



INNOWACYJNA ZIELONA GOSPODARKA

Część 2

Gospodarka o obiegu zamkniętym w miastach i regionach
– możliwości praktycznego zastosowania

Praca zbiorowa pod redakcją
Mariusza Kruczka

Główny Instytut Górnictwa
Katowice 2021



Rada Programowa ds. Wydawnictw: prof. dr hab. inż. Antoni Tajduś (przewodniczący), prof. Roman Ditchkovsky, prof. Dou Lin Ming, prof. dr hab. inż. Józef Dubiński, czł. rzecz. PAN, prof. Juraj Durove, prof. dr hab. inż. Czesława Rosik-Dulewska, czł. koresp. PAN, doc. ing. Richard Snuparek, prof. Tomasz S. Wiltowski, prof. dr hab. inż. Teodor Winkler, prof. Valery N. Zakharov

Komitet Kwalifikacyjno-Opiniodawczy: prof. dr hab. Adam Smoliński (przewodniczący), dr hab. inż. Małgorzata Wysocka, prof. GIG (zastępca przewodniczącego), prof. dr hab. Mirosława Bukowska, dr hab. inż. Stanisław Chalupnik, prof. GIG, dr hab. inż. Natalia Howaniec, prof. GIG, prof. dr hab. inż. Grzegorz Mutke, dr hab. inż. Marek Rotkegel, prof. GIG, prof. dr hab. inż. Krzysztof Stańczyk

Recenzentki

dr hab. inż. Dorota Burchart, prof. PŚ
prof. dr hab. Katarzyna Zarębska

Redakcja wydawnicza

Małgorzata Kuśmirek-Zegadlo

Korekta

Barbara Dusik
Agnieszka Góralczyk

Skład, łamanie

Krzysztof Gralikowski

ISBN 978-83-65503-35-0 (całość)

ISBN 978-83-65503-37-4 (Cz. 2)

Printed in Poland

All rights reserved

Copyright by Główny Instytut Górnictwa

Sprzedaż wydawnictw Głównego Instytutu Górnictwa prowadzi Wydawnictwo GIG
księgarnia internetowa: wydawnictwa.gig.eu
tel. 32 259-24-04, e-mail: mkusmirek@gig.eu

Katowice, Główny Instytut Górnictwa, 2021. Ark. wyd. 4,3.





AUTORZY

Małgorzata Bartyna-Zielińska, Politechnika Wroclawska – Wydział Architektury;
malgorzata.bartyna-zielinska@pwr.edu.pl

Magdalena Belof, Politechnika Wroclawska – Wydział Architektury;
magdalena.belof@pwr.edu.pl

Wioleta Bolesta – Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica – Wydział Energetyki i Paliw; Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Żory Sp. z o.o.; bolesta@agh.edu.pl

Michał Dudek – Politechnika Wroclawska – Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii;
michal.dudek@pwr.edu.pl

Marcin Głodniok – Główny Instytut Górnictwa – Zakład Ochrony Wód;
mglodniok@gig.eu

Adam Hamerla – Główny Instytut Górnictwa – Zakład Ochrony Wód;
ahamerla@gig.eu

Iwona Jelonek – Uniwersytet Śląski – Wydział Nauk Przyrodniczych;
iwona.jelonek@us.edu.pl

Ewa Mackiewicz – Uniwersytet Śląski – Wydział Nauk Przyrodniczych;
ewa.mackiewicz@us.edu.pl

Małgorzata Markowska – Główny Instytut Górnictwa – Zakład Ochrony Wód;
mmarkowska@gig.eu

Urszula Myga-Piątek – Uniwersytet Śląski – Wydział Nauk Przyrodniczych;
urszula.myga-piatek@us.edu.pl

Michał Pieczonka – Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Żory Sp. z o.o.;
michal.pieczonka@pwik.zory.pl

Agnieszka Sobol – Instytut Rozwoju Miast i Regionów – Obserwatorium Polityki Miejskiej
agnieszka.sobol14@gmail.com

Katarzyna Styszko – Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica – Wydział Energetyki i Paliw;
styszko@agh.edu.pl

Aleksandra Zgórska – Główny Instytut Górnictwa – Zakład Ochrony Wód;
azgorska@gig.eu





Spis treści

Słowo wstępne

Magdalena Belof, Małgorzata Bartyna-Zielińska

Planowanie przestrzenne jako instrument miejskiej gospodarki o obiegu zamkniętym 9

Agnieszka Sobol

Międzynarodowe doświadczenia w rozwoju miejskiej gospodarki o obiegu zamkniętym – inspiracje dla polskich miast 17

Małgorzata Markowska

Rola ekoinnowacji w gospodarce o obiegu zamkniętym..... 26

Michał Dudek

Wycena nieruchomości z odpadami wydobywczymi, złożami antropogenicznymi – wybrane zagadnienia..... 39

Wioleta Bolesta, Marcin Głodniok, Michał Pieczonka, Katarzyna Styszko

Przykłady stosowania dobrych praktyk gospodarki o obiegu zamkniętym w branży wodno-ściekowej..... 50

Aleksandra Zgórska, Adam Hamerla

Wykorzystanie potencjału nawozowego komunalnych osadów ściekowych – istotny element gospodarki o obiegu zamkniętym w oczyszczalni ścieków 60

Ewa Mackiewicz, Urszula Myga-Piątek, Iwona Jelonek

Jakość przestrzeni i środowiska w planowaniu działań renowacyjnych na przykładzie pałacu w Rzuchowie..... 68





Słowo wstępne

Realizacja ambitnych celów Europejskiego Zielonego Ładu, w tym przede wszystkim osiągnięcie przez Unię Europejską neutralności klimatycznej do 2050 r., pociąga za sobą konieczność fundamentalnej zmiany zasad gospodarowania, czyli odejścia od linearnego modelu gospodarki na rzecz gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ). Przejście na model gospodarki o obiegu zamkniętym przełoży się na ciąg zmian w całym cyklu życia każdego produktu, usługi, a także miasta i regionu. Zasady, założenia i modele gospodarki o obiegu zamkniętym, kształtują dziś cele i kierunki działań wielu państw, Wspólnoty Europejskiej, regionów czy miast. Koncepcja GOZ obecna w literaturze naukowej od końca lat 60. XX w., doczekała się praktycznej realizacji dopiero na początku XXI w., najpierw w krajach Azji (Chiny, Japonia), a obecnie jako wynik rekomendacji Komisji Europejskiej (od 2014 r.) w krajach członkowskich UE. W Polsce GOZ została ujęta w Mapie drogowej transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym (2019 r.) i Polityce Ekologicznej Państwa do 2030 roku. Nadanie ram prawnych GOZ i silna presja pojawiająca się w dokumentach kierunkowych nowej perspektywy finansowej 2021–2027 powoduje, że jest ona traktowana jako kluczowe działanie, które ma uchronić przed marnotrawstwem zasobów i powstawaniem dużej ilości odpadów, a także pozwolić na maksymalizację wartości dodanej surowców i zasobów oraz materiałów i produktów.

W literaturze funkcjonuje wiele definicji gospodarki o obiegu zamkniętym. Liu¹ definiuje GOZ jako „system gospodarczy charakteryzujący się zasadą zrównoważonego rozwoju i mniej zależny od wyczerpujących się zasobów naturalnych niż tradycyjne gospodarki, poprzez mechanizm recyklingu odpadów stanowiących wyjście z systemu”. Jeśli chodzi o aspekt ekonomiczny, gospodarka o obiegu zamkniętym to „gospodarka oparta na systemie spiralnej pętli, która minimalizuje przepływ materiałów, energii i degradację środowiska, bez ograniczania wzrostu gospodarczego lub postępu technicznego i społecznego”². Niezależnie definicji, GOZ opisywana jest przede wszystkim w ujęciu innowacyjnych zmian w produkcji przemysłowej, nowych modeli biznesowych (np. modeli według Accenture, model ReSOLVE) i kreowanej wartości dodanej. Zdecydowanie mniej uwagi poświęca się wdrożeniu GOZ w miastach i regionach, gdzie szeroka idea sprowadzona została do problemu działań w wymiarze administracyjnym związanych z gospodarką odpadami. Niniejsza publikacja włącza się w dyskusję nad tym, w jakich obszarach funkcjonowania miast i regionów może zostać w praktyce wdrożony system GOZ. Różnorodność definicji GOZ powoduje, że trudno jest wskazać jedną najwłaściwszą, dlatego też w publikacji

¹ Liu J.Y. (2012): Circular economy and environmental efficiency – The case of traditional Hakka Living System. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, Vol. 57, 255-260.

² Lieder M., Rashid A. (2016): Towards circular economy implementation: A comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 115, 36-51.





można odnaleźć definicje wskazujące różne aspekty GOZ i spotkać się z różnymi jej określeniami, np. gospodarka cyrkularna (ang. *circular economy*), gospodarka okrężna itp. Zaprezentowane modele i rozwiązania są wynikiem prowadzonych przez naukowców prac badawczych i wdrożeniowych w zakresie wykorzystywania GOZ w podmiotach innych niż przedsiębiorstwa. Wdrożenie GOZ w regionach i miastach wymaga szerokiej współpracy różnych interesariuszy, w tym przede wszystkim zaangażowania mieszkańców i samorządu, który byłby animatorem trudnego niejednokrotnie dialogu oraz jednostką podejmującą się trudnych i złożonych przedsięwzięć domykających obiegi materiałowe. GOZ w publikacji dotyczy tych takich działań i obszarów, jak:

- planowanie przestrzenne jako instrument GOZ,
- doświadczenia krajowe i międzynarodowe we wdrażaniu GOZ w miastach i regionach,
- szczególna rola ekoinnovacji we wdrażaniu GOZ,
- rola gospodarki wodno-ściekowej w miastach,

i nie wyczerpuje potencjału wdrażania GOZ w miastach i regionach. Stanowi jednak zaproszenie do dyskusji nad rzadziej dyskutowanymi pomysłami i rozwiązaniami dla ograniczenia negatywnego wpływu człowieka na środowisko i wypełnienia paradygmatu zrównoważonego rozwoju.

Publikacja powstała jako wynik konferencji „Innowacyjna zielona gospodarka” organizowanej przez Obserwatorium specjalistyczne Technologie dla Ochrony Środowiska, funkcjonujące w Sieci Obserwatoriów Specjalistycznych Województwa Śląskiego.

Mariusz Kruczek





Publikacja sfinansowana w ramach projektu Sieć Regionalnych Obserwatoriów Specjalistycznych w Procesie Przedsiębiorczego Odkrywania w województwie śląskim (SORIS w PPO – II) realizowanego w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014–2020.



Magdalena Belof, Małgorzata Bartyna-Zielińska

Planowanie przestrzenne jako instrument
miejskiej gospodarki o obiegu zamkniętym





Magdalena Belof, Małgorzata Bartyna-Zielińska
Politechnika Wroclawska – Wydział Architektury

Planowanie przestrzenne jako instrument miejskiej gospodarki o obiegu zamkniętym

1. WPROWADZENIE

Gospodarka o obiegu zamkniętym (GOZ), mimo rosnącego zainteresowania i powszechnej obecności w najrozmaitszych debatach o zrównoważonym rozwoju – zarówno naukowych, jak i profesjonalnych – pozostaje terminem nie do końca sprecyzowanym, a także nieobudowanym jednoznacznie mierzalnymi wskaźnikami (Moraga i in., 2019). Panuje powszechna zgoda co do tego, że koncept ten obrazuje podejście zorientowane na odpowiedzialne wykorzystanie zasobów, w szczególności w oparciu o możliwość ich wtórnego wykorzystania, co prowadzi m.in. do minimalizowania produkcji odpadów. Przeprowadzona analiza definicji GOZ (Kirchherr, Reike i Hekkert, 2017; Winans, Kendall i Deng, 2017; Haupt i Hellweg, 2019; Moraga i in., 2019) pokazuje wielość ujęć tego zagadnienia. Znaczna część definicji odnosi się do skali procesów produkcyjnych, dla których postuluje się spowolnienie i domykanie pętli obiegu surowców. Brak jest jednak definicji o znacznie szerszym zakresie, zorientowanych na zrównoważony rozwój, w których GOZ postrzega się jako całościowy model ekonomiczny, w którym „planowanie, pozyskiwanie zasobów, zaopatrzenie, produkcja i ponowne przetwarzanie są zaprojektowane i zarządzane, zarówno jako proces, jak i wynik, w celu maksymalizacji funkcjonowania ekosystemu i dobrobytu ludzi” (Moraga i in., 2019, s. 452). Areną wdrażania tak rozumianego modelu GOZ może być niewątpliwie miasto.

Prowadzone poniżej rozważania mają na celu przybliżenie koncepcji GOZ w perspektywie zarządzania miastem, podjęto także próbę określenia roli, jaką w jej wdrażaniu ma do odegrania planowanie przestrzenne. Bazą teoretyczną była analiza literatury przedmiotu i przegląd europejskich praktyk dotyczących wdrażania GOZ na poziomie miast w ostatnich latach.

2. GOSPODARKA O OBIEGU ZAMKNIĘTYM A SKALA MIASTA

W zależności od przyjętej definicji modelu GOZ można określić skalę zasięgu – może on być wdrażany „na poziomie mikro (produkty, firmy, konsumenci), poziomie mezo (parki ekoprzemysłowe) i poziomie makro (miasto, region, naród i więcej)” (Kirchherr, Reike i Hekkert, 2017, s. 229). Mówiąc o miejskiej GOZ odnosimy się oczywiście do trzeciego, najwyższego poziomu,





dla którego wdrożenie łączy się wprost z celami zrównoważonego rozwoju, we wszystkich trzech wymiarach: środowiskowym, gospodarczym i społecznym.

Uregulowanie zasad prowadzenia GOZ w tej skali nie jest prostą kwestią. Prekursorami we wprowadzaniu regulacji w skali urbanistycznej były ośrodki chińskie, jednak już od blisko dekady, również kraje i miasta europejskie podejmują próby stworzenia choćby katalogu zasad postępowania w przypadku przechodzenia na GOZ. Rzadko jednak obejmują one całe spektrum możliwości z tym związanych, koncentrując się raczej na wybranych sferach. Petit-Boix i Leipold (2018) rozróżniły cztery zasadnicze grupy strategii miejskich zorientowanych na GOZ, a dotyczyły one: sfery przemysłu i produkcji (najpowszechniejsze), infrastruktury (sieci energetyczne i wodne, rolnictwo, budynki i systemy mobilności itp.), konsumpcji społecznej (rozumianej jako zapewnienie dostępności produktów, możliwości ich naprawy itp.) oraz planowania przestrzennego. Ta ostatnia grupa reprezentowana była najrzadziej, choć w wypadku tego badania mogło to wynikać z faktu, że definicję planowania autorki ograniczyły praktycznie do zrównoważonej gospodarki gruntami. Stosunkowo rzadkie wdrożenia konkretnych rozwiązań dla GOZ w sferze szeroko pojętego planowania miejskiego potwierdzają również inni autorzy, m.in. Lindner, Mooij i Rogers (2017), Bolger i Doyon (2019), Turcu i Gillie (2020), Williams (2020), Tapia i in. (2021).

Wyniki wyżej wymienionych badań zaskakują, bowiem koncepcja GOZ w odniesieniu do miasta powinna być rozumiana i wdrażana w sposób zintegrowany, czemu niewątpliwie służy instrument polityki, jakim jest planowanie przestrzenne. Wdrażanie zasad GOZ w mieście oznacza generalną zmianę kierunku myślenia o środowisku zurbanizowanym, dlatego w tym kontekście zasada obiegu wtórnego nie ma wymiaru czysto technologicznego, ale dotyczy przede wszystkim cyrkulacji systemów naturalnych. Tak rozumiana GOZ przynosi znaczące korzyści dla środowiska miejskiego (np. zmniejszenie zużycia zasobów, ograniczenie składowania odpadów, minimalizowanie zanieczyszczenia środowiska) oraz wymierne korzyści ekonomiczne, takie jak mniejsze uzależnienie od zasobów zewnętrznych (w tym naturalnych), nowe możliwości biznesowe czy tworzenie miejsc pracy. W takim rozumieniu koncepcja ta nie wydaje się zupełnie nowa, bo nawiązuje do idei metabolizmu miejskiego, którą już w 1965 r. opisał Abel Wolman (1965). Stanowi ona podstawę rozwoju dla zrównoważonych miast (Kalmykova i Rosado, 2015). W myśl tej idei miasto jest żywym organizmem, o określonym metabolizmie, definiowanym jako „suma procesów technicznych i społeczno-ekonomicznych, które zachodzą w miastach, doprowadzając do ich wzrostu, produkcji energii i eliminacji odpadów” (Kennedy, Cuddihy i Engel-Yan, 2007, s. 44).





3. GOSPODARKA O OBIEGU ZAMKNIĘTYM W MIASTACH – WYZWANIA I DOŚWIADCZENIA

Rosnące zainteresowanie GOZ w Europie, w kontekście miejskim i metropolitalnym, potwierdzają liczne inicjatywy samorządów. Holenderska organizacja Circle Economy, w ramach inicjatywy Circle Cities, przeprowadza badania w różnych miastach europejskich w celu określenia dostępnych możliwości wdrożenia strategii cyrkularnych i zaproponowania planów działania. Londyn i Paryż włączyły GOZ do swoich planów strategicznych (Sanchez Levoso i in., 2020). W Rotterdamie opracowano tzw. mapę drogową, która umożliwi miastu stanie się europejskim „centrum gospodarki o obiegu zamkniętym” (Gemeente Rotterdam, 2016). Wśród innych miast, które otwarcie deklarują wdrażanie idei GOZ (a niektóre z nich nawet ogłosiły się już „miastami cyrkularnymi”), są: Bruksela (Christis, Athanassiadis i Vercalsteren, 2019), Utrecht i Haga (Campbell-Johnston i in., 2019), Glasgow (Circular Glasgow, 2019), miasta duńskie, hiszpańskie i wiele innych (Circular City, 2021).

Przykładem praktycznego wdrażania idei GOZ w kompleksowej rewitalizacji terenów poprzemysłowych jest Lille. Między innymi na terenach dawnej fabryki lokomotyw parowych Fives Cail Babcock zachowano i ponownie wykorzystano istniejącą strukturę budowlaną: hale przemysłowe przekształcono w liceum hotelarskie i centrum gastronomiczne, a place fabryczne stały się przestrzeniami publicznymi. Takie podejście mieści się w nurcie urbanistyki „recyklingu”, która zapobiega rozrastaniu się miast. Przez budowanie na tym, co już istnieje, realizowany projekt uwzględnia ważną kwestię środowiskową, jaką jest ponowne wykorzystanie istniejących zasobów. Zadbano przy tym o zagospodarowanie wód opadowych i stworzenie własnej „strefy żywicielskiej” (ogród warzywny). Do tego dochodzą względy organizacyjne: kolejne budynki zaadaptowano na bursę, część hali przekształcono w centrum gastronomiczne, zorganizowano piekarnię, w której mieszkańcom sprzedawane są wypieki uczniów w promocyjne cenie.

Doświadczenia miast europejskich są przedmiotem stałej i uważnej obserwacji naukowej. (m.in. Obersteg i in., 2019; Sanchez Levoso i in., 2020). Analiza ogólna, a także poszczególnych przypadków, wskazuje, że przejście na gospodarkę cyrkularną na poziomie miasta nie jest procesem łatwym, wymusza bowiem zintegrowane działanie w złożonych systemach, co przede wszystkim wymaga od decydentów zrozumienia zależności między dynamiką społeczno-gospodarczą, środowiskiem naturalnym i środowiskiem architektoniczno-urbanistycznym. Płaszczyzną integrującą działania związane z przechodzeniem do GOZ w skali miejskiej czy regionalnej powinno być zarządzanie przepływami zasobów w kontekście przestrzennym, jednak jak dotąd nie zdołano wypracować jednoznacznych wytycznych, ani na płaszczyźnie politycznej, ani w sferze





prawnej. Ponadto wdrażanie GOZ utrudniają ograniczona świadomość wśród obywateli oraz bariery technologiczne (Remøy i in., 2019).

W latach 2019–2020 w ramach badań ESPON zrealizowano międzynarodowy projekt badawczy pn. Circular Economy and Territorial Consequences (CIRCTER). Projekt prezentował unikalne podejście, koncentrując się na wyzwaniach związanych ze spojrzeniem przestrzennym na GOZ. Celem projektu była analiza terytorialnego wymiaru transformacji w kierunku gospodarki cyrkularnej, a także potencjału europejskich regionów w tym zakresie. W projekcie zidentyfikowano siedem czynników warunkujących postęp w kierunku gospodarki cyrkularnej w kontekście terytorialnym. Należą do nich:

- 1) zasoby gruntowe,
- 2) potencjał ekonomiczny aglomeracji,
- 3) dostępność,
- 4) poziom wiedzy,
- 5) poziom technologii,
- 6) zarządzanie i czynniki instytucjonalne,
- 7) środowisko terytorialne.

Najważniejsze bariery na drodze do GOZ autorzy wyżej wymienionych badań podzielili na cztery grupy:

- 1) bariery ekonomiczne (np. brak lub ograniczony zwrot z inwestycji, ograniczony rynek dla produktów recyklingu, brak źródeł finansowania/inwestycji dla przedsiębiorstw lub inicjatyw związanych z ekologią),
- 2) bariery o charakterze fiskalnym i regulacyjnym (np. dotacje dla tradycyjnych działań zanieczyszczających i nieefektywnych),
- 3) bariery behawioralne i społeczno-kulturowe (niska świadomość konsumentów, staroświecki sposób myślenia, brak ducha przedsiębiorczości),
- 4) bariery związane z deficytem wiedzy i technologii (np. brak ekspertów i potencjału badawczo-rozwojowego w dziedzinach związanych z GOZ w danym regionie, słaba infrastruktura badawcza, testowa, pilotażowa).

