certyfikacyjne
S11	Dostęp do kompleksowych szkoleń: mechaników lotniczych, pilotów samolotów liniowych w zakresie licencji ATPL(A), licencjonowanych pilotów bezzałogowych statków powietrznych w kategorii otwartej i szczególnej z użyciem symulatorów rozbudowanych o technologie rozszerzonej rzeczywistości	–
S12	Duża liczba wyspecjalizowanych małych firm w regionie	–
S13	Łatwy dostęp do szybkiego prototypowania (CNC, 3D)	–
Szanse		Zagrożenia
O1	Szybki rozwój materiałów i komponentów, które mogą być zastosowane w branży lotniczo-kosmicznej (w tym nanomateriałów, materiałów kompozytowych oraz technologii wytwarzania materiałów)	T1 Rosnące ceny nośników energii
O2	Postępujący od lat 90. XX w. rozwój automatyzacji, robotyzacji, a także cyfryzacji technologii wirtualnych i technologii rozszerzonej rzeczywistości we wszystkich obszarach branży LOT-KOS	T2 Niepewność i zmienność sytuacji w branży: zmienność rynku i konieczność dostosowania się do nowych trendów i wymagań rynkowych, takich jak rozwój cyfryzacji czy rosnąca powszechność wykorzystania systemów bezzałogowych, niestabilna sytuacja międzynarodowa, która wpływa na funkcjonowanie firm, możliwe dalsze zakłócenia w łańcuchach dostaw
O3	Postępujący rozwój technologii napędów elektrycznych i wodorowych w lotnictwie	T3 Wpływ czynników zewnętrznych na sytuację ekonomiczną branży: ryzyko dalszego wzrostu kosztów funkcjonowania firmy, ryzyko spadku sprzedaży i liczby zamówień
O4	Rosnąca możliwość wykorzystania dużych zbiorów danych (przez rozwój infrastruktury obliczeniowej) w celu optymalizowania procesów zachodzących w branży	T4 Silna konkurencja ze strony innych regionów (np. Podkarpacie)
O5	Upowszechnienie wirtualnej kontroli lotów bezzałogowych w ramach koncepcji U-Space	T5 Rozwój potencjału intelektualnego w krajach o niższych kosztach pracy
O6	Wzrost możliwości zastosowania usług opartych na nawigacji i obserwacji satelitarnej w różnych dziedzinach gospodarki	T6 Szybko zmieniające się przepisy i regulacje prawne
O7	Rozwój miejskiej mobilności powietrznej	T7 Wpływ czynników ekonomicznych, np. inflacji na kształtowanie się kosztów zakupu aparatury, oprogramowania oraz szkoleń/kursów
O8	Możliwość przyciągnięcia inwestorów zagranicznych	T8 Zmienność systemu podatkowego i ubezpieczeń społecznych w Polsce jako ograniczenie możliwości planowania przyszłych kosztów prowadzenia działalności
O9	Dynamiczny rozwój młodej kadry naukowej i instruktorskiej oparty na absolwentach Politechniki Śląskiej	T9 Zaostrzanie przepisów ze względu na zmiany polityki klimatycznej (środowiskowej) UE
O10	Dynamiczny rozwój ośrodków szkoleniowych Politechniki Śląskiej	–
O11	Możliwość wykorzystania sztucznej inteligencji w procesach technologicznych i operacyjnych	–

Następnym krokiem w analizie SWOT było zdefiniowanie wyzwań oraz przedstawienie propozycji działań, które są kluczowe dla zrozumienia, co wymaga poprawy oraz jak najlepiej wykorzystać mocne strony i szanse. Główne wyzwania, które występują w obszarze technologii lotniczych i przemysłu kosmicznego dotyczą niedoboru wykwalifikowanej kadry (np. mechaników w lotnictwie lekkim), globalnej konkurencji oraz częstych zmian regulacji.

Tabela 10.6. Identyfikacja wyzwań i działań

Wyzwanie	Odpowiedź	Propozycja działań
Ograniczony dostęp do wysoko wykwalifikowanych zasobów ludzkich – odpowiadających na specyficzne potrzeby przedsiębiorców z branży	W7–W8 T5 S3 O9–O11	- Zacieśnienie współpracy na linii nauka – biznes w celu dostosowania oferty naukowej do potrzeb rynku (zapotrzebowanie firm na pracowników o danych kwalifikacjach) - Zwiększenie nacisku na zdobywanie praktycznej wiedzy przez absolwentów kierunków lotniczych oraz powiązanych z lotnictwem

Wyzwanie	Odpowiedź	Propozycja działań
Konkurencja na rynku globalnym firm z innych krajów o ugruntowanej pozycji rynkowej	T4 O8 W5, W9 S2, S4, S9	- Wykorzystywanie nisz rynkowych oraz doskonalenie swojej oferty/wykorzystywanych technologii, które będą się przekładać na zwiększanie konkurencyjności - Pozyskiwanie zewnętrznego finansowania – uczestnictwo w projektach międzynarodowych
Zmiany regulacyjne wpływające na funkcjonowanie sektora lotniczo-kosmicznego	W1, W3, W10 T6, T8, T9 O8 S6, S12	- Niwelowanie zmian regulacyjnych przez zacieśnianie współpracy na szczeblu regionalnym i międzynarodowym - Zgłaszanie swoich postulatów organom – uświadamianie istotnych zagadnień (problemów) związanych z funkcjonowaniem sektora

Oprac. na podst. konsultacji z ekspertami z branży lotniczo-kosmicznej.

Omawiane wyzwania pokazują, z jakimi ograniczeniami rozwojowymi mierzy się obecnie sektor lotniczo-kosmiczny w woj. śląskim. Sprostanie im nie wymaga przemyślanych działań strategicznych ukierunkowanych na współpracę, innowacyjność oraz aktywne uczestnictwo w kształtowaniu otoczenia regulacyjnego. Kluczowe znaczenie ma w tym kontekście głęboka integracja środowiska naukowego i przemysłu, umożliwiająca kształcenie kadr odpowiadających na realne potrzeby nowoczesnej branży lotniczej i kosmicznej. Aby zwiększyć konkurencyjność regionu na rynku globalnym konieczne jest postawienie na specjalizację i rozwój technologii w wybranych niszach rynkowych, co może stanowić skuteczną alternatywę dla bezpośredniej rywalizacji z międzynarodowymi liderami. Równie ważne jest aktywne uczestnictwo w dialogu z instytucjami regulacyjnymi – zarówno na szczeblu krajowym, jak i międzynarodowym – co sprzyja stabilizacji otoczenia prawnego oraz zwiększa możliwość wpływu na jego kształt. Dopełnieniem tych działań powinna być intensyfikacja współpracy międzynarodowej oraz pozyskiwanie funduszy zewnętrznych, co nie tylko wspiera rozwój technologiczny, ale także wzmacnia potencjał kadrowy i innowacyjny regionu.

Literatura

Dokumenty strategiczne

Program (2019): Program Rozwoju Technologii Województwa Śląskiego na lata 2019–2030, <https://ris.slaskie.pl/resource/199/Program+Rozwoju+Technologii+Wojew%25C3%25B3dztwa+%25C5%259A%25C4%2585skiego+na+lata+2019+%25E2%2580%2593+2030.pdf> (dostęp: 17.03.2025).

Raporty i opracowania

Analiza (2024): Analiza możliwości polskiej branży przemysłowej lotnictwa cywilnego, które pomogą sprostać wyzwaniom stawianym przez kraje o najwyższych standardach technologicznych i systemowych, <https://www.sitkrp.org.pl/storage/media/zk/articles/551/files/66051505025f9.pdf> (dostęp: 28.03.2025).

Badanie (2022): Stan sektora lotniczego z perspektywy potrzeb osobowych w pierwszej połowie 2022 r. – problemy, zagrożenia, zmiany. Zlecenie eksperckie z 11 lipca 2022. Warszawa, PARP, <http://files.clickweb.home.pl/df/a2/dfa2ea38-f2da-4fb1-a732-bb3459083baa.pdf> (dostęp: 26.03.2025).

PAliH (2025): Sektory: lotniczy i kosmiczny. Warszawa, Polska Agencja Inwestycji i Handlu, https://www.paih.gov.pl/dlaczego_polska/sektory/aeronauczny/ (dostęp: 25.03.2025).

PAK (2021): Polski sektor kosmiczny 2020. Analiza stanu obecnego, trendów i technologii w ujęciu krajowym i na tle międzynarodowym. Warszawa, Polska Agencja Kosmiczna Departament Strategii i Współpracy Międzynarodowej, https://polsa.gov.pl/wp-content/uploads/2021/10/Polski_sektor_kosmiczny_.pdf (dostęp: 17.03.2025).

Raport (2021): Przemysł lotniczy w Polsce – możliwości, wyzwania i perspektywy. Warszawa, Fundacja im. Kazimierza Pułaskiego, <https://pulaski.pl/wp-content/uploads/2023/06/6316da0a5da68578af0523cbfbd5c6f6-1.pdf> (dostęp: 19.03.2025).

Raport (2023a): Wpływ polityki klimatycznej UE na branżę lotniczą. Forum Prawo dla Rozwoju, https://www.polish-airports.com/uploads/user_files/Repozytorium/RAPORT%20LOTNICTWO%202023_OST%20WEB.pdf (dostęp: 28.03.2025).

Raport (2023b): Perspektywy rozwoju siedemnastu branż polskiej gospodarki. Warszawa, PARP, <https://www.parp.gov.pl/storage/publications/pdf/60-Perspektywy-rozwoju-WCAG.pdf> (dostęp: 28.03.2025).

Raport (2024a): Polski Przemysł Lotniczy. Potencjał i perspektywy rozwoju, Ernst & Young Global Limited, https://www.dolinalotnicza.pl/wp-content/uploads/2024/10/Raport_SPPL_Polski-Przemysl-Lotniczy.pdf (dostęp: 26.03.2025).

Raport (2024b): Ocena stanu rozwoju badań i użytkowania przestrzeni kosmicznej w Polsce za 2023 rok. Gdańsk, Polska Agencja Kosmiczna Departament Strategii i Współpracy Międzynarodowej, https://polsa.gov.pl/wp-content/uploads/2024/04/Raport-ocena-stanu-rozwoju-badan-i-uzytkowania-przestrzeni-kosmicznej-w-2023_final.pdf (dostęp: 27.03.2025).

Raport BBKL I (2022): Branżowy Bilans Kapitału Ludzkiego II. Branża przemysł lotniczo-kosmiczny. Raport z I edycji badań. Warszawa, PARP, https://www.parp.gov.pl/storage/publications/pdf/BBKL-Przemysl-lotniczo-kosmiczny_06_09.pdf (dostęp: 28.03.2025).

Raport BBKL II (2023): Branżowy Bilans Kapitału Ludzkiego II. Branża przemysł lotniczo-kosmiczny. Raport z II edycji badań. Warszawa, PARP, https://www.parp.gov.pl/storage/publications/pdf/16-BBKLII-LOT-KOS_WCAG.pdf (dostęp: 28.03.2025).

Publikacje internetowe

AT-Machining (2024): Produkcja dronów: zrozumienie kosztów, materiałów i metod, <https://at-machining.com/pl/drone-manufacturing/> (dostęp: 20.03.2025).

Bielewski R., Rządkowski W., Augustyn S., Pyrzanowski P. (2015): Nowoczesne materiały stosowane w konstrukcjach lotniczych – wybrane problemy oraz kierunki rozwoju. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, T. 87(3/15), 203-216.

Dron (2025): Drony a sztuczna inteligencja: Rozwój algorytmów AI, <https://dron.edu.pl/drony-a-sztuczna-inteligencja-rozwoj-algorytmow-ai/> (dostęp: 24.03.2025).

EASA (2024): Sztuczna inteligencja a lotnictwo. European Union Aviation Safety Agency, <https://www.easa.europa.eu/pl/light/topics/artificial-intelligence-and-aviation-0> (dostęp: 31.03.2025).

European Green Deal (2023): European Green Deal: new law agreed to cut aviation emissions by promoting sustainable aviation fuels, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_2389 (dostęp: 30.03.2025).

Forum Lotnicze (2024a): Ewolucja awioniki: Od analogowych przyrządów do cyfrowych kokpitów, <https://www.forum-lotnicze.pl/ewolucja-awioniki-od-analogowych-przyrzadow-do-cyfrowych-kokpitow/> (dostęp: 17.03.2025).

Forum Lotnicze (2024b): Technologie hybrydowe w samolotach pasażerskich, <https://www.forum-lotnicze.pl/technologie-hybrydowe-w-samolotach-pasazerskich/> (dostęp: 20.03.2025).

Forum Lotnicze (2024c): Nowe materiały w konstrukcji samolotów pasażerskich, <https://www.forum-lotnicze.pl/nowe-materialy-w-konstrukcji-samolotow-pasazerskich/> (dostęp: 28.03.2025).

Forum Lotnicze (2024d): Awionika w lotnictwie bezzałogowym: Drony i UAV, <https://www.forum-lotnicze.pl/awionika-w-lotnictwie-bezzałogowym-drony-i-uav/> (dostęp: 21.03.2025).

H2Poland (2025): Wodór w lotnictwie, <https://h2poland.eu/pl/kategorie/transport/pojazdy-specjalne/wodor-w-lotnictwie/> (dostęp: 31.03.2025).

Muszyński T., Kmiołek M., Kordos A., Ficek D. (2021): Zastosowanie stopów metali lekkich w bezzałogowych statkach powietrznych. Obróbka Metalu, nr 2, 42-49.

PS (2025): Obszary badawcze – Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej, <https://www.polsl.pl/rt/start/badania/obszary-badawcze/> (dostęp: 25.03.2025).

Włostowski O. (2024): Elektryczne samoloty będą przyszłością?, Elektromobilni, <https://elektromobilni.pl/elektryczne-samoloty-beda-przyszloscia/> (dostęp: 18.03.2025).

Zrównoważony rozwój (2024): Zrównoważony rozwój w transporcie lotniczym i kosmicznym. Giełda Odpadów. Dziennik Gospodarki Obiegu Zamkniętego, <https://giełda-odpadow.pl/strefa-wiedzy/zrownowazony-rozwoj/zrownowazony-rozwoj-w-transporcie-lotniczym-i-kosmicznym/> (dostęp: 18.03.2025).

Lista podmiotów zaangażowanych w badanie

Uczelnie i jednostki badawcze

- Politechnika Śląska – Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej

Klasy, IOB, organizacje pozarządowe i organizacje zrzeszające przedsiębiorców

- Śląski Klaster Lotniczy

Przedsiębiorcy

- SkyDream Sp. z o. o.
- KP Labs Sp. z o.o.
- Górnośląski Akcelerator Przedsiębiorczości Rynkowej Sp. z o.o.

Inne podmioty

- Centrum Kształcenia Kadr Lotnictwa Cywilnego Europy Środkowo-Wschodniej (CKKLC)

Technologie dla przemysłu surowcowego

Autorzy

Alicja Krzemień*

Aleksandra Koterak*

Robert Marzec*

Aleksander Frejowski*

* Główny Instytut Górnictwa – Państwowy Instytut Badawczy



Fundusze Europejskie
dla Śląskiego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Województwo
Śląskie

11.1. Identyfikacja obszarów technologicznych, grup technologicznych i technologii

11.1.1. Opis metodyki

W procesie identyfikacji priorytetowych technologii dla przemysłu surowcowego w woj. śląskim zastosowano podejście oparte na triangulacji metod badawczych. Dane zostały zebrane przy użyciu różnych metod jakościowych i ilościowych, co umożliwiło uzyskanie kompleksowego obrazu analizowanego zagadnienia. Wykorzystano zarówno analizę danych zastanych (desk research), jak i metody partycypacyjne, takie jak panele eksperckie oraz wywiady pogłębione.

Analiza danych zastanych polegała na przeglądzie dostępnych raportów, dokumentów strategicznych oraz literatury naukowej dotyczącej technologii dla przemysłu surowcowego. Zgromadzone informacje pozwoliły na ocenę obecnych trendów i kierunków rozwoju sektora. Szczególną uwagę zwrócono na dane statystyczne publikowane przez instytucje krajowe i międzynarodowe, w tym Główny Urząd Statystyczny¹⁰⁵ oraz Komisję Europejską¹⁰⁶.

Równolegle przeprowadzono panele eksperckie, w których uczestniczyli przedstawiciele nauki, przemysłu oraz administracji publicznej. Dyskusje miały na celu ocenę potencjału innowacyjnego regionu oraz wskazanie technologii o największym znaczeniu strategicznym. Opinie ekspertów zostały zebrane i poddane analizie porównawczej w celu wyodrębnienia kluczowych obszarów rozwoju technologii.

W badaniach zastosowano także wywiady indywidualne (ang. *in-depth interviews*, IDIs), które przeprowadzono z przedstawicielami przedsiębiorstw i instytucji badawczych. Uczestnicy zostali poproszeni o ocenę czynników wpływających na rozwój technologii oraz wskazanie barier ich wdrażania. Analiza wywiadów pozwoliła na wyodrębnienie stałych tendencji oraz zidentyfikowanie potencjalnych zagrożeń dla rozwoju sektora.

Wszystkie zebrane dane poddano weryfikacji i syntezie, co umożliwiło stworzenie końcowej listy priorytetowych technologii dla przemysłu surowcowego w woj. śląskim. Wyniki badań zostały zestawiane i porównane, co pozwoliło na dokonanie obiektywnej oceny konkurencyjności poszczególnych technologii. Zastosowana metodyka umożliwiła nie tylko identyfikację kluczowych innowacji, lecz także wskazanie obszarów wymagających dalszego wsparcia w kontekście polityki innowacyjnej regionu.

11.1.2. Zakres obszaru technologicznego

11.1.2.1. Poziom 1 – obszar technologii

Przemysł surowcowy odgrywa kluczową rolę w rozwoju gospodarczym woj. śląskiego, które dzięki swojej przemysłowej strukturze oraz bogatej bazie surowców naturalnych, takich jak węgiel kamienny, skały budowlane czy rudy metali, stanowi centrum przemysłowe Polski. Obszar technologii dla surowców obejmuje pięć kluczowych grup: (1) technologie rozpoznawania, pozyskiwania i ochrony surowców, (2) technologie przetwórstwa i wykorzystywania surowców naturalnych, (3) technologie odzysku surowców, (4) technologie składowania ditlenku węgla (CO₂) oraz (5) technologie projektowania i wytwarzania maszyn i urządzeń górniczych oraz energetycznych. Każda z tych grup ma strategiczne znaczenie w regionie, przyczyniając się do zrównoważonego rozwoju, modernizacji przemysłu i poprawy jakości środowiska.

W woj. śląskim rozpoznawanie i pozyskiwanie surowców są szczególnie istotne ze względu na znaczenie górnictwa w regionie. W procesach rozpoznawania wykorzystuje się zaawansowane technologie geofizyczne, takie jak sejsmika refleksyjna, magnetometria czy georadar, które pozwalają na precyzyjne mapowanie złóż (Auguścik, 2019). Technologie pozyskiwania, oparte na nowoczesnych systemach wykorzystujących automatyzację i elementy digitalizacji procesów produkcyjnych,

¹⁰⁵ <https://stat.gov.pl/>

¹⁰⁶ <https://ec.europa.eu>

umożliwiają efektywne wydobywanie surowców przy jednoczesnym minimalizowaniu ryzyka dla pracowników. Ochrona surowców koncentruje się na racjonalnym gospodarowaniu zasobami i ograniczaniu strat podczas eksploatacji, co jest szczególnie ważne w regionie, gdzie działalność górnicza wpływa na środowisko i infrastrukturę. Dzięki tym technologiom możliwe jest zwiększenie efektywności eksploatacji, przy jednoczesnym minimalizowaniu negatywnego oddziaływania na tereny zamieszkane.

Przetwórstwo surowców naturalnych odgrywa kluczową rolę w gospodarce woj. śląskiego, szczególnie przetwarzanie węgla kamiennego, rud metali i skał budowlanych. Prowadzone są także prace w zakresie technologii przetwarzania węgla brunatnego. W regionie stosuje się technologie wzbogacania surowców, takie jak flotacja, które pozwalają na maksymalne wykorzystanie ich potencjału energetycznego i przemysłowego. Były prowadzone również prace nad technologią zgazowania surowców, w tym węgla brunatnego i kamiennego (Strugała, 2014; Nieć i in., 2015). Wody kopalniane (kopalnie węgla kamiennego oraz rud cynku i ołowiu) mogą być przetwarzane w celu odzysku cennych pierwiastków, takich jak: bor, brom, jod, potas, lit, magnez i mangan, co ma znaczenie zarówno dla przemysłu, jak i ochrony środowiska (Razowska-Jaworek i in., 2022). Technologie te są kluczowe dla woj. śląskiego, gdzie przetwórstwo surowców stanowi podstawę wielu gałęzi przemysłu, a jednocześnie jest istotnym elementem transformacji gospodarki regionu w kierunku niskoemisyjnego modelu działania.

W woj. śląskim technologie odzysku surowców mają szczególne znaczenie w realizacji założeń gospodarki o obiegu zamkniętym. W regionie, gdzie przemysł wytwarza znaczne ilości odpadów, technologie odzysku, np. recykling odpadów elektronicznych (Zielińska i in., 2018; Ivković i in., 2024) czy przetwarzanie odpadów wydobywczych w obiektach unieszkodliwiania odpadów wydobywczych (OUOW), pozwalają na efektywne wykorzystywanie materiałów wtórnych (Ratajczak i Korona, 2000; Lutyński i in., 2011; Matusiak i Kowol, 2016, 2017). Procesy hydrometalurgiczne i pirometalurgiczne umożliwiają odzyskiwanie cennych metali, takich jak złoto, srebro czy miedź, które są ponownie wykorzystywane w przemyśle. Technologie przetwarzania frakcji preRDF oraz przyszłościowego recyklingu paneli fotowoltaicznych wspierają rozwój energetyki odnawialnej, jednocześnie przyczyniając się do zmniejszenia ilości odpadów i obciążenia środowiska (Wielgosiński, 2022).

Redukcja emisji ditlenku węgla jest jednym z najważniejszych wyzwań woj. śląskiego, którego gospodarka opiera się na energetyce węglowej i przemyśle ciężkim. Technologie składowania CO₂, obejmujące wychwytywanie, transport oraz bezpieczne składowanie gazu w formacjach geologicznych, odgrywają kluczową rolę w transformacji regionu ukierunkowanej na gospodarkę niskoemisyjną. Wychwytywanie ditlenku węgla może być prowadzone za pomocą zaawansowanych technologii chemicznych, takich jak absorpcja czy separacja membranowa, natomiast miejscami składowania tego gazu mogą być odpowiednio dostosowane formacje skalne, np. wyeksploatowane pokłady węgla. Technologie te ograniczają emisję gazów cieplarnianych, utrzymując jednocześnie aktywność przemysłową regionu (Dubiński i Koteras, 2014; Plac, 2018; Koteras i in., 2020).

Projektowanie i produkcja maszyn górniczych i energetycznych w woj. śląskim są szczególnie istotne dla modernizacji przemysłu, głównie w aspekcie zmniejszenia energochłonności oraz zwiększenia konkurencyjności na rynkach międzynarodowych. W procesach projektowania stosuje się zaawansowane narzędzia, takie jak oprogramowanie CAD oraz symulacje z użyciem metody elementów skończonych (ang. *finite element method*, FEM), które umożliwiają precyzyjne modelowanie i optymalizację konstrukcji. Do produkcji maszyn są wykorzystywane nowoczesne technologie obróbki, do których należą m.in.: druk 3D, robotyzacja oraz cięcie laserowe, co pozwala na wytwarzanie komponentów o wysokiej jakości i trwałości. Technologie te są szczególnie ważne dla regionu, gdzie przemysł maszynowy wspiera rozwój lokalnej gospodarki, jednocześnie przyczyniając się do unowocześniania sektora górniczego i energetycznego (Pieczora, 2014; Kostka i in., 2015; Majewski, 2017).