W badaniu podkreślono, że miasta odegrają kluczową rolę we wspieraniu gospodarki cyrkularnej na poziomie terytorialnym, a znaczącą grupą czynników warunkujących sukces są te związane z zarządzaniem i reformą instytucjonalną (CIRCTER, 2019).





4. PLANOWANIE PRZESTRZENNE A GOSPODARKA O OBIEGU ZAMKNIĘTYM

Doświadczenia miast europejskich i badania naukowe dotyczące wdrażania GOZ w skali miejskiej, wyraźnie wskazują, że reorientacja w stronę zarządzania zintegrowanego i włączającego społeczeństwo jest w tych procesach kluczowa (EUKN, 2015; CIRCTER, 2019; Campbell-Johnston i in., 2019). Jednocześnie potwierdzają one, że planowanie jest wyraźnie niedocenione jako praktyczna baza dla wdrażania tej koncepcji. Taki obraz wpisuje się w trwającą od dłuższego czasu debatę na temat, czy planowanie ma rzeczywisty potencjał w zakresie przekształcania miast w kierunku zrównoważonego rozwoju. Dzieje się tak m.in. dlatego, że tradycyjna propubliczna misja planowania sukcesywnie słabnie i niejednokrotnie sam proces planowania podlega swoistemu urynkowieniu. I – jak zauważają Turcu i Gillie (2020, s. 66) – „choć znaczenie planowania wydaje się być coraz mniejsze, problemy, przed którymi stają planiści wydają się coraz większe i bardziej złożone [...] a wdrażanie GOZ w miastach jest jednym z nich”.

Z poziomu zarządzania miastem, narzędziem, które może przyczynić się do wdrażania GOZ, jest strategia. Jak już wspomniano wiele europejskich miast opracowało strategię wdrażania GOZ. Trzy polskie miasta – Kraków, Gdańsk i Lublin, również opracowały takie strategię w ramach projektu Circular Cities Program Poland (CCPP, 2018), określając w nich swoje priorytety – zrównoważoną mobilność czy efektywne gospodarowanie odpadami. Każda gmina posiada strategię rozwoju gminy i w tym dokumencie mogą znaleźć się zasady kształtowania gospodarki o obiegu zamkniętym, np. przez przyjęcie GOZ jako jednego z filarów rozwoju lub powiązania jej z misją miasta.

Dobrym przykładem może być promowanie rozwiązań typu „produkt jako usługa”, np. zachęcanie do korzystania z różnych form wypożyczania samochodów czy rowerów. Dodatkowo wsparcie tych usług nowymi technologiami *Open Data* daje możliwość lepszego wykorzystania istniejącej infrastruktury miejskiej – planowanie podróży z wykorzystaniem transportu publicznego i wypożyczalni. Kolejny aspekt to bezpieczeństwo żywnościowe miasta, o którym mowa w strategii Komisji Europejskiej „Od pola do stołu” (FFS, 2020). Można je osiągnąć m.in. przez wspieranie lokalnego rolnictwa, promowanie lokalnej żywności i przetwórstwa, a także ogrodnictwo miejskie, skracanie łańcuchów dostaw, ograniczanie marnowania żywności.

Przykład Lille bardzo dobrze obrazuje podejście do planowania przestrzennego w kontekście GOZ. Przywracanie do życia terenów zdegradowanych przez wprowadzanie nowych funkcji i kompleksowe zagospodarowanie całego obszaru jest rzeczywistym planowaniem cyrkularnym. W Polsce właściwym narzędziem do inicjowania podobnych zmian jest obecnie Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego, w szczególności, jeśli zostanie ono





sprzężone ze strategią. Zapisy zawarte w Studium, w tym wskazania dla rewitalizacji terenów przemysłowych, pozwalają na ponowne włączanie tych terenów, często usytuowanych w pobliżu centrów miast, do obiegu społeczno-gospodarczego, co pozwala na ograniczanie zabudowy nowych terenów.

Kolejną warstwę cyrkularnego planowania stanowi wykorzystanie lokalnych zasobów i materiałów, w tym remonty całych budynków lub zachowanie ich elementów, ponowne wykorzystanie materiałów, a także ograniczanie wycinki drzew czy zagospodarowanie wód opadowych w miejscu. Te bardziej szczegółowe działania, głównie środowiskowe, powinny być regulowane na poziomie planów miejscowych. Dokumenty te, jako akty prawa miejscowego, mogą wprowadzać nawet bardzo szczegółowe regulacje (wynikające m.in. z ustaleń zawartych w Studium) dotyczące przeznaczenia terenu, ochrony zieleni, w szczególności drzew, zagospodarowania wody deszczowej, stosowania OZE, elementów błękitno-zielonej infrastruktury, np. zielonych dachów czy ścian. Możliwe są również zapisy nakazujące zachowanie budynków bądź elementów budynków w nowej zabudowie. Zazwyczaj wynikają one z ochrony dziedzictwa kulturowego, dzięki nim budynki też zyskują drugie życie.

5. KONKLUZJA

W coraz bardziej widocznym dążeniu miast do przejścia na GOZ, planowanie przestrzenne okazuje się być instrumentem niedocenionym, a tym samym niewykorzystanym. Jednak warto zauważyć, że planowanie przestrzenne, rozumiane w sposób nowoczesny – jako proces dynamiczny i partycypacyjny – jest silnie powiązane z wieloma wymiarami GOZ, rozumianej jako element zrównoważonego rozwoju. Nie jest ono ograniczone do problemów użytkowania gruntów i organizacji miejsc, ale jest procesem wielowymiarowym i wieloszczeblowym, skierowanym na szeroko pojętą organizację danego terytorium (miasta), ze szczególnym odniesieniem do regulacji w skali lokalnej – tak znaczących dla GOZ. Wydaje się zatem, że warto zrewidować podejście do planowania i w pełni wykorzystać jego instrumenty w zrównoważonej transformacji miast.

LITERATURA

Bolger K., Doyon A. (2019): Circular cities: exploring local government strategies to facilitate a circular economy. *European Planning Studies*, Vol. 27(11), 2184-2205.

Campbell-Johnston K., ten Cate J., Elfering-Petrovic M., Gupta J. (2019): City level circular transitions: Barriers and limits in Amsterdam, Utrecht and The Hague. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 235, 1232-1239.

CCPP (2018): Circular Cities Program Poland. Instytut Innowacji i Odpowiedzialnego Rozwoju. <https://innowo.org/pl/circularcities> (dostęp: 16.05.2021).

Christis M., Athanassiadis A., Vercauteren A. (2019): Implementation at a city level of circular economy strategies and climate change mitigation e– the case of Brussels. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 218, 511-520.



- CIRCTER (2019): Circular Economy and Territorial Consequences. Policy Guide. <https://www.espon.eu/sites/default/files/attachments/CIRCTER%20Policy%20guide.pdf> (dostęp: 17.05.2021).
- Circular City (2021): Circular City. COST European Cooperation in Science & Technology. <https://circular-city.eu/> (dostęp: 16.05.2021).
- Circular Glasgow (2019): A Vision and Action Plan for the City of Glasgow. Circle Economy. https://assets.website-files.com/5d26d80e8836af2d12ed1269/5de8ef2d902d8d74d497b562_circular-glasgow-report-web-low-res-compressed.pdf (dostęp: 10.05.2021).
- EUKN (2015): The Circular City: Lessons from Europe. http://www.eukn.eu/fileadmin/Files/Policy_labs/2015_jun_18/Brief_factsheet_final_version.docx (dostęp: 10.05.2021)
- FFS (2020): Farm to Fork strategy: for a fair, healthy and environmentally-friendly food system. https://ec.europa.eu/food/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en (dostęp: 16.05.2021).
- Gemeente Rotterdam (2016): Roadmap: Circular Economy Rotterdam. Gemeente Rotterdam. https://rotterdamcirculair.nl/wp-content/uploads/2018/11/GemeenteRotterdam_Report_English_15-11-18.pdf (dostęp: 10.05.2021).
- Haupt M., Hellweg S. (2019): Measuring the environmental sustainability of a circular economy. *Environmental and Sustainability Indicators*, Vol. 1-2, 100005.
- Kalmykova Y., Rosado L. (2015): Urban Metabolism as Framework for Circular Economy Design for Cities. Conference Proceedings of the World Resources Forum 2015. https://www.researchgate.net/publication/299563263_Urban_Metabolism_as_Framework_for_Circular_Economy_Design_for_Cities (dostęp: 16.05.2021).
- Kennedy C. A., Cuddihy J., Engel-Yan J. (2007): The changing metabolism of cities. *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 11(2), 43-59.
- Kirchher J., Reike D., Hekkert M. (2017): Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation & Recycling*, Vol. 127, 221-232.
- Lindner P., Mooij C., Rogers H. (2017): Circular Economy in Cities: A Strategic Approach Towards a Sustainable Society? Master Thesis. Karlskrona, Sweden, Blekinge Institute of Technology.
- Moraga G., Huysveld S., Mathieux F., Blengini G. A., Alaerts L., Van Acker K., de Meester S., Dewulf J. P. (2019): Circular economy indicators: What do they measure? *Resources, Conservation & Recycling*, Vol. 146, 452-461.
- Obersteg A., Arlati A., Acke A., Berruti G., Czapiewski K., Dąbrowski M., Heurkens E., Mezei C., Palestino M. F., Varjú V., Wójcik M., Knieling J. (2019): Urban regions shifting to circular economy: Understanding challenges for new ways of governance. *Urban Planning*, Vol. 4(3), 19-31.
- Petit-Boix A., Leipold S. (2018): Circular economy in cities: Reviewing how environmental research aligns with local practices. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 195, 1270-1281.
- Remøy H., Cerić D., Van Timmeren A., Wandl A. (2019): Facilitating Circular Economy in Urban Planning. *Urban Planning*, Vol. 4(3), 1-4.
- Sanchez Levoso A., Gasol C. M., Martínez-Blanco J., Gabarell Durany X., Lehmann M., Farreny Gaya R. (2020): Methodological framework for the implementation of circular economy in urban systems. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 248, 119227.
- Tapia C., Bianchi M., Pallaske G., Bassi A. M. (2021): Towards a territorial definition of a circular economy: exploring the role of territorial factors in closed-loop systems. *European Planning Studies*. <https://doi.org/10.1080/09654313.2020.1867511> (dostęp: 16.05.2021).
- Turcu C., Gillie H. (2020): Governing the Circular Economy in the City: Local Planning Practice in London. *Planning Practice & Research*, Vol. 35(1), 62-85.
- Williams J. (2020): The role of spatial planning in transitioning to circular urban development. *Urban Geography*, Vol. 41(6), 915-919.
- Winans K., Kendall A., Deng H. (2017): The history and current applications of the circular economy concept. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 68, 825-833.
- Wolman A. (1965): The metabolism of cities. *Scientific American*, Vol. 213(3), 179-190.

Agnieszka Sobol

Międzynarodowe doświadczenia w rozwoju
miejskiej gospodarki o obiegu zamkniętym
– inspiracje dla polskich miast





Agnieszka Sobol
Instytut Rozwoju Miast i Regionów – Obserwatorium Polityki Miejskiej

Międzynarodowe doświadczenia w rozwoju miejskiej gospodarki o obiegu zamkniętym – inspiracje dla polskich miast

1. WPROWADZENIE

Gospodarka o obiegu zamkniętym (GOZ), zwana również gospodarką cyrkularną (ang. *circular economy*), jest jednym z głównym trendów gospodarczych, które rozwinęły się w ostatnich dekadach. Jej szczególna dynamika wynika z integracji wielu celów wpisanych w ochronę środowiska i klimatu oraz celów związanych z efektywnością ekonomiczną. GOZ przyczynia się do zasobooszczędności i niskoemisyjności, a także większej produktywności i poprawy wyników ekonomicznych. Jednym z ważniejszych obszarów w ramach GOZ jest rozwój biogospodarki (ang. *bioeconomy*), która jest oparta na procesach biologicznych i wykorzystaniu materii organicznej.

Gospodarka cyrkularna jest modelem zakładającym utrzymanie maksymalnej wartości wszystkich zastosowanych kapitałów, naturalnych i pochodzenia antropogenicznego. Możliwości takie wynikają z przeprojektowania wielu procesów prowadzonych w formule linearnej (ang. *linear economy, one-way economy*), skupionych na pozyskiwaniu surowców, ich przetwarzaniu, konsumpcji i pozbywaniu się. Potrzeba zmiany podejścia wynika z rosnącej świadomości złożoności kosztów – środowiskowych, klimatycznych, społecznych i ekonomicznych, spowodowanych dotychczasowym marnotrawstwem i niegospodarnością zasobów. Przejście z powszechnej gospodarki linearnej na obieg zamknięty (ang. *closed loops*) wymaga systemowych i wielosektorowych rozwiązań i ekoinnowacji. Niezbędne jest wprowadzenie wielu mechanizmów i narzędzi w obszarze polityki gospodarczej, fiskalnej, ekologicznej i edukacyjnej. Budowa gospodarki o obiegu zamkniętym wymaga redefinicji funkcjonowania gospodarki w jej podstawowych założeniach obejmujących bezpośrednio odczytywany wymiar przemysłowy, w tym technologiczny, a także procesy biologiczne, ekonomiczne społeczne i organizacyjne (Andersen, 2007; Webster, Blériot i Johnson, 2013; McDonough i Braungart, 2013; Tse, Esposito i Soufani, 2015). Miasta ze swą koncentracją procesów społeczno-gospodarczych odgrywają kluczową rolę w transformacji w stronę gospodarki cyrkularnej.

Gospodarka o obiegu zamkniętym jest modelem realizacji procesów gospodarczych promowanym przez Unię Europejską i jednym z filarów Strategii Zielonego Ładu (COM, 2019b). Wzmocnienie działań w obszarze GOZ w unijnej polityce następowało dzięki zapisom zawartym w Strategii Europa 2020 (COM, 2010) oraz w kolejnych dokumentach strategicznych i operacyjnych (COM, 2014, 2015, 2016, 2019a). Ponadto Unia Europejska promuje kierunek biogospodarki jako segmen-





tu gospodarki cyrkularnej (COM, 2012, 2018). W dokumentach unijnych miasta wskazywane są jako kluczowe centra przemian w obszarze biogospodarki (ang. *circular bioeconomy hubs*).

2. MIĘDZYNARODOWE DOŚWIADCZENIA W ROZWOJU MIEJSKIEJ GOSPODARKI O OBIEGU ZAMKNIĘTYM

Coraz więcej miast na świecie podejmuje wyzwanie tworzenia gospodarki o obiegu zamkniętym. Część miast ma już zaawansowane doświadczenia na tym polu. Należą do nich m.in. Barcelona, Freiburg (Vauban), Bruksela, Malmö (BoO1), Sztokholm (Hammarby Sjöstad), Gothenburg, Kopenhaga (Kalundborg), Ljubljana, Paryż, Glasgow, Peterborough, Londyn (BedZed and Greenwich Millenium Village), Bristol, Linz (solarCity), Amsterdam (GWL-Terrain and Ijburg), Helsinki (Viikki), Cremona, Bolzano (ecodistrict Casanova), Lahti (Kujala), Pecs-Kokeny. Miasta te wprowadzają wiele innowacyjnych rozwiązań łączących elementy techniczne, biologiczne, ekonomiczne, edukacyjne i oddziaływania społecznego. Dużą wagę przywiązuje się do promocji wiedzy z zakresu miejskiej gospodarki o obiegu zamkniętym i wskazywanie w tym procesie roli społeczności lokalnej.

Do liderów dobrych praktyk GOZ w Europie zalicza się, posiadającą ponad stuletnie doświadczenie w gospodarce odpadami, spółkę komunalną Snaga z Ljubljany (Snaga, 2019). Snaga koordynuje w Ljubljanie partnerstwo na rzecz systemowego podejścia do gospodarowania zasobami i realizację strategii „zero odpadów” (ang. *zero waste*). Mocny akcent w swej działalności Spółka kładzie na edukację mieszkańców i bieżące włączanie ich w realizowane przedsięwzięcia.

W Amsterdamie duże osiągnięcia we współtworzeniu miejskiego systemu obiegu zamkniętego są możliwe dzięki oryginalnemu zastosowaniu formuły gier do angażowania mieszkańców (GFC, 2021). Władze lokalne i spółki komunalne wskazują, że podstawą sukcesu jest współpraca i wykorzystanie innowacyjnych narzędzi oddziaływania społecznego. Przez rozmaite gry z zakresu recyklingu, oszczędności wody, poszanowania energii, wykorzystania odpadów organicznych, angażowanych jest wielu partnerów, w tym zwłaszcza społeczność lokalna.

Jedną z modelowych dzielnic miast na świecie, prowadzących gospodarkę cyrkularną, jest dzielnica stolicy Szwecji – Hammarby Sjöstad (Hammarby Sjöstad, 2015). Zasadniczy proces transformacji ekologicznej tej części Sztokholmu realizowany był w latach 1996–2018 (Beatley, 2000). Miejski budżet programu wynosił około 500 mln euro, a na zasadzie dźwigni finansowej, pięciokrotnie więcej zainwestowali w ten projekt przedsiębiorcy. Systemowy projekt zakładał wielokierunkową przemianę z uwzględnieniem recyklingu przestrzeni terenu poprzemysłowego i budowę lokalnej gospodarki o obiegu zamkniętym. W efekcie kompleksowego podejścia udało się osiągnąć redukcję śladu ekologicznego dzielnicy w latach 1990–2008 o około 40%. Stworzony





system – Urban NEXUS łączy branże gospodarki komunalnej, w tym zwłaszcza gospodarki odpadowej, wodno-ściekowej, energetycznej i transportowej. Ważnym kierunkiem projektowania dzielnicy było ograniczenie ruchu samochodowego na rzecz przyjaznego transportu publicznego, a zwłaszcza ruchu pieszego i rowerowego. Gęstość ścieżek pieszych wynosi 25,8 km/km², a ich długość 45 km. Ruch pieszy i rowerowy odbywa się w otoczeniu zieleni, która stanowi 19% powierzchni dzielnicy z docelową powierzchnią 300 tys. m². Produkowana w dzielnicy energia w kogeneracji w 50% pochodzi z zasobów odnawialnych. Gospodarka odpadami sprzężona jest z systemem energetycznym i transportowym. Jedynie 0,75% odpadów trafia na składowisko odpadów, a 50% wykorzystywane jest na potrzeby energetyczne, 16% przekształcane w biogaz używany przez flotę miejskich autobusów, a 33% poddawane jest recyklingowi materiałowemu. Odpady komunalne, w 35% stanowiące odpady organiczne, w 90% przekształcane są w biogaz. Oryginalnym rozwiązaniem zastosowanym w gospodarce odpadami w Hammarby Sjöstad jest system pomp pneumatycznych, za pomocą którego odbierane są odpady komunalne. Odpady z pojemników rozsianych po całej dzielnicy przesyłane są z prędkością 70 km/h na odległość 3 km do stacji ich przetwarzania. System ten jest dwukrotnie droższy od porównywalnego w przepustowości odpadów systemu standardowego, jednocześnie o około 60% niższe są koszty eksploatacyjne. Całość inwestycji zwraca się po niecałych siedmiu latach. Wśród zalet tego rozwiązania wskazuje się przede wszystkim ograniczenie transportu i emisji zanieczyszczeń atmosferycznych, estetykę i higienę. Ważnym aspektem działań jest oszczędność zasobów, w tym energii. Średnie roczne zużycie energii w budynkach (około 11 tys. mieszkań i 9 tys. biur) wynosi 113 kWh/m². Wszystkie budynki w dzielnicy zasilane są w ciepło systemowe. Dzięki zastosowaniu rozwiązań technicznych uzyskano redukcję zużycia wody od 1990 r. o 41–46% na mieszkańca rocznie. Jednocześnie w porównaniu do innych dzielnic miasta, zużycie wody na mieszkańca jest o około 60% niższe. Zwraca się uwagę, że na sukces Hammarby Sjöstad (rys. 1) składa się w 75% skuteczny projekt, a w 25% efekty osiągnięte dzięki projektom edukacyjnym ukierunkowanym na podnoszenie świadomości ekologicznej mieszkańców i podmiotów z terenu dzielnicy.

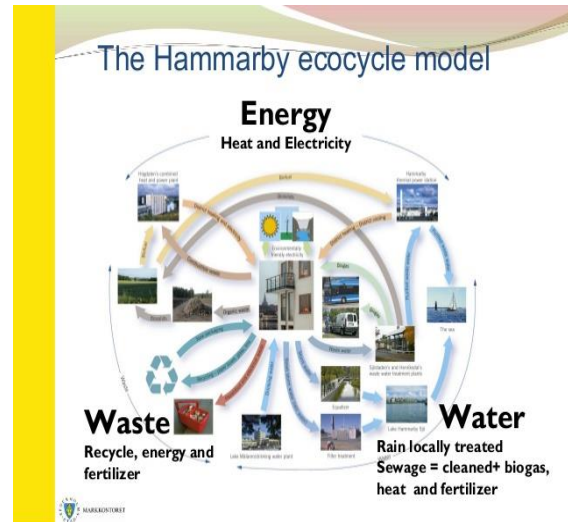




The standard system for household / commercial waste Option: Self-emptying litterbins



envac



Rys. 1. Modelowe rozwiązania GOZ w dzielnicy Sztokholmu – Hammarby Sjöstad (Hammarby Sjöstad, 2015)

Rozwiązania wpisujące się w GOZ podejmowane są od 2014 r. w Bristolu (Geraghty, 2019), gdzie na szeroką skalę wykorzystuje się biogaz pochodzący z odpadów organicznych, tj. bioodpadów, a także materiału organicznego z oczyszczalni ścieków. Biogaz w ilości 17 mln m³ rocznie produkowany jest z 75 mln m³ ścieków i 35 tys. ton odpadów spożywczych. Ma on zastosowanie w transporcie, a także w ciepłownictwie. Autobusy zasilane biometanem mają zasięg 300 km i emitują o około 30% mniej CO₂ niż autobusy zasilane konwencjonalnie. Przeciętny mieszkaniec miasta rocznie wytwarza ilość materii organicznej przekładającej się na około 37 busokilometrów. Na uwagę zasługuje oryginalna kampania edukacyjna – autobusy oklejone są postaciami wyrzucającymi śmieci lub siedzącymi na sedesach (stąd nazwy: *Bio-Bus* i *Poo-Bus*) (rys. 2). Ponadto na terenie Bristolu 8300 domów ogrzewanych jest biogazem. Efektywność energetyczna domów w latach 2000–2011 wzrosła o 25%. Biogaz produkowany i wykorzystywany jest lokalnie, obniżając koszty energii produkowanej dla miasta i jego mieszkańców, lepszą jakość powietrza i większą niezależność energetyczną. Transformacja Bristolu – miasta, które w 2015 r. otrzymało tytuł Zielonej Stolicy Europy, jest dużo dalej idąca i stawia ambitne cele redukcji emisji CO₂ o 40% do 2020 i o 80% do 2050 r. w porównaniu z wynikami z 2005 r. W 2030 r. Bristol ma osiągnąć zero emisyjności.





Rys. 2. Autobusowa kampania ekologiczna „Poo-Bus” w Bristolu (RISE, 2015)

Ważnym kierunkiem miejskiej gospodarki cyrkularnej jest wykorzystywanie materiałów rozbiórkowych. Działania takie na szeroką skalę podejmowane są w Niderlandach, gdzie od 2007 r., w Rotterdamie, Amsterdamie, Utrechcie i Amersfoort, władze miasta współpracują z różnymi partnerami, w tym zwłaszcza firmami budowlanymi. Aktualnie 29 miast zaangażowanych jest w program *Cirkelstad* (Cirkelstad, 2021), wykorzystujący materiały rozbiórkowe do nowych projektów realizowanych w miastach.

W Lizbonie w 2009 r. rozpoczęto realizację Agendy Wodnej (LUWA, 2020). Projekt ukierunkowany jest na wykorzystywanie wody szarej do celów komunalnych, w tym zwłaszcza podlewania terenów zieleni, oczyszczania dróg, mycia taboru komunikacyjnego czy toalet. Obok wykorzystywania wody szarej ważnym elementem programu jest retencjonowanie wody opadowej, co ogranicza zużycie wody z sieci wodociągowej. Projekt powiązany jest zatem z rozwojem zielono-błękitnej infrastruktury, a jego celem jest oszczędność wody, do 2020 r. było to 50%. Zdiagnozowano, że około 75% wody zużywanej na cele komunalne, przeznaczane jest na podlewanie i oczyszczanie ulic. Koszt zużywanej wody na cele miejskie to 7 mln euro rocznie. Realizacja projektu to oszczędność rządu 3,5 mld euro. Ważną częścią „Wodnej Agendy” Lizbony są projekty edukacyjne.

Część projektów z zakresu gospodarki o obiegu zamkniętym wychodzi poza granice administracyjne miasta, stając się projektami ponadlokalnymi lub nawet regionalnymi. Takie projekty GOZ realizowane są w regionie Päijät-Häme w Finlandii. Należy zauważyć, że w Finlandii go-





spodarka o obiegu zamkniętym ma charakter zadania systemowego, z silnym profilem regionalnym. Kierunek ten został ustalony w przyjętej w 2016 r. „Mapie drogowej Finlandii do gospodarki cyrkularnej 2016–2025” (Sitra, 2016) i kolejno w 2017 r. w strategii regionalnej. Istotne jest, że dokument nie stanowi jedynie zapisów formalnego umocowania inicjatywy, a jest wyrazem zbudowania wspólnej wizji i procesowego podejścia (Päijät-Häme’s Strategy, 2017).

Projekt w Päijät-Häme obejmuje Lahti i osiem innych miejscowości (ok. 200 tys. mieszkańców). Działania w kierunku GOZ rozpoczęto w 2001 r. od branży gospodarki odpadami. W kolejnym etapie dołączyło dwadzieścia innych podmiotów z branż komunalnych i przemysłu. Wartość inwestycji wyniosła 28 mln euro. Od 2003 r. odpady żywnościowe i zielone przerabiane są na kompost, a od 2007 r. przetwarzanie odpadów organicznych uzupełniono o osady ściekowe. W 2014 r. uruchomiono biogazownię. Stacja przetwarza rocznie 80 tys. ton bioodpadów, z których 92–98% poddawanych jest różnym formom odzysku, z czego 43–50% recyklingowi. Ostatecznie 3% odpadów trafia na składowisko odpadów. Stacja produkuje rocznie 50 GWh energii. Ważnym aspektem projektu jest jego regionalny charakter, co wymaga współdziałania i koordynacji zarówno ze strony władz regionalnych, jak i lokalnych. Przyjęta strategia stanowi mapę drogową działań i jest rzeczywistym narzędziem zmian operacyjnych. Ścieżka działań jest transparentna, daje gwarancję stabilności systemu i jednocześnie uruchamia system bodźców napędzających inicjatywę. W bieżącą działalność włączone jest środowisko akademickie i mieszkańcy (Vanhamäki i in., 2020). W program GOZ wpisuje się także powołany klaster ziaren (ang. *grain cluster*), który łączy różnorodnych partnerów, w tym około 1000 gospodarstw rolnych, młyny, browary, przedsiębiorstwa przetwórcze. Celem klastra jest maksymalizacja wykorzystania produktów ubocznych procesu wytwórczego, optymalizacja łańcuchów dostaw oraz produkcja bioetanolu. Ważną częścią projektu w Päijät-Häme jest edukacja ekologiczna, w tym podnoszenie świadomości dotyczącej śladu ekologicznego mieszkańców. Realizowana jest kampania „Tonni Lähti”, co oznacza „Jedną tonę mniej”, której celem jest zmniejszenie śladu ekologicznego Finów do 8 Mg rocznie. W edukację ekologiczną wpisują się także działania związane z oszczędzaniem żywności. Służy temu m.in. platforma, przez różnorodne akcje, łącząca punkty gastronomiczne i sklepy z klientami.

Koncepcja biogospodarki miejskiej rozwijana jest w coraz większej liczbie miast na świecie. Jednym ze światowych liderów są Niderlandy. W krajowej polityce przestrzennej tego kraju wprowadzona została koncepcja tzw. Randstad. Założono w niej utrzymanie rolnictwa w pierścieniu największych miast tzw. *South Holland Rim City*, obejmującym: Hagę, Amsterdam, Rotterdam i Delft. Gęstość zabudowy miast niderlandzkich powoduje, że rolnictwo miejskie wplecione zostało w strukturę sieci osadniczej. Jednym z ciekawych projektów w Hadze jest park jadalny,





który ma być urzeczywistnieniem idei permakultury miejskiej. W podejściu kompleksowym biogospodarka została wpisana w rozwój miasta Almere (Levenston, 2020) (Niderlandy, 30 km od Amsterdamu), w której jedna z dzielnic – Agromere pełni funkcję zaopatrzeniową w żywność. Realizowany od 2005 r. rozwój struktury agroubanistycznej Agromere jest projektem zrównoważonego rozwoju całego układu przestrzennego. Agromere jest przedsięwzięciem na szeroką skalę, w którym poza uprawą roślin, zaplanowano również hodowlę zwierząt gospodarskich i przetwórstwo. W projekcie założono, że 50% produkowanej żywności będzie konsumowane lokalnie. Projekt ma zostać docelowo zrealizowany w 2030 r. W efekcie liczba mieszkańców ma zostać podwojona do około 350 tys. (Jansma i Visser, 2011).

3. PODSUMOWANIE

Przedstawione dobre praktyki wpisujące się w miejską gospodarkę o obiegu zamkniętym pokazują bogactwo kierunków działań podejmowanych w miastach na świecie. Wskazane przykłady wyznaczają trendy i coraz więcej miast chce podejmować wyzwania związane z transformacją w stronę gospodarki cyrkularnej. Polskie miasta do tej pory w bardzo ograniczonym zakresie decydowały się na zerwanie z modelem gospodarki linearnej. W celu upowszechnienia działań promujących GOZ niezbędne jest systemowe wsparcie samorządów w zakresie rozwiązań legislacyjnych, wiedzy technicznej, w tym rozwiązań eko-innowacyjnych, pomocy finansowej i organizacyjnej. Złożone korzyści, jakie wynikają z transformacji w stronę GOZ, wskazują na potrzebę podjęcia pilnych działań w tym zakresie.

LITERATURA

- Andersen M. S. (2007): An introductory note on the environmental economics of the circular economy. *Sustainability Science*, Vol. 2, 133-140.
- Beatley T. (2000): *Green urbanism. Learning from European cities*. Washington D. C. California Island Press.
- Cirkelstad (2021): *Cirkelstad: Green Afval Geen Uitval*. <https://www.cirkelstad.nl/> (dostęp: 07.04.2021).
- COM (2010): *Europe 2020 Strategy for smart, sustainable and inclusive growth*. Brussels, European Commission. <https://ec.europa.eu/eu2020/pdf/COMPLETE%20EN%20BARROSO%20%20%20007%20-%20Europe%202020%20-%20EN%20version.pdf> (dostęp: 07.04.2021).
- COM (2012): *Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe*. Brussels, European Commission. https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/official-strategy_en.pdf (dostęp: 07.04.2021).
- COM (2014): *Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe*. Brussels, European Commission. <https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/circular-economy-communication.pdf> (dostęp: 07.04.2021).
- COM (2015): *Closing the loop – An EU action plan for the Circular Economy*, Communication from the Commission. Brussels, European Commission.
- COM (2016): *Ecodesign Working Plan 2016–2019*. Brussels, European Commission. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/com_2016_773.en_.pdf (dostęp: 07.04.2021).
- COM (2018): *A sustainable bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment*. Brussels, European Commission. https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/ec_bioeconomy_strategy_2018.pdf (dostęp: 07.04.2021).



- COM (2019a): Report on the implementation of the Circular Economy Action Plan. Brussels, European Commission. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52019DC0190&from=EN> (dostęp: 07.04.2021).
- COM (2019b): The European Green Deal. Brussels, European Commission. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN> (dostęp: 07.04.2021).
- Geraghty L. (2019): Bristol is harnessing the power of poo to save the environment. *The Big Issue*, 4 September 2019. <https://www.bigissue.com/latest/bristol-is-harnessing-the-power-of-poo-to-save-the-environment> (dostęp: 07.04.2021).
- GFC (2021): Games for Cities: Circular City – Amsterdam. <http://gamesforcities.com/challenges/circular-city/> (dostęp: 07.04.2021).
- Hammarby Sjöstad (2015): Hammarby Sjöstad: an Urban Development Case Study of Hammarby Sjöstad in Sweden, Stockholm. China Development Bank Capital's Green and Smart Urban Development Guidelines. https://hammarby.sjostad20.se/wp-content/uploads/2019/06/Hammarby-Sjostad_report_eng.pdf (dostęp: 07.04.2021).
- Jansma J. E., Visser A. J. (2011): Agromere: Integrating urban agriculture in the development of the city of Almere. https://www.researchgate.net/publication/254840521_Agromere_Integrating_urban_agriculture_in_the_development_of_the_city_of_Almere (dostęp: 07.04.2021).
- Levenston M. (2020): Urban Agriculture in the Dutch City of Almere. *City Farmer News*. <https://cityfarmer.info/urban-agriculture-in-the-dutch-city-of-almere/> (dostęp: 07.04.2021).
- LUWA (2020): Lisbon Urban Water Agenda 2030. London, Sustain Europe. <https://www.sustaineurope.com/lisbon-european-green-capital-2020-20201228.html> (dostęp: 07.04.2021).
- McDonough W., Braungart M. (2013): *The Upcycle: Beyond Sustainability-Designing for Abundance*. New York, North Point Press.
- Päijät-Häme's Strategy (2017): Päijät-Häme's Regional Economic Strategy for 2018–2021. <http://lahdenvuosi.fi/european-green-capital-2020-application/8.-waste> (dostęp: 07.04.2021).
- RISE (2015): RISE 2015: Growing green social enterprises in Bristol. Bristol, University of Bristol. <https://www.bristol.ac.uk/cabot/news/2015/rise-2015.html> (dostęp: 07.04.2021).
- Sitra (2016): Finnish road map to a circular economy 2016-2025. Helsinki, The Finnish Innovation Fund Sitra. <https://www.sitra.fi/en/projects/leading-the-cycle-finnish-road-map-to-a-circular-economy-2016-2025/#contact-us> (dostęp: 07.04.2021).
- Snaga (2019): Vodovod Kanalizacija Snaga. Ljubljana, Voka Snaga. <http://www.snaga.si/en> (dostęp: 07.04.2021).
- Tse T., Esposioto M., Soufani K. (2015): Why the circular economy matters. *The European Business Review*, Nov-Dec.
- Vanhamäki S., Virtanen M., Luste S., Manskinen K. (2020): Transition towards a circular economy at a regional level: A case study on closing biological loops. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 156, 104716.
- Webster K., Blériot J., Johnson C. (Eds.) (2013): *A New Dynamic: effective business in a circular economy*. Cowes, Isle of Wight, United Kingdom, Ellen MacArthur Foundation.

Małgorzata Markowska

Rola ekoinnowacji
w gospodarce o obiegu zamkniętym





Małgorzata Markowska
Główny Instytut Górnictwa – Zakład Ochrony Wód

Rola ekoinnowacji w gospodarce o obiegu zamkniętym

1. WPROWADZENIE

Ze względu na rosnącą degradację środowiska w ostatnich latach coraz większego znaczenia nabiera odchodzenie od tradycyjnego liniowego modelu działalności gospodarczej, charakteryzującego się jednokierunkowym przepływem materiałów: surowce – produkty – odpady (Elia, Gnoni i Tornese, 2017; Pichlak, 2018). Stąd też popularność zyskuje koncepcja gospodarki o obiegu zamkniętym, określana także jako gospodarka cyrkularna (ang. *circular economy*, CE), gospodarka okrężna lub gospodarka o obiegu wewnętrznym (Ghisellini, Cialani i Ulgiati, 2016).

W koncepcji gospodarki o obiegu zamkniętym odzysk i waloryzacja odpadów pozwalają na ponowne wykorzystanie materiałów w łańcuchu dostaw, ostatecznie oddzielając wzrost gospodarczy od strat środowiskowych (Ghisellini, Cialani i Ulgiati, 2016). GOZ postrzegana jest więc jako sposób na przełamanie obecnego modelu produkcji i konsumpcji, opartego na ciągłym wzroście zużycia zasobów, w tym nieodnawialnych. Przez promowanie przyjęcia wzorców produkcyjnych w ramach systemu gospodarczego, GOZ ma na celu zwiększenie efektywności wykorzystania zasobów, ze szczególnym uwzględnieniem odpadów komunalnych i przemysłowych, w celu osiągnięcia lepszej równowagi i harmonii między gospodarką, środowiskiem i społeczeństwem.

Znaczenie GOZ jest potwierdzane od kilku lat w wielu dokumentach unijnych (EEA, 2016), w tym m.in. w Planie działania na rzecz gospodarki o obiegu zamkniętym (KE, 2015), programie prac Komisji Europejskiej na rok 2017 (KE, 2016), czy w programie badań i innowacji Horyzont 2020. Także w innych kluczowych gospodarkach światowych, jak Chiny (Geng i in., 2012) czy Stany Zjednoczone (Heck, 2006), zakłada się redukcję odpadów oraz zwiększenie efektywnego i zrównoważonego wykorzystania zasobów w przyjętych celach strategicznych na poziomie krajowym i przejście od koncepcji gospodarki odpadami do szerszych ram gospodarki materiałowej.

Aktywna działalność organizacji pozarządowych, w tym Fundacji Ellen MacArthur, a także wprowadzenie zagadnień gospodarki cyrkularnej do strategii i polityki wielu krajów na świecie, w tym w UE, przyczyniły się do promocji i wdrażania jej założeń, dzięki czemu GOZ nie jest już obecnie koncepcją, a globalnym modelem gospodarczym (Kulczycka i Pędziwiatr, 2019).

Zmiana linearnego modelu gospodarczego, który dominuje od początku rewolucji przemysłowej, nie jest bynajmniej łatwym zadaniem i wymaga przekształcenia wielu obecnie obowiązujących





jących wzorców produkcji i konsumpcji. Innowacyjne technologie transformacyjne, takie jak technologie cyfrowe i inżynieryjne, w połączeniu z kreatywnym myśleniem o gospodarce obiegowej, będą napędzać fundamentalne zmiany w całych łańcuchach wartości, które nie są ograniczone do konkretnych sektorów lub materiałów (Vanner i in., 2014). Taka poważna transformacja pociągnie za sobą znaczące skutki dla gospodarki, środowiska i społeczeństwa, co nasili tendencje zmian wprowadzanych w wielu firmach na rzecz osiągnięcia lepszych wyników środowiskowych i ekonomicznych (del Rio i in., 2010) przez wdrażanie innowacji środowiskowych (ekoinnowacji). Stąd też planowane przejście UE na model CE sprzyja rozwojowi ekoinnowacji na poziomie makro-, mezo- i mikroekonomicznym (Smol, Kulczycka i Avdiushchenko, 2017). Co więcej, wszystkie strategiczne dokumenty UE dotyczące gospodarki o obiegu zamkniętym, uznają innowacje, w tym szczególnie ekoinnowacje, za podstawę skutecznego przejścia w kierunku gospodarki cyrkularnej.

Jednocześnie, mimo wielu powiązań koncepcyjnych i podobieństwa celów ekoinnowacji i gospodarki cyrkularnej, ze względu na zróżnicowanie definicyjne oraz interpretacyjne obydwu tych pojęć, wciąż niezwykle trudno jest określić jednoznacznie zależność między nimi.

W rozdziale omówiono znaczenie ekoinnowacji jako czynnika umożliwiającego zmianę systemu, z uwzględnieniem, że inne ważne czynniki – instytucjonalne i polityczne, mogą mieć ogromne znaczenie. W dalszej części przedstawiono definicję, cechy i zasady gospodarki cyrkularnej, następnie dokonano skrótego przeglądu literatury dotyczącej ekoinnowacji i przeanalizowano ich rolę jako motoru zmian systemowych w kierunku gospodarki cyrkularnej.

2. ISTOTA GOSPODARKI O OBIEGU ZAMKNIĘTYM

Istotą gospodarki cyrkularnej jest nieliniowy (zwrotny) przepływ materiałów i jednocześnie jak najmniejsze wykorzystanie zasobów naturalnych tak, aby osiągnąć jak największe obniżenie kosztów środowiskowych (Pichlak i Kruczek, 2017).

Koncepcja gospodarki cyrkularnej wynika z dwóch głównych nurtów, z których pierwszy odnosi się do przepływu materiałów w gospodarce, a drugi dotyczy myślenia o warunkach ekonomicznych, które mogą spowodować taki przepływ. Obydwa te nurty koncepcyjne sięgają początków nowoczesnego ruchu ekologicznego, który rozwinął się w latach 60. i 70. XX wieku, w tym ideologii granic wzrostu opisanych w pracach Bouldinga (1966), a następnie w raporcie Klubu Rzymskiego z 1970 r. (Winans, Kendall i Deng, 2017) i pozostają z nim w symbiotycznym związku. Boulding (1966) wprowadził koncepcję systemów zamkniętych i przewidział przyszłą gospodarkę, której funkcjonowanie byłoby oparte na reprodukcji ograniczonych zasobów i recyklingu odpadów wyjściowych. Taka „zamknięta” gospodarka dążyłaby do utrzymania całkowite-





go zasobu kapitału³ i zmniejszania deficytu ekologicznego. W latach 80. XX wieku koncepcja gospodarki o obiegu zamkniętym została opisana jako *closed-loop economy* przez Stahela i Redaya (1981), którzy wskazywali nie tylko na konieczność recyklingu w gospodarce, ale również na ponowne wykorzystywanie i odtwarzanie wyrobów.

Pojęcie gospodarki cyrkularnej po raz pierwszy zostało użyte w 1990 r. przez Pearce'a i Turnera (1990), w modelu ekonomicznym opartym na modelu bilansu materiałowego zgodnie z pierwszą i drugą zasadą termodynamiki (Pichlak, 2018). W modelu tym na pierwszy plan wysuwa się relacja między gospodarką a środowiskiem, która uwzględnia trzy ekonomiczne funkcje środowiska: dostawcy zasobów, asymilatora odpadów⁴ i źródła użyteczności (dobrobytu). Jednocześnie Frosch i Gallopoulos (1989) stwierdzili, że optymalizacja całego systemu wymaga usprawnienia procesów produkcyjnych „które minimalizują powstawanie odpadów nienadających się do recyklingu (w tym ciepła odpadowego), jak również minimalizują stałe zużycie ograniczonych zasobów materiałowych i energetycznych”. Frosch i Gallopoulos (1989) opracowali także koncepcję ekosystemów przemysłowych, które doprowadziły do powstania pojęcia ekologii przemysłowej (Frosch, 1992; Ekins i in., 2019). Zgodnie z założeniami odpady wytworzone przez jedną firmę powinny być wykorzystane jako surowiec przez inną, dzięki czemu żadne odpady nie opuszczają ekosystemu przemysłowego, a przez to nie wpływają negatywnie na środowisko naturalne (Foltynowicz, 2011). Założenie to pociągnęło za sobą konieczność szukania innowacyjnych rozwiązań i wypracowania skutecznych systemów współpracy między przedsiębiorstwami. Wprowadzenie innowacji do produkcji i projektowania produktów i procesów jest bowiem konieczne, aby skutecznie skierować z powrotem do procesu produkcyjnego materiały, które wcześniej uważane były za odpady (Rizos, Tuokko i Behrens, 2017).