Każda z pięciu grup technologii ma strategiczne znaczenie dla woj. śląskiego jako regionu silnie związanego z przemysłem surowcowym. Technologie rozpoznawania i pozyskiwania surowców wspierają efektywną eksploatację zasobów, które są podstawą lokalnej gospodarki. Technologie

przetwórstwa i wykorzystywania surowców naturalnych umożliwiają ich maksymalne wykorzystanie oraz przekształcanie w produkty o wysokiej wartości. Technologie odzysku surowców wpisują się w założenia gospodarki obiegu zamkniętego, zmniejszając obciążenie środowiska i wspierając transformację regionu. Technologie składowania CO₂ są kluczowe w ograniczaniu emisji gazów cieplarnianych, co ma szczególne znaczenie w kontekście dekarbonizacji przemysłu. Technologie projektowania i wytwarzania maszyn zapewniają modernizację sektora przemysłowego, wzmacniając pozycję woj. śląskiego jako lidera innowacji przemysłowych w Polsce.

Razem grupy te tworzą kompleksowy obszar działań, który wspiera rozwój woj. śląskiego w kierunku bardziej zrównoważonej, innowacyjnej i efektywnej gospodarki.

11.1.2.2. Poziom 2 – grupa technologii

11.1.2.2.1. Technologie rozpoznawania, pozyskiwania i ochrony surowców

Woj. śląskie, dzięki swojej obfitości zasobów naturalnych, odgrywa kluczową rolę w gospodarce surowcowej Polski. Węgiel kamienny, będący najważniejszym surowcem energetycznym regionu, wydobywany jest z wykorzystaniem systemu ścianowego, który pozwala na efektywne i bezpieczne pozyskiwanie surowca. Po wydobyciu węgiel poddaje się wzbogacaniu przez flotację i separację magnetyczną, co umożliwia uzyskanie paliwa o wysokiej wartości energetycznej przy jednoczesnym ograniczeniu strat.

Metan z pokładów węgla stanowi coraz istotniejsze źródło energii, a jest on pozyskiwany z zastosowaniem wierceń drenazowych oraz instalacji odmetanowania. Wychwycony gaz wykorzystywany jest do produkcji energii elektrycznej i ciepła, co przyczynia się do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych (Hadro i Wójcik, 2013).

Wody kopalniane odprowadzane w procesie eksploatacji złóż węglowych są poddawane oczyszczaniu za pomocą technologii odsalania, takich jak odwrócona osmoza i destylacja membranowa. Uzyskana woda jest wykorzystywana do celów przemysłowych i spożywczych oraz do produkcji soli przemysłowej i spożywczej.

W regionie Zawiercia i Myszkowa występują również złoża polimetaliczne, w tym rudy cynku, ołowiu oraz metale towarzyszące (Wołkowicz i in., 2019). Ich eksploatacja wymaga zastosowania zaawansowanych technologii flotacji i pirometalurgii, które umożliwiają skuteczne oddzielanie metali od skały płonnej. Technologie te są wspierane przez automatyzację i monitoring, co pozwala na zwiększanie wydajności procesów oraz uzyskiwanie surowców o wysokiej czystości.

Skały budowlane, np. wapień, dolomity i piaskowce, są eksploatowane w kopalniach odkrywkowych, gdzie stosuje się technologie kruszenia, mielenia i przesiewania. Uzyskane materiały wykorzystywane są w budownictwie, drogownictwie oraz jako surowce do produkcji cementu. Dzięki nowoczesnym metodom eksploatacji możliwe jest ograniczenie wpływu na środowisko oraz efektywne gospodarowanie zasobami.

W wyniku wdrożenia zaawansowanych technologii w obszarze przetwórstwa i wykorzystania surowców naturalnych, woj. śląskie skutecznie łączy rozwój gospodarczy z ochroną środowiska, odgrywając strategiczną rolę w zapewnianiu bezpieczeństwa surowcowego Polski.

11.1.2.2.2. Technologie przetwórstwa i wykorzystywania surowców naturalnych

Surowce naturalne odgrywają kluczową rolę w przemyśle i gospodarce, umożliwiając produkcję energii, materiałów budowlanych oraz surowców chemicznych. Innowacyjne technologie ich przetwarzania zwiększają efektywność, ograniczają wpływ na środowisko i maksymalizują wykorzystanie zasobów.

Węgiel kamienny przetwarzany jest w celu produkcji energii, koksu wykorzystywanego potem w hutnictwie oraz, w zdecydowanie mniejszym zakresie, chemikaliów. Technologie, takie jak: spalanie w kotłach fluidalnych czy piroliza, umożliwiają efektywne wykorzystywanie surowca do minimalizacji emisji. Węgiel brunatny, stosowany w elektrowniach, wymaga suszenia i wzbogacania, a jego zgazowanie pozwala na produkcję gazu syntezowego używanego w przemyśle chemicznym.

Metan z pokładów węgla, wychwytywany za pomocą instalacji odmetanowania, wykorzystuje się jako paliwo w procesach wytwarzania energii oraz jako surowiec w przemyśle chemicznym.

Wody kopalniane są oczyszczane za pomocą filtracji i odsalania, a następnie używane w przemyśle, nawadnianiu lub jako źródło ciepła geotermalnego. Wodór, który można uzyskać z tych wód, może być wytwarzany z użyciem metod membranowych i wykorzystywany jako paliwo wodorowe lub jako surowiec chemiczny (Chmiela i in., 2023).

Minerały rudne przetwarzane są z wykorzystaniem metod wzbogacania, takich jak flotacja i separacja magnetyczna. Koncentraty metali, np. żelazo, miedź czy cynk, stosuje się w hutnictwie, a metale wydzielane z siarczków w procesach hydrometalurgicznych i pirometalurgicznych trafiają do różnych gałęzi przemysłu.

Skały budowlane, w tym granit, bazalt i wapień, przetwarzane są przez kruszenie, cięcie i polerowanie. Wapienie poddawane są prażeniu, co umożliwia uzyskanie wapna palonego, szeroko stosowanego w budownictwie i przemyśle chemicznym.

Zastosowanie tych technologii wspiera efektywne wykorzystywanie surowców i ogranicza ich wpływ na środowisko, przyczyniając się do zrównoważonego rozwoju przemysłu.

11.1.2.2.3. Technologie odzysku surowców

Woj. śląskie, z uwagi na dużą koncentrację przemysłu wydobywczego i przetwórczego, jest kluczowym regionem w zakresie przetwórstwa i odzysku surowców. Dzięki innowacyjnym technologiom możliwe jest minimalizowanie wpływu odpadów na środowisko oraz ich ponowne wykorzystanie, co wspiera gospodarkę o obiegu zamkniętym.

Obiekty unieszkodliwiania odpadów wydobywczych w regionie pozwalają na recykling odpadów górniczych, takich jak drobne frakcje węgla, które mogą być wykorzystane jako paliwo. Kruszenie i sortowanie odpadów skalnych umożliwiają ich zastosowanie w budownictwie, a technologie odwadniania i stabilizacji przekształcają niebezpieczne odpady w bezpieczne formy.

Odpady elektroniczne (e-waste) poddawane są procesom demontażu, segregacji oraz recyklingu chemicznego. Metale szlachetne, takie jak złoto czy srebro, odzyskiwane są w procesach hydrometalurgicznych i pirometalurgicznych, a tworzywa sztuczne przetwarzane są na granulaty do ponownego wykorzystania.

Frakcja preRDF (odpady przygotowane do produkcji paliwa RDF) jest uzyskiwana przez sortowanie, suszenie i separację niepożądanych frakcji. Otrzymane paliwo alternatywne znajduje zastosowanie w cementowniach i elektrociepłowniach, zastępując paliwa kopalne i przyczyniając się do redukcji emisji (Broda i Tora, 2021; Tora, Karbowniczek i Tora, 2022).

Recykling paneli fotowoltaicznych umożliwia odzysk surowców, takich jak aluminium, krzem i srebro. Procesy mechaniczne oraz chemiczne, w tym trawienie kwasowe, pozwalają na ponowne wykorzystanie tych materiałów do produkcji nowych paneli i innych produktów.

Rozwój przedstawionych technologii w woj. śląskim odgrywa kluczową rolę w realizacji strategii zrównoważonego rozwoju regionu, wspierając transformację przemysłową oraz minimalizując negatywny wpływ odpadów na środowisko.

11.1.2.2.4. Technologie składowania CO₂

W woj. śląskim, będącym jednym z najbardziej uprzemysłowionych regionów Polski, podejmowane są działania mające na celu ograniczenie emisji dwutlenku węgla (CO₂), wytwarzanego głównie przez przemysł i energetykę (Wójcicki, 2009). W tym celu rozwijane są technologie składowania CO₂ (ang. *carbon capture and storage*, CCS), które umożliwiają wychwytywanie, transport oraz bezpieczne magazynowanie tego gazu w odpowiednich formacjach geologicznych. Rozwiązania te są uznawane za kluczowe narzędzie w przeciwdziałaniu zmianom klimatu oraz transformacji w kierunku gospodarki niskoemisyjnej.

Proces składowania CO₂ obejmuje trzy etapy. W pierwszym etapie gaz jest wychwytywany bezpośrednio u źródła emisji, np. w elektrowniach czy zakładach przemysłowych. W tym celu stosowane są technologie, takie jak absorpcja chemiczna, adsorpcja na materiałach stałych oraz separacja membranowa. W regionie śląskim przygotowywane są rozwiązania dostosowane do wysokiej zawartości CO₂ w gazach spalinowych, co pozwala na skuteczne ograniczenie emisji przed ich wprowadzeniem do atmosfery.

Wychwycony gaz jest następnie transportowany do miejsc składowania. Transport odbywa się głównie za pomocą rurociągów, co jest uznawane za najefektywniejszą metodę przesyłu na dużą skalę. W szczególnych przypadkach stosuje się również transport w formie skroplonej drogą kolejową lub samochodową, co umożliwia dostarczanie CO₂ do bardziej oddalonych lokalizacji.

Na ostatnim etapie CO₂ magazynuje się w formacjach geologicznych – takich jak piaskowce pokryte nieprzepuszczalnymi warstwami skał ilastych. W woj. śląskim rozważane jest również wykorzystanie do tego celu wyeksploatowanych pokładów węgla. Proces składowania poprzedzany jest szczegółowymi badaniami geologicznymi, a magazynowanie jest monitorowane z użyciem zaawansowanych systemów, które zapewniają stabilność oraz bezpieczeństwo składowisk.

Technologie CCS są uznawane za ważny element transformacji przemysłowej woj. śląskiego. Dzięki ich wdrażaniu możliwe jest ograniczenie emisji gazów cieplarnianych, wspieranie rozwoju innowacyjnych rozwiązań technologicznych oraz tworzenie nowych miejsc pracy. Działania te, realizowane we współpracy przemysłu, naukowców i samorządów, przyczyniają się do osiągnięcia celów klimatycznych oraz umacniania pozycji regionu jako lidera transformacji energetycznej w Polsce.

11.1.2.2.5. Technologie projektowania i produkcji maszyn i urządzeń górniczych oraz energetycznych

Projektowanie i produkcja maszyn górniczych i energetycznych są kluczowe dla przemysłu woj. śląskiego, które ze względu na swoje zasoby i tradycję przemysłową odgrywa istotną rolę w gospodarce kraju. Stosowanie zaawansowanych technologii pozwala na produkowanie maszyn o większej wydajności, niezawodności, niższej energochłonności i mniejszym wpływie na środowisko, co jest szczególnie istotne w regionie o wysokim potencjale surowcowym.

Proces projektowania maszyn opiera się na wykorzystywaniu narzędzi komputerowego wspomaganie projektowania (ang. *computer-aided design*, CAD) oraz metody elementów skończonych (ang. *finite element method*, FEM), co umożliwia precyzyjne modelowanie, symulacje oraz ocenę konstrukcji w ekstremalnych warunkach pracy. Analizowane są czynniki specyficzne dla eksploatacji w środowisku podziemnym, takie jak odporność na pyły, wilgoć i naprężenia dynamiczne.

Maszyny są produkowane przy użyciu nowoczesnych technologii obróbki, do których należą: cięcie laserowe, druk 3D, spawanie i skrawanie. Automatyzacja i robotyzacja procesów zapewniają natomiast wysoką precyzję oraz powtarzalność produkcji. W przypadku dużych konstrukcji, takich jak kombajny górnicze czy turbiny energetyczne, stosowane są technologie hybrydowe, które łączą tradycyjne metody obróbki z nowoczesnymi technikami addytywnymi. W maszynach energetycznych wykorzystuje się materiały odporne na wysokie temperatury oraz rozwiązania optymalizujące przepływ mediów roboczych.

Kluczową rolę odgrywają systemy monitorowania jakości, takie jak badania nieniszczące (ang. *non destructive testing*, NDT), które pozwalają na wykrywanie wad materiałowych za pomocą ultradźwięków, radiografii przemysłowej czy termowizji. Stosowanie technologii internetu rzeczy (IoT) i systemów predykcyjnego utrzymania ruchu umożliwia monitorowanie stanu technicznego maszyn w czasie rzeczywistym, co przekłada się na poprawę bezpieczeństwa i wydajności eksploatacji. W woj. śląskim, będącym jednym z głównych centrów przemysłowych Polski, rozwój tych technologii wspiera ośrodki badawcze i zakłady produkcyjne. Region wyróżnia się innowacyjnymi rozwiązaniami w zakresie maszyn górniczych i turbin energetycznych, które znajdują zastosowanie zarówno w kraju, jak i za granicą. Technologie te wzmacniają konkurencyjność lokalnego przemysłu i przyczyniają się do realizacji globalnych celów zrównoważonego rozwoju.

11.1.2.3. Poziom 3 – technologie

Woj. śląskie jest jednym z kluczowych regionów przemysłowych Polski, o bogatej historii eksploatacji surowców naturalnych. W obliczu wyzwań związanych z transformacją energetyczną oraz rosnącymi wymaganiami dotyczącymi ochrony środowiska, konieczne jest wdrażanie nowoczesnych technologii z zakresu rozpoznawania, eksploatacji i zagospodarowania surowców. Nowe rozwiązania pozwalają nie tylko na efektywniejsze pozyskiwanie zasobów, ale również na ich bardziej racjonalne wykorzystanie oraz ograniczenie wpływu działalności przemysłowej na otoczenie.

Rozpoznawanie złóż opiera się obecnie na innowacyjnych metodach geofizycznych, takich jak sejsmika 4D, teledetekcja satelitarna czy dronowe mapowanie terenu. Możliwe jest także wykorzystanie technologii cyfrowych bliźniaków uwzględniających algorytmy sztucznej inteligencji (AI). Zastosowanie AI oraz modelowania numerycznego umożliwia precyzyjne prognozowanie zawartości surowców oraz analizę wpływu eksploatacji na środowisko.

Eksploatacja surowców ulega dynamicznym zmianom dzięki rozwijaniu i wdrażaniu: nowoczesnych systemów automatyzacji, digitalizacji i przygotowania do robotyzacji, systemów autonomicznych, algorytmów sztucznej inteligencji, co prowadzi do zwiększenia efektywności wydobywania. Węgiel kamienny i brunatny, metan z pokładów węgla, wody kopalniane oraz minerały rudne mogą być pozyskiwane z wykorzystywaniem nowoczesnych technologii, takich jak inteligentne systemy ścianowe, hydrauliczne metody eksploatacji węgla czy nowoczesne układy pomp ciepła do odzysku energii.

Racjonalna gospodarka złożem to kolejny kluczowy aspekt działalności górniczej. Technologie minimalizacji strat węgla w filarach ochronnych, inteligentne systemy zarządzania eksploatacją oraz ponowne wykorzystanie materiałów odpadowych pozwalają na maksymalne wykorzystanie dostępnych zasobów. Odzysk surowców z odpadów poprzemysłowych, takich jak elektroodpady, odpady wydobywcze czy zużyte elementy infrastruktury odnawialnych źródeł energii (panele fotowoltaiczne, turbiny wiatrowe), staje się istotnym elementem gospodarki obiegu zamkniętego.

Ważnym kierunkiem rozwoju technologicznego są również innowacyjne metody projektowania i produkcji maszyn oraz urządzeń dla przemysłu górniczego i energetycznego. Cyfrowe bliźniaki, metoda elementów skończonych (MES), AI w diagnostyce oraz druk 3D to przykłady nowoczesnych rozwiązań podnoszących efektywność i niezawodność sprzętu wykorzystywanego w sektorze surowcowym.

Kolejnym obszarem o rosnącym znaczeniu są technologie wychwytu, magazynowania i wykorzystywania CO₂ [CCS i CCUW (ang. *carbon capture, utilization, and waste management*)]. Ich rozwój ma kluczowe znaczenie w kontekście redukcji emisji przemysłowych oraz wdrażania rozwiązań proekologicznych, które mogą wspierać procesy

Tabele 11.1, 11.2, 11.3, 11.4 i 11.5 przedstawiają nowoczesne technologie stosowane w różnych obszarach gospodarki surowcowej, z uwzględnieniem stopnia ich gotowości technologicznej (ang. *technology readiness level, TRL*).

Tabela 11.1. Nowatorskie technologie rozpoznawania, pozyskiwania i ochrony surowców w woj. śląskim z uwzględnieniem TRL

Surowiec	Rozpoznanie złoża	Pozyskiwanie (eksploatacja)	Ochrona złoża (racjonalna gospodarka)
Węgiel kamienny	• zaawansowane badania geofizyczne (sejsmika 4D, tomografia elektromagnetyczna) (TRL 6–7) • wykorzystanie sztucznej inteligencji do analizy danych geologicznych (TRL 5–6) • satelitarne i dronowe mapowanie struktur geologicznych i geomorfologicznych na powierzchni (TRL 7–8)	• zautomatyzowane systemy ścianowe z autonomiczną kontrolą (TRL 6–7) • zgazowanie węgla (UCG) in situ jako alternatywa dla tradycyjnej eksploatacji (TRL 5–6) • hydrourabianie węgla (TRL 4–6) • podsadzka (TRL 9)	• inteligentne systemy zarządzania produkcją surowca (TRL 7–8) • technologie ograniczania strat węgla w filarach ochronnych (TRL 6–7) • selektywna eksploatacja przy minimalizacji wpływu na środowisko (TRL 5–6)
Metan z pokładów węgla	• sondowanie elektromagnetyczne i analiza izotopowa gazów (TRL 5–6) • modele numeryczne migracji metanu	• bezkontaktowe systemy eksploatacji metanu w systemach podziemnych (TRL 5–6)	• systemy monitorowania i dynamicznej regulacji ciśnienia gazu (TRL 6–7)

Surowiec	Rozpoznanie złoża	Pozyskiwanie (eksploatacja)	Ochrona złoża (racjonalna gospodarka)
	- w górotworze (TRL 4–5) - bezkontaktowe czujniki metanu oparte na spektroskopii laserowej (TRL 6–7)	pozyskiwanie metanu długimi otworami kierunkowymi (TRL 8–9)	- WTGR (ang. <i>well-to-gas recovery</i>) – technologie ponownego wykorzystania gazu odpadowego (TRL 5–6) - technologie sekwestracji CO₂ w pokładach metanu (TRL 4–5)
Wody kopalniane	- modelowanie hydrogeochemiczne złóż geotermalnych (TRL 6–7) - nowoczesne techniki geotermalnej tomografii elektrooporowej (TRL 5–6)	- wielostopniowe układy pomp ciepła z wysokowydajną konwersją energii (TRL 7–8) - systemy odzysku ciepła z wód kopalnianych dla ogrzewania miejskiego (TRL 7–8) - geotermalne magazyny ciepła w wyrobiskach pogórnich (TRL 5–6)	- zrównoważone zarządzanie zasobami wodnymi przez reiniekcję (TRL 6–7) - systemy optymalizacji wydobycia i recyrkulacji wód geotermalnych (TRL 5–6) - inteligentne sieci ciepłownicze zintegrowane z ciepłem odpadowym (TRL 6–7)
Minerały rudne (Zawiercie, Myszków)	- mapowanie magnetotelluryczne dla głęboko zalegających złóż (TRL 5–6) - spektrometria promieniowania gamma do analizy geochemicznej (TRL 6–7) - sztuczna inteligencja do prognozowania zawartości minerałów na podstawie modeli geologicznych (TRL 4–5)	- selektywna eksploatacja oparta na skanowaniu hiperspektralnym (TRL 5–6) - nowoczesne technologie ługowania podziemnego (TRL 4–5)	- technologie recyklingu metali z odpadów pogórnich (TRL 6–7) - ponowne wykorzystanie odpadów eksploatacyjnych w budownictwie (TRL 7–8) - optymalizacja procesów flotacyjnych i biotechnologicznych (TRL 5–6)
Skały budowlane	- teledetekcja i analiza danych satelitarnych do oceny dostępności złóż (TRL 6–7) - georadar i geoskanowanie laserowe dla precyzyjnego określenia struktury złóż (TRL 7–8) - systemy geoinformatyczne (ang. <i>geographic information system</i>, GIS) dla monitorowania zmian w eksploatacji (TRL 6–7)	- robotyzacja procesów wydobywczych dla precyzyjnej eksploatacji (TRL 5–6) - technologie niskoodpadowej obróbki surowców skalnych (TRL 6–7) - wydobywanie przy użyciu systemów cięcia laserowego i wodnego (TRL 4–5)	- inteligentne zarządzanie eksploatacją złóż w oparciu o analitykę danych (TRL 6–7) - zastosowanie technologii ponownego użycia skał odpadowych (TRL 7–8)
Węgiel brunatny	- sejsmika wielokanałowa 4D do precyzyjnego określania granic złóż (TRL 6–7) - zastosowanie teledetekcji i analizy danych satelitarnych do mapowania złóż (TRL 6–7) - drony geofizyczne wyposażone w magnetometrię i spektrometrię gamma (TRL 5–6)	- eksploatacja selektywna przy użyciu systemów ciągłego urabiania (zrobotyzowane koparki wielonaczyniowe) (TRL 7–8) - wydobywanie z minimalnym naruszeniem powierzchni – technologia UCG (podziemne zgazowanie węgla brunatnego) (TRL 5–6) - zastosowanie autonomicznych systemów transportowych dla urobku (TRL 6–7) - redukcja pylenia i strat materiałowych przez systemy zraszania i osłony przeciwpylowe (TRL 7–8) - hydrourabianie (TRL 3–5)	- technologie rekultywacji terenów pogórnich przy użyciu geopolimerów i biotechnologii (TRL 6–7) - zintegrowane zarządzanie złożem w modelach cyfrowych z wykorzystaniem sztucznej inteligencji (TRL 5–6) - systemy retencji i filtracji wód kopalnianych dla ochrony ekosystemów wodnych (TRL 6–7) - wykorzystanie zdegradowanych terenów pokopalnianych do instalacji OZE (fotowoltaika, farmy wiatrowe) (TRL 7–8)

Tabela 11.2. Nowatorskie technologie przetwórstwa i wykorzystywania surowców w woj. śląskim z uwzględnieniem TRL

Surowiec	Przetwórstwo	Wykorzystanie
Węgiel kamienny	- technologie wzbogacania węgla niskiej jakości z wykorzystaniem separacji optycznej (TRL 6–7) - piroliza węgla do produkcji paliw syntetycznych i chemikaliów (TRL 5–6) - nowoczesne procesy zgazowania węgla w reaktorach fluidalnych (TRL 6–7)	- produkcja wodoru z węgla z wykorzystaniem technologii CCS (TRL 5–6) - zastosowanie węgla w produkcji nanorurek węglowych (TRL 3–4) - wykorzystanie węgla w energetyce o obiegu zamkniętym (turbiny gazowe na syngaz) (TRL 6–7)
Metan z pokładów węgla	- separacja membranowa dla wysokiej czystości metanu (TRL 6–7) - konwersja metanu do metanolu i innych paliw syntetycznych	- wykorzystanie metanu jako paliwa w ogniach paliwowych (TRL 6–7) - integracja odzyskanego metanu z sieciami gazowymi