Od czasu pierwszego formalnego użycia terminu *circular economy* przez Pearce'a i Turnera (1990), podejmowano różne próby zdefiniowania gospodarki cyrkularnej (Ekins i in., 2019). Jako że koncepcja ta jest powiązana i czerpie z wielu innych koncepcji, np. wspomnianej już ekologii przemysłowej i ekosystemów przemysłowych (Jelinski i in., 1992), symbiozy przemysłowej (ang. *industrial symbiosis*)⁵ (Chertow i Ehrenfeld, 2012; Preisner, 2017), bionaśladownictwa (ang. *biomimicry*) (Benyus, 2003; Ekins i in., 2019), czystszej produkcji (Stevenson i Evans, 2004; Sousa-Zomer i in., 2018), projektowania „od kołyski do kołyski” (ang. *cradle-to-cradle design*) (Braungart, McDonough i Bollinger, 2007), czy ekoefektywności (Huppel i Ishikawa, 2009), definicje te były zróżnicowane. Większość autorów przedstawia definicje i/lub interpretacje zorientowane na zasoby,

³ Uwzględniającego także kapitał ludzki i kapitał wiedzy.

⁴ Powstających na wszystkich trzech etapach: przetwarzania zasobów, produkcji (w formie emisji i odpadów stałych) oraz na etapie konsumpcji.

⁵ Współpraca dwóch lub większej liczby zakładów przemysłowych lub przedsiębiorstw, których odpady lub produkty uboczne jednego z nich stają się surowcem dla pozostałych.



podkreślając potrzebę tworzenia zamkniętych pętli przepływów materiałowych i ograniczania zużycia zasobów pierwotnych oraz związanego z tym szkodliwego wpływu na środowisko. Znaczna część autorów zwraca także uwagę, że minimalizacja zużycia zasobów powinna następować w całym łańcuchu wartości (Kulczycka i Pędziwiatr, 2019). Co istotne, gospodarka cyrkularna jest analizowana na poziomie mikro- (Sousa-Zomer i in., 2018), mezo- (Zhu, Geng i Lai, 2010) i makroekonomicznym (Ghisellini, Cialani i Ulgiati, 2016). Wybrane definicje CE przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wybrane definicje gospodarki cyrkularnej

Źródło	Definicja
Zhu, Geng i Lai (2010)	Model GOZ wdraża się na trzech poziomach: w ekoregionach na poziomie makro, parkach ekoprzemysłowych – na poziomie mezo i przedsiębiorstwach ekologicznych – na poziomie mikro. Praktyki GOZ obejmują wymogi ochrony środowiska w zakresie redukcji, ponownego użycia i recyklingu (3R) z naciskiem na osiągnięcie jednocześnie celów związanych z ochroną środowiska i wydajnością ekonomiczną.
EMAF (2013)	Gospodarka cyrkularna – system przemysłowy, który z założenia jest regeneracyjny. Zastępuje on koncepcję „końca życia” (wycofania z eksploatacji) odnową, nakierowany jest na wykorzystanie energii odnawialnej, dąży do eliminacji odpadów przez lepsze projektowanie materiałów, produktów, systemów, w tym modeli biznesowych. Celem ogólnym jest „umożliwienie efektywnego przepływu materiałów, energii, pracy i informacji tak, aby można było odbudować kapitał naturalny i społeczny”.
EEA (2014)	Gospodarka cyrkularna „odnosi się głównie do elementów gospodarki związanych z zasobami fizycznymi i materialnymi – koncentruje się na recyklingu, ograniczaniu i ponownym wykorzystywaniu fizycznych nakładów na gospodarkę i na wykorzystywaniu odpadów jako zasobów, co prowadzi do zmniejszenia zużycia zasobów pierwotnych”.
Mitchell (2015)	W gospodarce cyrkulacyjnej ważne jest utrzymywanie zasobów w użyciu tak długo, jak to możliwe, jak również wydobywanie maksymalnej wartości z produktów i materiałów przez jak najdłuższe ich wykorzystywanie, a następnie odzyskiwanie i ponowne wykorzystywanie.
Sauvé, Bernard i Sloan (2016)	Gospodarka cyrkularna odnosi się do „produkcji i konsumpcji dóbr przez zamknięte pętle przepływów materiałowych, które internalizują środowiskowe efekty zewnętrzne związane z wydobywaniem zasobów pierwotnych i generowaniem odpadów (w tym zanieczyszczeń)”.
EEA (2016)	Gospodarka cyrkularna „stwarza możliwości tworzenia dobrobytu, wzrostu gospodarczego i miejsc pracy, przy jednoczesnym zmniejszeniu presji na środowisko. Koncepcję tę można w zasadzie zastosować do wszystkich rodzajów zasobów naturalnych, w tym materiałów biotycznych i abiotycznych, wody i ziemi”.
Tisserant i in. (2017)	Koncepcja GOZ ma na celu wydłużenie okresu użytkowania materiałów i promuje recykling w celu maksymalizacji użycia materiałów przypadających na zasób przy jednoczesnym zmniejszeniu wpływu na środowisko i wykorzystania zasobów. Jest ściśle związana z Zasadami 3 R (3U): unikania (ang. <i>reduce</i>), ponownego użycia (ang. <i>reuse</i>) i utylizowania (ang. <i>recycle</i>).

Źródło: Rizos, Tuokko i Behrens (2017); Kulczycka i Pędziwiatr (2019).



W podsumowaniu można stwierdzić, że gospodarka cyrkularna rozumiana jest najczęściej jako system ekonomiczny, który zastępuje koncepcję „końca życia” produktu, ponownym użyciem, recyklingiem i odzyskaniem materiałów w produkcji, dystrybucji i konsumpcji na poziomie mikro, mezo i makro. Jej celem jest osiągnięcie zrównoważonego rozwoju, czyli wpływanie jednocześnie na dobrą jakość środowiska, dobrobyt gospodarczy i równość społeczną, z korzyścią dla obecnych i przyszłych pokoleń (Kirchherr, Reike i Hekkert, 2017; Szczygiel, 2020).

Jak już wspomniano, przejście od gospodarki linearnej do gospodarki cyrkularnej wymaga wprowadzenia znacznych zmian w systemach produkcji i konsumpcji. Konieczne jest zatem wprowadzanie rozwiązań innowacyjnych, w tym innowacji technologicznych, organizacyjnych i marketingowych. Jednocześnie, niezwykle ważne jest, aby wprowadzane innowacje były innowacjami ekologicznymi. Niektóre z pozornie pozytywnych działań mają bowiem negatywny wpływ na środowisko (Murray, Skene i Haynes, 2017). Na przykład „zielone paliwo” nie zawsze uwzględnia konsekwencje środowiskowe uprawy roślin paliwowych; część „zielonych” technologii opiera się na metalach ziem rzadkich; a niektóre materiały o długiej żywotności są bardzo trudne do recyklingu. Stąd też konieczność odpowiedniego dostosowania i doboru rozwiązań innowacyjnych. Istotnym problemem jest także presja konkurencyjna ustalonych modeli biznesowych, siła rynkowa dużych firm i jej globalne łańcuchy wartości, z którymi zarówno rozwiązania ekoinnowacyjne, jak i gospodarka współdzielona czy recykling, muszą konkurować. Korhonen, Honkasalo i Seppälä (2018) uważają, że ekonomia i logika biznesowa zależności ścieżkowej (ang. *path dependency*)⁶ może uniemożliwić wielu innowacjom powiązanych z CE wejście na rynki.

3. POJĘCIE I RODZAJE EKOINNOWACJI ORAZ ICH ROLA W ROZWOJU GOSPODARKI CYRKULARNEJ

Innym elementem prowadzącym do zrównoważonego rozwoju są innowacje ekologiczne (ekoinnowacje). Wdrażanie ekoinnowacji w przedsiębiorstwach (poziom mikro) w znacznym stopniu jest wynikiem dążenia do osiągania lepszych wyników środowiskowych i ekonomicznych (del Río, Carrillo-Hermosilla i Könnölä, 2010).

Mimo że po raz pierwszy innowacje ekologiczne stały się przedmiotem badań w latach 70. XX wieku, a termin „ekoinnowacje” jest powszechnie używany od lat 90. (Jasiński, 1997; Bartoszczuk, 2016), to jednak ich rozumienie, i co się z tym wiąże, definiowanie jest bardzo zróżnicowane (Rennings, 2000; Reid i Miedzinski, 2008; Carrillo-Hermosilla, del Río i Könnölä, 2010; Cheng i Shiu, 2012; Peng i Liu, 2016). Pojęcie to można interpretować zarówno w ujęciu wąskim

⁶ W ramach koncepcji *path dependence* (zależności ścieżkowej) niektóre procesy można określić jako podporządkowane własnej historii, co oznacza, że ich rozwój jest zależny od ich historycznego kształtowania się. Przykładowo firma może wciąż korzystać z produktu lub rozwiązania, nawet jeśli dostępne są nowsze, bardziej wydajne alternatywne warianty.





jako eko innowacje technologiczne (produktowe i procesowe), jak i szerokim, obejmującym każdą zmianę polegającą na przyswojeniu wiedzy, a więc ze szczególnym uwzględnieniem innowacji nietechnologicznej (organizacyjnej lub marketingowej) (Reid i Miedzinski, 2008; Kemp i Pearson, 2008; Węgrzyn, 2013; Balazińska i in., 2020).

Jedną z bardziej znanych definicji eko innowacji określa się jako „produkcję, asymilację lub eksploatację produktu, procesu produkcyjnego, usługi lub metody zarządzania lub prowadzenia działalności gospodarczej, która jest nowa dla organizacji (rozwijającej lub przyjmującej ją), i która skutkuje, w całym cyklu życia, zmniejszeniem ryzyka środowiskowego, zanieczyszczenia i innych negatywnych wpływów na wykorzystywane zasoby (w tym zużycie energii) w porównaniu z możliwościami alternatywnymi” (Kemp i Pearson, 2008). Także w unijnym Obserwatorium Eko innowacji (EIO) eko innowacje definiuje się jako „wprowadzenie dowolnego nowego lub znacząco ulepszanego produktu (towaru lub usługi), procesu, zmiany organizacyjnej lub rozwiązania marketingowego, które zmniejsza zużycie zasobów naturalnych (w tym materiałów, energii, wody i ziemi) i ogranicza uwalnianie szkodliwych substancji w całym cyklu życia” (EIO, 2010, 2012).

Eko innowacje są szczególnym rodzajem innowacji, które przyczyniają się do tworzenia nowych rozwiązań dostarczających wartości dodanej konsumentom i przedsiębiorstwom, przez znaczące ograniczenie ich wpływu na środowisko, co jest podstawową cechą odróżniającą je od innych rodzajów innowacji.

Udokumentowane efekty wdrażania eko innowacji, dla realizacji założeń gospodarki cyrkularnej, są w literaturze przedmiotu opisywane najczęściej w kontekście (Charter i Clark, 2007; Kemp i Pearson, 2008; Wagner, 2008; Woźniak i in., 2008; Matejun, 2009; Kaźmierczak-Piwko, 2012; Cichy i Szafraniec, 2015; Zarebska i Michalska, 2016; Vence i Pereira, 2019):

- zmniejszenia zużycia materiałów, energii i wody na jednostkę produktu,
- zmniejszenia emisji ditlenku węgla oraz zanieczyszczenia powietrza, wody, gleby,
- zmniejszenia poziomu hałasu,
- ułatwienia ponownego użycia (recyklingu) wyrobów po zakończeniu użytkowania,
- wydłużenia trwałości wyrobów przez zwiększenie stabilności i wytrzymałości,
- zmniejszenia zużycia energii pozyskiwanej z paliw kopalnych na rzecz odnawialnych źródeł energii.

W tabeli 2 przedstawiono podstawowe rodzaje eko innowacji w odniesieniu do gospodarki cyrkularnej.



Tabela 2. Rodzaje ekoinnowacji i ich rozumienie w kontekście gospodarki cyrkularnej

Rodzaj ekoinnowacji	Rozumienie, opis i przykłady
Produktowe	<ul style="list-style-type: none"> ▪ wprowadzanie na rynek produktu lub usługi, które są nowe lub znacząco ulepszone pod względem cech lub zastosowań, ▪ wytwarzanie towarów w sposób prowadzący do zmniejszenia wpływu na środowisko i mniejszego zużycia zasobów, np. dzięki ekoprojektowaniu, ▪ zastępowanie środków produkcji materiałami o lepszych właściwościach (oddychające tkaniny, lekkie i wytrzymałe kompozyty, przyjazne dla środowiska tworzywa itp.), ▪ wprowadzanie produktów o znacznie zmniejszonym zużyciu energii (energooszczędne lodówki itp.), ▪ ogólny wpływ na środowisko i nakłady materiałowe są zminimalizowane w całym cyklu życia produktu, ▪ umożliwienie różnych opcji odzysku, takich jak naprawa, konserwacja, regeneracja, recykling i kaskadowe wykorzystanie komponentów i materiałów.
Procesowe	<ul style="list-style-type: none"> ▪ wdrażanie nowych lub znacząco ulepszonych metod produkcji lub dostaw, które zmniejszają zużycie materiałów i emisji, ▪ zastępowanie szkodliwych czynników produkcji (np. substancji toksycznych), ▪ optymalizacja procesu produkcyjnego (np. poprawa efektywności energetycznej lub efektywności wykorzystania zasobów), ▪ obniżanie ryzyka i zmniejszanie kosztów w procesach produkcyjnych, ▪ zaawansowane procesy regeneracji, takie jak odnawianie przez wymianę lub naprawę wadliwych komponentów, ▪ możliwości demontażu i odzysku na poziomie komponentów, materiałów i substancji: upcykling⁷ (Braungart, McDonough i Bollinger, 2007) recykling funkcjonalny, downcykling⁸, ▪ produkcja bezodpadowa (ang. <i>zero waste</i>), zerowa emisja (ang. <i>zero emission</i>), czystsza produkcja (ang. <i>cleaner production</i>).
Organizacyjne	<ul style="list-style-type: none"> ▪ wprowadzanie metod organizacyjnych i systemów zarządzania służących rozwiązywaniu problemów środowiskowych w produkcji i produktach (np. systemy zapobiegania zanieczyszczeniom, systemy zarządzania środowiskowego i audytu, zarządzanie łańcuchem dostaw), ▪ reorganizacja systemów zarządzania zmierzająca do zamknięcia pętli i zwiększenia efektywności wykorzystania zasobów, ▪ nowe modele biznesowe, np. klastry i sieci biznesowe, symbioza przemysłowa, nowe systemy zbierania i odzyskiwania cennych zasobów, systemy produktowo-usługowe.
Marketingowe	<ul style="list-style-type: none"> ▪ wprowadzanie nowych metod lub technik marketingowych, które prowadzą do zmian w projektowaniu lub pakowaniu produktów, lokowaniu produktów, promocji produktów lub ustalaniu cen, ze szczególnym uwzględnieniem zasad ochrony środowiska lub kształtowania świadomości ekologicznej w ramach promocji (np. ekoetykietowanie), ▪ promocja ponownego wykorzystania produktów w tym samym celu (np. butelki) lub ponownego innego zastosowania (np. opony jako blotniki do łodzi czy na placach zabaw), ▪ „zazielenianie marki” (Płonka, 2013) (ang. <i>green branding</i>) w celu lepszej komercjalizacji produktów lub usług.
Społeczne	<ul style="list-style-type: none"> ▪ zmiany zachowania społecznego i stylu życia i wynikający z nich popyt na ekologiczne towary i usługi,

⁷ Upcykling jest formą przetwarzania wtórnego odpadów. W jego wyniku powstają produkty o wyższej wartości niż surowce do niego użyte, np. produkcja mebli z palet, produkcja sandałów z opon samochodowych, ubrania polarowe z butelek PET. Proces ten pozwala na zmniejszenie zarówno ilości odpadów, jak i materiałów wykorzystywanych w produkcji pierwotnej.

⁸ Downcykling to jeden ze sposobów recyklingu, przetwarzania surowców z jednoczesnym obniżaniem jakości materiału (produkcja rzeczy, które są mniej cenne niż surowce do niej użyte), np. przetworzenie wysokiej jakości papieru z makulatury na karton, wykorzystanie foliowej reklamówki jako worka na śmieci.

Rodzaj ekoinnowacji	Rozumienie, opis i przykłady
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ innowacje motywowane przez użytkowników, czyli opracowanie/uzgadnianie funkcjonalności nowych towarów wspólnie z zainteresowanymi stronami, co minimalizuje ryzyko pojawienia się niepożądanych cech i braku zainteresowania produktem, ▪ dzielenie się (ang. <i>sharing</i>), np. sprzętem gospodarstwa domowego, książkami, tekstyliami, samochodami; wspólna konsumpcja (ang. <i>collaborative consumption</i>) (np. mieszkania, narzędzi ogrodniczych), ▪ innowacyjne koncepcje społeczne: <i>green living, smart consumption, responsible shopping</i>.
Systemowe	<ul style="list-style-type: none"> ▪ dążenie do poprawy efektywności całego systemu, a nie koncentrowanie się na poszczególnych komponentach wykorzystywanych w systemach, począwszy od „produktów złożonych” (np. domów) do całych systemów produkcji i konsumpcji (np. miast), ▪ powstanie całkowicie nowych systemów o zupełnie nowych funkcjach, zmniejszających ogólny wpływ na środowisko, np. systemy rowerów publicznych (i powiązana infrastruktura, taka jak stacje rowerowe), a także ograniczenie potrzeby podróżowania (wymóg włączenia infrastruktury społecznej, jak sklepy, placówki edukacyjne czy ochrony zdrowia, do nowych osiedli mieszkaniowych), ▪ nowe zarządzanie miastem, „inteligentne” miasta, permakultura.

Zródło: opracowanie własne na podstawie: Charter i Clark (2007); Kemp i Pearson (2008); Wagner (2008); Woźniak i in. (2008); Matejun (2009); EIO (2010); EIO (2012); Cichy i Szafraniec (2015); EIO (2016); EIO (2018); Vence i Pereira (2019).

W podsumowaniu można stwierdzić, że ekoinnowacje dla gospodarki cyrkularnej mogą mieć charakter zarówno technologiczny (Kwiecień i Wawrowski, 2019), jak i nietechnologiczny. Istotne jest wzajemne powiązanie różnych rodzajów ekoinnowacji. Głównym wyzwaniem z perspektywy zamykania obiegu jest bowiem przejście od innowacji na poziomie pojedynczego przedsiębiorstwa do rekonfiguracji całych łańcuchów dostaw w celu uwzględnienia fazy pokonsumpcyjnej (zbieranie, ponowne wykorzystywanie, odnawianie lub recykling) (Lieder i Rashid, 2016). Ekoinnowacje, które mogą najszybciej umożliwić przejście na zasobooszczędny model gospodarki o obiegu zamkniętym, obejmują zmianę dominujących modeli biznesowych (od projektowania nowych produktów i usług, po rekonfigurację łańcuchów wartości, nowe/krótkie łańcuchy dostaw), zmiany sposobu interakcji obywateli z produktami i usługami (własność, leasing, współużytkowanie, naprawa, redukcja, regeneracja itp.) oraz opracowania ulepszonych systemów dostarczania wartości dodanej (mobilność ekologiczna, „inteligentne” systemy energetyczne) (Vence i Pereira, 2019).

4. PODSUMOWANIE

Gospodarka cyrkularna jest globalnym modelem gospodarczym, w którym ekoinnowacje (zarówno technologiczne, jak i nietechnologiczne) są narzędziem do osiągnięcia celu (de Jesus i in., 2018). W dokumentach i raportach UE, ekoinnowacje są określane jako „katalizator” CE i traktowane jako kluczowy element skutecznego przejścia z linearnego do cyrkularnego systemu produkcji i konsumpcji (EIO, 2016; EIO, 2018; de Jesus i in., 2018). Skuteczność transformacji



w kierunku zrównoważonego społeczeństwa i gospodarki o obiegu zamkniętym jest bowiem w znacznym stopniu uzależniona od zdolności do wdrażania eko-innowacji na wszystkich poziomach – makro-, mezo- i mikroekonomicznym. Na poziomie makroekonomicznym kluczową rolę odgrywa zarządzanie, szczególnie promowanie polityki proekologicznej i rozwiązań eko-innowacyjnych przez odpowiednie regulacje prawne, a także koordynację międzysektorową i międzyregionalną, nakierowaną na minimalizację barier w łańcuchach dostaw. Na poziomie mezoekonomicznym kluczowe jest kreowanie nowych możliwości dzielenia (ang. *sharing*) produktów i usług, tworzenie nowych sposobów współpracy między przedsiębiorstwami, a podmiotami publicznymi oraz pokonywanie barier instytucjonalnych (de Jesus i in., 2018). Na poziomie mikroekonomicznym kluczowe są różne rodzaje eko-innowacji produktowych, procesowych i marketingowych (EIO, 2018).

Różne rodzaje eko-innowacji oddziałują na siebie wzajemnie, więc w różny sposób wpływają na transformację w kierunku gospodarki cyrkularnej. Wdrażanie jedynie eko-innowacji technologicznych jest niewystarczające, bowiem gospodarka cyrkularna musi sprostać ważnym wyzwaniom organizacyjnym i społeczno-instytucjonalnym. Skuteczne eko-innowacje technologiczne nie muszą być wcale radykalne, bowiem jeśli ich wpływ na środowisko jest połączony z efektami organizacyjnymi, wpływają one zarówno na firmę, jak i na wszystkich interesariuszy w łańcuchu dostaw (Vence i Pereira, 2019).

Gospodarka o obiegu zamkniętym zwiększa także konkurencyjność, bowiem chroni przedsiębiorstwa przed niedoborem zasobów i niestabilnością cen, promując nowe możliwości biznesowe i eko-innowacyjne, wydajniejsze sposoby produkcji i konsumpcji (KE, 2015). W skali miast i regionów gospodarka cyrkularna jest postrzegana jako rozwiązanie pozwalające na poprawę jakości życia, przy zmniejszonym zużyciu zasobów, przez zaspokajanie potrzeb społecznych w innowacyjny sposób.

LITERATURA

- Balazińska M., Markowska M., Blaut A., Głodniok M. (2020): Life cycle assessment of eco-innovative organo-mineral granulated fertilizer's production technology. *Rocznik Ochrona Środowiska*, T. 22(1), 561-588.
- Bartoszczuk P. (2016): Eko-innowacje w gospodarce wodnej. *Gospodarka w Praktyce i Teorii*, T. 44(3), 7-18.
- Benyus J. M. (2003): *Biomimicry: innovation inspired by nature*. California, Harper Collins Publishers.
- Boulding K. (1966): The economics of the coming spaceship Earth. W: H. Jarrett (Ed.), *Environmental quality in a growing economy* (s. 3-14). Baltimore MD, Johns Hopkins University.
- Braungart M., McDonough W., Bollinger A. (2007): Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions – a strategy for eco-effective product and system design. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 15(13-14), 1337-1348.
- Carrillo-Hermosilla J., del Río P., Könnölä T. (2010): Diversity of eco-innovations: reflections from selected case studies. *Journal of Cleaner Production*, Vol 18(10-11), 1073-1083.





- Charter M., Clark T. (2007): Sustainable innovation: key conclusions from sustainable innovation conferences 2003-2006 organised by The Centre for Sustainable Design. Farnham, Centre for Sustainable Design. https://cfsd.org.uk/Sustainable%20Innovation/Sustainable_Innovation_report.pdf (dostęp 19.12.2018).
- Cheng C. C., Shiu E. C. (2012): Validation of a proposed instrument for measuring eco-innovation: an implementation perspective. *Technovation*, Vol. 32(6), 329-344.
- Chertow M., Ehrenfeld J. (2012): Organizing self-organizing systems. *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 16(1), 13-27.
- Cichy M. J., Szafraniec M. (2015): Ekoinnowacyjność przedsiębiorstw czystszej produkcji w Polsce: część 1: Ogólne aspekty ekoinnowacyjności. *Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie/Politechnika Śląska*, z. 77, 19-37.
- de Jesus A., Antunes P., Santos R., Mendonça S. (2018): Eco-innovation in the transition to a circular economy: an analytical literature review. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 172, 2999-3018.
- del Río P., Carrillo-Hermosilla J., Könnölä T. (2010): Policy strategies to promote eco-innovation. *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 14(4), 541-557.
- EEA (2014): Resource-efficient green economy and EU policies. Report No 2/2014. Luxembourg, European Environment Agency.
- EEA (2016): Circular Economy in Europe – Developing the Knowledge Base. Report No 2/2016. Luxembourg, European Environmental Agency.
- EIO (2010): Methodological report financed by the European Commission. Brussels, Eco-Innovation Observatory: DG Environment.
- EIO (2012): Closing the eco-innovation gap: an economic opportunity for business: annual report 2011. Brussels, Eco-Innovation Observatory: DG Environment.
- EIO (2016): Policies and practices for eco-innovation uptake and circular economy transition: EIO Bi-annual report. Brussels, Eco-Innovation Observatory: DG Environment.
- EIO (2018): Eco-Innovation of products: case studies and policy lessons from EU Member States for a product policy framework that contributes to a circular economy: EIO Bi-annual report. Brussels, Eco-Innovation Observatory: DG Environment.
- Ekins P., Domenech T., Drummond P., Bleischwitz R., Hughes N., Lotti L. (2019): The circular economy: What, why, how and where, background paper for an OECD/EC. Workshop on 5 July 2019. Paris, OECD Centre for Entrepreneurship.
- EMAF (2013): Towards the circular economy. economic and business rationale for an accelerated transition. Cowes, Ellen MacArthur Foundation.
- Elia V., Gnoni M. G., Tornese F. (2017): Measuring circular economy strategies through index methods: acritical analysis. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 142(part 4), 2741-2751.
- Foltynowicz Z. (2011): Ekologia przemysłowa we wdrażaniu zrównoważonego rozwoju. *Zeszyty Naukowe: Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu*, nr 199, 91-98.
- Frosch R. A., Gallopoulos N. E. (1989): Strategies for manufacturing. *Scientific American*, Vol. 261(3), 144-152.
- Frosch R. A. (1992): Industrial ecology: a philosophical introduction. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 89(3), 800-803.
- Geng Y., Fu J., Sarkis J., Xue B. (2012): Towards a national circular economy indicator system in China: an evaluation and critical analysis. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 23(1), 216-224.
- Ghisellini P., Cialani C., Ulgiati S. (2016): A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 114, 11-32.
- Heck P. (2006): Circular economy related international practices and policy trends: current situation and practices on sustainable production and consumption and international circular economy development policy summary and analysis. Hoppstädten-Weiersbach, Institute for Applied Material Flow Management (IfaS), Trier University of Applied Science.
- Huppés G., Ishikawa M. (2009): Eco-efficiency guiding micro-level actions towards sustainability: ten basic steps for analysis. *Ecological Economics*, Vol. 68(6), 1687-1700.
- Jasiński A. H. (1997): Innowacje i polityka innowacyjna. Białystok, Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku.



- Jelinski L. W., Graedel T. E., Laudise R. A., McCall D. W., Patel C. K. (1992): Industrial ecology: concepts and approaches. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 89(3), 793-797.
- Kaźmierczak-Piwko L. (2012): Determinanty działalności ekoinnowacyjnej przedsiębiorstw. *Zarządzanie i Finanse*, R. 10(1), 533-543.
- Kemp R., Pearson P. (2008): Final report MEI project about measuring eco-innovation. Maastricht, UNU-MERIT. www.oecd.org/greengrowth/consumption-innovation/43960830.pdf (dostęp 12.10.2019).
- Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. (2017): Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 127, s. 221-232.
- KE (2015): Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów: Zamknięcie obiegu – plan działania UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym. COM(2015) 614 final. Bruksela, Komisja Europejska.
- KE (2016): Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów: Program prac Komisji na 2017 r.: Na rzecz Europy, która chroni, wspiera i broi. COM(2016) 710 final. Bruksela, Komisja Europejska.
- Korhonen J., Honkasalo A., Seppälä J. (2018): Circular economy: the concept and its limitations. *Ecological Economics*, Vol. 143, 37-46.
- Kulczycka J., Pędziwiatr E. (2019): Gospodarka o obiegu zamkniętym – definicje i ich interpretacje. W: J. Kulczycka (Red.), *Gospodarka o obiegu zamkniętym w polityce i badaniach naukowych* (s. 9-19). Kraków, IGSMiE PAN.
- Kwiecień K., Wawrowski B. (2019): Innowacyjność przedsiębiorstw jako fundament gospodarki obiegu zamkniętego. *Nowoczesne Systemy Zarządzania*, T. 14(4), 99-110.
- Lieder M., Rashid A. (2016): Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 115, 36-51.
- Matejun M. (2009): Zarządzanie innowacjami ekologicznymi we współczesnym przedsiębiorstwie. W: R. Grądzki i M. Matejun (Red.), *Rozwój zrównoważony – zarządzanie innowacjami ekologicznymi* (s. 19-31). Łódź, Wydawnictwo Media Press, Katedra Podstaw Techniki i Ekologii Przemysłowej Politechniki Łódzkiej.
- Mitchell P. (2015): Employment and the circular economy: job creation through resource efficiency in London. London, WRAP.
- Murray A., Skene K., Haynes K. (2017): The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *Journal of Business Ethics*, Vol. 140, 369-380.
- Pearce D. W., Turner R. K. (1990): *Economics of natural resources and the environment*. Baltimore, Johns Hopkins University Press.
- Peng X., Liu Y. (2016): Behind eco-innovation: managerial environmental awareness and external resource acquisition. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 139, 347-360.
- Pichlak M., Kruczek M. (2017): Gospodarka o obiegu zamkniętym – stan obecny i perspektywy. *Ekonomia XXI Wieku*, nr 3(15), 21-31.
- Pichlak M. (2018): Gospodarka o obiegu zamkniętym – model koncepcyjny. *Ekonomista*, nr 3, 335-346.
- Płonka M. (2013): *Etyka w modzie, czyli CSR w przemyśle odzieżowym*. Warszawa, Em Pe Studio Design.
- Preisner M. (2017): Analiza korzyści z zastosowania symbiozy przemysłowej. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, nr 494, 200-209.
- Reid A., Miedzinski M. (2008): *Eco-innovation: final report for sectoral innovation watch*. Brussels, Technopolis Belgium.
- Rennings K. (2000): Redefining innovation – eco-innovation research and the contribution from ecological economics. *Ecological Economics*, Vol. 32(2), 319-332.
- Rizos V., Tuokko K., Behrens A. (2017): The circular economy: a review of definitions, processes and impacts. *Research Report No. 2017/09*. Brussels, CEPS.
- Sauvé S., Bernard S., Sloan P. (2016): Environmental sciences, sustainable development and circular economy: alternative concepts for trans-disciplinary research. *Environmental Development*, Vol. 17, 48-56.

- Smol M., Kulczycka J., Avdiushchenko A. (2017): Circular economy indicators in relation to eco-innovation in European regions. *Clean Technologies and Environmental Policy*, Vol. 19, 669-678.
- Sousa-Zomer T. T., Magalhães L., Zancul E., Campos L. M. S., Cauchick-Miguel P. A. (2018): Cleaner production as an antecedent for circular economy paradigm shift at the micro-level: Evidence from a home appliance manufacturer. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 185, 740-748.
- Stahel W., Reday G. (1981): *Jobs for tomorrow, the potential for substituting manpower for energy*. New York, Van-tage Press.
- Stevenson R. S., Evans J. W. (2004): Editorial to: Cutting across interests: cleaner production, the unified force of sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 12(3), 185-187.
- Szczygiel E. (2020): Problem pomiaru cyrkularności w gospodarstwach domowych w kontekście podnoszenia jakości ich życia. *Rocznik Administracji Publicznej*, nr 6, 237-253.
- Tisserant A., Pauliuk S., Merciai S., Schmidt J., Fry J., Wood R., Tukker A. (2017): Solid waste and the circular economy: a global analysis of waste treatment and waste footprints. *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 21(3), 628-640.
- Vanner R., Bicket M., Withana S., ten Brink P., Razzini P., van Dijn E., Watkins E., Hestin M., Tan A., Guilcher S., Hudson C. (2014): *Scoping study to identify potential circular economy actions, priority sectors, material flows and value chains*. Luxembourg, Publications Office of the European Union.
- Vence X., Pereira A. (2019): Eco-innovation and circular business models as drivers for a circular economy. *Contaduría y Administración*, Vol. 64(1), 1-19.
- Wagner M. (2008): Empirical influence of environmental management on innovation: evidence from Europe. *Ecological Economics*, Vol. 66(2-3), 392-402.
- Węgrzyn G. (2013): Eko-innowacje w Polsce na tle krajów Unii Europejskiej. *Ekonomia i Środowisko*, nr 3(46), 138-148.
- Winans K., Kendall A., Deng H. (2017): The history and current applications of the circular economy concept. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 68(part 1), 825-833.
- Woźniak L., Ziolkowski B., Warmińska A., Dziedzic S. (2008): *Przewodnik ekoinnowacji: diagnoza trendów i dobre praktyki*. Rzeszów, Ministerstwo Gospodarki.
- Zarębska J., Michalska M. (2016): Ecological innovations as a chance for sustainable development – directions and obstacles in their implementation. *Management*, Vol. 20(2), 49-64.
- Zhu Q., Geng Y., Lai K. (2010): Circular economy practices among Chinese manufacturers varying in environmental-oriented supply chain cooperation and the performance implications. *Journal of Environmental Management*, Vol. 91(6), 1324-1331.

Michał Dudek

Wycena nieruchomości z odpadami wydobywczymi,
złożami antropogenicznymi – wybrane zagadnienia





Michał Dudek

Politechnika Wroclawska – Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii

Wycena nieruchomości z odpadami wydobywczymi, złożami antropogenicznymi – wybrane zagadnienia

1. WPROWADZENIE

W 28 krajach Unii Europejskiej w 2016 r. 45,5% odpadów było unieszkodliwianych przez składowanie (ang. *landfill*), a tylko 37,8% zostało poddanych ponownemu przetworzeniu. Największy procent odpadów wytwarzają dwa działy gospodarki: budownictwo i rozbiórki – 36% oraz górnictwo – 25%, w Polsce natomiast górnictwo – 39%, a odpady z branży budowlanej i rozbiórkowej – 10% (EUROSTAT, 2016).

Woźniak i Pactwa (2018) zaproponowały, żeby w analizie ilości odpadów między poszczególnymi krajami uwzględniać pewien margines błędu, gdyż każdy kraj może identyfikować odpady według własnych kryteriów. Gawor (2014) podał, że na każdy 1 Mg wydobytego węgla kamiennego przypada nawet 0,4–0,5 Mg odpadów. Należy przypuszczać, że będzie się odstępować od składowania odpadów nadających się do przetworzenia, czyli ponownego zagospodarowania. Odpady, surowce ze źródeł wtórnych pochodzących z recyklingu i pozyskiwane w ramach gospodarki o obiegu zamkniętym, stały się przedmiotem i jednym z filarów projektu Polityki Surowcowej Państwa (Galos, 2019). Kierunki dalszego rozwoju i obszary wymagające dopracowania w przypadku wycen złóż i złóż antropogenicznych omówiono w pracy Ubermana (2019a).

W niniejszym rozdziale przeprowadzono analizę literatury związanej z wyceną nieruchomości skażonych i nieruchomości ze złożami antropogenicznymi. Przykłady występowania i eksploatacji odpadów wydobywczycy przytoczono na podstawie analizy dokumentacji z Geobazy Haldy i własnej analizy decyzji dotyczących wydobywania tych odpadów na terenie Dolnego Śląska, pozyskanych w trybie przewidzianym przez Ustawę z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie (Ustawa, 2008a).

2. SKŁADOWANIE ODPADÓW GÓRNICZYCH W UJĘCIU HISTORYCZNYM – REJON WAŁBRZYSKI

Dotychczas w ramach obiektów Geobazy Haldy autorstwa specjalistów Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego (Sroga i in., 2018) zidentyfikowano 539 różnego rodzaju składowisk odpadów, w tym najliczniejszą grupę stanowią odpady górnicze – około 88,5% w tym odpady z wydobywania rud metali (ok. 44,4%), opady z wydobywania





kopalin innych niż rudy metali (ok. 41,1%) oraz odpady skalne z górnictwa miedzi, cynku i ołowiu (ok. 14,5%). Mniej liczną grupę odpadów stanowią odpady przeróbcze – około 7,1% i odpady wtórne – 4,5%. Aktualnie trwają prace nad dalszym dokumentowaniem pozostałych hałd.

Działalność górnicza na analizowanym obszarze ustala w latach 90. XX wieku, a proces jej likwidacji często błędnie nazywano restrukturyzacją. Z perspektywy czasu decyzję o zaprzestaniu tej działalności określono jako nieprzemysłaną (Kosmaty, 2011). Odpady wydobywcze w postaci hałd pogórnicznych, ze względu na ich właściwości i możliwość wykorzystania, stanowią wyzwanie prawne, techniczne i ekonomiczne. Wartość rynkowa nieruchomości w pełni odzwierciedla jej potencjał, o ile taki istnieje. Potencjał ten odwzorowuje tzw. wartość nadziei (ang. *hope value*), jaką rynek zakłada dla możliwych zmian lub przyjęcia najkorzystniejszego sposobu użytkowania (Kucharska-Stasiak, 2016). Najkorzystniejszy sposób wykorzystania nieruchomości (ang. *highest and best use*) to taki, który jest: fizycznie wykonalny, prawnie dopuszczalny, uzasadniony rynkowo, finansowo opłacalny i daje najwyższą wartość nieruchomości.

Spośród składowisk zinwentaryzowanych w Geobazie Hałdy, 81 jest lub było przedmiotem eksploatacji na różną skalę, w tym: eksploatacji ręcznej – 34, eksploatacji maszynowej – 33, przetwarzania w zakładzie przeróbczym – 8; brak jest danych o sposobie eksploatacji dla 6 składowisk.

Z punktu widzenia gospodarczego wykorzystania odpadów, najbardziej interesujące są osadniki mulów węglowych. Część z nich posiada szczegółowe dokumentacje (Raport, 1996) i jest wykorzystywana jako paliwo w czeskich elektrociepłowniach. Stosunkowo łatwy do wykorzystania, np. w drogownictwie, jest materiał z hałd kamiennych po górnictwie rud polimetalicznych (Sroga i in., 2018).

3. KWESTIE PRAWNE DOTYCZĄCE ODPADÓW WYDOBYWCZYCH

W Polsce kwestie dotyczące odpadów wydobywczych są uregulowane m.in. w Ustawie z dnia 10 lipca 2008 r. o odpadach wydobywczych (Ustawa, 2008b), stanowiącej wdrożenie przepisów dyrektywy unijnej 2006/21/WE. Odpady wydobywcze to odpady pochodzące z poszukiwania, rozpoznawania, wydobywania, przeróbki i magazynowania kopalin ze złóż. Zgodnie z Ustawą po upływie wymienionych okresów składowania, posiadacz odpadów wydobywczych jest zobowiązany poddać odpady wydobywcze odzyskowi lub unieszkodliwieniu, w tym przez składowanie w obiekcie unieszkodliwiania odpadów wydobywczych.





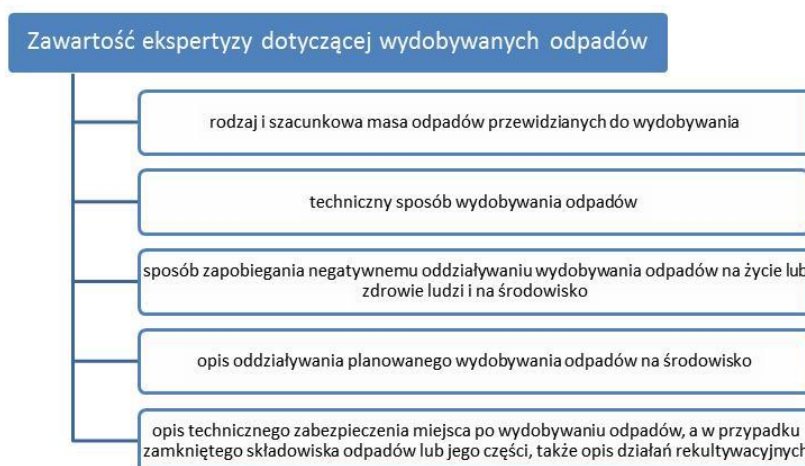
3.1. Program gospodarowania odpadami wydobywczymi i obiekt unieszkodliwiania odpadów wydobywczych

Celem programu gospodarowania odpadami wydobywczymi (PGOW), zatwierdzanego w formie decyzji, jest zapobieganie powstawaniu odpadów wydobywczych, ograniczanie ilości wytwarzanych odpadów wydobywczych i ich oddziaływania na środowisko. Program ten zawiera opis działań mających na celu odzysk odpadów wydobywczych i wyszczególnienie ich rodzajów przewidzianych do składowania w obiekcie unieszkodliwiania odpadów wydobywczych.

Obiekt unieszkodliwiania odpadów wydobywczych (OUOW) oznacza teren przeznaczony do gromadzenia bądź składowania odpadów wydobywczych, zarówno w formie stałej, jak i ciekłej, w roztworze albo zawiesinie, w zależności od typu odpadów, przez okres powyżej sześciu miesięcy, a nawet bezterminowo (Rozporządzenie, 2014).

3.2. Wtórne wykorzystywanie odpadów wydobywczych

Odpady wydobywcze składowane w OUOW mogą być z niego wtórnie pozyskane po uzyskaniu zgody na wydobywanie odpadów, o której mowa w art. 144 ustawy o odpadach (Ustawa, 2012). Zgoda ta wydawana jest w formie decyzji właściwego organu (marszałka, lub regionalnego dyrektora ochrony środowiska dla terenów zamkniętych), na wniosek zarządzającego składowiskiem. Do wniosku zainteresowany dołącza ekspertyzę dotyczącą wydobywania odpadów.



Rys. 1. Zawartość ekspertyzy stanowiącej załącznik do wniosku o wydobywanie odpadów

W ramach wykonanej analizy wydanych pozytywnych decyzji dotyczących eksploatacji odpadów wydobywczych na terenie Dolnego Śląska, zidentyfikowano 17 decyzji wydanych zgodnie z aktualnie obowiązującymi przepisami (po 2012 r.) i pięć zmian takich decyzji (z 17 dotychczasowych). W latach 2019–2020 takich decyzji nie wydawano. Łączna masa odpadów wydobywczych przewidzianych do eksploatacji we wspomnianym okresie wyniosła około 29 062 tys. Mg.