Surowiec	Przetwórstwo	Wykorzystanie
	(TRL 5–6)	i przemysłem chemicznym (TRL 7–8)
	wykorzystanie mikroorganizmów metanotroficznych do przekształcania metanu w bioprodukty (TRL 4–5)	przemysłowe wykorzystanie metanu do produkcji materiałów dla przemysłu chemicznego (TRL 5–6)
Wody kopalniane geotermalne	- systemy membranowe do odzysku soli i minerałów z wód kopalnianych (TRL 6–7) - konwersja termiczna energii geotermalnej w wysokosprawnych układach ORC (ang. <i>organic rankine cycle</i>) (TRL 7–8) - oczyszczanie i uzdatnianie wód kopalnianych do celów przemysłowych i spożywczych (TRL 6–7)	- wykorzystanie ciepła z wód kopalnianych do ogrzewania budynków i osiedli (TRL 7–8) - eksploatacja minerałów rozpuszczonych w wodach kopalnianych (np. lit, brom) (TRL 4–5) - zastosowanie oczyszczonej wody kopalnianej w rolnictwie i rekultywacji terenów (TRL 7–9)
Minerały rudne (Zawiercie, Myszków)	- nowoczesne technologie flotacyjne oparte na bioflotacji (TRL 5–6) - wzbogacanie rud z zastosowaniem procesów selektywnej hydrometalurgii (TRL 6–7) - procesy elektrochemicznego odzysku metali krytycznych (TRL 4–5)	- wykorzystanie minerałów w produkcji zaawansowanych stopów metali (TRL 6–7) - zastosowanie surowców krytycznych w przemyśle elektronicznym (baterie, magnesy) (TRL 7–8) - recykling metali ziem rzadkich z rud i odpadów pogórnich (TRL 5–6)
Skały budowlane	- nowoczesne technologie cięcia i obróbki kamienia z użyciem laserów i strumienia wody (TRL 6–7) - przetwarzanie skał odpadowych na kruszywa budowlane (TRL 7–8) - wykorzystanie technologii geopolimerów do przetwarzania odpadów skalnych (TRL 5–6)	- wykorzystanie skał budowlanych w nowoczesnym budownictwie niskoemisyjnym (TRL 6–7) - produkcja prefabrykatów budowlanych z recyklingu odpadów skalnych (TRL 7–8) - integracja materiałów skalnych z technologiami chłoniącymi CO₂ (TRL 5–6)
Węgiel brunatny	- suszenie węgla brunatnego metodą niskotemperaturową w układach odzysku ciepła (TRL 7–8) - zgazowanie węgla brunatnego w reaktorach fluidalnych do produkcji gazu syntezowego (TRL 6–7) - piroliza węgla brunatnego do otrzymywania węglowodorów płynnych i chemikaliów (TRL 5–6) - wzbogacanie węgla brunatnego przez separację elektrostatyczną i hydrocyklonową (TRL 6–7) - konwersja biomasy i węgla brunatnego w układach współzgazowania (TRL 5–6)	- produkcja wodoru z węgla brunatnego z wykorzystaniem technologii CCS (TRL 5–6) - wykorzystanie gazu syntezowego w energetyce i przemyśle chemicznym (TRL 6–7) - produkcja materiałów węglowych (grafit, węgiel aktywny) z węgla brunatnego (TRL 5–6) - przemysłowe zastosowanie produktów pirolizy jako substytutów ropopochodnych (TRL 4–5) - selektywne odzyskiwanie pierwiastków krytycznych (np. german, lit) z węgla brunatnego i jego popiołów (TRL 5–6)

Tabela 11.3. Nowatorskie technologie odzysku surowców z odpadów z uwzględnieniem TRL

Obszar odzysku	Technologie odzysku
OUOW	- separacja metali krytycznych i minerałów rzadkich metodą hydrometalurgii i biowyługowania (TRL 5–6) - geopolimeryzacja odpadów wydobywczych do produkcji materiałów budowlanych (TRL 6–7) - wykorzystanie popiołów węglowych do produkcji cementów niskoemisyjnych (TRL 7–8) - przetwarzanie drobnych frakcji odpadów w systemach flotacyjnych do odzysku minerałów (TRL 5–6)
e-waste (elektroodpady)	- wysokotemperaturowe procesy pirometalurgiczne do odzysku metali ziem rzadkich (TRL 7–8) - hydrometalurgiczne procesy selektywnego odzysku litu, kobaltu i niklu z baterii litowo-jonowych (TRL 6–7) - separacja cennych materiałów z PCB (płyty drukowanych) metodą mikrofalową i ultradźwiękową (TRL 4–5) - robotyzacja procesu demontażu urządzeń elektronicznych dla optymalizacji odzysku (TRL 6–7)
preRDF (odpady przedprocesowe do produkcji paliwa alternatywnego)	- selektywna separacja odpadów wysokoenergetycznych przy użyciu sztucznej inteligencji (TRL 6–7) - technologia pirolizy odpadów preRDF do produkcji bioolejów i gazów syntezowych (TRL 5–6) - zastosowanie plazmowego zgazowania preRDF dla wysokiej efektywności odzysku energetycznego (TRL 5–6) - integracja preRDF z systemami kogeneracyjnymi (ang. <i>combined heat and power</i>, CHP) w celu zwiększenia efektywności wykorzystania energii (TRL 7–8)
Recykling paneli fotowoltaicznych	- hydrometalurgiczne procesy separacji krzemu, srebra i miedzi z modułów PV (TRL 6–7) - pirolizacyjne technologie usuwania warstw polimerowych z paneli (TRL 5–6) - mechaniczne i chemiczne metody odzysku szkła o wysokiej czystości (TRL 6–7) - technologie regeneracji krzemu do ponownego wykorzystania w produkcji PV (TRL 5–6)
Recykling turbin wiatrowych i innych komponentów OZE	- separacja włókien szklanych i węglowych z łopat turbin wiatrowych przy użyciu metody solwolyzy (TRL 4–5) - termiczna depolimeryzacja żywic epoksydowych z kompozytowych elementów wiatraków (TRL 3–4) - mechaniczne kruszenie i ponowne wykorzystanie rdzeni turbin wiatrowych jako materiałów budowlanych (TRL 6–7) - techniki demontażu i selektywnego odzysku metali z gondoli turbin wiatrowych (TRL 7–8)

Tabela 11.4. Nowatorskie technologie składowania CO₂ w woj. śląskim z uwzględnieniem TRL

Technologia	Opis
CCS – separacja CO ₂ w elektrowniach i przemyśle	- zaawansowane technologie absorpcji chemicznej CO₂ na bazie amin (MEA, DEA) (TRL 7–8) - separacja CO₂ metodą adsorpcji zmiennociśnieniowej (ang. <i>pressure swing adsorption</i>, PSA) z zastosowaniem nowoczesnych sorbentów (TRL 6–7) - membranowe systemy separacji CO₂ oparte na nanokompozytach (TRL 5–6) - zastosowanie chłodzenia kriogenicznego do wysokosprawnego wychwytu CO₂ (TRL 4–5)
Podziemne składowanie CO ₂ w zrobach wyeksploatowanych pokładów węgla	- tłoczenie CO₂ do pustych wyrobisk górniczych w celu mineralizacji i uszczelniania pokładów (TRL 3–4) - technologie magazynowania CO₂ w warstwach geologicznych pokładów węgla z jednoczesnym odzyskiem metanu (ang. <i>enhanced coal bed methane recovery</i>, ECBM) (TRL 6–7)
CCUW – wykorzystanie CO ₂	przekształcanie CO₂ w paliwa syntetyczne w technologii power-to-gas (synteza metanu z wodoru i CO₂) (TRL 6–7)

Technologia	Opis
Skladowanie CO ₂ w strukturach geologicznych	• składowanie CO ₂ w produktach cementowych i geopolimerach (TRL 7–8)
	• biokonwersja CO ₂ z wykorzystaniem mikroorganizmów do produkcji bioplastików i białek (TRL 5–6)
	• elektrokatalityczna konwersja CO ₂ do metanolu i innych chemikaliów (TRL 4–5)
	• wstrzykiwanie CO ₂ do głębokich formacji solankowych z możliwością jego mineralizacji (TRL 6–7)
CCS w energetyce i przemyśle ciężkim	• geochemiczne pułapkowanie CO ₂ w skałach bogatych w węglany (TRL 5–6)
	• integracja CCS z elektrowniami opalonymi węglem i gazem przy wykorzystaniu wychwytu post-spalania (TRL 6–7)
	• wykorzystanie CCS w hutnictwie i cementowniach w procesach wysokotemperaturowych (TRL 7–8)

Tabela 11.5. Nowatorskie technologie projektowania i produkcji maszyn i urządzeń górniczych oraz energetycznych związanych z technologiami surowcowymi w woj. śląskim z uwzględnieniem TRL

Obszar	Nowoczesne technologie
Projektowanie maszyn i urządzeń górniczych	• cyfrowe bliźniaki (ang. <i>digital twins</i>) do symulacji pracy maszyn i optymalizacji ich działania (TRL 7–9)
	• modelowanie numeryczne i analiza MES dla optymalizacji konstrukcji maszyn górniczych (TRL 7–8)
Nowoczesne technologie wytwarzania maszyn górniczych	• AI i uczenie maszynowe w projektowaniu systemów sterowania maszynami górniczymi (TRL 5–6)
	• integracja systemów IoT do monitorowania parametrów pracy urządzeń w czasie rzeczywistym (TRL 6–7)
Technologie projektowania i produkcji urządzeń energetycznych	• druk 3D i techniki przyrostowe do produkcji części zamiennych o zoptymalizowanej geometrii (TRL 5–6)
	• automatyzacja procesów produkcji przez robotyzację i systemy CNC nowej generacji (TRL 7–8)
Produkcja maszyn dla przemysłu surowcowego i OZE	• zaawansowane materiały kompozytowe i nanotechnologie dla poprawy trwałości elementów maszyn (TRL 6–7)
	• hybrydowe metody spawania i łączenia metali dla zwiększenia wytrzymałości konstrukcji (TRL 5–6)
Nowoczesne systemy automatyki i robotyki w górnictwie i energetyce	• modelowanie CFD (ang. <i>computational fluid dynamics</i>) w projektowaniu turbin, kotłów i wymienników ciepła (TRL 6–7)
	• optymalizacja aerodynamiki turbin wiatrowych i gazowych z wykorzystaniem AI (TRL 5–6)
	• algorytmy sztucznej inteligencji do predykcyjnego utrzymywania ruchu urządzeń energetycznych (TRL 6–7)
	• wysokowydajne magazyny energii w oparciu o baterie przepływowe i superkondensatory (TRL 5–6)
	• zaawansowane technologie odlewnicze dla elementów maszyn o wysokiej wytrzymałości (TRL 6–7)
	• inteligentne systemy diagnostyczne w maszynach energetycznych i wydobywczych (TRL 7–8)
	• modułarne i rekonfigurowalne konstrukcje maszyn górniczych i energetycznych (TRL 5–6)
	• implementacja technologii druku 3D w szybkim prototypowaniu oraz produkcji funkcjonalnych elementów o wysokiej złożoności geometrycznej i zoptymalizowanej strukturze wewnętrznej (TRL 5–6)
	• autonomiczne roboty inspekcyjne i diagnostyczne do monitorowania infrastruktury górniczej i energetycznej (TRL 6–7)
	• systemy sterowania maszynami górniczymi oparte na łączności 5G i sieciach neuronowych (TRL 5–6)
	• zrobotyzowane systemy utrzymania ruchu i konserwacji maszyn (TRL 6–7)
	• automatyczne systemy transportu urobku w kopalniach (przenośniki, autonomiczne wozy transportowe) (TRL 6–7)

Nowoczesne technologie stosowane w gospodarce surowcowej woj. śląskiego są kluczowe dla efektywnego i zrównoważonego wykorzystywania zasobów naturalnych. Przedstawione rozwiązania obejmują zarówno innowacyjne metody rozpoznawania złóż, jak i zaawansowane techniki ich eksploatacji oraz systemy ochrony surowców, mające na celu optymalizację wydobycia surowców i ograniczenie negatywnego wpływu na środowisko.

Analiza technologii wykazała, że w zakresie rozpoznawania złóż dominują metody geofizyczne i modele numeryczne prognozowania składu surowców. Technologie te, często o wysokim poziomie gotowości (TRL 6–8), pozwalają na precyzyjną ocenę zasobów i optymalizację procesów wydobywczych. Wykorzystywanie teledetekcji satelitarnej, sztucznej inteligencji oraz dronów geofizycznych usprawnia proces badawczy, redukując koszty i zmniejszając czasochłonność stosowania tradycyjnych metod geologicznych.

W zakresie eksploatacji surowców nowoczesne rozwiązania skupiają się na zwiększaniu efektywności wydobycia i poprawie bezpieczeństwa pracy. Systemy autonomiczne i zautomatyzowane maszyny górnicze (TRL 6–8) umożliwiają precyzyjne urabianie i transport surowców, minimalizując ryzyko związane z działalnością człowieka w trudnych warunkach. W przypadku metanu z pokładów węgla oraz wód geotermalnych kluczowe są technologie odzysku gazów i energii, takie jak wielostopniowe układy pomp ciepła.

Racjonalna gospodarka złożem koncentruje się na minimalizacji strat surowców i ich ponownym wykorzystaniu. Technologie selektywnej eksploatacji, ograniczania strat węgla w filarach ochronnych oraz inteligentnych systemów zarządzania złożami (TRL 6–8) pozwalają na optymalne wykorzystanie zasobów. Istotnym aspektem jest także zagospodarowywanie terenów pogórnich, np. przez ich przekształcanie w obszary dla OZE.

Odzysk surowców z odpadów stanowi kluczowy element gospodarki obiegu zamkniętego. Innowacyjne technologie recyklingu: paneli fotowoltaicznych, turbin wiatrowych, elektroodpadów oraz odpadów wydobywczych (OUOW) (TRL 5–8) umożliwiają odzyskiwanie cennych surowców, takich jak metale ziem rzadkich, krzem czy lit. Ich zastosowanie zmniejsza zapotrzebowanie na eksploatację pierwotnych zasobów naturalnych i przyczynia się do ochrony środowiska.

W obszarze projektowania i produkcji maszyn oraz urządzeń dominuje cyfryzacja i automatyzacja. Wykorzystanie cyfrowych bliźniaków, zaawansowanej analizy CFD i MES, druku 3D oraz technologii IoT (TRL 5-8) pozwala na tworzenie bardziej wydajnych i trwałych konstrukcji, dostosowanych do specyfiki eksploatacji surowców.

Składowanie i wykorzystanie CO₂ (CCS i CCUW) to jeden z najważniejszych obszarów w kontekście transformacji energetycznej i neutralności klimatycznej. Technologie separacji, magazynowania oraz przekształcania CO₂ w paliwa syntetyczne czy materiały budowlane (TRL 4–8) stanowią istotne rozwiązania dla przemysłu ciężkiego, w tym sektora energetycznego i hutniczego.

Podsumowując, technologie surowcowe rozwijane w woj. śląskim charakteryzują się wysokim poziomem innowacyjności i dojrzałości technologicznej. Ich zastosowanie może znacząco poprawić efektywność gospodarowania zasobami, zwiększyć bezpieczeństwo pracy, a także przyczynić się do ograniczenia negatywnego wpływu przemysłu na środowisko. Kluczowym wyzwaniem pozostaje dalsza integracja tych technologii z istniejącą infrastrukturą oraz rozwój systemów wspierających dekarbonizację regionu.

Analiza literaturowa oraz przegląd dostępnej wiedzy na temat nowatorskich technologii rozwijanych w woj. śląskim, przeprowadzony przez zespół ekspertów Głównego Instytutu Górnicztwa – Państwowego Instytutu Badawczego, stanowił podstawę opracowania ankiety eksperckiej. Została ona skierowana do wybranych instytucji naukowo-badawczych regionu w celu weryfikacji oraz uzupełnienia informacji na temat kierunków rozwoju poszczególnych technologii. Wyniki ankiety zostały przedstawione w następnym podrozdziale.

W ramach prac analitycznych przeprowadzono ocenę wybranych technologii surowcowych rozwijanych i stosowanych w woj. śląskim. Analiza objęła jednostki naukowo-badawcze, uczelnie oraz przedsiębiorstwa przemysłowe działające w regionie. Choć nie wszystkie podmioty wzięły udział w badaniu, przyjęto podejście benchmarkingowe, w którym podstawą była wiedza ekspercka zespołu GIG-PIB. Ocena została przeprowadzona na podstawie ogólnodostępnych źródeł informacji, wyników wcześniejszych projektów badawczo-rozwojowych (B+R), raportów branżowych oraz doświadczenia instytutu w zakresie monitorowania i wdrażania technologii w sektorze surowcowym.

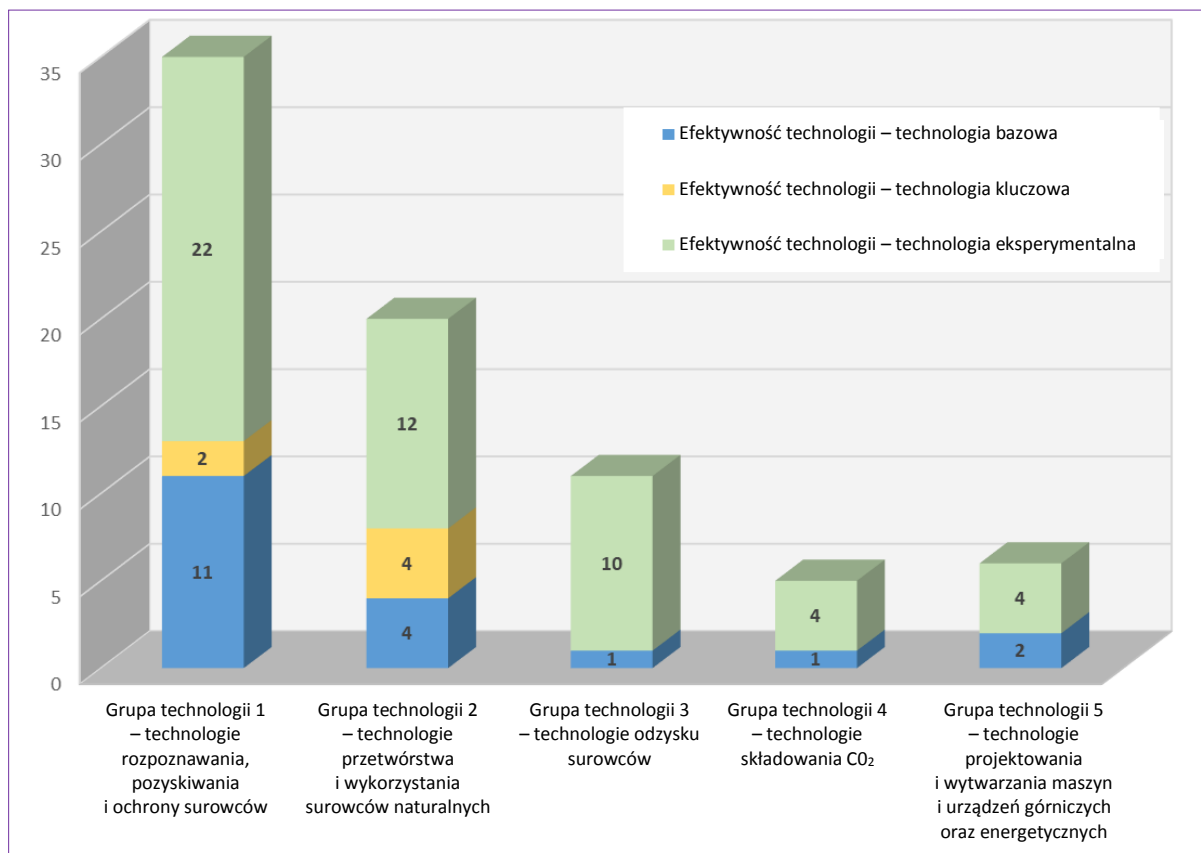
GIG-PIB od lat jest zaangażowany w rozwój innowacji dla przemysłu surowcowego, pełniąc rolę lidera merytorycznego w procesie identyfikacji i oceny technologii. Dzięki znajomości lokalnych uwarunkowań oraz ścisłej współpracy ze środowiskiem przemysłowym i akademickim, możliwe było przeprowadzenie spójnej i pogłębionej analizy, uwzględniającej realia gospodarki woj. śląskiego.

Przyjęto cztery uzupełniające się kryteria oceny: efektywność technologiczna, wiek rynkowy (cykl życia technologii), zastosowanie oraz wpływ na krajobraz technologiczny. Każde z tych kryteriów pozwala spojrzeć z innej perspektywy na potencjał i charakter technologii surowcowych rozwijanych w regionie. Wyniki przedstawiono w formie wykresów oraz szczegółowych opisów, z uwzględnieniem pięciu grup technologicznych – od rozpoznawania i pozyskiwania surowców, przez ich przetwórstwo, odzysk i składowanie, aż po projektowanie i wytwarzanie maszyn i urządzeń górniczych oraz energetycznych. Taka struktura pozwala na kompleksowe zrozumienie obecnego stanu oraz kierunków rozwoju technologii surowcowych w woj. śląskim.

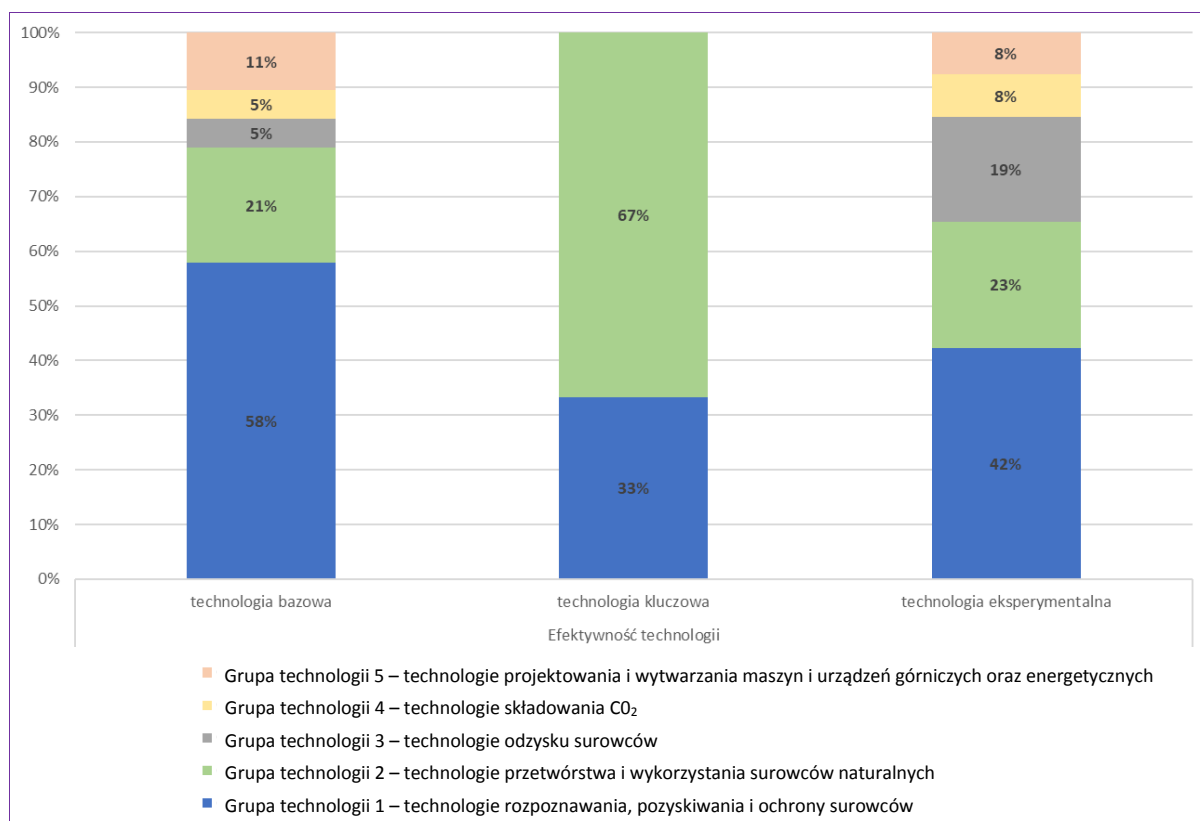
11.1.2.3.1. Technologie surowcowe według kryterium efektywności

Na rysunkach 11.1 i 11.2 przedstawiono wyniki analizy rozwoju technologii surowcowych w woj. śląskim według kryterium efektywności. Uwzględniono trzy poziomy efektywności technologicznej: technologie bazowe, technologie kluczowe oraz technologie eksperymentalne. Technologie te przyporządkowano pięciu grupom technologicznym, odpowiadającym różnym etapom i funkcjom w gospodarce surowcowej. Rysunek 11.1 przedstawia łączną liczbę technologii w poszczególnych

grupach technologicznych z uwzględnieniem ich efektywności. Rysunek 11.2 pokazuje, jaki procent technologii o danym poziomie efektywności przypada na każdą z grup technologicznych.



Rys. 11.1. Technologie surowcowe według kryterium efektywności



Rys. 11.2. Udział technologii surowcowych w kryterium efektywności

Analiza rozwoju technologii surowcowych w woj. śląskim według kryterium efektywności wskazuje na zróżnicowany poziom zaawansowania oraz charakter poszczególnych grup technologicznych. W oparciu o wykres przedstawiający liczbę technologii zaklasyfikowanych do trzech poziomów efektywności – bazowego, kluczowego i eksperymentalnego – można zauważyć, że zdecydowanie największa liczba rozwiązań należy do grupy technologicznej 1, obejmującej technologie rozpoznawania, pozyskiwania i ochrony surowców. To właśnie w tej grupie znajduje się najwięcej technologii eksperymentalnych – aż 22 – co sugeruje, że obszar ten jest szczególnie dynamiczny i rozwijany pod kątem innowacyjnych rozwiązań, które mogą w przyszłości stać się kluczowe dla sektora. Grupa technologiczna 1 posiada również dużą liczbę technologii bazowych (11), co wskazuje, że obecnie stanowi ona istotny element podstawowego zaplecza technologicznego regionu, choć niekoniecznie jego przewagi konkurencyjnej.

Z kolei grupa technologiczna 2, obejmująca przetwórstwo i wykorzystywanie surowców naturalnych, charakteryzuje się najbardziej równomiernym podziałem technologii na trzy poziomy efektywności. Istotne jest to, że grupa ta skupia największy odsetek technologii kluczowych (cztery na sześć wszystkich występujących w zestawieniu), co oznacza, że woj. śląskie opiera swoją obecną konkurencyjność w obszarze surowcowym na przetwórstwie. Technologie z tej grupy stanowią obecnie fundament przewagi rynkowej i są silnie chronione, co potwierdza ich znaczenie strategiczne.

Grupa technologiczna 3, obejmująca technologie odzysku surowców, jest zdominowana przez technologie eksperymentalne – zidentyfikowano ich aż 10. Występuje tu tylko jedna technologia bazowa, nie ma technologii kluczowych, co oznacza, że obszar odzysku znajduje się we wczesnej fazie rozwoju. Mimo dużej aktywności badawczej, nie osiągnięto jeszcze poziomu komercjalizacji, który pozwalałby uznać rozwiązania tego obszaru za kluczowe. Sytuacja ta może świadczyć o dużym potencjale rozwojowym, zwłaszcza w kontekście rosnących wymogów zrównoważonego gospodarowania surowcami.

Grupa technologiczna 4, obejmująca technologie składowania CO₂, również wykazuje przewagę rozwiązań eksperymentalnych – występują tu cztery takie technologie. Znajduje się tu tylko jedna technologia bazowa i brak jest kluczowych. Jest to kolejny przykład sektora rozwijającego się, ale jeszcze nieukształtowanego pod względem trwałych, konkurencyjnych technologii.

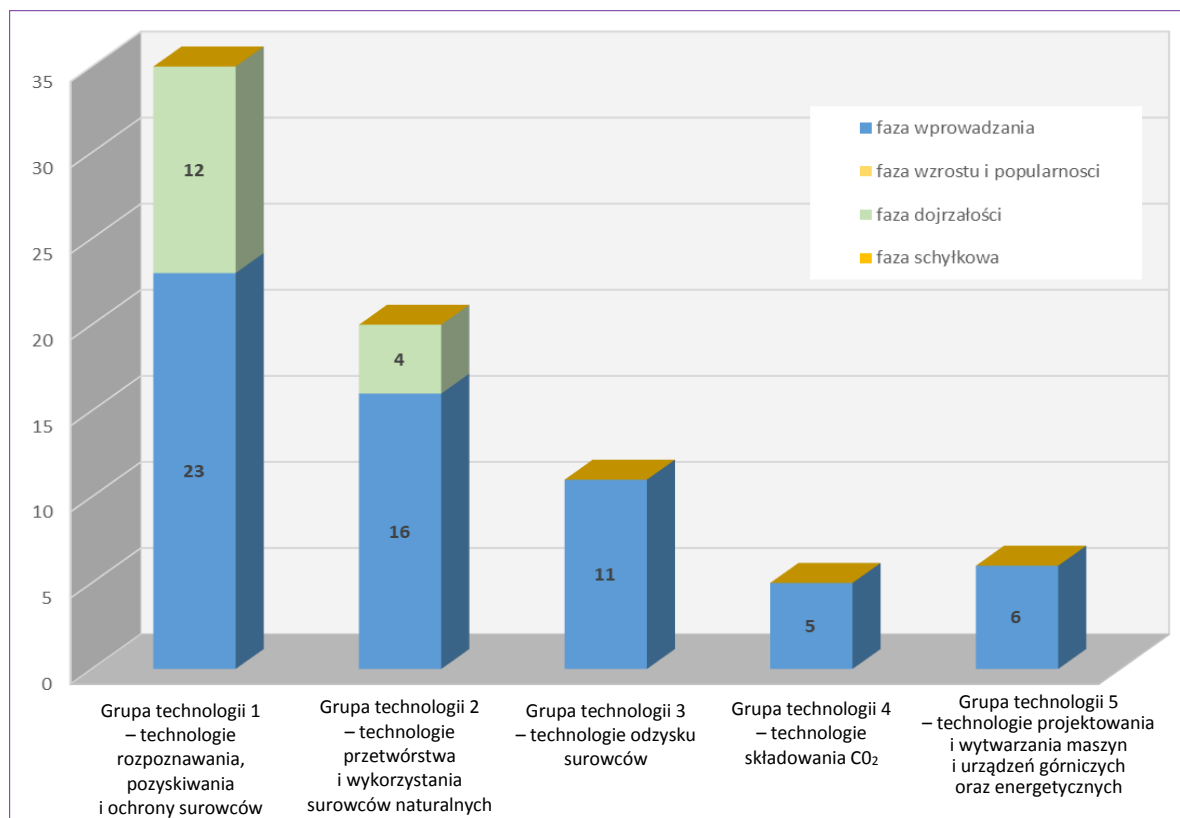
Grupa technologiczna 5, obejmująca projektowanie i produkcję maszyn oraz urządzeń górniczych i energetycznych, posiada dwie technologie bazowe oraz cztery eksperymentalne.

Rysunek 11.2 przedstawia udział procentowy poszczególnych grup technologicznych w trzech poziomach efektywności. Wynika z niego, że technologie bazowe dominują w grupie technologicznej 1 – stanowiąc 58% wszystkich przypadków – co oznacza, że podstawowe rozwiązania technologiczne w woj. śląskim koncentrują się na rozpoznawaniu i pozyskiwaniu surowców. Technologie kluczowe są skupione w grupie technologicznej 2, w której znajduje się 67% wszystkich tego typu technologii. W przypadku technologii eksperymentalnych widać wyraźną dominację grupy technologicznej 1, a także znaczący udział grupy technologicznej 2 oraz grupy technologicznej 3, co wskazuje na intensywne poszukiwania nowych rozwiązań nie tylko w podstawowych procesach surowcowych, ale również w odzysku i ponownym wykorzystywaniu zasobów.

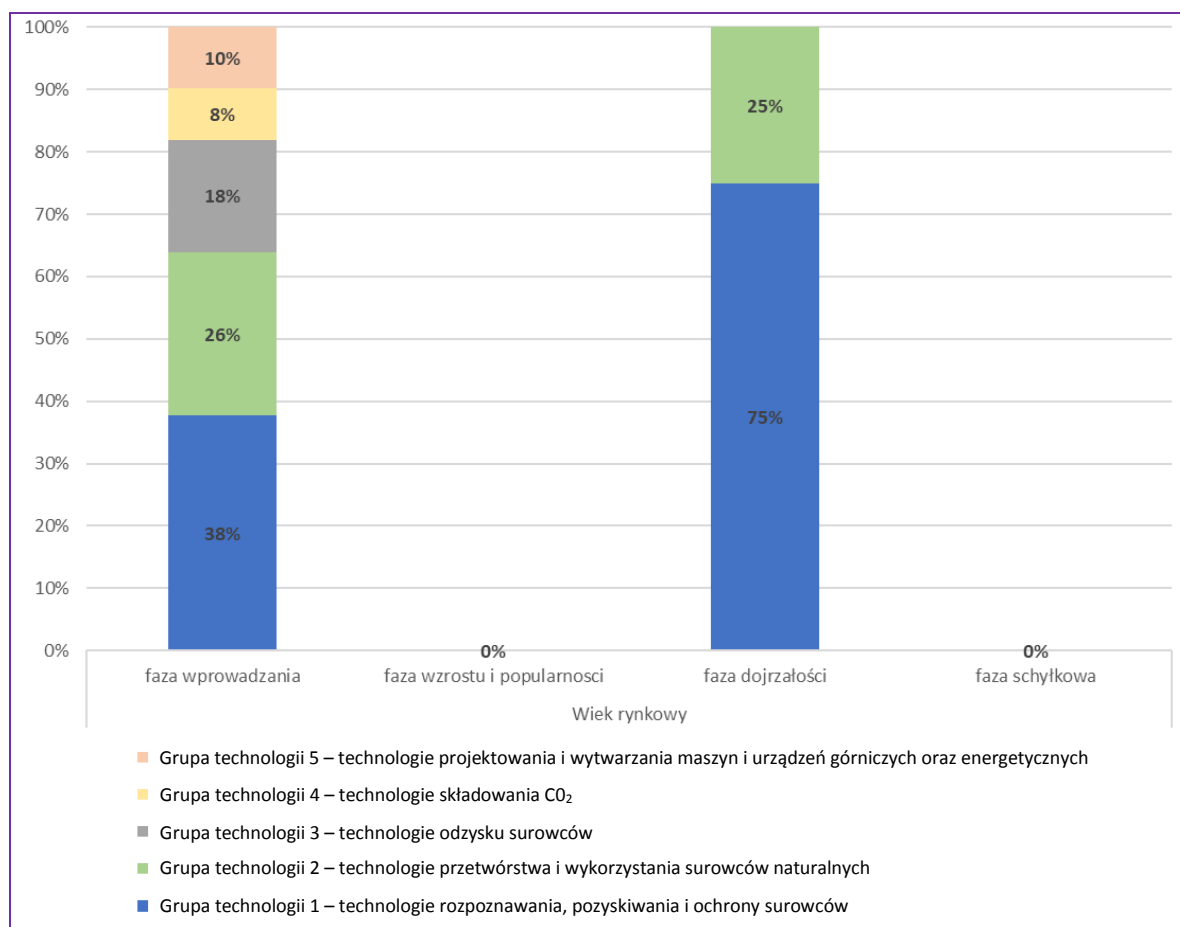
Gruntowna analiza pozwala na stwierdzenie, że woj. śląskie znajduje się w fazie równoległego wykorzystywania dojrzałych, sprawdzonych rozwiązań (głównie z zakresu pozyskiwania i przetwórstwa) oraz intensywnego rozwijania technologii eksperymentalnych w perspektywicznych obszarach, takich jak odzysk surowców czy składowanie CO₂. Taki układ może świadczyć o podejściu strategicznym do transformacji sektora surowcowego – zachowując efektywność dziś, ale aktywnie przygotowując się na wyzwania jutra.

11.1.2.3.2. Technologie surowcowe według kryterium wieku rynkowego

W niniejszym podrozdziale przedstawiono wyniki analizy rozwoju technologii surowcowych w woj. śląskim według kryterium wieku rynkowego, odnoszącego się do cyklu życia technologii. Zestawienie uwzględnia cztery fazy: wprowadzania, wzrostu i popularności, dojrzałości oraz fazę schyłkową. Rysunek 11.3 przedstawia liczbę technologii w poszczególnych grupach technologicznych przyporządkowanych etapom cyklu życia. Rysunek 11.4 pokazuje udział procentowy każdej grupy technologicznej w poszczególnych fazach wieku rynkowego.



Rys. 11.3. Technologie surowcowe według kryterium wieku rynkowego



Rys. 11.4. Udział technologii surowcowych według kryterium wieku rynkowego

Z analizy wynika, że zdecydowana większość technologii znajduje się obecnie w fazie wprowadzania, co świadczy o wysokim poziomie aktywności innowacyjnej w regionie. Najwięcej takich technologii występuje w grupie technologicznej 1, obejmującej technologie rozpoznawania, pozyskiwania i ochrony surowców – aż 23 technologie zostały sklasyfikowane jako będące we wczesnej fazie rozwoju. To wyraźny sygnał, że w sektorze tym inwestuje się w nowe rozwiązania i narzędzia, które mogą odegrać kluczową rolę w przyszłości. Grupa technologiczna 2, związana z przetwórstwem i wykorzystywaniem surowców naturalnych, zawiera 16 technologii w fazie wprowadzania, co potwierdza trwające działania modernizacyjne i rozwój procesów innowacyjnych. Grupa technologiczna 3 (odzysk surowców) wnosi 11 technologii, grupa technologiczna 4 (składowanie CO₂) – pięć technologii, a grupa technologiczna 5 (projektowanie i produkcja maszyn) – sześć technologii w tej samej fazie. Żadna z grup nie posiada obecnie technologii w fazie wzrostu i popularności.

Faza dojrzałości jest reprezentowana wyłącznie przez grupę technologiczną 1 (12 technologii) oraz grupę technologiczną 2 (cztery technologie). Oznacza to, że tylko w tych dwóch grupach występują rozwiązania ugruntowane, już szeroko stosowane na rynku. Szczególnie w grupie technologicznej 1 można mówić o równowadze między wczesnym stadium innowacyjnym, a obecnością sprawdzonych technologii, które funkcjonują stabilnie w sektorze.

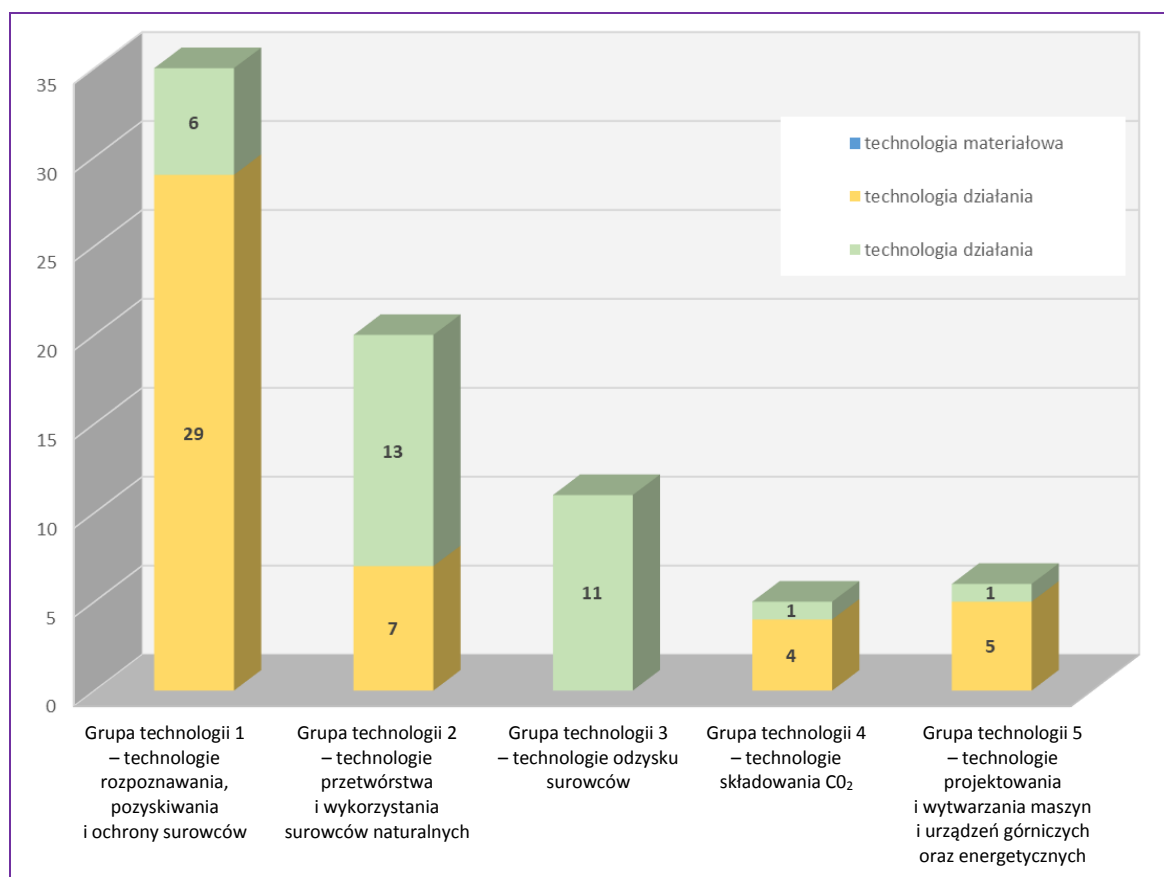
Faza schyłkowa, która w cyklu życia technologii odpowiada za końcowy etap istnienia technologii na rynku, nie występuje w badanym zestawie. Może to świadczyć o tym, że technologie przestarzałe zostały już wycofane, a systematyczne inwestycje w nowe rozwiązania sprawiają, że nie dochodzi do długotrwałego utrzymywania nieefektywnych technologii.

Wyniki przedstawione na rysunku 1.4 potwierdzają te obserwacje. Faza wprowadzania obejmuje aż 38% wszystkich analizowanych technologii, przy czym największy udział w tej kategorii ma grupa technologiczna 1. Istotnym etapem jest również faza dojrzałości, która obejmuje 25% przypadków, i w której także dominuje grupa technologiczna 1. Pozostałe grupy nie posiadają obecnie żadnych technologii w tej fazie.

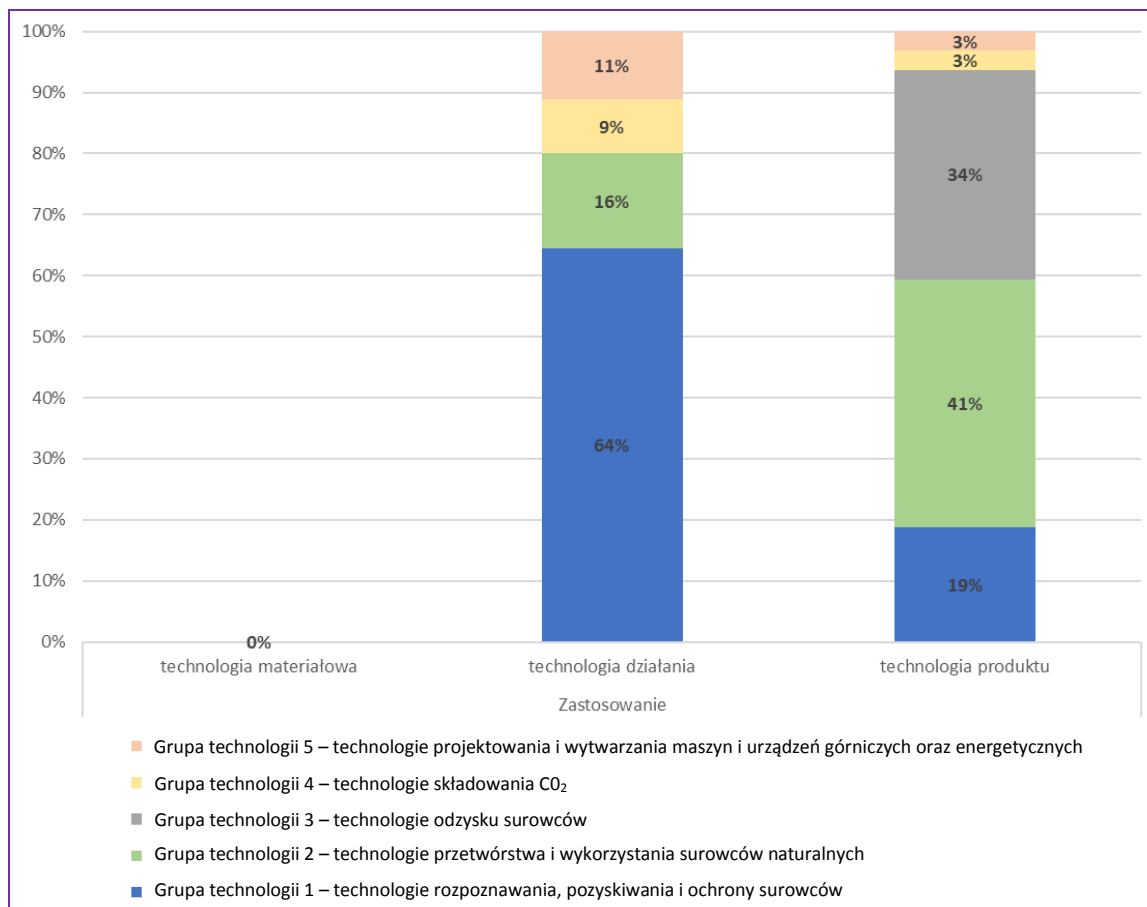
Podsumowując, struktura wieku rynkowego technologii surowcowych w woj. śląskim ukazuje sektor w intensywniej fazy transformacji i innowacji. Przeważająca liczba technologii znajduje się na wczesnym etapie rozwoju, wykazując duży potencjał w tym zakresie. Jednocześnie obecność technologii dojrzałych wskazuje na istnienie sprawdzonych, stabilnych rozwiązań, które nadal pełnią ważną rolę w gospodarce surowcowej regionu. Brak technologii schyłkowych może świadczyć o skutecznym zarządzaniu cyklem życia technologii i ciągłym zastępowaniu starszych rozwiązań nowszymi, bardziej konkurencyjnymi.

11.1.2.3.3. Technologie surowcowe według kryterium zastosowania

Analiza zastosowania technologii surowcowych w woj. śląskim pozwala sklasyfikować je według funkcji, jaką pełnią w procesach przemysłowych i innowacyjnych. Wyróżniono trzy typy: technologia materiałowa, technologia działania oraz technologia produktu. Rysunek 11.5 przedstawia liczbę technologii z poszczególnych grup przypisanych każdej z tych kategorii, natomiast rysunek 11.6 – udział procentowy grup technologicznych według kryterium zastosowania.



Rys. 11.5. Technologie surowcowe według kryterium zastosowania



Rys. 11.6. Udział technologii surowcowych według kryterium zastosowania

Z przedstawionych danych wynika, że w analizowanym zestawie zdecydowaną większość technologii stanowią tzw. technologie działania, czyli rozwiązania dotyczące prowadzenia procesów technologicznych, np. wytwarzania, przetwarzania lub odzysku. Największy udział tego typu technologii występuje w grupie technologicznej 1, czyli w zakresie rozpoznawania, pozyskiwania i ochrony surowców, gdzie zidentyfikowano aż 29 technologii działania. Kluczową sferą innowacji w tej grupie nie są materiały ani produkty, ale sposoby prowadzenia procesów technologicznych, co może wynikać z konieczności optymalizacji wydobywania, monitoringu czy zabezpieczeń środowiskowych. W tej grupie znajduje się również sześć technologii produktu, natomiast technologie materiałowe nie zostały tu zidentyfikowane.

Grupa technologiczna 2, związana z przetwórstwem i wykorzystaniem surowców naturalnych, również zawiera znaczącą liczbę technologii działania – siedem – jednak jeszcze większy nacisk położony jest na technologie produktu, których zidentyfikowano 13. Może to świadczyć o tym, że rozwój w tej grupie jest zrównoważony i koncentruje się zarówno na doskonaleniu procesów, jak i tworzeniu konkretnych, innowacyjnych rozwiązań końcowych. Technologie materiałowe również nie występują w tej grupie.

Technologie produktu dominują całkowicie w grupie technologicznej 3, obejmującej odzysk surowców. Zidentyfikowano tu 11 takich technologii, natomiast technologie działania i materiałowe nie zostały sklasyfikowane. Może to oznaczać, że innowacyjność w tym obszarze koncentruje się głównie na efektach końcowych odzysku – takich jak ponownie użyte materiały czy surowce wtórne – a nie na samej metodzie prowadzenia procesu.