Największy udział w masie wydobywanych odpadów stanowiły odpady z procesów wzbogacania rudy miedzi (ok. 16 426 tys. Mg), żużle pohaniczne z produkcji żelazochromu (4000 tys. Mg), odpady żwiru lub skruszone skały (2700 tys. Mg).

Zgodnie z hierarchią minimalizacji odpadów, eksploatacja i wtórne wykorzystanie odpadów wydobywanych stanowi jeden z elementów gospodarki o obiegu zamkniętym. Wydobywanie odpadów wydobywanych z ich składowisk może być związane z osiąganiem przychodów przez przedsiębiorę lub odpady mogą stanowić surowiec do dalszego wykorzystania, np. substytut piasków podsadzkowych. Niezależnie od osiąganych korzyści ekonomicznych lub kosztów związanych z eksploatacją, istotne jest, że teren zostaje w późniejszym okresie zrehabilitowany i może nadawać się do ponownego wykorzystania. Eksploatacja odpadów wydobywanych może być związana również z koniecznością zapewnienia bezpieczeństwa przez prewencyjne zlikwidowanie składowiska, które może być lub jest przedmiotem niebezpiecznej i nielegalnej eksploatacji prowadzonej przez osoby postronne.

Istotną kwestią w świetle prowadzonych rozważań jest to, czy haldy i obiekty unieszkodliwiania odpadów wydobywanych mogą być przedmiotem obrotu rynkowego. Zmiana właściciela odpadów prowadzącego obiekt unieszkodliwiania odpadów wydobywanych jest możliwa na podstawie umowy cywilnoprawnej wraz z przekazaniem wszystkich niezbędnych dokumentów związanych z prowadzeniem tego obiektu, obowiązują też przepisy ustawy o gospodarce nieruchomościami.

4. WYCENA AKTYWÓW GEOLOGICZNO-GÓRNICZYCH – ZŁÓŻ KOPALIN I ZŁÓŻ ANTROPOGENICZNYCH

W oparciu o artykuł „O potrzebie standaryzacji i opracowania polskiego kodeksu wyceny złóż kopalin” (Kicki i Saluga, 2008) w 2008 r. powstał Kodeks Wyceny Złóż Kopalin (Kodeks, 2019). Obecnie trwa jego aktualizacja m.in. w zakresie wyceny złóż antropogenicznych. Co prawda Kodeks w obecnym kształcie uwzględnia złoża antropogeniczne, jednakże dopiero dynamiczny rozwój gospodarki o obiegu zamkniętym i chęć uporządkowania pewnych kwestii terminologicznych spowodowały, że na te sztuczne, utworzone przez człowieka nagromadzenia minerałów i skał, czy odpadów wydobywanych, których wydobywanie w okresie późniejszym może przynieść korzyść gospodarczą, zwrócono szczególną uwagę.

5. WPLYW ODPADÓW WYDOBYWCZYCH NA ŚRODOWISKO

Ocena wpływu na środowisko gruntowo-wodne odpadów z sektora górnictwa węgla kamiennego wymaga określenia m.in. zawartości w nich siarki, związków arsenu, kadmu, rtęci oraz innych związków czy pierwiastków (Rozporządzenie, 2011; Kłojzy-Kaczmarczyk, Mazurek





i Staszczak, 2016; Makowska i in., 2018). Prowadzone badania wykazują duże zróżnicowanie zawartości pierwiastków w składowiskach, uzależnione od zachodzących w czasie procesów (Klojzy-Kaczmarczyk, Mazurek i Staszczak, 2016). Kolejnym zjawiskiem mogącym negatywnie wpływać na środowisko są zagrożenia pożarowe (Gawor, 2017). Zmiana temperatury może także mieć wpływ na zmianę chemizmu materii organicznej ułożonej na haldzie i na skażenie wód (Misz-Kennan i Fabiańska, 2010; Nádudvari i Fabiańska, 2016).

Kwoty gromadzone w ramach funduszu rekultywacyjnego często są niewystarczające, a gwarancje bankowe, ubezpieczenie szkód w środowisku czy szkód ekologicznych, nadal pozostaje kwestią skomplikowaną i nie do końca poznaną (Malewski, 2007). Zagadnienia dotyczące wyceny skażonych nieruchomości są omawiane w literaturze (np. Roddewig, 2014; Bell, 2016).

6. NIERUCHOMOŚCI ZANIECZYSZCZONE (SKAŻONE)

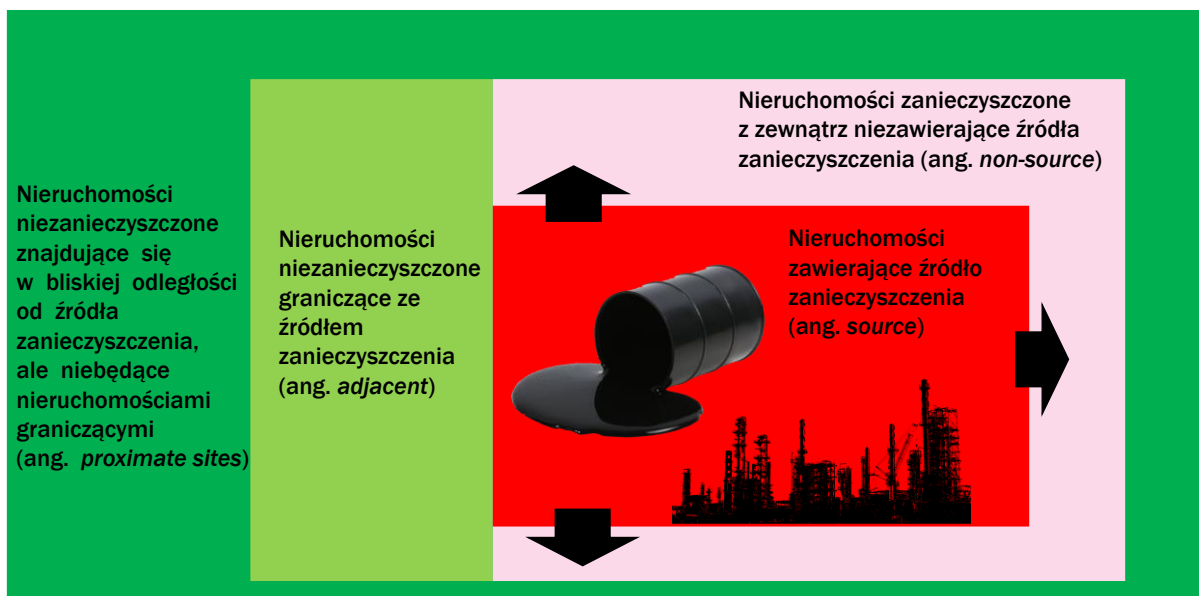
W Międzynarodowych Standardach Wyceny (2017) wskazuje się, że kwestie ryzyka środowiskowego powinny być przedmiotem analizy rzeczoznawcy. Więcej uwagi aspektom środowiska i zanieczyszczeń poświęcono w tzw. czerwonej księdze RICS (2017) i w Europejskich Standardach Wyceny (2016), podając do wiadomości obowiązujące dyrektywy środowiskowe i odpadowe.

Na rozwiniętym rynku w Stanach Zjednoczonych na początku nieruchomości zanieczyszczone, skażone, wyceniano przy założeniu, że nieruchomość zostanie poddana rekultywacji, przywrócona do stanu pierwotnego, a samo skażenie nie było jakimś szczególnym przedmiotem analizy. Z czasem zaczęto dostrzegać wady tego rozumowania, gdy potrzebna była znajomość wartości rynkowej nieruchomości, uwzględniającej jej stan faktyczny, tzn. z niekorzystnymi warunkowaniami środowiskowymi. Dokonując wyceny takich nieruchomości należy być świadomym różnych aspektów tego zagadnienia, w tym z pogranicza psychologii – np. postrzeganie ich jako gorszych, stanowiących obciążenie dla środowiska (ang. *environmental stigma*).

Niektóre typy szkód środowiskowych mogą nie mieć wpływu na wartość rynkową nieruchomości, a przy innych można wskazać, że zarówno szkoda, jak i ryzyko środowiskowe mają jedynie charakter tymczasowy. To istotne założenie zostało zawarte w dwóch amerykańskich dokumentach – Advisory Opinion 9 (USPAP, 2020) i Guide Note 6 (CHSAP, 2020) Appraisal Institute.

W AO z 2002 r. dokonano systematyki nieruchomości skażonych lub ze szkodą środowiskową (rys. 2), wydzielając cztery grupy nieruchomości (akronim SNAP).





Rys. 2. Systematyka nieruchomości skażonych lub ze szkodą środowiskową – cztery grupy nieruchomości SNAP

Możliwość zagospodarowania nieruchomości powinna być analizowana w odniesieniu do skali i poziomu zanieczyszczenia, co może powodować ograniczenia w *highest and best use*. Algorytm określania wartości nieruchomości znajdującej się w jednej z czterech grup SNAP, ze szkodą lub potencjalną szkodą środowiskową – zanieczyszczeniem, zgodnie z opinią doradcą AO-9, nie został w tej opinii wyrażony wzorem. Relacje między poszczególnymi składowymi jednak, dla lepszego ich zobrazowania, można przedstawić tak, jak to pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Algorytm określania wartości nieruchomości znajdującej się w jednej z czterech grup SNAP, ze szkodą lub potencjalną szkodą środowiskową – zanieczyszczeniem, zgodnie z opinią doradcą AO-9

Przyjęte do formuły obliczeniowej koszty rekultywacji powinny być rynkowe (uzasadnione rynkowo), mimo że rynek może nie rozpoznawać wszystkich niezbędnych kosztów, a np. jedynie takie, które pozwalają na zmniejszenie poziomu zanieczyszczenia do poziomu normatywnego. Oczywiście w literaturze wyróżnia się wiele kierunków rekultywacji wraz z wyszczególnieniem



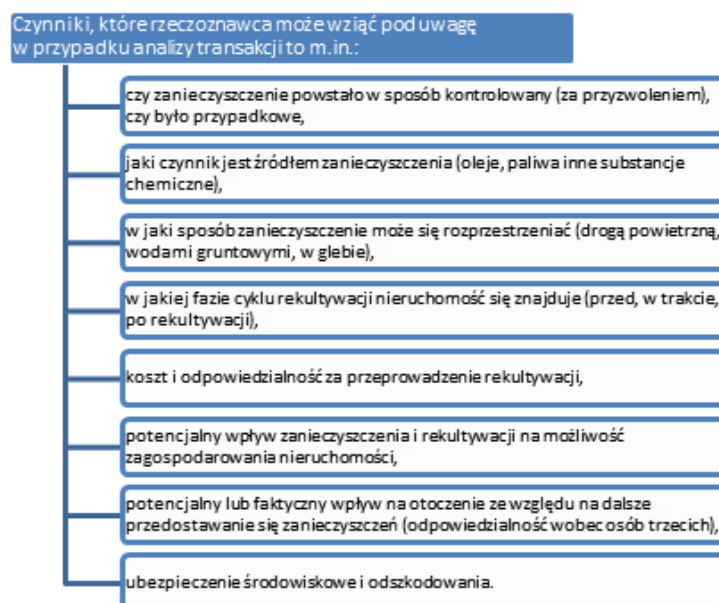
poszczególnych zabiegów rekultywacyjnych ułatwiających kosztorysowanie takich prac (Cyberman, 1988; Kaźmierczak i Malewski, 2001; Strzałkowski i Kaźmierczak, 2019; Uberman, 2019b). W Polsce szacuje się, że pogórnice grunty wymagające rekultywacji stanowią ponad 60% wszystkich terenów uznanych za zdegradowane (Gonda-Soroczyńska i Kubicka, 2016).

7. WYCENA NIERUCHOMOŚCI SKAŻONYCH – METODY I TECHNIKI

W literaturze zagranicznej uznaje się, że nie ma specjalnych przeszkód, aby do wyceny nieruchomości skażonych czy ze złożami antropogenicznymi, stosować dotychczas znane metody wyceny, o ile zostaną dostosowane do szczególnych warunków związanych z wycenianą nieruchomością. Na rozwiniętym rynku amerykańskim wyróżnia się cztery powszechnie stosowane metody wyceny nieruchomości skażonych czy zanieczyszczonych:

Paired Sales Analysis – w przypadku wystarczającej liczby transakcji można porównać nieruchomości zanieczyszczone w danym obszarze skażonym z podobnymi nieruchomościami znajdującymi się poza tym obszarem, dzięki czemu rzeczoznawca określi wpływ skażenia na wycenianą nieruchomość.

Environmental Case Studies – ze względu na trudności w identyfikacji transakcji nieruchomościami z podobnymi uwarunkowaniami środowiskowymi na lokalnym rynku nieruchomości oraz ze względu na mogące się pojawiać dodatkowe czynniki różniące te nieruchomości i wpływające na wartość, rzeczoznawca może porównywać skażone nieruchomości spoza lokalnego rynku (ang. *case study*), o ile posiadają one podobne uwarunkowania środowiskowe (skażenie), co nieruchomość wyceniana (rys. 4).



Rys. 4. Czynniki, które rzeczoznawca może wziąć pod uwagę w przypadku analizy transakcji





Multiple Regression Analysis – analiza regresji wielorakiej

$$P = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n + \beta_{n+1} ENV_1 + \dots + \beta_{n+1+p} ENV_p + \dots + \beta_{n+1+p+1} LOC_1 + \dots + \beta_{n+1+p+1+r} LOC_r + \varepsilon_i$$

gdzie:

P – cena transakcyjna nieruchomości skorygowana o koszty rekultywacji dla nieruchomości niezrekultywowanych,

B_0 – wyraz wolny,

$X_1 \dots X_n$ – wektor pozaśrodowiskowych parametrów nieruchomości w skali ciągłej, takich jak wielkość budynku, wielkość działki, rok budowy itp.,

$ENV_1 \dots ENV_p$ – wektor zmiennych dyskretnych opisujących stan środowiska nieruchomości w dniu dokonania transakcji,

$LOC_1 \dots LOC_r$ – wektor składników dyskretnych opisujących lokalizację i datę transakcji dla uchwycenia wpływu stanu rynku nieruchomości, który może się różnić w zależności od lokalizacji i daty transakcji,

ε_i – błąd losowy.

W modelu regresji wielorakiej korzystne jest, aby zachować względnie stały horyzont czasowy i typ skażenia nieruchomości będących przedmiotem analizy. Zaleca się weryfikację modelu regresji wielorakiej nieruchomości skażonych przez porównanie z nieruchomościami z sąsiedztwa zasadniczo podobnymi, jednakże bez szkody środowiskowej, skażenia.

Income Capitalization Analysis – Kinnard i Worzala (1999), na podstawie badania przeprowadzonego wśród rzeczoznawców majątkowych stwierdzili, że 79% z nich wykorzystuje podejście dochodowe do wyceny skażonych nieruchomości. Najczęściej wymienianym sposobem na uwzględnienie skażenia w wycenie nieruchomości było zwiększenie stopy kapitalizacji w technice kapitalizacji prostej. Skorygowanie stopy kapitalizacji umożliwia określenie utraty wartości na skutek skażenia. Korekta ta powinna być dokonana na podstawie danych i odzwierciedlać zwiększone ryzyko środowiskowe postrzegane przez uczestników rynku nieruchomości.

Ze względu na nieczęsty obrót skażonymi nieruchomościami trudno mówić o rynku, a tym bardziej rozwiniętym. Przeprowadzone analizy wykorzystania CVM (ang. *Contingent Valuation Method*) na amerykańskim rynku nieruchomości (metoda z zakresu ekonomii, stosowana do wyceny dóbr pozbawionych cen rynkowych) wykazały, że metody oparte na ankietach były niedokładne i stanowiły zawodny predyktor cen transakcyjnych (Roddewig i Frey, 2006). Wspólną cechą metod wyrażonych preferencji jest to, że opierają się one na ankietach. Mówi się w tym kontekście o tworzeniu „hipotetycznego rynku”, który nie mieści się w sferze założeń wartości rynkowej.



8. PODSUMOWANIE

Przedstawiono uwarunkowania prawne dla tak zwanych odpadów wydobywczych, w tym dotyczące ich wtórnej eksploatacji i skali odpadów wydobywanych na Dolnym Śląsku. W zależności od typu odpadów mogą one przynieść korzyść finansową lub stanowić zagrożenie dla środowiska. W każdym z tych przypadków wycena nieruchomości jako złoża antropogenicznego czy szkód środowiskowych będzie wyglądać odmiennie. Stwierdzenie ekonomicznej opłacalności eksploatacji złoża antropogenicznego i przywrócenie terenu do ponownego zagospodarowania wpisuje się cele gospodarki o obiegu zamkniętym.

LITERATURA

- Bell R. (2016): *Real Estate Damages*. Third edition. Appraisal Institute.
- CHSAP (2020): *Consideration of Hazardous Substances in the Appraisal Process: Guide Note 6*. Washington D. C., Appraisal Institute. <https://www.appraisalinstitute.org/assets/1/7/guide-note-6.pdf> (dostęp: 17.06.2020).
- Cymerman R. (1988): *Rekultywacja gruntów zdewastowanych*. Olsztyn, Wydawnictwo Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie.
- Europejskie Standardy Wyceny (2016): *European Valuation Standards 2016*. Eighth edition. TEGOVA.
- EUROSTAT (2016): <http://ec.europa.eu/eurostat> (dostęp: 17.06.2019).
- Galos K. (2019): *Odpady przemysłowe jako źródło surowców w kontekście potrzeb surowcowych Polski*. Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Gospodarka o obiegu zamkniętym – racjonalne gospodarowanie zasobami”, 2–3 lipca 2019 r., Raclawice. Kraków, IGSMiE PAN.
- Gawor Ł. (2014): *Coal mining waste dumps as secondary deposits – examples from the Upper Silesian Coal Basin and the Lublin Coal Basin*. *Geology. Geophysics and Environment*, Vol. 40(3), 285-289.
- Gawor Ł. (2017): *Potential conflicts connected with the recovery of secondary materials from post mining waste dump*. *Environmental & Socio-economic Studies*, Vol. 5(4), 82-86.
- Gonda-Soroczyńska E., Kubicka H. (2016): *Znaczenie rekultywacji i zagospodarowania gruntów w Polsce w kontekście ochrony środowiska*. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, nr I/1/, 163-175.
- Kaźmierczak U., Malewski J. (2001): *Koncepcja systematyki kierunków rekultywacji*. *Kopaliny Pospolite*, nr 7, 9-10.
- Kicki J., Saluga P. (2008): *O potrzebie standaryzacji i opracowania polskiego kodeksu wyceny złóż kopalin*. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, T. 24, 27-37.
- Kinnard W. N., Jr., Worzala E. (1999): *How North American Appraisers Value Contaminated Property and Associated Stigma*. *The Appraisal Journal*, Vol. 67(3), 269-279.
- Kłojzy-Kaczmarczyk B., Mazurek J., Staszczak J. (2016): *Analysis of the quality of waste from coal mining in relation to the requirements for inert mining waste*. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*, no 95, 227-242.
- Kodeks (2019): *Kodeks Wyceny Złóż Kopalin (Kodeks POLVAL 2008)*. Kraków, Polskie Stowarzyszenie Wyceny Złóż Kopalin.
- Kosmaty J. (2011): *Wałbrzyskie tereny pogórnice po 15 latach od zakończenia eksploatacji węgla*. *Górnictwo i Geologia*, T. 6(1), 131-148.
- Kucharska-Stasiak E. (2016): *Ekonomiczny wymiar nieruchomości*. Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Makowska D., Świątek K., Wierońska F., Strugała A. (2018): *Leaching of arsenic from coal waste: evaluation of the analytical methods*. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*, no 105, 157-172.
- Malewski J., Red. (2007): *Szkody w środowisku, odszkodowania i zabezpieczenia roszczeń na terenach górnictwa odkrywkowego*. Wrocław, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.