Grupa technologiczna 4, obejmująca składowanie CO₂, zawiera cztery technologie działania i jedną technologię produktu. Choć zakres liczbowy jest tu stosunkowo niewielki, daje to obraz obszaru, w którym rozwój technologiczny znajduje się jeszcze w fazie formowania. Brak technologii materiałowych potwierdza również, że obszar ten nie koncentruje się na aspekcie materiałowym zabezpieczeń, lecz raczej na rozwiązaniach procesowych.

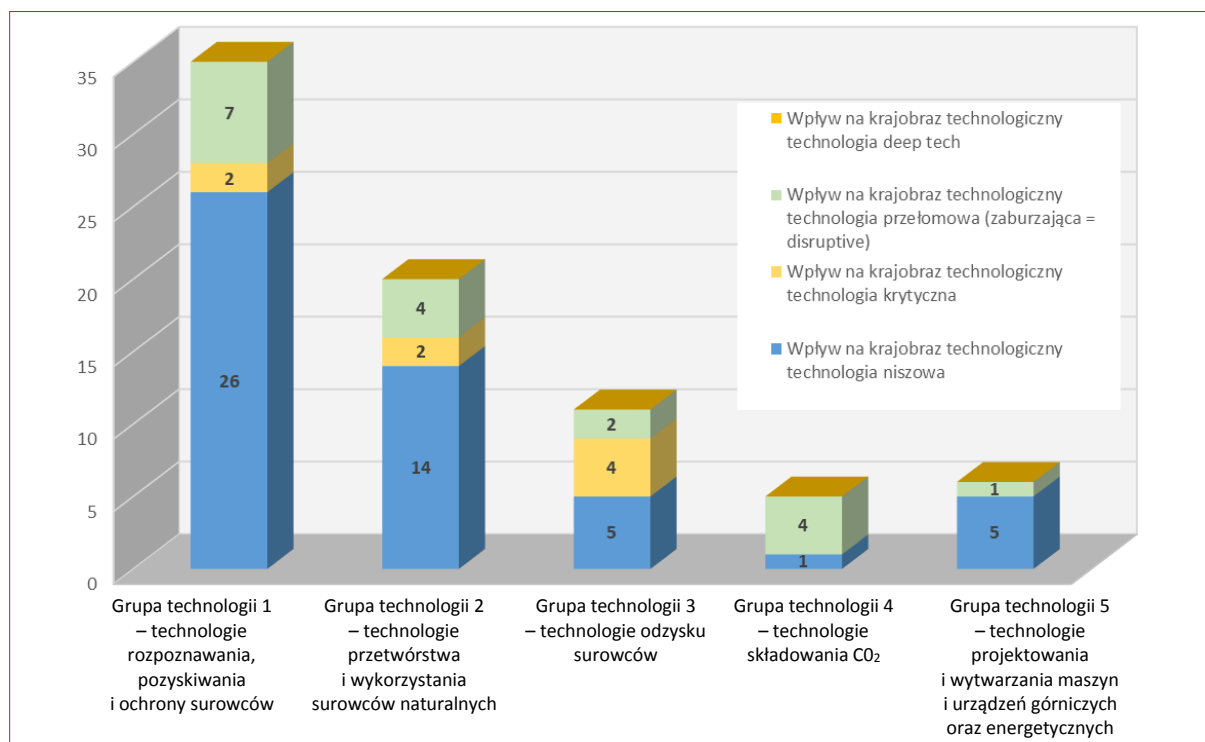
Ostatnia grupa, czyli grupa technologiczna 5, obejmująca projektowanie i produkcję maszyn oraz urządzeń górniczych i energetycznych, zawiera pięć technologii działania oraz jedną technologię produktu. W tym przypadku także technologie materiałowe nie występują, co może wskazywać na ograniczoną aktywność w zakresie rozwoju nowych materiałów konstrukcyjnych i większe skupienie na funkcjonalności oraz sposobach projektowania i użytkowania urządzeń.

Rysunek 1.6 potwierdza te obserwacje – największy udział procentowy mają technologie działania, które stanowią 64% wszystkich sklasyfikowanych przypadków. W tej kategorii zdecydowanie dominuje grupa technologiczna 1. Technologie produktu, stanowiące 34% całości, koncentrują się głównie w grupach technologicznych 2 i 3. Technologie materiałowe stanowią jedynie 3% ogółu i nie występują w żadnej z grup, co jednoznacznie wskazuje, że ich znaczenie w obecnej strukturze zastosowań technologii surowcowych w regionie jest marginalne.

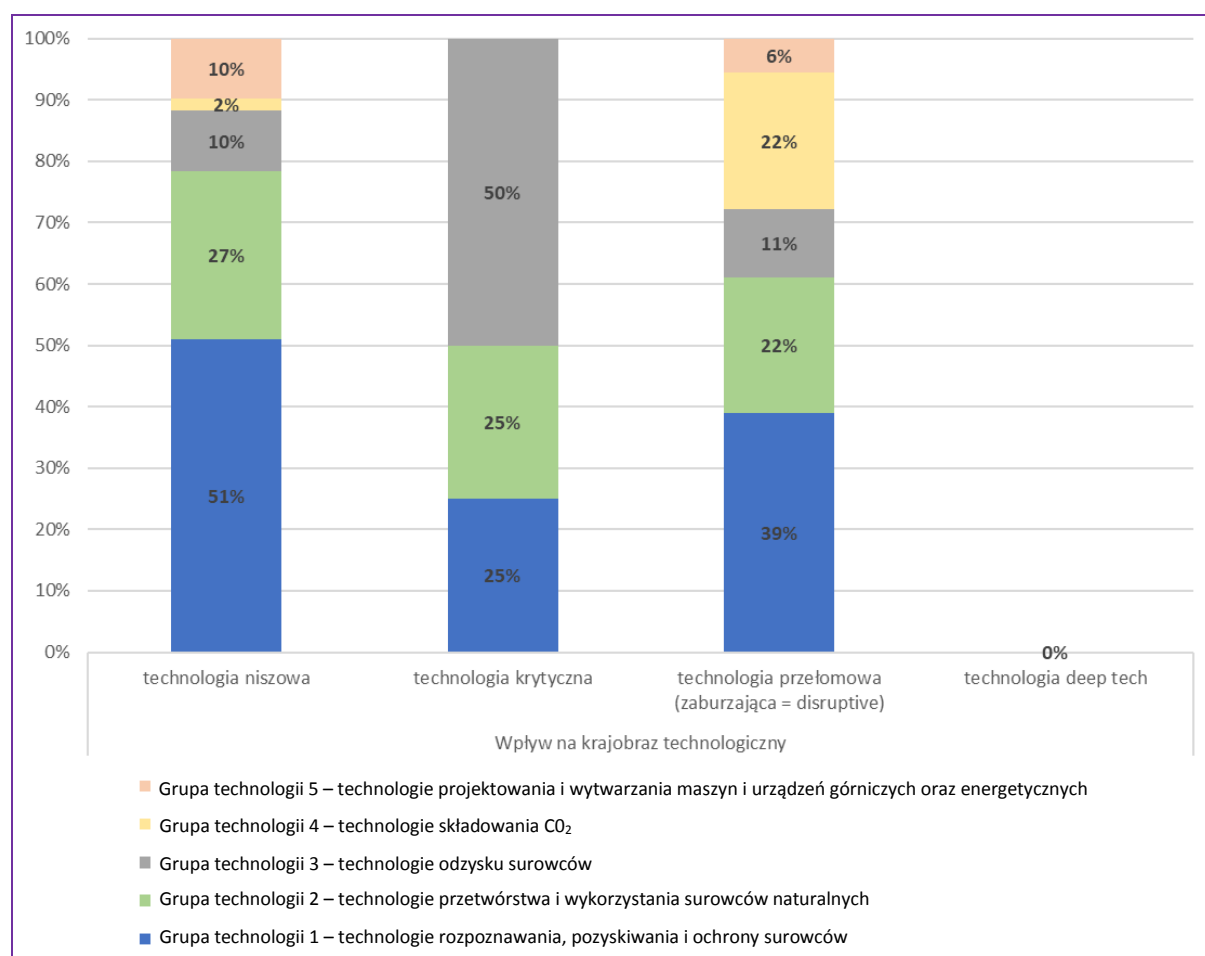
Analiza według kryterium zastosowania pokazuje, że technologie surowcowe w woj. śląskim są obecnie rozwijane głównie jako rozwiązania procesowe – skupione na sposobie działania, organizacji i prowadzenia procesów technologicznych. Technologie produktu odgrywają istotną rolę, zwłaszcza w przetwórstwie i odzysku surowców, natomiast technologie materiałowe pozostają na dalszym planie. Taka struktura wskazuje na praktyczne i procesowe ukierunkowanie innowacji w regionie, co jest typowe dla gospodarki opartej na przemysłowych zastosowaniach technologii surowcowych.

11.1.2.3.4. Technologie surowcowe według kryterium ich wpływu na krajobraz technologiczny

W niniejszym podrozdziale przedstawiono analizę technologii surowcowych w woj. śląskim według kryterium ich wpływu na krajobraz technologiczny. Uwzględniono cztery typy wpływu: technologia niszowa, technologia krytyczna, technologia przełomowa (zaburzająca) oraz technologia deep tech. Rysunek 11.7 przedstawia liczbę technologii w poszczególnych grupach technologicznych przyporządkowanych danemu typowi wpływu. Rysunek 11.8 pokazuje udział procentowy grup technologicznych w każdym typie wpływu na krajobraz technologiczny.



Rys. 11.7. Technologie surowcowe według kryterium wpływu na krajobraz technologiczny



Rys. 11.8. Udział technologii surowcowych według kryterium wpływu na krajobraz technologiczny

Analiza wpływu technologii surowcowych na krajobraz technologiczny woj. śląskiego pozwala ocenić, czy dane rozwiązania mają charakter niszowy, krytyczny, przełomowy (zaburzający), czy też są przykładami tzw. technologii deep tech. Kryterium to pokazuje nie tylko obecne zastosowanie technologii, ale także ich potencjał do transformowania sektora surowcowego lub gospodarki jako całości.

Z danych przedstawionych na rysunku 11.7 wynika, że zdecydowaną większość stanowią technologie niszowe – łącznie 51, z czego aż 26 przypada na grupę technologiczną 1, czyli technologie rozpoznawania, pozyskiwania i ochrony surowców. Również grupa technologiczna 2 wykazuje wysoki udział technologii niszowych (14 przypadków), co potwierdza, że wiele rozwiązań w tych dwóch grupach jest dostosowanych do specyficznych, wyselekcjonowanych rynków lub obszarów zastosowań. W pozostałych grupach niszowe technologie występują w ograniczonym zakresie (po pięć lub mniej).

Technologie krytyczne, definiowane jako istotne dla wewnętrznego rynku Unii Europejskiej, pojawiają się w trzech grupach: po dwie w grupach technologicznych 1 i 2 oraz cztery w grupie technologicznej 3 (odzysk surowców). Ten ostatni wynik może wskazywać na rosnące znaczenie odzysku jako elementu suwerenności surowcowej UE, szczególnie w kontekście gospodarki o obiegu zamkniętym.

Technologie przełomowe, czyli zaburzające dotychczasowe modele rynkowe, występują najliczniej w grupie technologicznej 1 (siedem), w grupie 2 (cztery) i w grupie 4 (cztery). Może to świadczyć o istnieniu nowych rozwiązań, które nie tylko doskonalą procesy, ale też potencjalnie zmieniają logikę funkcjonowania sektora surowcowego. Przykładem mogą być nowe metody monitorowania złóż czy wykorzystywania danych przestrzennych w górnictwie.

Technologie deep tech, mimo ich potencjalnie przełomowego charakteru, w analizowanym zestawieniu nie występują. Może to świadczyć o bardzo wczesnym stadium ich rozwoju w regionie, braku wdrożeń, trudności w klasyfikacji lub o ograniczonym dostępie do finansowania wysokiego ryzyka, które jest typowe dla tego typu technologii.

Dane (rys. 11.8) potwierdzają te obserwacje – technologie niszowe stanowią 51% ogółu technologii i dominują w grupie technologicznej 1. Technologie krytyczne stanowią 25% ogółu technologii i są skupione głównie w grupie technologicznej 3, gdzie stanowią 50%. Technologie przełomowe to 22% ogółu technologii, a największy udział procentowy mają w grupie technologicznej 1 (39%). Technologie deep tech nie zostały ujęte w strukturze, co oznacza, że żadnej z analizowanych technologii nie zaklasyfikowano do tej kategorii.

Technologie surowcowe rozwijane w woj. śląskim mają przede wszystkim charakter niszowy, odpowiadający na konkretne, wyspecjalizowane potrzeby odbiorców. Wśród nich są technologie krytyczne i przełomowe, co stanowi potencjał, który może być wykorzystany do przekształcania modeli funkcjonowania sektora w celu wzmocnienia strategicznej niezależności technologicznej. Brak technologii deep tech może natomiast wskazywać na konieczność wsparcia najbardziej zaawansowanych, ryzykownych innowacji, które w przyszłości mogłyby stać się istotnym impulsem do rozwoju gospodarki regionu.

11.1.2.4. Podsumowanie

Przeprowadzona analiza technologii surowcowych rozwijanych w woj. śląskim – obejmująca zarówno wyniki badań ankietowych, jak i analizę benchmarkingową przeprowadzoną przez GIG-PIB – pozwala na sformułowanie kilku istotnych wniosków dotyczących kondycji, struktury i kierunków rozwoju technologii w regionie.

Po pierwsze, jest widoczna wyraźna dominacja technologii bazowych i eksperymentalnych, co wskazuje na trwanie przy sprawdzonych rozwiązaniach, a zarazem na intensywny rozwój nowych technologii. Technologie kluczowe są obecne w znacznie mniejszym zakresie i koncentrują się przede wszystkim w grupie technologicznej 2 – obejmującej przetwórstwo i wykorzystywanie surowców

naturalnych. To ten obszar wydaje się dziś najważniejszym nośnikiem konkurencyjności regionalnej gospodarki surowcowej.

Po drugie, zdecydowana większość technologii znajduje się obecnie w fazie wprowadzania, co świadczy o dużym potencjale innowacyjnym oraz o tym, że wiele rozwiązań wciąż znajduje się na wczesnym etapie rozwoju. Faza wzrostu i popularności nie została zidentyfikowana dla żadnej technologii, natomiast w fazie dojrzałości znajdują się wyłącznie technologie z grupy 1 i 2. Nie zaobserwowano technologii schyłkowych, co może świadczyć o efektywnym zarządzaniu cyklem życia technologii oraz systematycznym zastępowaniu starszych rozwiązań nowszymi.

Po trzecie, analiza według zastosowania pokazuje, że aż 64% technologii to technologie działania – skoncentrowane na procesach technologicznych. Technologie produktu (34%) również odgrywają istotną rolę, szczególnie w grupach obejmujących przetwórstwo i odzysk surowców. Technologie materiałowe nie wystąpiły w badanym zestawie, co może świadczyć o niskim poziomie rozwoju tego typu innowacji w regionie lub o ich traktowaniu jako elementów składowych innych technologii, a nie jako osobnych rozwiązań.

Analiza wpływu na krajobraz technologiczny wykazała ostatecznie, że największy udział mają technologie niszowe – łącznie 51% – co odzwierciedla specjalistyczny charakter wielu rozwiązań. Technologie krytyczne (25%) i przełomowe (22%) występują i wskazują na potencjał wybranych obszarów do przekształcania branży lub wzmacniania strategicznej niezależności technologicznej. Technologie deep tech nie zostały zidentyfikowane, co może sugerować ograniczony rozwój lub wczesny etap obecności takich rozwiązań w sektorze surowcowym regionu.

Gruntowna analiza pozwala na stwierdzenie, że woj. śląskie posiada solidne podstawy technologiczne, z wyraźnym akcentem położonym na rozwój innowacji w obszarach przetwórstwa, odzysku i pozyskiwania surowców. Widoczne jest wyraźne ukierunkowanie na wprowadzanie nowych rozwiązań oraz duże możliwości związane z technologiami eksperymentalnymi i działaniami procesowymi. Dostrzegalne są jednak pewne luki, np. brak technologii w fazie wzrostu oraz brak technologii deep tech, co może wskazywać na obszary wymagające dodatkowego wsparcia badawczo-rozwojowego i inwestycyjnego. Wyniki analizy mogą stanowić cenny punkt wyjścia do dalszych działań planistycznych i strategicznych w zakresie transformacji technologicznej regionu.

11.1.3. Analiza konkurencyjności obszaru technologicznego

11.1.3.1. Opis przyjętych metod

Celem przeprowadzonej analizy jest identyfikacja pięciu sił Portera kształtujących rozwój technologii w obszarze przemysłu surowcowego w woj. śląskim. Wykorzystanie modelu pięciu sił Portera pozwala na ocenę konkurencyjności tego sektora, potencjału regionalnego oraz czynników zewnętrznych wpływających na rozwój technologiczny. Analiza umożliwia także zidentyfikowanie ryzyka oraz obszarów działań strategicznych, które mogą umacniać pozycję woj. śląskiego jako lidera technologicznego w Polsce i Europie.

Analiza została oparta na danych pochodzących z różnych źródeł obejmujących okres 2015–2023. Główne źródła stanowią wskaźniki ekonomiczne sektora surowcowego monitorowane przez Główny Urząd Statystyczny (GUS) oraz Eurostat, dane z globalnych baz wiedzy, takich jak OECD i World Bank, analiza dokumentów strategicznych związanych z gospodarką obiegu zamkniętego i Przemysłem 4.0, a także dane Regionalnego Obserwatorium Specjalistycznego w Katowicach. Zostały także uwzględnione dane o projektach badawczo-rozwojowych realizowanych przez instytucje naukowe, takie jak GIG-PIB oraz inne jednostki naukowo-badawcze w województwie.

GIG-PIB odgrywa istotną rolę w realizacji projektów w ramach programu RFCS (ang. *Research Fund for Coal and Steel*). Projekty te koncentrują się na opracowywaniu innowacyjnych technologii dla przemysłu węglowego i stalowego, przyczyniając się do poprawy efektywności procesów technologicznych, redukcji emisji i zwiększenia bezpieczeństwa środowiskowego. W ostatnich latach były prowadzone badania nad technologiami wychwytywania i składowania ditlenku węgla, systemami monitoringu geologicznego dla bezpiecznej eksploatacji złóż oraz technologiami odzysku

metali z odpadów przemysłowych. Współpraca GIG-PIB z partnerami krajowymi i międzynarodowymi umożliwia transfer wiedzy i wdrażanie wyników badań do praktyki przemysłowej, co znacząco zwiększa konkurencyjność regionu.

Warunki popytu na technologie w regionie są kształtowane przez rosnące zainteresowanie zrównoważonymi technologiami, w szczególności tymi, które wspierają gospodarkę obiegu zamkniętego oraz redukcję emisji CO₂. Dane pochodzące z raportów Komisji Europejskiej oraz OECD wskazują na zwiększony popyt na innowacje w obszarach, takich jak technologie CCS, recykling materiałów i zielone technologie przemysłowe. Mimo rosnącego zainteresowania, ograniczenia finansowe mniejszych przedsiębiorstw utrudniają pełne wykorzystanie potencjału popytowego, co wskazuje na potrzebę dedykowanego wsparcia finansowego oraz edukacyjnego.

Potencjał technologiczny woj. śląskiego jest oceniany jako bardzo wysoki, dzięki obecności kluczowych instytucji badawczo-rozwojowych w regionie, takich jak GIG-PIB, Politechnika Śląska oraz Instytut Technologii Paliw i Energii (wcześniej: Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla), Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Politechnika Częstochowska czy Instytut Inżynierii Chemicznej PAN. Dane patentowe z ostatnich lat wskazują na dynamiczny rozwój technologii związanych z gospodarką surowcową, co potwierdza regionalną zdolność do tworzenia innowacji. Istnieje jednak ryzyko utraty know-how w przypadku niedostatecznych inwestycji w rozwój infrastruktury badawczej oraz współpracy międzynarodowej.

Możliwość pojawienia się nowych technologii, zwanych substytutami, stanowi istotne zagrożenie dla tradycyjnych technologii stosowanych w regionie. Analiza przeprowadzona przez Komisję Europejską wskazuje, że technologie, takie jak alternatywne źródła energii czy zaawansowane metody magazynowania energii, mogą w najbliższej przyszłości wypierać technologie oparte na węglu. Region musi zatem inwestować w rozwój nisz technologicznych, takich jak technologie CCS, które mogą przyczynić się do utrzymania konkurencyjności na rynku.

Zależności w łańcuchach wartości w regionie są dobrze rozwinięte, dzięki silnym sieciom współpracy między instytucjami naukowymi a przemysłem. Niemniej jednak rozwój technologii w regionie pozostaje silnie uzależniony od finansowania zewnętrznego, w tym programów europejskich, takich jak Horyzont Europa. Konieczne jest zatem zwiększenie niezależności finansowej i operacyjnej przez rozwój regionalnych źródeł finansowania.

Intensywność rywalizacji między konkurentami w sektorze technologii surowcowych jest bardzo wysoka, szczególnie w obszarze zielonych technologii i gospodarki obiegu zamkniętego. W regionie działa wiele podmiotów konkurencyjnych zarówno na poziomie krajowym, jak i międzynarodowym, co wymusza na przedsiębiorstwach stałe inwestycje w badania i rozwój oraz promocję swoich rozwiązań.

Analiza pięciu sił Portera pozwala na sformułowanie kluczowych wniosków dotyczących konkurencyjności obszaru technologicznego w woj. śląskim. Region posiada wysoki potencjał technologiczny, ale dalszy rozwój wymaga zwiększonych nakładów na innowacje oraz wsparcia w zakresie komercjalizacji wyników badań. Kluczowe technologie, takie jak CCS, recykling odpadów przemysłowych oraz gospodarka obiegu zamkniętego, powinny być priorytetem dla rozwoju w najbliższych latach. Wzmacnianie sieci współpracy, promocja regionalnych rozwiązań technologicznych na arenie międzynarodowej oraz rozwój regionalnych funduszy wsparcia będą kluczowe dla umacniania pozycji woj. śląskiego jako lidera innowacji technologicznych.

11.1.3.2. Analiza warunków popytu na technologie w ramach obszaru technologicznego

Celem analizy jest określenie potencjału sektora technologii surowcowych w woj. śląskim, z uwzględnieniem liczebności podmiotów, potencjału inwestycyjnego oraz identyfikacji głównych podmiotów zgłaszających potrzeby rozwoju technologii. Analizie poddano: specyfikę sektora, wewnętrzną konkurencję w zakresie innowacji technologicznych oraz możliwości komercjalizacji technologii w regionie i poza nim.

Identyfikacja podmiotów gospodarczych wyróżniających się na tle kraju i UE

Woj. śląskie wyróżnia duże skupisko przedsiębiorstw działających w sektorze technologii surowcowych. Do kluczowych „graczy” w skali krajowej i unijnej należą podmioty, takie jak: Jastrzębska Spółka Węglowa SA (JSW SA), Polska Grupa Górnicza SA (PGG SA), Południowy Koncern Węglowy SA (PKW SA) oraz instytucje naukowe i badawcze, np. GIG-PIB, Instytut Technologii Paliw i Energii, ITG KOMAG, Politechnika Śląska, Politechnika Częstochowska czy Instytut Inżynierii Chemicznej PAN. Na rynku śląskim pojawia się też coraz większa liczba firm typu start-up. Na poziomie międzynarodowym region współpracuje z przedsiębiorstwami i ośrodkami z Niemiec, Hiszpanii i z innych państw europejskich, co podkreśla jego znaczenie jako centrum technologicznego w obszarze surowców.

Dane z GUS oraz Eurostat wskazują, że woj. śląskie jest liderem w Polsce pod względem liczby przedsiębiorstw i inwestycji w sektorze surowcowym, odpowiadając za ponad 30% krajowej produkcji przemysłowej oraz znaczącą część eksportu produktów związanych z wydobywaniem i przetwarzaniem surowców.