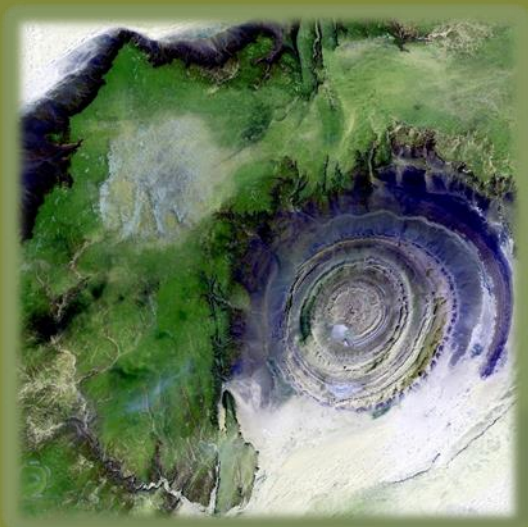


- Misz-Kennan M., Fabiańska M. (2010): Thermal transformation of organic matter in coal waste from Rymer Cones (Upper Silesian Coal Basin, Poland). *International Journal of Coal Geology*, Vol. 81, 343-358.
- Nádudvari Á., Fabiańska M. J. (2016): Use of geochemical analysis and vitrinite reflectance to assess different self-heating processes in coal-waste dumps (Upper Silesia, Poland). *Fuel*, Vol. 181, 102-119.
- Pactwa K., Woźniak J. (2019): Możliwości gospodarki obiegu zamkniętego obiektów pogórnich w rejonie Wałbrzyskiego Zagłębia Węglowego. Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Gospodarka o obiegu zamkniętym – racjonalne gospodarowanie zasobami”, 2–3 lipca 2019 r., Raclawice. Kraków, IGSMiE PAN.
- Raport (1996): Dokumentacja geologiczna węglowych mulów poflotacyjnych w nieczynnych osadnikach nr 2 i 3 na terenie ZG Julia w Wałbrzychu. Praca zbiorowa pod kier. K. Kominowskiego. Raport Nr 12/S-5/96 Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej (niepublikowana).
- RICS (2017): RICS International Valuation Standards 2017 (Międzynarodowe Standardy Wyceny).
- Roddewig R. (2014): *Valuing Contaminated Properties, Volume II*. Appraisal Institute.
- Roddewig R., Frey J. D. (2006): Testing the Reliability of Contingent Valuation in the Real Estate Marketplace. *The Appraisal Journal*, Vol. 74, 267-280.
- Rozporządzenie (2011): Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 15 lipca 2011 r. w sprawie kryteriów zaliczania odpadów wydobywczych do odpadów obojętnych. Dz. U. 2011, nr 175, poz. 1048.
- Rozporządzenie (2014): Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 maja 2014 r. w sprawie prowadzenia monitoringu obiektu unieszkodliwiania odpadów wydobywczych. Dz. U. 2014 poz. 875.
- Sroga C., Mikulski S., Bobiński W., Adamski M. (2018): Stare hałdy w Sudetach – nowa geobaza Państwowego Instytutu Geologicznego. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*, nr 106, 147-162.
- Strzałkowski P., Kaźmierczak U. (2019): The scope of reclamation works for areas after the exploitation of rock raw materials. *Applied Sciences*, Vol. 9(6), 1-16.
- Uberman R. (2019a): Wycena aktywów geologiczno-górnich. Kierunki dalszego rozwoju. Podejście metodyczne. Kraków, Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN.
- Uberman R. (2019b): Szacowanie i formy zabezpieczenia środków finansowych na likwidację kopalń odkrywkowych, Kraków, Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN.
- USPAP (2020): *Advisory Opinion 9: 2020–2021 Uniform Standards of Professional Appraisal Practice*. Washington D. C., The Appraisal Foundation. <https://www.appraisalfoundation.org/iMIS/TAF/USPAP.aspx> (dostęp: 17.06.2020).
- Ustawa (2008a): Ustawa z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz ocenach oddziaływania na środowisko. Dz. U. 2018 poz. 2081, z późn. zm.
- Ustawa (2008b): Ustawa z dnia 10 lipca 2008 r. o odpadach wydobywczych. Dz. U. 2008 nr 138, poz. 865.
- Ustawa (2012): Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach. Dz. U. 2012 poz. 779.
- Woźniak J., Pactwa K. (2018): Overview of Polish mining wastes with circular economy model and its comparison with other wastes. *Sustainability*, Vol. 10(11), 3994.



Wioleta Bolesta, Marcin Głodniok,
Michał Pieczonka, Katarzyna Styszko

Przykłady stosowania dobrych praktyk gospodarki
o obiegu zamkniętym w branży wodno-ściekowej



Wioleta Bolesta^{1,2}, Marcin Głodniok³, Michał Pieczonka², Katarzyna Styszko¹

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica – Wydział Energetyki i Paliw

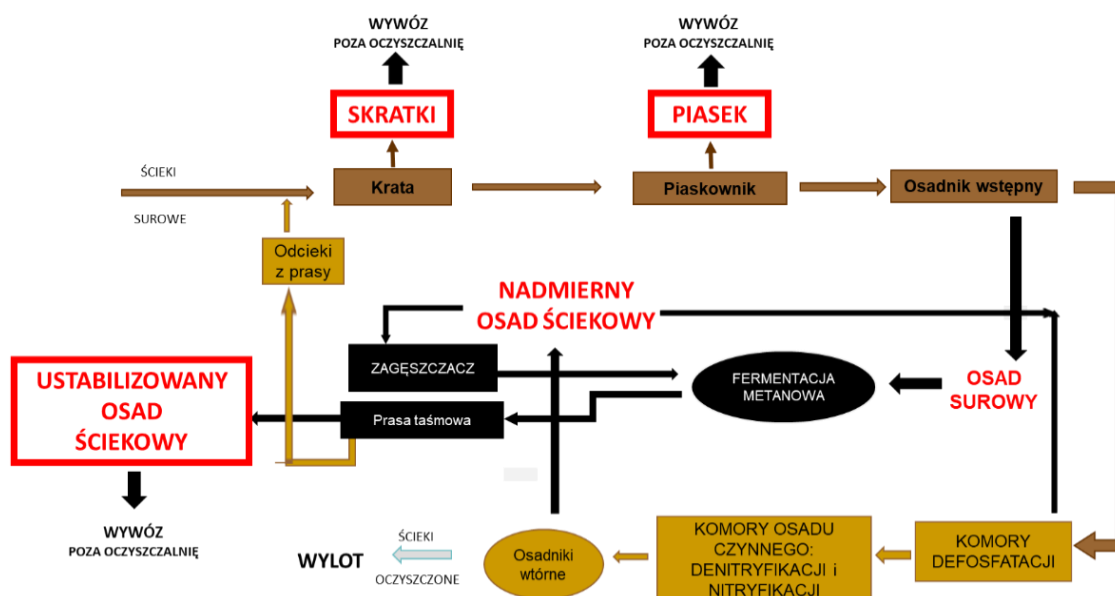
² Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Żory Sp. z o.o.

³ Główny Instytut Górnictwa – Zakład Ochrony Wód

Przykłady stosowania dobrych praktyk gospodarki o obiegu zamkniętym w branży wodno-ściekowej

1. WPROWADZENIE

Proces oczyszczania ścieków jest wieloetapowym procesem, którego podstawowym zadaniem jest redukcja nieczystości ciekłych powstałych w wyniku bytowania i działalności człowieka. Ścieki dopływające do oczyszczalni, tzw. ścieki surowe, podlegają wielu procesom, aby mogły opuścić układ w postaci ścieku oczyszczonego, spełniającego restrykcyjne normy jakościowe określone w pozwoleniu wodnoprawnym. W trakcie oczyszczania dochodzi jednakże do powstawania kilku produktów ubocznych, będących odpadami klasyfikowanymi w katalogu odpadów w podgrupie: Odpady z instalacji i urządzeń służących zagospodarowaniu odpadów, z oczyszczalni ścieków oraz z uzdatniania wody pitnej i wody do celów przemysłowych (Rozporządzenie, 2020). Wszystkie odpady powstałe w oczyszczalni ścieków wymagają zagospodarowania ekologicznego. Na rysunku 1 przedstawiono najważniejsze i typowe dla oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego odpady wymagające zagospodarowania.



Rys. 1. Schemat klasycznej oczyszczalni ścieków z powstającymi odpadami [czerwoną ramką zaznaczono te odpady, które są ujęte w katalogu odpadów (Rozporządzenie, 2020) i wymagają zagospodarowania w niezależnej od oczyszczania ścieków linii technologicznej]



Modelowy proces oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego polega na mechanicznym i biologicznym oczyszczaniu nieczystości komunalnych (Miksch i Sikora, 2020). Podczas mechanicznej separacji cząstek stałych ze strumienia ścieków surowych, na kratkach i sitach powstaje pierwszy odpad, tzw. skratki (kod odpadu 19 08 01). W dalszej kolejności odseparowywana jest zawartość piaskownika, tj. piasek i inne drobne frakcje, jak żwir, ziarna kawy czy pestki (kod odpadu 19 08 02). Następnie ścieki przepływają do osadników wstępnych, w których opadają zawiesiny wolno opadające, gromadząc się na dnie zbiorników i tworząc bogaty w kwasy tłuszczowe osad surowy. Osad wstępny wprowadzany jest najczęściej do węzła osadowego oczyszczalni ścieków. W kolejnych etapach oczyszczania dochodzi do biologicznego rozkładu zanieczyszczeń z wykorzystaniem osadu czynnego. Jego nadmiar kierowany jest do stabilizacji tlenowej lub bez-tlenowej. W Polsce najczęściej przeprowadza się tym celu fermentację metanową. Po tym etapie uzyskany ustabilizowany osad ściekowy kierowany jest do ostatecznej utylizacji.

2. ODPADY I SPOSOBY ICH ZAGOSPODAROWANIA

W skróconym opisie technologii oczyszczania ścieków, przedstawionym powyżej, wymieniono najważniejsze odpady wymagające zagospodarowania, tj. skratki, zawartość piaskownika, osad surowy, osad nadmierny, ustabilizowany osad ściekowy. Przeprowadzane obecnie testy i badania wykazały, że można nazwać je produktami ubocznymi, gdyż są one źródłem i surowcem do powstawania nowych dóbr.

Możliwość wykorzystania odpadów pochodzących z oczyszczalni ścieków w pełni wpisuje się w trend gospodarki o obiegu zamkniętym. Stosowanie takiego systemu zaproponowała Komisja Europejska w 2015 r. (KE, 2015), zachęcając tym samym do ponownego użycia odpadów. Gospodarka cyrkularna zakłada traktowanie odpadów jako potencjalne surowce i jednocześnie minimalizację ilości powstających odpadów. Wdrażanie gospodarki o obiegu zamkniętym w kontekście zarządzania osadami ściekowymi wynika również z zaostrenia przepisów dotyczących sposobów zagospodarowania osadów i wzrastającej ich ilości. Szacuje się, że corocznie masa wytwarzanych osadów ściekowych wzrasta o około 2% (Uchwała, 2016). Jest to związane z nadmierną konsumpcją, rozwojem sieci wodociągowych i kanalizacyjnych oraz realizacją Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych, którego celem jest „ograniczenie zrzutów niedostatecznie oczyszczanych ścieków poprzez realizację ujętych w nim inwestycji, a co za tym idzie – ochrona środowiska wodnego” oraz „stosowanie podwyższonego usuwania biogenów we wszystkich oczyszczalniach ścieków komunalnych w aglomeracjach powyżej 10 000 RLM” (KPOŚK, 2018). Odrębną sprawą jest sposób zagospodarowania osadów. Powszechne niegdyś składowanie osadów ściekowych zostało kategorię zakazane dla osadów, które zawierają więcej niż 5% węgla





organicznego w suchej masie osadu, straty przy prażeniu przekraczają 8% s.m., a ciepło spalania przekracza 6 MJ/kg s.m. (Rozporządzenie, 2015).

Biorąc pod uwagę powyższe, poszukuje się nowych ekologicznych sposobów zagospodarowania ustabilizowanych osadów ściekowych, a także innych produktów ubocznych powstających w procesie oczyszczania ścieków.

2.1 Skratki

Skratki stanowią przede wszystkim odpady spożywcze, środki higieny osobistej, a także tekstylia, papier oraz tworzywa sztuczne. Chemicznie skratki są złożone głównie ze związków organicznych. Pierwszym ważnym etapem przeróbki skratek jest ich rozdrobnienie (Cadavid-Rodriguez i Horan, 2014) i odwodnienie. W takiej postaci są najczęściej odbierane przez firmę zajmującą się utylizacją. Skratki poddawane są często spalaniu, czyli najkosztowniejшему sposobowi ich utylizacji. Kompostowanie i fermentacja metanowa są metodami bardziej korzystnymi. Ze względu na zawartość substancji organicznych w skratkach można poddać je kofermentacji metanowej i wspólnemu z innymi bioodpadami kompostowaniu. Ostateczny efekt będzie jednak zależał od składu skratek i stopnia ich homogenizacji, a więc dostępności związków organicznych dla drobnoustrojów (Wiśniowska, 2016). Skratki nie muszą jednak w takiej sytuacji zostać spalane, a można potraktować je jako wkład do produkcji, np. biogazu.

2.2 Piasek

Piasek i inna drobna frakcja ziarnista odbierana jest w trakcie przepływu ścieków przez piaskownik i określana jako zawartość piaskownika. Piasek jest frakcją mineralną, jednakże zanieczyszczony sporą zawartością substancji organicznych, wymaga ich wyplukania. Pozbawiona części organicznych zawartość piaskownika może zostać zastosowana w budownictwie. Takie wykorzystanie zawartości piaskownika zastosowano w Oczyszczalni Ścieków w Tychach-Urbanowicach (Karlo i in., 2018). Zmodernizowano linię technologiczną obrabiającą pulpę piaskową przez zainstalowanie urządzenia służącego do separacji, płukania i odwadniania piasku. Efektem tych zabiegów jest pozyskanie frakcji piasku o jakości wystarczającej do zmiany dotychczasowego statusu odpadu. Otrzymany produkt jest pozbawiony części organicznych i patogenów, a zawartość metali ciężkich jest śladowa. Z powodzeniem zaczęto używać tego produktu jako podsypki przy pracach budowlanych na terenie Oczyszczalni Ścieków w Tychach-Urbanowicach.





2.3 Osad surowy

Osad surowy to osad powstały podczas oczyszczania mechanicznego ścieków, które przepływają przez osadnik wstępny. Zadaniem tego osadnika jest umożliwienie sedymentacji zawieszony łatwo opadającej, która w swym składzie chemicznym zawiera substancje organiczne w postaci kwasów tłuszczowych.

Osad wstępny w oczyszczalniach ścieków najczęściej jest wykorzystywany w procesach fermentacji metanowej lub jako źródło dodatkowego węgla do procesów denitryfikacji. Osad surowy w swoim składzie zawiera dużą ilość lipidów (18–20%), których kwasy tłuszczowe charakteryzują się długością łańcucha węglowodorowego w zakresie C14–C18 (Kwon, Yi i Kwon, 2013). Mogą być stosowane do produkcji biodiesla, alternatywy dla paliwa konwencjonalnego (Capodaglio i Callegari, 2018). Biopaliwa pozyskane z osadów ściekowych doskonale wpisują się w trend gospodarki cyrkularnej, a dodatkowo ich zaletą jest większa zdolność do biodegradacji w porównaniu do tradycyjnego oleju napędowego i niższa emisja gazów podczas ich spalania (Demirbas, 2009).

Osad ściekowy bogaty w tłuszcze należy poddać transestryfikacji z alkoholami, takimi jak metanol czy etanol, w obecności silnej zasady, aby na koniec otrzymać biodiesel, przydatny jako paliwo (Urrutia i in., 2016; Liu i in., 2021). Pozostaje kwestia opracowania metodyki ekstrahowania maksymalnej ilości lipidów tak, aby osiągnąć optymalne warunki pracy instalacji w stosunku do poniesionych kosztów.

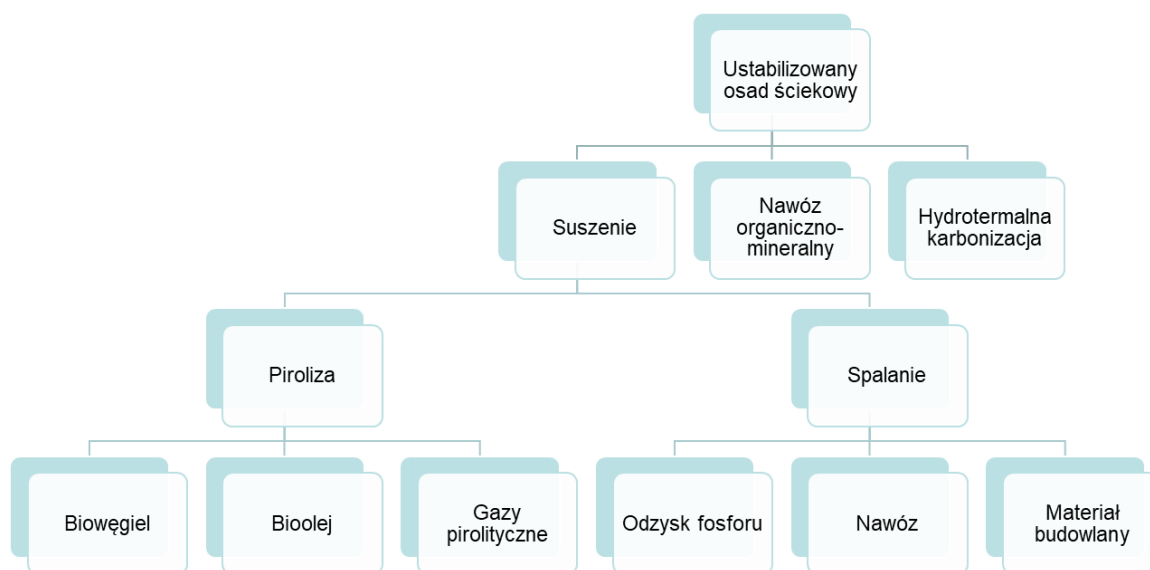
2.4 Nadmierny osad ściekowy

Nadmierny osad ściekowy powstały w wyniku namnażania się biomasy osadu czynnego podczas biologicznego oczyszczania ścieków kierowany jest do stabilizacji tlenowej lub beztlenowej. Po procesie stabilizacji powstały ustabilizowany osad ściekowy wymaga ostatecznego zagospodarowania. Sposoby zagospodarowania tego osadu wymagają opracowania nowych technologii i nowych instalacji.

2.5 Ustabilizowany osad ściekowy

Ustabilizowany osad ściekowy jest odpadem (kod 19 08 05), który powstaje w największych ilościach podczas usuwania zanieczyszczeń. Koszty utylizacji są wysokie, a masa osadu do spożycia z roku na rok coraz większa. Rysunek 2 przedstawia kilka możliwości wykorzystania ustabilizowanego osadu ściekowego do otrzymywania nowych produktów.





Rys. 2. Możliwości przetwarzania ustabilizowanego osadu ściekowego w nowe produkty

Piroliza jest procesem prowadzącym do degradacji osadów ściekowych w warunkach całkowicie beztlenowych (Haghighat i in., 2020). Jest procesem endotermicznym, zachodzącym pod ciśnieniem atmosferycznym w zakresie temperatur 300–800°C (Fonts i in., 2012). Produktami rozkładu chemicznego są biowęgiel, bioolej i nieskrapające się gazy (Demirbas, 2004). Biowęgiel, będący produktem ubocznym w fazie stałej (Bridgwater, 2012), w tej reakcji charakteryzuje się wysoką zawartością węgla w postaci różnych form nieorganicznych i niestety wysoką zawartością metali ciężkich (Wójcik i Masłoń, 2018). Idealnie nadaje się do użycia jako adsorbent. Bioolej, po modyfikacjach, nadaje się do użycia w ciepłownictwie lub jako paliwo w transporcie, a gazy pirolityczne, takie jak: CO₂, CO, H₂, CH₄ i inne węglowodory, znajdują swoje zastosowanie w produkcji ciepła lub jako gaz opalowy.

Proporcje otrzymywanych produktów będą ściśle zależały m.in. od szybkości wzrostu temperatury reakcji. Przy szybkim ogrzewaniu mieszaniny obniża się produkcja biowęgla, na korzyść biooleju. I odwrotnie – im wolniej będzie podnoszona temperatura procesu, tym powstanie większa ilość biowęgla, a mniej biooleju (Agrafioti i in., 2013). Poza szybkością podgrzewania reakcji, wpływ na produkty pirolizy mogą mieć:

- składnik surowca – może to być ustabilizowany osad ściekowy, surowy osad ściekowy, albo nawet mieszanka osadu, np. z łuskami ryżowymi i trocinami (Huang i in., 2017), która również okazała się efektywnym surowcem do produkcji biowęgla,
- temperatura reakcji,
- czas przebywania w reaktorze,
- stopień wymieszania,
- ciśnienie.



Odpowiedni dobór czynników umożliwia powstawanie produktów, takich jak biowęgiel czy bioolej (Jahirul i in., 2012).

3 GRANULOWANY OSAD MINERALNO-ORGANICZNY

Bardzo rozwiniętą gałęzią gospodarki osadowej jest produkcja nawozów organiczno-mineralnych z powstających w oczyszczalni ustabilizowanych osadów ściekowych.

W Polsce powstały już pierwsze patenty na produkcję nawozu z osadów ściekowych (Głodniok i in., 2017; Kończak i Zawartka, 2017). Proces powstawania dwóch produktów, tj. nawozu organiczno-mineralnego i środka wspomagającego uprawę roślin, polega na dokładnym wymieszaniu ustabilizowanego osadu czynnego o suchej masie wynoszącej 18–20%, ze specjalnie opracowaną mieszanką o zróżnicowanych dla poszczególnych produktów proporcjach, składającą się z wapna palonego, mączki dolomitowej, gipsu i włókna celulozowego (Głodniok i Darul, 2019). Tak uzyskana jednorodna mieszanina jest poddawana procesowi granulacji dla nadania produktowi odpowiedniej jednolitej wielkości granul i zabezpieczenia przed pyleniem i nadmiernym rozpadem. Ostatnim etapem przetwarzania osadów ma być suszenie, co dodatkowo zabezpieczy produkt przed ewentualną obecnością patogenów.

Powstały w procesie oczyszczania ścieków osad, po modyfikacjach, wraca do środowiska jako pełnowartościowy nawóz, użyteczny dzięki wysokiej zawartości fosforu i azotu – pierwiastków biogenych, niezbędnych do prawidłowego rozwoju roślin. Stosowanie takich nawozów w rolnictwie umożliwia usunięcie patogenów i zmniejszenie zawartości metali ciężkich. Badania laboratoryjne wykazują, że jakość takich produktów jest odpowiednia i spełnia wszystkie wymagania obowiązującego w Polsce rozporządzenia dotyczącego nawozów (Rozporządzenie, 2008). Istotny jest aspekt ekonomiczny. Tak spożytkowany osad nie wymaga już odpłatnego odbioru – wręcz przeciwnie – pojawia się możliwość sprzedaży tego produktu jako bogatego w sole mineralne nawozu roślinnego.

Należy zwrócić szczególną uwagę na obecność metali ciężkich w osadach ściekowych. Wartość ta będzie charakterystyczna dla każdej oczyszczalni ścieków i dla osadu, który będzie produktem ubocznym tej oczyszczalni (Kominko, Gorazda i Wzorek, 2019).