Wybrane dane statystyczne

Z danych za lata 2015–2023 wynika, że woj. śląskie osiągnęło dobre wyniki w wymianie handlowej, szczególnie w eksporcie technologii związanych z przemysłem surowcowym, np. eksport urządzeń do przetwarzania surowców oraz technologii wzrastał w tym czasie o około 15% rocznie, co wskazuje na rosnącą przewagę regionu w tym zakresie. Województwo jest również liderem w liczbie wdrożeń zielonych technologii w przemyśle ciężkim, co zostało potwierdzone w raportach Ministerstwa Rozwoju i Technologii oraz w dokumentach dotyczących Krajowych Inteligentnych Specjalizacji (KIS).

Opis zachodzących zmian rynkowych i popytu na innowacje

Rynek technologii surowcowych w woj. śląskim dynamicznie ewoluuje, podążając za globalnymi trendami. Rosnące zapotrzebowanie na technologie związane z redukcją emisji CO₂, gospodarką obiegu zamkniętego oraz recyklingiem odpadów przemysłowych wskazuje na przesunięcie priorytetów z tradycyjnych technologii wydobywczych na zrównoważone innowacyjne rozwiązania.

Raporty OECD i Komisji Europejskiej wykazują, że regulacje prawne związane z ochroną środowiska oraz polityką klimatyczną w znaczący sposób stymulują popyt na innowacje technologiczne. Preferencje konsumentów oraz wymogi korporacyjne coraz częściej obligują do stosowania technologii minimalizujących wpływ na środowisko.

Branże gospodarki rozwijające obszar technologiczny

Woj. śląskie jest silnie zróżnicowane pod względem struktury gospodarczej, co wspiera rozwój technologii surowcowych. Kluczowymi branżami sprzyjającymi rozwojowi tego sektora są:

- energetyka: rozwój technologii CCS, systemów odmetanowania oraz urządzeń do monitorowania emisji,
- przemysł chemiczny: wykorzystanie węgla oraz gazu syntezowego jako surowców dla produkcji chemikaliów,
- budownictwo: produkcja materiałów budowlanych, w tym kruszyw oraz cementu z dodatkiem materiałów recyklingowych,
- transport i logistyka: wsparcie w zakresie dystrybucji surowców oraz technologii przemysłowych na rynek krajowy i międzynarodowy.

Opis rynku z wykorzystaniem danych statystycznych

Według danych GUS, w latach 2015–2023 w woj. śląskim działało około 25 000 przedsiębiorstw przemysłowych, z czego około 8% to firmy związane bezpośrednio z sektorem surowcowym. Zatrudnienie w sektorze wynosiło około 200 000 osób, co stanowi znaczącą część rynku pracy w regionie.

Zgłaszany popyt na technologie i wymagania branżowe

Popyt na technologie w regionie jest silnie skoncentrowany na rozwiązaniach związanych z gospodarką obiegu zamkniętego, cyfryzacją procesów przemysłowych oraz automatyzacją. Raporty

branżowe wykazują, że przemysł ciężki, energetyka oraz budownictwo zgłaszają największe zapotrzebowanie na technologie, takie jak:

- technologie monitorowania i redukcji emisji gazów cieplarnianych,
- systemy automatyzacji procesów przemysłowych oparte na sztucznej inteligencji,
- technologie związane z recyklingiem i odzyskiem materiałów.

Wymagania branżowe obejmują nie tylko zaawansowane technologicznie rozwiązania, ale również zgodność z regulacjami środowiskowymi, które są coraz bardziej restrykcyjne zarówno na poziomie krajowym, jak i unijnym.

Opis konkurencji

Konkurencja w obszarze technologii surowcowych przejawia się głównie w rywalizacji o zasoby, know-how oraz dostęp do rynku międzynarodowego. Woj. śląskie konkuruje z rozwiniętymi regionami w Unii Europejskiej (np. Nadrenia Północna-Westfalia w Niemczech), które dysponują bardziej zaawansowanymi technologiami w obszarze gospodarki surowcami. Na rynku wewnętrznym konkurują ze sobą przede wszystkim małe i średnie przedsiębiorstwa, które starają się zdobyć udział w rynku przez wprowadzanie innowacyjnych produktów i usług.

Wnioski

Analiza wykazała, że woj. śląskie posiada duży potencjał inwestycyjny oraz technologiczny w obszarze technologii surowcowych. Kluczowe sektory, takie jak energetyka, przemysł chemiczny i budownictwo, tworzą duży popyt na innowacyjne technologie. Rozwój regionu wymaga jednak dalszego wzmacniania konkurencyjności na poziomie krajowym i unijnym przez inwestycje w B + R, wspieranie współpracy międzysektorowej oraz promowanie regionalnych technologii na rynkach międzynarodowych.

11.1.3.3. Identyfikacja możliwości pojawienia się nowych technologii, produktów i usług

Opis przewag B + R + I obszaru w odniesieniu do kraju i UE

Woj. śląskie wyróżnia się jednym z najwyższych potencjałów B + R w Polsce zarówno pod względem liczby jednostek badawczych, jak i realizowanych projektów badawczych. Region, z uwagi na swoją przemysłową specyfikę, koncentruje się na innowacjach w obszarze technologii surowcowych, gospodarki obiegu zamkniętego oraz redukcji emisji gazów cieplarnianych. Na tle UE województwo jest liderem w opracowywaniu technologii CCS, systemów monitoringu procesów wydobywczych oraz technologii recyklingu odpadów przemysłowych.

Identyfikacja potencjału B + R + I – kierunków prowadzonych badań, posiadanej wiedzy, przykładów wdrożeń

Potencjał badawczo-rozwojowy województwa opiera się na współpracy uczelni, instytutów badawczych oraz przedsiębiorstw, co umożliwi rozwój innowacyjnych technologii. W tabeli 11.6 zestawiono wybrane międzynarodowe projekty badawcze, w których brały udział jednostki z woj. śląskiego.

Tabela 11.6. Identyfikacja potencjału B + R + I – kierunków prowadzonych badań, posiadanej wiedzy, przykładów wdrożeń dla obszaru technologicznego technologie surowcowe

Grupa technologii	Projekt	Opis	Konsorcjum (partnerzy z woj. śląskiego)
Technologie rozpoznawania, pozyskiwania i ochrony surowców	HyStorIES	Podziemne magazynowanie wodoru w Europie	GIG-PIB
	MEGAPlus	Produkcja niekonwencjonalnego metanu z głęboko zalegających europejskich pokładów węgla w połączonych procesach pozyskiwania metanu pokładów węgla (CBM) i podziemnego zgazowania węgla (PZW)	GIG-PIB, PGG SA
	HUGE 2	Podziemne zgazowanie węgla ukierunkowane na produkcję wodoru – aspekty środowiskowe i bezpieczeństwa (Hydrogen Oriented Underground Coal Gasification for Europe – Environmental and Safety Aspects)	GIG-PIB, Politechnika Śląska, KW SA
	Modernizacja i implementacja zintegrowanego systemu gromadzenia, udostępniania	Modernizacja i implementacja zintegrowanego systemu gromadzenia, udostępniania i przetwarzania środowiskowej informacji geologicznej	PIG-PIB

Grupa technologii	Projekt	Opis	Konsorcjum (partnerzy z woj. śląskiego)
	i przetwarzania środowiskowej informacji geologicznej Aktualizacja map koncesji z uwzględnieniem aktualnych granic złóż objętych własnością górnictw	Aktualizacja map koncesji z uwzględnieniem aktualnych granic złóż objętych własnością górnictw w woj. śląskim	PIG-PIB
Technologie przetwórstwa i wykorzystania surowców naturalnych	HyCON	Bezpośrednia hydrotermalna katalityczna konwersja biomasy oraz węgla brunatnych do paliw ciekłych i chemikaliów	GIG-PIB
	i3upgrade	Zintegrowane i inteligentne wykorzystanie zasobów węgla w przemyśle stalowym z zastosowaniem wodoru	GIG-PIB
	COALBYPRO	Innowacyjne zarządzanie produktami ubocznymi ze spalania węgla, prowadzące również do redukcji emisji CO ₂	GIG-PIB
	ZGAZOWANIE	Opracowanie technologii gazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej	GIG-PIB, ITPE, KHW SA, PKW SA, Tauron Polska Energia SA
	GeoSolar	Przekształcenie zamkniętych kopalń węgla w magazyny energii cieplnej zasilane energią słoneczną i wodami kopalnianymi, co utworzy nowoczesne systemy ogrzewania sieciowego	GIG-PIB, PGG SA
Technologie odzysku surowców	SUMAD	Zrównoważone wykorzystanie hałd górnictw	GIG-PIB, ITG KOMAG, ITI EMAG
	METHENERGY PLUS	Odzysk i wykorzystanie metanu do celów energetycznych i chemicznych w kopalniach węgla	GIG-PIB
	CEReS	Współprzetwarzanie odpadów kopalnianych i elektronicznych: nowe zasoby dla zrównoważonej przyszłości	GIG-PIB
	H2GEO	Nowa technologia wytwarzania wodoru i kompozytów geopolimerowych z odpadów pogórnictw	ITG KOMAG, GIG-PIB, HALDEX SA
	MINRESCUE	Od odpadów górnictw do wartościowych zasobów – nowa koncepcja gospodarki obiegu zamkniętego	GIG-PIB, PGG SA
	Krajowa Inteligentna Specjalizacja 7: Gospodarka o obiegu zamkniętym – woda, surowce kopalne, odpady (KIS 7)	Inicjatywa obejmująca projekty związane z innowacyjnymi technologiami recyklingu odpadów, odzysku materiałowego oraz unieszkodliwiania odpadów, zgodnie z krajowymi priorytetami w zakresie gospodarki o obiegu zamkniętym	Ministerstwo Rozwoju i Technologii
Technologie składowania CO ₂	SEDAS	Opracowanie nowej technologii z użyciem innowacyjnych ładunków wybuchowych do bezpiecznego i efektywnego demontażu wyrobisk podziemnych i odzysku stalowych obudów łukowych. Technologia ma kluczowe znaczenie dla likwidacji europejskich kopalń węgla, odzysku surowców i ograniczenia emisji metanu, a jej wyniki będą szeroko promowane na arenie międzynarodowej	GIG-PIB, PGG SA, JSW SA, Węglkokos Kraj SA
	CO2freeSNG2.0	Zaawansowany substytut gazu ziemnego otrzymany z węgla za pomocą wewnętrznej sekwestracji CO ₂	GIG-PIB
	CARBOLAB	Powiększenie wiedzy na temat składowania ditlenku węgla i produkcji metanu z pokładów węgla poprzez podziemne testy in situ	GIG-PIB
	PilotSTRATEGY	Instalacje pilotowe geologicznego składowania CO ₂ w regionach strategicznych	GIG-PIB
	STRATEGY CCUS	Strategiczne planowanie na poziomie regionów i obszarów Europy, wspierające niskoemisyjne wytwarzanie energii i niskoemisyjny przemysł przez CCUS	GIG-PIB
Technologie projektowania oraz wykorzystania maszyn, urządzeń górnictw i energetycznych	HEET II	Innowacyjny, wysokowydajny system zasilania maszyn i urządzeń, podnoszący poziom bezpieczeństwa pracy w podziemnych wyrobiskach górnictw	GIG-PIB, Politechnika Śląska, ITG KOMAG, JSW Innowacje SA
	DD-MET	Nowoczesna strategia odmetanowania wykorzystująca technikę podziemnych wierceń kierunkowych w celu zapobiegania zagrożeniom i ograniczania emisji gazów cieplarnianych	GIG-PIB, PGG SA, PIG-PIB
	PICTO	Ograniczenie ryzyka środowiskowego w trakcie eksploatacji węgla metodą ścianową w kopalniach węgla kamiennego i brunatnego	GIG-PIB, PGG SA
	HydroCOAL Plus	Opracowanie i demonstracja technologii hydro-otworowej dla poprawy konkurencyjności eksploatacji węgla brunatnego na świecie i ograniczenia jej wpływu na środowisko	GIG-PIB
	COMEX	Eksploatacja w złożonych warunkach górnictw: optymalizacja projektów eksploatacji i ograniczenie wpływów na środowisko człowieka	GIG-PIB

Wskazanie kluczowych podmiotów w regionie

W woj. śląskim funkcjonują liczne podmioty, które mają kluczowe znaczenie dla rozwoju technologii surowcowych. Są to zarówno jednostki badawczo-rozwojowe, uczelnie, jak i przedsiębiorstwa przemysłowe. Do najważniejszych należą:

- Główny Instytut Górnictwa – Państwowy Instytut Badawczy,
- Politechnika Śląska w Gliwicach,
- Instytut Technologii Paliw i Energii w Zabrze,
- Instytut Techniki Górniczej KOMAG w Gliwicach,
- Instytut Sztucznej Inteligencji i Cyberbezpieczeństwa (Łukasiewicz AI) w Katowicach,
- Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Górnośląski w Sosnowcu,
- Famur SA w Katowicach,
- FASING SA Fabryki Sprzętu i Narzędzi Górniczych,
- Bumech SA,
- EKO-PLUS Sp. z o.o.,
- Kopalnia Dolomitu Sp. z o.o. w Imielinie,
- Górnicze Zakłady Dolomitowe SA w Siewierzu,
- Kopalnia Surowców Skalnych Wisła SA,
- Kopalnia Wapienia KOSBUD Sp. z o.o. w Lesznej Górze,
- Kopalnia Piasku Kotlarnia SA,
- Kopalnia Piasku HERBY (PBU Bud-Las),
- Polska Grupa Górnicza SA,
- Jastrzębska Spółka Węglowa SA,
- Węglokoks Kraj SA,
- Południowy Koncern Węglowy SA,
- Haldex SA,
- Elemental Strategic Metals Sp. z o.o.

Identyfikacja rozwijanych unikatowych rozwiązań i technologii

W woj. śląskim rozwijane są unikatowe technologie, które wpływają na transformację przemysłu i regionu. Do takich rozwiązań należą m.in.:

- podziemne magazynowanie wodoru – rozwój technologii umożliwiających przechowywanie wodoru w wyrobiskach pogórnich, co wspiera stabilność systemu energetycznego i transformację w kierunku gospodarki wodorowej,
- zaawansowane technologie zgazowania węgla – opracowanie metod przekształcania węgla w gaz syntezowy i wodór w sposób niskoemisyjny, co pozwala na bardziej efektywne wykorzystanie krajowych zasobów surowcowych,
- nowoczesne metody odzysku surowców z odpadów pogórnich – wdrażanie innowacyjnych technologii umożliwiających pozyskiwanie metali ziem rzadkich, wodoru i surowców budowlanych z hałd i odpadów górniczych,
- inteligentne systemy eksploatacji surowców – wykorzystanie automatyzacji, sztucznej inteligencji i nowoczesnych metod wierceń kierunkowych w celu zwiększenia efektywności wydobywania oraz minimalizacji wpływu na środowisko,
- innowacyjne technologie w projektowaniu i użytkowaniu maszyn górniczych – opracowanie nowoczesnych systemów zasilania i sterowania urządzeniami górniczymi, które zwiększają bezpieczeństwo pracy i efektywność eksploatacji w trudnych warunkach,
- zrównoważone zarządzanie emisją CO₂ i metanu – rozwój technologii sekwestracji ditlenku węgla oraz nowoczesnych metod odmetanowania kopalń, co wspiera procesy dekarbonizacji i ochrony klimatu.

Analiza najnowszych osiągnięć naukowych i technologicznych

W ostatnich latach dynamiczny rozwój technologii w sektorze surowców naturalnych i energetyki wpłynął znacząco na transformację przemysłową. Jednym z kluczowych obszarów innowacji jest

produkcja zielonego wodoru oraz jego podziemne magazynowanie, które umożliwia długoterminowe przechowywanie energii odnawialnej, stabilizując systemy energetyczne oparte na wodorze. Równocześnie rozwijane są zaawansowane technologie zgazowania węgla, pozwalające na efektywne pozyskiwanie gazu syntezowego i wodoru przy ograniczeniu emisji CO₂.

Postęp w zakresie odzysku surowców z odpadów pogórnich otwiera nowe możliwości wykorzystania hałd jako źródła metali ziem rzadkich oraz surowców budowlanych w połączeniu z rozwojem inteligentnych systemów eksploatacji surowców, takich jak wiercenia kierunkowe i automatyzacja procesów wydobywczych. Poprawia to efektywność wydobywania oraz minimalizuje wpływ górnictwa na środowisko.

Istotnym kierunkiem badań jest stosowanie nowoczesnych technologii w projektowaniu i użytkowaniu maszyn górniczych, uwzględniające innowacyjne systemy zasilania i sterowania, które zwiększają bezpieczeństwo i wydajność eksploatacji. Rozwijane są także technologie składowania CO₂, pozwalające na redukcję emisji ditlenku węgla, co wspiera globalne dążenia do dekarbonizacji przemysłu i energetyki.

Sektor surowców i energii wkracza w nową erę zrównoważonego rozwoju, łącząc innowacje technologiczne z wymaganiami ekologicznymi i społecznymi.

Przykłady praktycznych zastosowań technologii i dobre praktyki

Przykładowe wdrożenia technologiczne w regionie to:

- zgazowanie węgla dla produkcji wodoru i energii (HUGE 2, ZGAZOWANIE) – technologie pozwalające na przekształcanie węgla w gaz syntezowy oraz wodór w sposób ograniczający emisję CO₂, wdrażane w ramach projektów badawczo-rozwojowych GIG-PIB,
- rekultywacja terenów pogórnich i odzysk surowców (SUMAD, MINRESCUE) – innowacyjne podejście do zagospodarowania hałd górniczych, obejmujące pozyskiwanie metali ziem rzadkich, produkcję materiałów budowlanych oraz rewitalizację zdegradowanych obszarów,
- nowoczesne technologie zgazowania biomasy i węgla brunatnego (HyCON) – wdrażanie metod bezpośredniej hydrotermalnej katalitycznej konwersji biomasy oraz węgla brunatnego do paliw ciekłych i chemikaliów, co pozwala na efektywne wykorzystanie zasobów naturalnych,
- inteligentne systemy monitorowania i sterowania w górnictwie (HEET II, PICTO) – zastosowanie nowoczesnych metod analizy danych, automatyzacji oraz technologii predykcyjnych w celu zwiększenia bezpieczeństwa i efektywności pracy w kopalniach,
- technologie ograniczające emisję CO₂ i metanu (CO₂freeSNG2.0, CARBOLAB) – rozwój metod składowania CO₂ oraz zaawansowane systemy odmetanowania, które redukują emisję gazów cieplarnianych i wspierają transformację regionu w kierunku gospodarki niskoemisyjnej.

Wdrożenia te pokazują, że innowacyjne technologie w sektorze surowców i energii przyczyniają się do poprawy efektywności produkcji, zwiększenia bezpieczeństwa pracy oraz ograniczenia wpływu przemysłu na środowisko.

Identyfikacja sieci współpracy

Rozwój technologii i ich wdrażanie w woj. śląskim są wspierane przez rozbudowaną sieć współpracy, w której uczestniczą uczelnie, instytuty badawcze oraz przedsiębiorstwa. Kluczowe platformy i inicjatywy obejmują:

- klastry przemysłowe, takie jak Śląski Klaster Gospodarki Odpadami, wspierający rozwój technologii związanych z recyklingiem i gospodarką o obiegu zamkniętym,
- programy międzynarodowe, takie jak Horyzont Europa, RFCS oraz Interreg umożliwiające współpracę z partnerami z całej UE,
- Regionalne Obserwatorium Specjalistyczne: instytucja wspierająca transfer wiedzy i współpracę jednostek B + R z przedsiębiorstwami.

Wnioski

Woj. śląskie wyróżnia się wysokim potencjałem badawczo-rozwojowym oraz znaczącymi osiągnięciami w rozwijaniu technologii w obszarze surowców. Kluczowe technologie, takie jak CCS,

recykling oraz cyfryzacja procesów przemysłowych, stanowią fundament transformacji gospodarczej regionu. Dzięki silnym sieciom współpracy oraz zaangażowaniu w projekty międzynarodowe region może umacniać swoją pozycję lidera technologicznego w Polsce i Europie.

11.1.3.4. Identyfikacja możliwości pojawienia się substytutów dla rozwijanych technologii, produktów, usług

Identyfikacja istniejących barier wejścia na rynek nowych technologii

Wprowadzanie innowacyjnych technologii w przemyśle surowcowym woj. śląskiego jest utrudnione przez wiele czynników o charakterze ekonomicznym, regulacyjnym i organizacyjnym. Duże bariery wejścia na rynek nowych technologii stanowią wysokie koszty inwestycyjne, obejmujące opracowanie, testowanie oraz wdrażanie nowoczesnych rozwiązań technologicznych. Finansowanie badań i rozwoju wymaga dostępu do funduszy publicznych i/lub prywatnych, co w przypadku mniejszych przedsiębiorstw stanowi poważne wyzwanie.

Dodatkowe trudności wynikają z konieczności dostosowania nowych technologii do restrykcyjnych regulacji prawnych odnoszących się do ochrony środowiska i bezpieczeństwa przemysłowego oraz norm jakości. Niestabilność prawa stwarza także coraz wyższe ryzyko dla prowadzących działalność. Proces certyfikacji i uzyskiwania odpowiednich zezwoleń wydłuża czas wdrażania innowacji i zwiększa ich koszty, co ogranicza konkurencyjność nowych rozwiązań.

Barierą w rozwoju nowych technologii pozostaje również niedostateczny poziom współpracy między jednostkami badawczo-rozwojowymi a przemysłem. Wiele innowacyjnych rozwiązań nie jest komercjalizowanych z powodu braku efektywnego transferu technologii oraz trudności w pozyskiwaniu partnerów biznesowych gotowych do ich wdrożenia. Ograniczona dostępność wysoko wykwalifikowanych specjalistów w zakresie zaawansowanych technologii przetwórstwa surowców i gospodarki o obiegu zamkniętym dodatkowo utrudnia procesy implementacyjne.

Identyfikacja podmiotów wprowadzających rewolucyjne rozwiązania/technologie

W woj. śląskim funkcjonują podmioty, które podejmują działania w zakresie wdrażania innowacyjnych technologii surowcowych. Szczególną rolę odgrywają start-upy oraz przedsiębiorstwa badawczo-rozwojowe, które koncentrują się na opracowywaniu technologii umożliwiających bardziej efektywne gospodarowanie zasobami oraz ograniczenie negatywnego wpływu przemysłu na środowisko.

Wśród podmiotów wprowadzających rewolucyjne rozwiązania wyróżniają się firmy zajmujące się recyklingiem e-waste, które wdrażają technologie umożliwiające odzysk cennych metali, takich jak: złoto, srebro, miedź czy pallad. Zastosowanie nowoczesnych metod hydrometalurgicznych i pirometalurgicznych pozwala na zwiększenie efektywności odzysku oraz ograniczenie ilości odpadów trafiających na składowiska.

Innowacyjne rozwiązania proponowane są także w zakresie produkcji wodoru jako alternatywnego nośnika energii. W regionie realizowane są projekty związane z wytwarzaniem i wykorzystaniem wodoru pozyskiwanego z gazów kopalnianych oraz w procesach elektrolizy z wykorzystaniem energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych. Technologie te umożliwiają redukcję emisji ditlenku węgla oraz wspierają rozwój sektora energetyki zeroemisyjnej.

Znaczący postęp obserwuje się również w zakresie wykorzystania wód kopalnianych, które dotychczas stanowiły tylko odpad powstający przy działalności wydobywczej. Dzięki rozwijaniu technologii odsalania i oczyszczania wód kopalnianych możliwe jest ich ponowne wykorzystanie w przemyśle, rolnictwie oraz jako źródło energii geotermalnej. Oczyszczone wody są także przystosowywane do użytku komunalnego, co wpływa na zmniejszenie zużycia zasobów wodnych w regionie.

Kolejnym obszarem innowacji jest produkcja paliwa alternatywnego preRDF (paliwo pochodzące z przetworzonych odpadów komunalnych i przemysłowych), które jest wykorzystywane na potrzeby ciepłownictwa. Proces produkcji preRDF obejmuje separację, suszenie i granulację frakcji palnych, co pozwala na uzyskanie paliwa o wysokiej wartości opałowej. Wprowadzenie tej technologii (np.

w Fortum Silesia) umożliwia zmniejszenie zużycia paliw kopalnych w elektrociepłowniach, jednocześnie przyczyniając się do redukcji emisji gazów cieplarnianych.

Identyfikacja technologii zastępujących dotychczas rozwijane technologie

W związku z dynamicznym rozwojem innowacyjnych rozwiązań technologicznych, w woj. śląskim wdrażane są technologie zastępujące dotychczasowe metody przetwarzania i wykorzystywania surowców. Przemysł surowcowy podlega transformacji, w której tradycyjne technologie wydobywcze i przetwórcze są stopniowo zastępowane przez bardziej efektywne i ekologiczne rozwiązania.

Jednym z kluczowych obszarów zmian jest rozwój technologii druku 3D z metalu, który umożliwia wytwarzanie skomplikowanych komponentów przy mniejszym zużyciu surowców i energii. Wprowadzenie tej technologii pozwala na redukcję odpadów produkcyjnych oraz ograniczenie kosztów związanych z wytwarzaniem elementów wykorzystywanych w przemyśle maszynowym i energetycznym.

Tradycyjne metody wydobywania węgla i surowców mineralnych są również zastępowane przez wdrażanie technologii odzysku surowców z odpadów przemysłowych i komunalnych. W regionie rozwijane są zaawansowane procesy hydrometalurgiczne i pirometalurgiczne, które umożliwiają efektywny recykling metali oraz ponowne wykorzystanie materiałów odpadowych w różnych sektorach przemysłu.

Technologie wychwytywania i składowania CO₂ stanowią alternatywę dla dotychczas stosowanych metod ograniczania emisji gazów cieplarnianych w przemyśle surowcowym. W regionie wdrażane są instalacje umożliwiające separację, transport i magazynowanie CO₂ w strukturach geologicznych, co pozwala na redukcję wpływu działalności przemysłowej na klimat.

Technologie związane z produkcją paliwa preRDF i wykorzystaniem alternatywnych źródeł energii stopniowo zastępują tradycyjne rozwiązania stosowane w ciepłownictwie. Wzrost znaczenia paliw alternatywnych prowadzi do ograniczenia wykorzystania paliw kopalnych i poprawy efektywności energetycznej regionu.

Podsumowując, rozwój technologii surowcowych w woj. śląskim charakteryzuje się dynamiczną transformacją, w której tradycyjne metody wydobywania i przetwarzania surowców są zastępowane przez nowoczesne rozwiązania wspierające gospodarkę o obiegu zamkniętym, efektywne wykorzystanie zasobów i redukcję wpływu przemysłu na środowisko. Wdrażanie nowych technologii jest jednak uzależnione od eliminacji istniejących barier, wsparcia finansowego oraz efektywnej współpracy między sektorem nauki a przemysłem.

Opis charakteru rynku w obrębie obszaru technologicznego, z uwzględnieniem istniejącej konkurencji

Rynek technologii związanych z obszarem przemysłu surowcowego w woj. śląskim charakteryzuje się wysokim stopniem konkurencyjności. W regionie funkcjonują zarówno podmioty lokalne, jak i duże, międzynarodowe korporacje oraz instytucje naukowe spoza Polski, które wprowadzają innowacyjne rozwiązania technologiczne. Woj. śląskie, będąc jednym z kluczowych regionów gospodarczych w Polsce, przez krajowych oraz zagranicznych dostawców technologii jest traktowane jako strategiczny obszar.

Konkurencja jest szczególnie silna w sektorach, w których obserwuje się znaczący potencjał rozwojowy, takich jak gospodarka obiegu zamkniętego, technologie recyklingu oraz innowacyjne metody wychwytywania i składowania ditlenku węgla. Stagnacja lub kurczenie się segmentów rynku związanych z tradycyjnymi technologiami węglowymi powoduje natomiast nasilenie rywalizacji o klientów w tych obszarach.

Uwarunkowania konkurencyjności w branży:

- duża liczba konkurentów: na rynku występuje wielu dostawców technologii z krajów Unii Europejskiej oraz z krajów spoza UE, mających przewagę w postaci posiadania zaawansowanych technologii oraz większych zasobów finansowych,

- małe potrzeby rynku: kurczenie się tradycyjnych sektorów związanych np. z eksploatacją węgla, prowadzi do większej rywalizacji między istniejącymi podmiotami o te same grupy klientów,
- wysokie bariery wyjścia: z uwagi na duże koszty inwestycji i specjalistycznej infrastruktury technologicznej, zmiana profilu działalności w sektorze technologii surowcowych jest utrudniona,
- strategiczny charakter rynku: rynek technologii surowcowych jest kluczowy z perspektywy bezpieczeństwa surowcowego oraz transformacji przemysłowej, co sprawia, że podmioty są skłonne ponosić wysokie koszty wejścia i ryzyka inwestycyjnego.

Opis współpracy z przedsiębiorstwami we wdrażaniu technologii

Wdrażanie nowych technologii w woj. śląskim odbywa się w ścisłej współpracy z przedsiębiorstwami przemysłowymi oraz jednostkami B+R. Na zasadzie takiego partnerstwa są prowadzone prace w ramach konsorcjów badawczych, są realizowane programy finansowane przez Unię Europejską oraz projekty partnerstwa publiczno-prywatnego (PPP).

Formy współpracy:

- konsorcja badawcze: projekty badawczo-rozwojowe, w których uczestniczą uczelnie techniczne, np. Politechnika Śląska, instytuty badawcze oraz przedsiębiorstwa przemysłowe; w takich projektach rozwijane są technologie, np. systemy monitoringu procesów wydobywczych, technologie CCS/CCUW czy zaawansowane metody recyklingu,
- programy szkoleniowe: realizowane we współpracy z przedsiębiorstwami, mają na celu podniesienie kompetencji pracowników w zakresie nowych technologii,
- partnerstwo publiczno-prywatne: inwestycje w innowacyjne technologie są realizowane przy współudziale sektora publicznego, co umożliwia rozwój infrastruktury badawczej oraz wdrażanie wyników badań do przemysłu.

Przykłady dobrych i złych praktyk z perspektywy komercjalizacji i wdrożeń technologii

Przykłady dobrych praktyk:

- komercjalizacja metanu z pokładów węgla: współpraca Politechniki Śląskiej i GIG-PIB z przedsiębiorstwami przemysłowymi zaowocowała opracowaniem i wdrożeniem technologii odmetanowania oraz wykorzystania metanu do produkcji energii – dzięki tym rozwiązaniom ograniczono emisję gazów cieplarnianych i zwiększono efektywność energetyczną w regionie,
- recykling odpadów wydobywczych: projekty związane z przekształcaniem odpadów górniczych w materiały budowlane umożliwiły redukcję ilości odpadów oraz ich ponowne wykorzystanie w gospodarce.

Przykłady złych praktyk:

- nieudane wdrożenie technologii zgazowania węgla brunatnego i technologii podziemnego zgazowania węgla kamiennego: projekt ten napotkał problemy wynikające z nieodpowiedniego przygotowania infrastruktury oraz braku dostosowania do realiów rynkowych,
- brak ciągłości finansowania projektów B+R: wiele obiecujących projektów badawczych zakończyło się na etapie badań podstawowych z uwagi na brak środków na ich dalsze wdrożenie i komercjalizację.

Podaż i popyt na prace B+R+I oraz ich wyniki

W woj. śląskim są dostępne znaczne zasoby w obszarze B+R+I, jednak ich efektywne wykorzystanie w przemyśle jest ograniczone przez brak mechanizmów transferu technologii.

Podaż prac B+R+I:

- liczne instytucje naukowe, takie jak Politechnika Śląska, Instytut Technologii Paliw i Energii czy GIG-PIB, prowadzą badania w obszarze technologii surowcowych,
- projekty badawcze finansowane z funduszy Unii Europejskiej umożliwiają opracowywanie nowoczesnych technologii w zakresie wydobywania, przetwarzania i ochrony surowców.

Popyt na wyniki B + R + I:

- największe zapotrzebowanie obserwowane jest w obszarze zielonych technologii, takich jak recykling, gospodarka o obiegu zamkniętym czy technologie wychwytywania i składowania CO₂,
- przedsiębiorstwa przemysłowe poszukują rozwiązań, które pozwolą na efektywne wykorzystanie zasobów i minimalizację wpływu na środowisko.

Główne bariery:

- brak lub niewystarczające środki finansowe na wdrażanie wyników badań do przemysłu,
- niedopasowanie programów badawczych do rzeczywistych potrzeb rynku,
- coraz bardziej ograniczane możliwości współpracy między sektorem naukowym a przemysłowym, związane z wygaszaniem przemysłu węgla kamiennego i brunatnego.

Rekomendacje strategiczne rozwoju sektora surowcowego:

- wzmocnienie współpracy między uczelniami, instytucjami badawczymi i przedsiębiorstwami w ramach dedykowanych platform transferu technologii,
- klastrowanie infrastruktur badawczo-rozwojowych w celu zwiększenia efektywności wykorzystania aparatury naukowo-badawczej oraz obniżenia kosztów jej dostępności dla podmiotów przemysłowych, w szczególności dla MŚP,
- zwiększenie dostępności funduszy na wdrożenia i innowacje przez rozwój regionalnych i krajowych programów wsparcia,
- modernizacja systemu edukacji technicznej, w tym rozwój programów dostosowanych do dynamicznie zmieniających się potrzeb rynku technologii surowcowych,
- intensyfikacja współpracy z instytucjami międzynarodowymi, szczególnie z regionami Europy Północnej, które pełnią wiodącą rolę w opracowywaniu innowacji w sektorze surowcowym.

Realizacja tych działań pozwoli na zwiększenie konkurencyjności woj. śląskiego na rynku technologii surowcowych, wspierając jednocześnie transformację przemysłową regionu i jego rozwój zgodny z zasadami zrównoważonego wykorzystania zasobów.

11.1.3.5. Podsumowanie

W celu przeprowadzenia analizy konkurencyjności obszaru technologicznego zastosowano model pięciu sił Portera, który umożliwił identyfikację kluczowych czynników wpływających na rozwój technologii w regionie. Analiza ta pozwoliła na ocenę siły oddziaływania pięciu podstawowych elementów kształtujących krajobraz technologiczny: siły przetargowej dostawców, siły przetargowej nabywców, zagrożenia ze strony nowych konkurentów, zagrożenia ze strony substytutów oraz intensywności rywalizacji w branży.

Metoda została zastosowana w kontekście regionalnym, ze szczególnym uwzględnieniem woj. śląskiego, w którego gospodarce przemysł surowcowy odgrywa kluczową rolę. Do analizy wykorzystano wskaźniki ekonomiczne branży, dane z globalnych baz wiedzy (OECD, Eurostat, World Bank) oraz dokumenty strategiczne związane z rozwojem technologii w obszarze surowcowym. Uwzględniono także statystyki publikowane przez Obserwatoria Specjalistyczne oraz dane za lata 2015–2023, co pozwoliło na identyfikację trendów i zmian zachodzących w sektorze.

Zastosowanie modelu pięciu sił Portera umożliwiło odpowiedź na kluczowe pytania dotyczące konkurencyjności regionalnych technologii. Przeanalizowano, które technologie w ramach obszaru surowcowego warto rozwijać, czy ich wdrażanie jest uzasadnione z punktu widzenia potrzeb rynku oraz czy istnieje ryzyko ich wyparcia przez substytuty. Oceniono również stopień zależności rozwoju technologii od czynników zewnętrznych, w tym globalnych zmian w przemyśle oraz polityce regulacyjnej Unii Europejskiej.

Zebrane dane zostały poddane analizie jakościowej i ilościowej, co pozwoliło na sformułowanie wniosków dotyczących konkurencyjności sektora oraz wskazanie kierunków dalszego rozwoju. Na podstawie wyników dokonano syntetycznej oceny siły oddziaływania poszczególnych czynników, co umożliwiło opracowanie rekomendacji strategicznych dla regionu.

Tabela 11.7. Podsumowanie analizy pięciu sił Portera dla obszaru technologicznego technologie surowcowe

Pięć sił Portera	Charakterystyka
Warunki popytu na technologie	- Dotychczasowa struktura podmiotów wdrażających technologie w regionie opiera się na dużych przedsiębiorstwach przemysłowych, które dominują w branży. - Coraz większy popyt na zielone technologie i rozwiązania związane z gospodarką obiegu zamkniętego. - Bariery we wdrażaniu nowych technologii przez małe i średnie przedsiębiorstwa (wysokie koszty, brak specjalistycznych kadr).
Potencjał technologiczny regionu	- Główne podmioty oferujące technologie, to: GIG-PIB, Politechnika Śląska, Instytut Technologii Paliw i Energii oraz duże firmy, takie jak JSW. - Technologie unikalne w regionie to zaawansowane systemy odmetanowania, technologie CCS i technologie monitoringu procesów wydobywczych. - Atrakcyjność technologii CCS i recyklingu odpadów przemysłowych jest wysoka w kontekście zmian klimatycznych i wymogów środowiskowych. - Postęp technologiczny w regionie jest znaczący, ale istnieje ryzyko utraty know-how na rzecz bardziej rozwiniętych regionów UE w przypadku braku inwestycji.
Możliwość pojawienia się nowych technologii (substytutów)	- Nowe technologie, takie jak alternatywne źródła energii czy zaawansowane systemy recyklingu, mogą wypierać tradycyjne technologie wydobywania. - Bariera w dostępie do infrastruktury badawczo-rozwojowej dla małych przedsiębiorstw ograniczają możliwość ich uczestnictwa w łańcuchu wartości.
Zależności i łańcuchy wartości rozwoju technologii	- Zależność od dostawców surowców oraz finansowania zewnętrznego (np. fundusze unijne). - Sieci współpracy między uczelniami, instytutami badawczymi i przedsiębiorstwami są dobrze rozwinięte, ale wymagają dalszego wsparcia finansowego. - Bariery w dostępie do infrastruktury badawczo-rozwojowej dla małych przedsiębiorstw ograniczają możliwość ich uczestnictwa w łańcuchu wartości.
Intensywność rywalizacji między konkurentami	- Charakter rynku technologii surowcowych jest wysoko konkurencyjny, szczególnie w obszarze zielonych technologii i gospodarki obiegu zamkniętego. - Utrudnienia związane z dużą liczbą konkurentów w UE oraz wysokim ryzykiem utraty rynku przy niewystarczających inwestycjach. - Rywalizacja w regionie wymaga stałych nakładów na innowacje, marketing i promocję rozwiązań technologicznych.

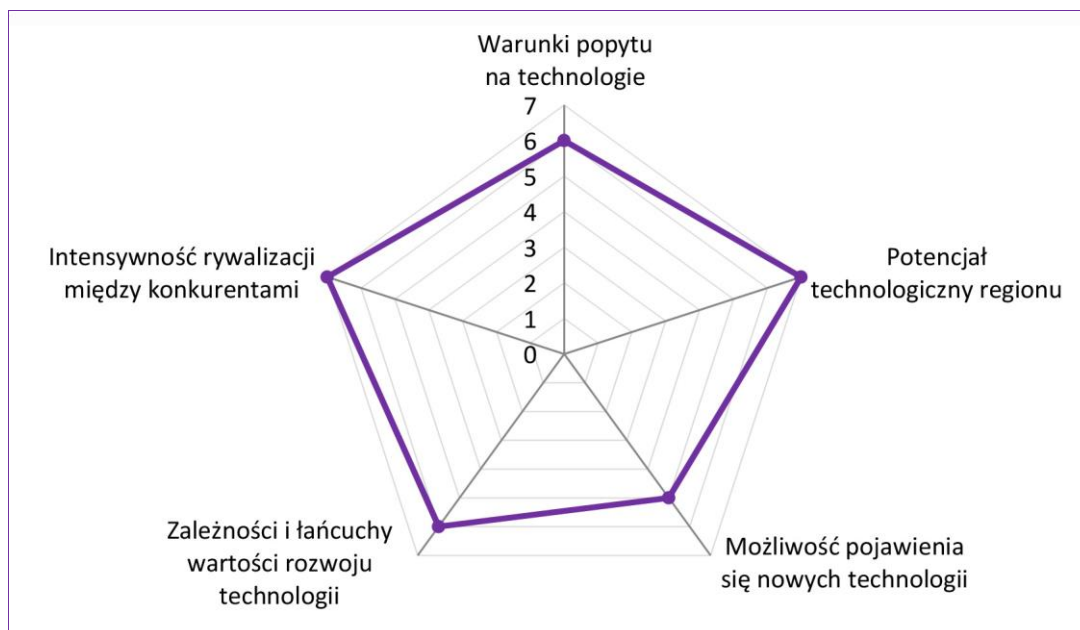
Konkluzje wynikające z analizy:

- Warunki popytu:** region charakteryzuje się rosnącym popytem na innowacyjne technologie, szczególnie w obszarze zielonych rozwiązań i gospodarki obiegu zamkniętego; jednocześnie ograniczenia finansowe małych i średnich przedsiębiorstw utrudniają pełne wykorzystanie potencjału rynkowego.
- Potencjał technologiczny:** woj. śląskie posiada znaczący potencjał technologiczny, ale konieczne są działania mające na celu utrzymanie i rozwój know-how, aby przeciwdziałać zagrożeniom ze strony bardziej zaawansowanych regionów.
- Nowe technologie:** pojawienie się substytutów w postaci alternatywnych technologii wymaga inwestycji w rozwój innowacyjnych rozwiązań, takich jak CCS/CCUW czy zaawansowane systemy recyklingu.
- Zależności:** silne sieci współpracy w regionie wspierają rozwój technologiczny, ale zależność od finansowania zewnętrznego i infrastruktury badawczo-rozwojowej może stanowić barierę w dłuższej perspektywie.
- Intensywność rywalizacji:** konkurencja w branży jest bardzo silna, co wymusza na podmiotach stałe inwestycje w innowacje i strategię marketingowe.

Rekomendacje:

- wzmacnianie finansowania projektów badawczo-rozwojowych oraz infrastruktury dla małych i średnich przedsiębiorstw,
- promowanie współpracy międzynarodowej w celu transferu wiedzy i technologii,
- koncentracja na rozwijaniu nisz technologicznych, takich jak gospodarka obiegu zamkniętego, CCS/CCUW oraz technologie redukcji emisji,
- intensyfikacja działań marketingowych i promocji regionalnych rozwiązań technologicznych na rynku krajowym i zagranicznym.

Na rysunku 11.9. przedstawiono analizę pięciu sił Portera w formie graficznej.



Rys. 11.9. Ocena pięciu sił Portera dla obszaru technologicznego technologii surowcowe

Wykres radarowy przedstawia ocenę pięciu sił Portera dla obszaru technologicznego związanego z technologiami surowcowymi w oparciu o skalę siedmiostopniową. Ocenione siły zostały przypisane do ogólnej oceny ich znaczenia:

- **warunki popytu na technologie – ocena 6 (znacząca):** popyt na technologie związane z gospodarką obiegu zamkniętego oraz innowacyjne rozwiązania w przemyśle surowcowym rośnie, co zwiększa znaczenie tej siły,
- **potencjał technologiczny regionu – ocena 7 (bardzo znacząca):** woj. śląskie wyróżnia się wysokim potencjałem badawczo-rozwojowym i zapleczem technologicznym, co wzmacnia jego pozycję na rynku,
- **możliwość pojawienia się nowych technologii – ocena 5 (umiarkowanie znacząca):** wzrost rywalizacji wynikający z rozwoju technologii substytucyjnych jest istotny, ale region może temu przeciwdziałać przez inwestycje w innowacje,
- **zależności i łańcuchy wartości – ocena 6 (znacząca):** silne powiązania między podmiotami wspierają rozwój technologiczny, jednak zależność od zewnętrznego finansowania stanowi ryzyko,
- **intensywność rywalizacji między konkurentami – ocena 7 (bardzo znacząca):** rywalizacja na rynku technologii surowcowych, szczególnie w obszarze zielonych technologii, jest bardzo silna.

Konkluzje i rekomendacje:

- **pozycjonowanie się na rynku technologicznym:** woj. śląskie powinno koncentrować się na wzmocnieniu swojej pozycji jako lidera w zakresie technologii zrównoważonych, takich jak gospodarka obiegu zamkniętego i technologie CCS/CCUW; kluczowe będzie rozwijanie nisz technologicznych, które mogą stać się konkurencyjne na poziomie globalnym,
- **inwestycje w badania i rozwój:** należy zwiększyć nakłady na B + R, aby zapobiec wyparciu przez technologie substytucyjne rozwijane w innych regionach,
- **rozwój współpracy międzynarodowej:** wzmocnienie partnerstwa z liderami technologii w UE pozwoli na transfer know-how oraz zwiększenie innowacyjności regionu,
- **wsparcie popytu:** wprowadzenie programów wspierających wdrażanie innowacji przez mniejsze przedsiębiorstwa może zwiększyć ich zainteresowanie nowymi technologiami,
- **redukcja ryzyka związanego z rywalizacją:** warto inwestować w marketing oraz promocję regionalnych rozwiązań technologicznych, szczególnie na rynku międzynarodowym, aby zwiększyć ich konkurencyjność.

Dzięki odpowiednim działaniom woj. śląskie ma potencjał, aby stać się jednym z kluczowych ośrodków innowacji w przemyśle surowcowym Europy.

11.2. Uwarunkowania rozwoju obszaru technologicznego – analiza PESTEL

Analiza PESTEL została opracowana w wyniku połączenia kilku metod badawczych, które pozwoliły na kompleksową ocenę czynników makroekonomicznych wpływających na rozwój sektora surowcowego w woj. śląskim. W pierwszym etapie przeprowadzono wywiady eksperckie z przedstawicielami sektora przemysłowego, nauki oraz administracji publicznej, co umożliwiło identyfikację kluczowych trendów i wyzwań związanych z politycznymi, ekonomicznymi, społecznymi, technologicznymi, środowiskowymi oraz prawnymi aspektami rozwoju technologii.

Równolegle dokonano analizy dokumentów strategicznych, obejmujących krajowe i unijne regulacje dotyczące transformacji energetycznej, polityki surowcowej oraz innowacyjnych technologii przemysłowych. Wykorzystano również raporty branżowe oraz dane statystyczne pochodzące z baz, takich jak Eurostat, GUS oraz Obserwatoria Specjalistyczne, co pozwoliło na obiektywną ocenę dynamiki zmian w sektorze surowcowym.

Zebrane informacje zostały następnie poddane syntezie w celu wyodrębnienia kluczowych czynników wpływających na konkurencyjność sektora oraz określenia ich potencjalnych konsekwencji dla regionu. Wyniki analizy PESTEL umożliwiły wskazanie strategicznych kierunków rozwoju oraz rekomendacji dla podmiotów zaangażowanych w proces transformacji technologicznej i gospodarczej woj. śląskiego.

Tabela 11.8. Analiza PESTEL dla obszaru technologicznego technologie surowcowe

Obszar analizy	Nazwa czynnika	Charakter czynnika
POLITYCZNY	• stabilność polityczna wspierająca rozwój przemysłu	+
	• polityka regionalna sprzyjająca inwestycjom w innowacje	+
	• brak wystarczającego wsparcia na poziomie krajowym dla zielonych technologii	–
EKONOMICZNY	w skali makro:	
	• wzrost cen energii, który wpływa na koszty działalności przedsiębiorstw	–
	• rosnący globalny popyt na surowce krytyczne	+
	• niestabilność gospodarcza w obliczu kryzysów ekonomicznych	–
	w skali mikro:	
	• wysoki koszt inwestycji w nowe technologie	–
SPOŁECZNY	• dostępność lokalnych funduszy wspierających rozwój B + R	+
	• starzejące się społeczeństwo ograniczające dostępność wykwalifikowanej kadry	–
	• wzrost świadomości ekologicznej mieszkańców regionu	+
	• emigracja specjalistów za granicę w poszukiwaniu lepszych warunków pracy	–
TECHNOLOGICZNY	• dynamiczny rozwój technologii cyfrowych i automatyzacji procesów	+
	• występowanie większej luki technologicznej w porównaniu do bardziej rozwiniętych regionów europejskich	–
	• rosnące możliwości finansowania projektów innowacyjnych z funduszy europejskich	+
ŚRODOWISKOWY	• zaostrzenie regulacji środowiskowych dotyczących emisji i gospodarki odpadami	–
	• koncentracja na rozwoju zielonych technologii i gospodarki obiegu zamkniętego	+
	• zanieczyszczenie środowiska będące konsekwencją długoletniej eksploatacji surowców w regionie	–
PRAWNY	• niewystarczające dostosowanie przepisów prawa krajowego do wymogów Unii Europejskiej w zakresie innowacji	–
	• ochrona praw własności intelektualnej wspierająca rozwój innowacyjności	+
	• złożone procedury administracyjne dotyczące pozyskiwania zezwoleń na inwestycje	–

Objaśnienie: ocena charakteru czynnika: sprzyjający „+”, hamujący „–”, neutralny „0”.

Woj. śląskie, będące jednym z najbardziej uprzemysłowionych regionów Polski, odgrywa kluczową rolę w rozwoju technologii związanych z rozpoznawaniem, pozyskiwaniem, przetwarzaniem i ochroną surowców naturalnych. Analiza PESTEL dla tego obszaru wskazuje na różnorodne uwarunkowania rozwoju sektora technologii surowcowych – zarówno sprzyjające, jak i hamujące, które są wynikiem działania czynników: politycznych, ekonomicznych, społecznych, technologicznych, środowiskowych i prawnych.

Czynniki polityczne

Rozwój technologii surowcowych na Śląsku wspiera stabilność polityczną oraz politykę regionalną promującą inwestycje w innowacje. Wyzwaniem pozostaje jednak brak dostatecznego wsparcia na poziomie krajowym, szczególnie w obszarach zielonych technologii i transformacji energetycznej.

Czynniki ekonomiczne

Uwarunkowania makroekonomiczne, takie jak globalny wzrost popytu na surowce krytyczne, sprzyjają rozwojowi sektora. Woj. śląskie może skorzystać na rosnącym znaczeniu gospodarki o obiegu zamkniętym oraz dostępności funduszy unijnych na innowacje. Wyzwaniem są jednocześnie rosnące koszty energii i niestabilność gospodarcza, które mogą hamować inwestycje w nowe technologie. Na poziomie mikroekonomicznym stanowią dodatkowe bariery wysokie koszty wdrażania nowoczesnych rozwiązań oraz ograniczony dostęp do infrastruktury inwestycyjnej.

Czynniki społeczne

Struktura demograficzna województwa, w tym starzenie się społeczeństwa i emigracja wykwalifikowanych specjalistów, ogranicza dostępność kadry dla sektora technologii surowcowych. Rośnie jednak świadomość ekologiczna mieszkańców, co sprzyja rozwojowi zielonych technologii i akceptacji społecznej dla inwestycji przyjaznych środowisku.

Czynniki technologiczne

Dynamiczny rozwój technologii cyfrowych – automatyzacji i robotyzacji procesów w przemyśle surowcowym – tworzy nowe możliwości dla regionu. Śląsk posiada duży potencjał badawczo-rozwojowy oraz infrastrukturę technologiczną. Luka technologiczna w porównaniu z bardziej rozwiniętymi regionami Unii Europejskiej oraz potrzeba modernizacji przestarzałych technologii stanowią jednak istotne wyzwania.

Czynniki środowiskowe

Woj. śląskie, jako region o długiej historii eksploatacji surowców, zmagają się z problemem zanieczyszczenia środowiska oraz zaostrzonymi regulacjami środowiskowymi. Jednocześnie rozwój technologii ograniczających wpływ działalności górniczej na środowisko, takich jak składowanie CO₂ czy recykling surowców, wspiera transformację przemysłową regionu i realizację celów klimatycznych.

Czynniki prawne

Złożoność procedur administracyjnych i brak pełnego dostosowania przepisów krajowych do wymogów Unii Europejskiej w zakresie innowacyjności, stanowią bariery dla inwestorów. Silna ochrona praw własności intelektualnej i dostęp do instrumentów prawnych wspierających rozwój technologii, stanowią jednak istotne atuty.

Wnioski i kierunki działań

Działania prowadzone w woj. śląskim w sektorze surowcowym powinny koncentrować się na:

- rozwoju i wdrażaniu zaawansowanych technologii w obszarze rozpoznawania i ochrony surowców, takich jak systemy monitoringu czy technologie CCS,
- wspieraniu badań i rozwoju w dziedzinie przetwarzania surowców oraz technologii odzysku, które wspomagają gospodarkę o obiegu zamkniętym,
- modernizacji systemu edukacji, aby dostosować go do potrzeb rynku pracy w obszarze technologii surowcowych oraz wdrażaniu programów przyciągających specjalistów do regionu,
- promowaniu innowacyjnych metod eksploatacji i przetwarzania surowców, które łączą efektywność ekonomiczną z ochroną środowiska,
- usuwaniu barier prawnych i administracyjnych, aby przyspieszyć wdrażanie innowacji i inwestycje.

Realizacja tych działań przyczyni się do wzmocnienia konkurencyjności regionu oraz zapewnienia bezpieczeństwa surowcowego, jednocześnie wspierając transformację przemysłową i ochronę środowiska.

11.3. Ocena obszaru technologicznego – analiza SWOT

Czynniki przedstawione w analizie SWOT dla obszaru technologicznego stanowią wypadkową zarówno analizy ilościowej, jak i jakościowej.

Analiza obejmuje zarówno ocenę uwarunkowań wewnętrznych, jak i wpływu czynników zewnętrznych na analizowany obszar. Jej istotą jest identyfikacja kluczowych atutów, w tym technologii, osiągnięć i kompetencji, a także słabości, takich jak luki i niedobory technologiczne, oraz określenie obecnych i przyszłych szans i zagrożeń dla kluczowego obszaru, wynikających m.in. z wyzwań cywilizacyjnych i strategicznych, uwarunkowań rynkowych oraz presji konkurencji. Analiza SWOT stanowi syntetyczny opis wyników przeprowadzonej analizy ilościowej i jakościowej.

Czynniki SWOT przedstawiono w tabeli 11.9.

Tabela 11.9. Czynniki SWOT dla obszaru technologicznego technologii dla przemysłu surowcowego

Silne strony		Słabe strony	
S1	Przykłady technologii kluczowych stanowiących przewagę Śląsk dysponuje technologiami kluczowymi, które dają przewagę konkurencyjną na rynku surowcowym. Dotyczy to zwłaszcza innowacyjnych rozwiązań związanych z wydobywaniem, obróbką i recyklingiem surowców	W1	Przykłady luk technologicznych – technologii niezbędnych dla sprostania wyzwaniom Istnieją braki w technologiach niezbędnych do spełnienia wymogów środowiskowych i wydajnościowych, co ogranicza rozwój
S2	Know-how: patenty/wdrożenia Region posiada znaczny dorobek patentowy i wdrożeniowy w obszarze przemysłu surowcowego, co wskazuje na rozwiniętą kulturę innowacji	W2	Opóźnienia technologiczne Część technologii wciąż opiera się na przestarzałych rozwiązaniach, co zmniejsza efektywność i konkurencyjność
S3	Potencjał pozycji B + R, w tym w wymiarze międzynarodowym Śląskie instytucje badawczo-rozwojowe mają silne zaplecze naukowe oraz współpracują z partnerami międzynarodowymi, co zwiększa szanse na transfer technologii	W3	Niedostatki B + R Mimo wysokiego potencjału, finansowanie i zaplecze badawcze nie są wystarczające, aby sprostać wszystkim wyzwaniom technologicznym
S4	Kluczowe branże, specjalizacje Region wyróżnia się koncentracją kluczowych branż, takich jak górnictwo i metalurgia, które umożliwiają specjalizację i rozwój innowacyjnych technologii	W4	Konkurencja Silna konkurencja ze strony innych regionów i krajów sprawia, że utrzymywanie pozycji wymaga stałych inwestycji i innowacji
S5	Potencjał przedsiębiorstw Przedsiębiorstwa działające na Śląsku mają doświadczenie w realizacji dużych projektów technologicznych oraz posiadają zasoby, które wspierają innowacyjność	W5	Luki w możliwościach Brakuje infrastruktury i zasobów, które umożliwiłyby pełne wykorzystanie potencjału technologicznego regionu
S6	Potencjał pozycji konkurencyjnej w wymiarze międzynarodowym Wysoki poziom technologiczny oraz obecność silnych graczy na rynku sprawiają, że region ma potencjał do konkurowania na skalę globalną	W6	Bariery inwestycyjne Wysokie koszty inwestycji w innowacje technologiczne stanowią istotną przeszkodę
S7	Programy kształcenia Rozbudowane programy kształcenia w obszarze surowców naturalnych przygotowują wykwalifikowaną kadrę, co wspiera rozwój technologii	W7	Nowe kompetencje Dynamiczne zmiany technologiczne wymagają ciągłego dostosowywania się, co jest trudne bez odpowiednich szkoleń
–	–	W8	Luki kompetencyjne Braki w umiejętnościach pracowników ograniczają możliwość wdrażania nowych technologii
–	–	W9	Odpływ specjalistów Emigracja wysoko wykwalifikowanych kadr za granicę osłabia potencjał regionu
Szanse		Zagrożenia	
O1	Wpisywanie się w trendy technologiczne Przemysł surowcowy na Śląsku może korzystać z globalnych trendów, takich jak zrównoważony rozwój i gospodarka obiegu zamkniętego	T1	Krótkie cykle życia produktów i technologii Wysoka dynamika zmian technologicznych wymaga stałych nakładów na badania i rozwój, co stanowi duże wyzwanie
O2	Powszechne stosowanie technologii cyfrowych Cyfryzacja i automatyzacja procesów mogą znacząco zwiększyć wydajność i jakość działań w przemyśle surowcowym	T2	Kryzys ekonomiczny Globalne wahania gospodarcze mogą utrudniać finansowanie innowacji i inwestycji
O3	Szanse rynkowe, w tym międzynarodowe Rosnące zapotrzebowanie na surowce krytyczne otwiera	T3	Programy kształcenia niedostosowane do zmian technologicznych i wyzwań

nowe możliwości eksportowe		Brak aktualizacji programów edukacyjnych powoduje niedopasowanie kompetencji absolwentów do wymagań rynku pracy	
Nowe segmenty rynku			
O4	Rozwój sektora zielonych technologii i odnawialnych źródeł energii tworzy przestrzeń dla innowacyjnych rozwiązań	–	–
Zmiany demograficzne			
O5	Migracje i zmieniająca się struktura społeczeństwa mogą zwiększyć popyt na nowe technologie i usługi	–	–

Podsumowanie analizy SWOT

Woj. śląskie, jako region o silnych tradycjach przemysłowych, posiada wiele atutów wspierających rozwój technologii w obszarze przemysłu surowcowego. Do najważniejszych silnych stron należy obecność technologii kluczowych, które dają przewagę konkurencyjną zarówno na rynku krajowym, jak i międzynarodowym. Istotnym atutem jest również know-how wynikający z licznych patentów i wdrożeń, a także rozwinięty potencjał badawczo-rozwojowy wspierany przez współpracę międzynarodową. Kluczowe branże, takie jak górnictwo czy metalurgia oraz potencjał przedsiębiorstw regionu, stanowią stabilną podstawę dla wdrażania innowacyjnych rozwiązań. Ważnym elementem są także programy kształcenia dostosowane do potrzeb przemysłu, które dostarczają wykwalifikowanych specjalistów.

Mimo licznych atutów region ma także wiele słabości. Należą do nich luki technologiczne oraz opóźnienia technologiczne wynikające z niedostatecznych inwestycji w badania i rozwój. Bariery inwestycyjne oraz brak nowoczesnej infrastruktury utrudniają pełne wykorzystanie potencjału innowacyjnego regionu. Dodatkowym problemem są luki kompetencyjne oraz odpływ specjalistów, co ogranicza zdolność adaptacji przedsiębiorstw do nowych technologii. Śląsk zmagają się również z silną konkurencją zarówno krajową, jak i międzynarodową, co wymusza konieczność stałych inwestycji w technologie.

Woj. śląskie może wykorzystać istniejące szanse rozwojowe także dla przemysłu surowcowego. Wpisywanie się w globalne trendy, np. cyfryzację, automatyzację czy gospodarkę obiegu zamkniętego, stwarza nowe możliwości dla innowacji i rozwoju. Powszechne zastosowanie technologii cyfrowych oraz otwarcie na nowe segmenty rynku, związane m.in. z zielonymi technologiami, może zwiększyć konkurencyjność regionu. Szanse rynkowe, w tym te międzynarodowe oraz zmiany demograficzne mogą dodatkowo wzmocnić rozwój sektora surowcowego.

Wykorzystanie wymienionych szans wymaga sprostania licznym wyzwaniom. Dynamiczne zmiany technologiczne powodują skrócenie cykli życia produktów i technologii, co zwiększa presję na ciągłe inwestycje w badania i rozwój. Kryzys ekonomiczny może ograniczać dostępność środków na innowacje, a niedostosowanie programów kształcenia do potrzeb rynku pracy może pogłębić lukę kompetencyjną. Wszystkie te czynniki stanowią wyzwania, które należy uwzględnić przy planowaniu działań strategicznych.

Podsumowując, woj. śląskie posiada ogromny potencjał do rozwoju technologii w przemyśle surowcowym, jednak wymaga to działań ukierunkowanych na eliminację słabości i minimalizację zagrożeń. Kluczowe będzie inwestowanie w nowoczesne technologie, rozwój kompetencji oraz odpowiednie dostosowanie polityki edukacyjnej i gospodarczej do dynamicznie zmieniających się warunków rynkowych.

W tabeli 11.10 zestawiono zidentyfikowane, kluczowe wyzwania i propozycje działań.

Tabela 11.10. Identyfikacja wyzwań i działań

Wyzwanie	Odpowiedź	Propozycja działań
Wyzwanie 1 (dla wzmocnienia potencjału)	- S1–S3: Rozwój technologii kluczowych oraz wdrożeń patentowych - W2–W6: Zniwelowanie opóźnień technologicznych i barier inwestycyjnych - O1–O2: Wpisanie się w globalne trendy i wykorzystanie technologii cyfrowych - T5: Reagowanie na zmieniające się potrzeby rynkowe	- Tworzenie programów wsparcia finansowego dla przedsiębiorstw wdrażających nowe technologie - Inwestowanie w infrastrukturę B + R oraz partnerstwo międzynarodowe - Rozwój platform technologicznych wspierających współpracę przemysłu z ośrodkami naukowymi - Organizacja szkoleń i warsztatów w zakresie innowacyjnych technologii cyfrowych

Wyzwanie	Odpowiedź	Proponycja działań
Wyzwanie 2 (dla zniwelowania niedoborów/luk)	- W1–W9: Przeciwdziałanie odpływowi specjalistów, eliminacja luk technologicznych i kompetencyjnych - T3: Dostosowanie programów kształcenia do potrzeb rynku - O3–O5: Wykorzystanie nowych segmentów rynkowych i szans wynikających ze zmian demograficznych	- Modernizacja systemu kształcenia technicznego w oparciu o potrzeby przemysłu surowcowego - Wdrożenie regionalnych programów przyciągających i zatrzymujących specjalistów, np. przez systemy grantów lub preferencyjnych warunków zatrudnienia - Wspieranie firm w pozyskiwaniu nowych rynków zbytu przez promocję na arenie międzynarodowej - Ułatwienia w zakresie pozyskiwania funduszy na szkolenia i rozwój kompetencji - Wprowadzenie wsparcia dla „pionowych łańcuchów wartości” obejmujących nowe technologie i producentów, a także dostawców niezbędnych komponentów (pozwoli to na budowę local content)
Wyzwanie 3 (dla zmniejszenia ryzyka)	- S5–S7: wykorzystanie potencjału przedsiębiorstw i programów kształcenia - W6–W7: redukcja barier inwestycyjnych i rozwój nowych kompetencji - T2–T3: zarządzanie kryzysami ekonomicznymi i skraccającymi się cyklami życia technologii	- Stworzenie funduszy kryzysowych wspierających przedsiębiorstwa w trudnych okresach gospodarczych - Rozwój narzędzi monitorujących cykle życia technologii i umożliwiających szybsze wdrażanie nowych rozwiązań - Opracowanie regionalnych strategii inwestycyjnych minimalizujących wpływ barier finansowych na rozwój

Literatura

Dokumenty strategiczne

KPEiK (2024): Krajowy Plan w dziedzinie Energii i Klimatu do 2030 r. (aktualizacja KPEiK z 2019 r.). Projekt, wersja do konsultacji społecznych z października 2024 r.

Strategia (2012): Uchwała Nr 157 Rady Ministrów z dnia 25 września 2012 r. w sprawie przyjęcia Strategii Rozwoju Kraju 2020. M. P. 2012 poz. 882.

Dyrektywy, ustawy, rozporządzenia i komunikaty krajowe i unijne

Dyrektywa (2000): Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej. Dz. U. UE L327.

Dyrektywa (2006): Dyrektywa 2006/66/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 6 września 2006 r. w sprawie baterii i akumulatorów oraz zużytych baterii i akumulatorów oraz uchylająca dyrektywę 91/157/EWG. Dz. U. UE L 266/1¹⁰⁷.

Dyrektywa (2008): Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy. Dz. U. UE L 312.

Dyrektywa (2012): Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/19/UE z dnia 4 lipca 2012 r. w sprawie zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego (WEEE). Dz. U. UE L 197.

Dyrektywa (2018): Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/2001 z dnia 11 grudnia 2018 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych (przekształcenie). Dz. U. UE L 328.

Komunikat (2019): Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów Europejski Zielony Ład. COM/2019/640 final.

Rozporządzenie (2023): Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/1804 z dnia 13 września 2023 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych i uchylenia dyrektywy 2014/94/UE. Dz. U. UE L 234.

Rozporządzenie (2024a): Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1735 z dnia 13 czerwca 2024 r. w sprawie ustanowienia ram środków na rzecz wzmocnienia europejskiego ekosystemu produkcji technologii neutralnych emisyjnie i zmieniające rozporządzenie (UE) 2018/1724. Dz. U. UE L 2024/1735.

Rozporządzenie (2024b): Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1252 z dnia 11 kwietnia 2024 r. w sprawie ustanowienia ram na potrzeby zapewnienia bezpiecznych i zrównoważonych dostaw surowców krytycznych oraz zmiany rozporządzeń (UE) nr 168/2013, (UE) 2018/858, (UE) 2018/1724 i (UE) 2019/1020. Dz. U. UE L 2024/1252.

¹⁰⁷ Częściowo straci moc z dniem 18 sierpnia 2025 r. w związku z obowiązywaniem rozporządzenia 2023/1542 PE i Rady (UE) z dnia 12 lipca 2023 r. w sprawie baterii i zużytych baterii, zmieniające dyrektywę 2008/98/WE i rozporządzenie (UE) 2019/1020 oraz uchylające dyrektywę 2006/66/WE.

Raporty i opracowania

- Auguścik J. (2019): Innowacyjne, nieinwazyjne technologie rozpoznawania złóż kopalin (projekt Infact). *Górnictwo Odkrywkowe*, R. 60(1), 4-10.
- Dubiński J., Koterka A. (2014): Możliwości składowania CO₂ w strukturach geologicznych. *Energetyka*, nr 1, 20-24.
- Broda K., Tora B. (2021): Bezpieczna utylizacja, czy recykling PV? *Nowa Energia*, nr 4, 54-57.
- Chmiela A., Smoliński J., Smoliński A., Magdziarczyk M. (2023): Zarządzanie wyborem wariantu samowystarczalności energetycznej pompowni wód kopalnianych. *Management and Quality*, T. 5(3), 14-38.
- Hadro J., Wójcik I. (2013): Metan pokładów węgla: zasoby i eksploatacja. *Przegląd Geologiczny*, T. 61(7), 404-410.
- Ivković R., Petrović M., Spalević P., Milivojević Z. (2024): Classification of E-Waste Types Using Machine Learning and Digital Image Processing. *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 100(9), 282-287.
- Kostka M., Krzak Ł., Gawliński A., Jasiulek D., Latos M., Rogala-Rojek J., Stankiewicz K., Bartoszek S., Jendrysik S., Jura J. (2015): Systemy monitoringu, diagnostyki i sterowania maszyn górniczych. *Maszyny Górnicze*, R. 33(3), 88-96.
- Koterka A., Chečko J., Urych T., Magdziarczyk M., Smoliński A. (2020): An assessment of the formations and structures suitable for safe CO₂ geological storage in the Upper Silesia Coal Basin in Poland in the context of the regulation relating to the CCS. *Energies*, Vol. 13(1), 195.
- Lutyński A., Blaschke W., Baic I., Wikowska-Kita B. (2011): Analiza innowacyjności technologii zagospodarowania odpadów z górnictwa węgla kamiennego. *Górnictwo i Geologia*, T. 6(2), 109-120.
- Majewski M. (2017): Identyfikacja zagrożeń, jako jeden z elementów procesu projektowania maszyn górniczych. *Maszyny Górnicze*, R. 35(3), 27-43.
- Matusiak P., Kowol D. (2017): Technologia odzysku koncentratu węglowego z odpadów pogórnich poprzez wdrożenia urządzeń typu KOMAG. *Maszyny Górnicze*, nr 2, 42-52.
- Nieć M., Chečko J., Krzanowska A., Urych T., Górecki J., Sermet E. (2015): Podziemne zgazowanie węgla kamiennego – niespełnione nadzieje wykorzystania bazy zasobowej. *Górnictwo Odkrywkowe*, R. 56(4), 33-36.
- Pieczora E. (2014): Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo – Efektywność – Niezawodność. KOMTECH 2014. *Maszyny Górnicze*, nr 4, 40-42.
- Plac K. (2018): Wykorzystanie rozwiązań zielonej gospodarki w tradycyjnych branżach przemysłu na przykładzie energetyki konwencjonalnej (województwo śląskie). *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, nr 517, 91-101.
- Ratajczak T., Korona W. (2000): Charakterystyka mineralogiczno-chemiczna i surowcowa materiałów z hałd po kopalnictwie rud żelaza w rejonie częstochowskim. *Przegląd Geologiczny*, T. 48(7), 607-618.
- Razowska-Jaworek L., Pasternak M., Karpiński M., Będkowski Z., Kaczorowski Z., Wysocka I., Drzewicz P. (2022): Wstępna ocena możliwości pozyskiwania pierwiastków wartościowych z wód kopalnianych oraz wód termalnych i leczniczych w Polsce. *Przegląd Geologiczny*, T. 70(6), 435-448.
- Strugała A. (2014): Badania nad procesem zgazowania węgla w ramach Projektu NCBiR. *Przegląd Górniczy*, T. 70(11), 1-4.
- Tora M., Karbowniczek M., Tora B. (2022): Fotowoltaika w Polsce: stan aktualny i perspektywy. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*, nr 110, 111-118.
- Wielgosiński G. (2022): Termiczne przekształcanie odpadów komunalnych jako element domykający system gospodarki obiegu zamkniętego. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, nr 12, 24-27.
- Wójcicki A. (2009): Potencjał geologicznego składowania CO₂ w głębokich, nieeksploatowanych pokładach węgla Górnos Śląskiego Zagłębia Węglowego. *Przegląd Geologiczny*, T. 57(2), 138-143.
- Wołkowicz S., Dymowski W., Markowiak M., Mikulski S., Szamałek K. (2019): Badania i poszukiwania złóż cynku i ołowiu, Mo-W-Cu, uranu, ziem rzadkich, złota oraz kopalin morskich prowadzone przez Państwowy Instytut Geologiczny. *Przegląd Geologiczny*, T. 67(7), 599-609.
- Zielińska A., Drozda M., Rajczakowska E., Andrzejczyk P. (2018): System zbiórki zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego w Polsce – wyzwanie/reorganizacja dla opracowania innowacyjnego i niezawodnego modelu. *Zeszyty Naukowe WSA w Łomży*, nr 71, 143-163.

Lista podmiotów zaangażowanych w badanie**Instytucje centralne**

Ministerstwo Rozwoju i Technologii

Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR)

Instytucje regionalne

Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego

Regionalne Obserwatorium Specjalistyczne w Katowicach

Uczelnie i jednostki badawcze

Politechnika Śląska

Główny Instytut Górnictwa – Państwowy Instytut Badawczy

ITG KOMAG

ITI EMAG

Instytut Technologii Paliw i Energii**Klastry, IOB, organizacje pozarządowe i organizacje zrzeszające przedsiębiorców**

Śląski Klaster Gospodarki Odpadami

Izba Przemysłowo-Handlowa w Katowicach

Przedsiębiorcy

Famur SA

FASING SA

HALDEX SA

MEITILL Solutions Sp. z o.o.