4 POPIOŁY

Najbardziej efektywnym sposobem utylizacji osadów ściekowych jest ich termiczne przetwarzanie. Produktem ubocznym spalania są popioły. W ich składzie chemicznym znajduje się m.in. fosfor – pierwiastek niezbędny w składzie nawozów organicznych. Pozyskiwanie fosforu z popiołów powstałych po spalaniu osadów jest korzystne z uwagi na zmniejszające się naturalne złoża





rud fosforanowych. Technologia spalania fluidalnego osadu, stosowana w siedmiu monospalarniach na terenie Polski, umożliwia pozyskanie lotnego jednorodnego popiołu przez urządzenia odpylające, co jest warunkiem efektywnego wyodrębnienia tego pierwiastka. Na terenie oczyszczalni ścieków w Gdyni podjęto przygotowania do odzysku fosforu ze spalanego osadu, polegającego na jego magazynowaniu w celu późniejszego wykorzystania do pozyskania tego pierwiastka, gdy tylko zajdzie taka konieczność, np. w sytuacji wzrostu cen naturalnych surowców fosforowych. Na podstawie bilansu ładunku fosforu w ściekach surowych dopływających do Grupowej Oczyszczalni Ścieków „DĘBOGÓRZE” w Gdyni i przepustowości wszystkich polskich monospalarni, oszacowano, że przy odzysku fosforu z osadu na poziomie 90%, można otrzymać około 4700 Mg fosforu/rok, a to z kolei pozwala na zysk rzędu 18 mln zł/rok (Jędrzejewski, 2016). Szczególnie ważne, w kontekście wykorzystania popiołów, są wspomniane metale ciężkie, których zawartość bada się również w odpadach powstałych po spalaniu osadów. Badania wykazały, że ich wysoki poziom może nie pozwalać na zastosowanie popiołów do odzysku fosforu czy produkcji nawozów na ich bazie (Gorazda i in., 2017).

Obecnie podejmowane są badania nad wykorzystaniem popiołów jako domieszek do mieszanek betonowych. Tak spreparowany beton został wykorzystany do budowy dróg technicznych w oczyszczalni ścieków w Częstochowie (Pietrzak, 2014). Badania mieszaniny betonowej wskazały jedynie niewielki spadek wytrzymałości, jednak bez uszczerbku na klasie betonu. Jednocześnie odnotowano wzrost jego mrozoodporności (Pietrzak, 2019).

5 PODSUMOWANIE

Miejska oczyszczalnia ścieków jest obiektem strategicznym i newralgicznym dla każdej gminy, zapewnia bowiem odbiór i oczyszczanie ścieków. Jednak prawidłowe zachodzenie tego procesu uwarunkowane jest poniesieniem sporych nakładów finansowych. Dodatkowo pożądanym trendem gospodarki cyrkulacyjnej również w branży wodno-ściekowej mobilizuje do rozwijania gałęzi osadowej.

Pozyskiwanie z procesu oczyszczania ścieków materiałów do produkcji (lub odzysku): nawozów organiczno-mineralnych, biooleju, biowęgla, gazów opałowych, związków fosforu czy materiałów budowlanych udowadnia, że oczyszczalnie ścieków, przynoszące do niedawna tylko straty finansowe, mogą stać się źródłami surowców i energii.

Wdrażanie nowych technologii przeróbki osadów ściekowych pozwala na ekonomiczne i ekologiczne zarządzanie oczyszczalnią, z realną wizją instalacji w pełni bezodpadowej.



LITERATURA

- Agrafioti E., Bouras G., Kalderis D., Diamadopoulos E. (2013): Biochar production by sewage sludge pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Vol. 101, 72-78.
- Bridgwater A. V. (2012): Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 38, 68-94.
- Cadavid-Rodriguez L. S., Horan N. J. (2014): Production of volatile fatty acids from wastewater screenings using a leach-bed reactor. *Water Research*, Vol. 60, 242-249.
- Capodaglio A. G., Callegari A. (2018): Feedstock and process influence on biodiesel produced from waste sewage sludge. *Journal of Environmental Management*, Vol. 216, 176-182.
- Demirbas A. (2004): Effects of temperature and particle size on bio-char yield from pyrolysis of agricultural residues. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Vol. 72(2), 243-248.
- Demirbas A. (2009): Biofuels securing the planet's future energy needs. *Energy Conversion and Management*, Vol. 50(9), 2239-2249.
- Fonts I., Gea G., Azuara M., Ábrego J., Arauzo J. (2012): Sewage sludge pyrolysis for liquid production: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16(5), 2781-2805.
- Głodniok M., Darul H. (2019): „Złote Plony”, czyli tam gdzie nauka i przemysł mówią sobie dzień dobry... *Forum Eksploatatora*, nr 4(103), 67-69.
- Głodniok M., Korol J., Zawartka P., Krawczyk B., Deska M. (2017): Sposób otrzymywania nawozu organicznego z ustabilizowanych komunalnych osadów ściekowych oraz nawóz organiczny z ustabilizowanych komunalnych osadów ściekowych. Opis patentowy 233754. Warszawa, Urząd Patentowy RP.
- Gorazda K., Tarko B., Wzorek Z., Kominko H., Nowak A. K., Kulczycka J., Henclik A., Smol M. (2017): Fertilisers production from ashes after sewage sludge combustion – a strategy towards sustainable development. *Environmental Research*, Vol. 254, 171-180.
- Haghighat M., Majidian N., Hallajisani A., Samipourgiri M. (2020): Production of bio-oil from sewage sludge: a review on the thermal and catalytic conversion by pyrolysis. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Vol. 42, 100870.
- Huang H-j., Yang T., Lai F-y., Wu G-q. (2017): Co-pyrolysis of sewage sludge and sawdust/rice straw for the production of biochar. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Vol. 125, 61-68.
- Jahirul M. I., Rasul M. G., Chowdhury A. A., Ashwath N. (2012): Biofuels production through biomass pyrolysis – a technological review. *Energies*, Vol. 5(12), 4952-5001.
- Jędrzejewski C. (2016): Na ratunek fosforowi. *Kierunek Wod-Kan*, nr 3, 16-20.
- Karlo A., Gembolys B., Pieczykolan M., Bacza T. (2018): Piasek z piaskowników od odpadu do surowca. *Forum Eksploatatora*, nr 5(98), 38-40.
- KE (2015): Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów: Zamknięcie obiegu – plan działania UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym, COM(2015) 614 final. Bruksela, Komisja Europejska.
- Kominko H., Gorazda K., Wzorek Z. (2019): Potentiality of sewage sludge-based organo-mineral fertilizer production in Poland considering nutrient value, heavy metal content and phytotoxicity for rapeseed crops. *Journal of Environmental Management*, Vol. 248, 109283.
- Kończak B., Zawartka P. (2017): Sposób otrzymywania nawozu z ustabilizowanych komunalnych osadów ściekowych oraz nawóz z ustabilizowanych komunalnych osadów ściekowych. Opis patentowy 233663. Warszawa, Urząd Patentowy RP.
- KPOŚK (2018): Sprawozdanie z wykonania Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych w latach 2016 i 2017. Warszawa, Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie.
- Kwon E., Yi H., Kwon H. (2013): Urban energy mining from sewage sludge. *Chemosphere*, Vol. 90(4), 1508-1513.
- Liu X., Zhu F., Zhang R., Zhao L., Qi J. (2021): Recent progress on biodiesel production from municipal sewage sludge. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 135, 11026.
- Miksch K., Sikora J. (2020): *Biotechnologia ścieków*. Warszawa, PWN.



Pietrzak A. (2014): Proekologiczne technologie w budownictwie na przykładzie „zielonego betonu”. Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym, nr 1(13), 86-93.

Pietrzak A. (2019): Wpływ popiołów powstałych ze spalania osadów ściekowych na podstawowe właściwości mechaniczne betonu. Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym, nr 8(1), 29-35.

Rozporządzenie (2008): Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu. Dz. U. 2008 nr 119, poz. 765.

Rozporządzenie (2015): Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 r. w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach. Dz. U. 2015 poz. 1277.

Rozporządzenie (2020): Rozporządzenie Ministra Klimatu z dnia 2 stycznia 2020 r. w sprawie katalogu odpadów. Dz. U. 2020 poz. 10.

Uchwała (2016): Uchwała nr 88 Rady Ministrów z dnia 1 lipca 2016 r. w sprawie Krajowego Planu Gospodarki Odpadami. M. P. 2016 poz. 784.

Urrutia C., Sangaletti-Gerhard N., Cea M., Suazo A., Aliberti A., Navia R. (2016): Two step esterification – transesterification process of wet greasy sewage sludge for biodiesel production. Bioresource Technology, Vol. 200, 1044-1049.

Wiśniowska E. (2016): Gospodarka odpadami w oczyszczalni ścieków. Cz. II – Skratki. Sozosfera. <https://sozosfera.pl/odpady/gospodarka-odpadami-w-oczyszczalni-sciekow-cz-ii-skratki/> (dostęp 11.05.2021).

Wójcik M., Masłoń A. (2018): Nowe kierunki zagospodarowania komunalnych osadów ściekowych. Forum Eksploatatora, nr 5(98), 42-49.



Aleksandra Zgórska, Adam Hamerla

Wykorzystanie potencjału nawozowego komunalnych osadów ściekowych – istotny element gospodarki o obiegu zamkniętym w oczyszczalni ścieków





Aleksandra Zgórska, Adam Hamerła
Główny Instytut Górnictwa – Zakład Ochrony Wód

Wykorzystanie potencjału nawozowego komunalnych osadów ściekowych – istotny element gospodarki o obiegu zamkniętym w oczyszczalni ścieków

1. WPROWADZENIE

Ilość komunalnych osadów ściekowych wytwarzana corocznie w miejskich oczyszczalniach systematycznie wzrasta, co skutkuje narastającymi problemami środowiskowymi i ekonomicznymi wynikającymi z konieczności zagospodarowania wytworzonej masy odpadów. W ostatnich 20 latach ilość komunalnych osadów ściekowych wytwarzanych w UE-15 wzrosła z 6,5 mln Mg_{s.m.} do ponad 9,5 mln Mg_{s.m.}, podczas gdy ilość osadów wyprodukowana w państwach UE-28 przekroczyła 10 mln Mg_{s.m.} (Collivignarelli i in., 2019). Zaostrzające się wymagania dotyczące jakości oczyszczonych ścieków, wpływające zarówno na zwiększoną produkcję, jak i na pogorszenie parametrów jakościowych osadów ściekowych, w konsekwencji zwiększają problem, jakim jest racjonalne zagospodarowanie tej grupy odpadów. W Dyrektywie (2018) dotyczącej odpadów wprowadzono priorytetową kolejność postępowania z odpadami, która powinna być wdrożona do przepisów prawa krajowego i uwzględniona w opracowywanych dokumentach strategicznych (zapobieganie, przygotowanie do ponownego użycia, recykling, inne procesy odzysku, unieszkodliwianie). W konsekwencji brak możliwości składowania osadów na składowiskach, trudności towarzyszące wykorzystaniu osadów na gruntach, a także ograniczenia możliwości stosowania innych form ich zagospodarowania, zmuszają eksploatatorów oczyszczalni ścieków do poszukiwania zgodnych z przyjętą przez UE strategią zrównoważonego rozwoju, a zarazem technologicznie i ekonomicznie akceptowalnych, metod zagospodarowania osadów. Krajowe regulacje prawne dotyczące monitorowania ilości i jakości deponowanych na gruntach rolnych komunalnych osadów ściekowych, jak również kwestia dyskusyjna odpowiedzialności za te odpady, która, mimo przekazania odpadu, nadal spoczywa na jego wytwórcy, powodują, że wykorzystanie rolnicze osadów ściekowych staje się problematyczne dla eksploatatorów oczyszczalni. Interesującą alternatywę stanowi wykorzystanie osadów ściekowych jako bazy do produkcji produktów wspomagających wzrost roślin, tj. nawozów, produktów nawozowych, stymulatorów wzrostu. Forma zagospodarowania odpadów (kod 19 08 02) przez odzysk i wtórne wprowadzenie do obiegu, obecnych w komunalnych osadach ściekowych, składników odżywczych i materii organicznej, wpisuje się w ramy paradygmatu NEW (ang. *Nutrient-Energy-Water*), a także jest zgodna z koncepcją gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ) (SgROI, Vagliasindi i Roccaro, 2018; Case



i Jensen, 2019; Breda i in., 2020). W ostatnich latach KE przyjęła ambitny pakiet dotyczący GOZ, celem promowania ponownego użycia, recyklingu i odzysku odpadów (EC, 2019). Wykorzystanie potencjału nawozowego osadów ściekowych stanowi bezpośrednią formę odzyskiwania cennych surowców i zasobów, w tym tzw. surowców krytycznych, jakim jest fosfor, a także pozwala na zmianę klasycznego spojrzenia na oczyszczalnię ścieków. Przez wdrażanie systemu GOZ do realizowanego w przedsiębiorstwie procesu, docelowo może być ono postrzegane jako zrównoważony zakład odzyskiwania zasobów wodnych i surowców (Goh i in., 2018; Cornejo i in., 2019).

W rozdziale dokonano oceny możliwości wykorzystania komunalnych osadów ściekowych, zaklasyfikowanych zgodnie z obowiązującym rozporządzeniem ministra klimatu do kategorii odpadów o kodzie 19 08 06 (Rozporządzenie, 2020), jako surowca bazowego do wytwarzania produktów wspomagających wzrost roślin.

2 MATERIAŁY I METODY

2.1. Badany materiał

Badany materiał stanowił produkt wspomagający uprawę roślin, opracowany na bazie komunalnych osadów ściekowych, przy użyciu autorskiej technologii GIG (Głodniok i in., 2017; Kąszycki, Głodniok i Petryszak, 2021). Parametry fizykochemiczne i podstawowe bakteriologiczne badanego materiału (PWUR) przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry fizykochemiczne i bakteriologiczne badanego materiału (PWUR) (SGS, 2019)

Parametr	Jednostka		Metodyka	Wynik	±SD
pH	-		PN-EN 15933:2013-02(A)	12,3	±0,3
Sucha masa	%		PN-EN 15934:2013-02 met. B (A)	67,5	±13,5
Azot amonowy	%	s.m.	PN-EN 14671:2007 (A)	<0,10	-
Azot ogólny	%	s.m.	PN-EN 16168:2012 (A)	<1,00	-
Rtęć (Hg)	mg/kg	s.m.	KJ-I-5.4-36 (A)	0,10	±0,03
Substancja organiczna	%	s.m.	PN-EN 15935:2013-02 (A)	18,0	±4,5
Wapń (Ca)	%	s.m.	PN-EN 16171:2017-02 (A)	19,9	±4,0
Kadm (Cd)	mg/kg	s.m.	PN-EN 16171:2017-02 (A)	0,54	±0,11
Chrom (Cr)	mg/kg	s.m.	PN-EN 16171:2017-02 (A)	8,44	±2,11
Miedź (Cu)	mg/kg	s.m.	PN-EN 16171:2017-02 (A)	58,7	±11,8
Magnez (Mg)	%	s.m.	PN-EN 16171:2017-02 (A)	8,07	±1,62
Nikiel (Ni)	mg/kg	s.m.	PN-EN 16171:2017-02 (A)	6,15	±0,15
Fosfor (P)	%	s.m.	PN-EN 16171:2017-02 (A)	0,72	±0,15
Ołów (Pb)	mg/kg	s.m.	PN-EN 16171:2017-02 (A)	10,0	±2,0
Cynk (Zn)	mg/kg	s.m.	PN-EN 16171:2017-02 (A)	173	±44,0
Analiza bakteriologiczna					
<i>Salmonella sp.</i>	w badanej próbce		PN-EN ISO.6579-1:2-17-04 (A)	nie wykryto	-
<i>Ascaris sp.</i>	w badanej próbce		KJ-I-5.4-59M (A)	nie wykryto	-
<i>Toxocara sp.</i>	w badanej próbce		KJ-I-5.4-59M (A)	nie wykryto	-
<i>Trichuris sp.</i>	w badanej próbce		KJ-I-5.4-59M (A)	nie wykryto	-



2.2. Metodyka badań

Badanie wpływu badanego materiału (symbol: PWUR) na proces kiełkowania i wczesne stadium wzrostu roślin wyższych przeprowadzono na podstawie zmodyfikowanych procedur opisanych w normach PN-EN ISO (2013a, b), tożsamyh z wytycznymi OECD (2006). Testy przeprowadzono z wykorzystaniem niezaprawionych nasion pszenicy (*Triticum aestivum* L.), gatunku roślin jednoliściennych, figurującym w wykazie roślin wskazanych do stosowania w fitotestach.

2.2.1. Test oceny kiełkowania

Test oceny kiełkowania nasion przeprowadzono w formie testu płytkowego. Modyfikacja procedury polegała na wykorzystaniu w badaniach wodnego roztworu materiału (PWUR) w stężeniu analogicznym do stężenia zastosowanego w teście wazonowym (3 g/100 mL). Na dnie szalek Petriego umieszczono dwie warstwy bibuly i na tak przygotowane podłoże wprowadzono około 5 mL roztworu PWUR, a następnie po 20 niezaprawionych nasion pszenicy o zbliżonym kształcie i kondycji. Równolegle przygotowano próbkę kontrolną (pożywka dla makrofitów). Płytki przykryto i inkubowano przez siedem dni w temperaturze $20 \pm 10^{\circ}\text{C}$ przy cyklu nasłonecznienia: dzień/noc (16 h/8 h). W pierwszej, trzeciej i siódmej dobie testu, w każdej z płytek dokonano odczytu ilości skielkowanych nasion. Wpływ materiału PWUR na proces kiełkowania pszenicy wyrażono jako procent efektywności kiełkowania nasion w pierwszej, trzeciej i siódmej dobie testu.

2.2.2. Test oceny wschodów i wczesnego stadium wzrostu

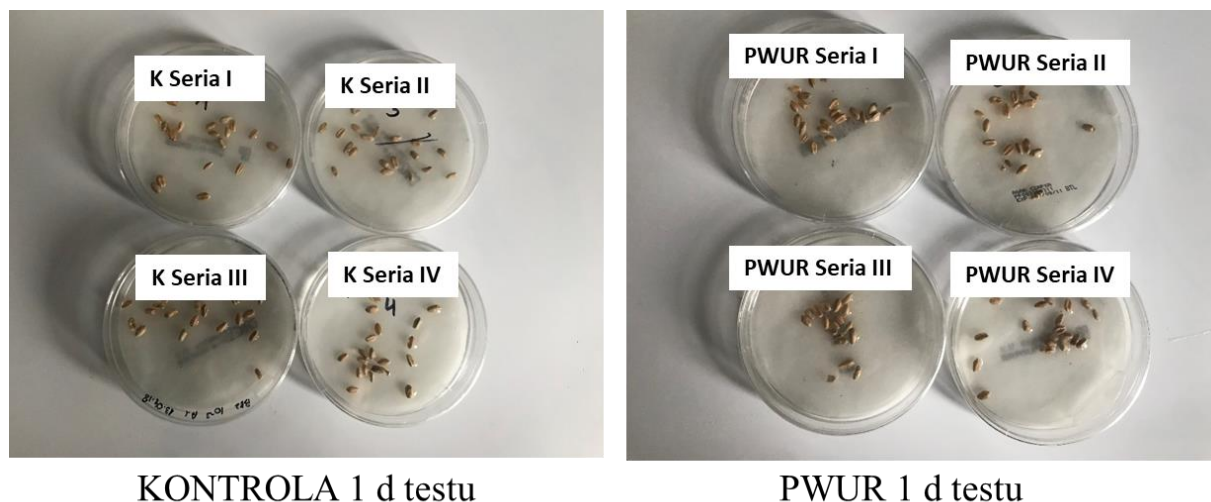
Test przeprowadzono zgodnie z normami PN-EN ISO (2013a,b). Modyfikacja procedur polegała na zastąpieniu donic wazonami o pojemności 250 mL. Wazonny wypełniono glebą ogrodową o wadze 200 g. Do przygotowanych wazonów wprowadzono ilość produktu odpowiadającego docelowemu stężeniu 3 g/100 mL podłoża. Następnie do każdego wazonu wprowadzono 20 nasion pszenicy, delikatnie wbijając je na głębokość 0,5 cm. Nasiona przykryto glebą. Równolegle przygotowano próbkę kontrolną (niezaprawiona gleba ogrodowa). Wazonny inkubowano przez 14 dni w temperaturze $20^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, przy cyklu nasłonecznienia typu: dzień/noc (16 h/8 h). Po 14 dobach w każdym z wazonów określono liczbę roślin oraz zmierzono długość ich pędów i korzeni. Efekt wpływu PWUR na wzrost roślin wyższych wyrażono względem próbki kontrolnej jako procent stymulacji wzrostu części nadziemnej i ryzosferycznej.





3. WYNIKI BADAŃ

Efektywność kiełkowania nasion pszenicy (*Sinapis alba* L.) w analizowanych próbkach (kontrola, PWUR) w pierwszej, trzeciej i siódmej dobie testu, przedstawiono na fotografii 1 i w tabeli 2.



Fot. 1. Test kiełkowania nasion pszenicy (*Triticum aestivum* L.) – kontrola i PWUR

Tabela 2. Wyniki testu oceny kiełkowania nasion pszenicy (*Triticum aestivum* L.)

Badanie	Średnia liczba wykiełkowanych nasion						Efektywność kiełkowania [%]		
	1. doba		3. doba		7. doba		1. doba	3. doba	7. doba
	średnia	±SD	średnia	±SD	średnia	±SD			
Kontrola	2,25	±0,95	13,5	±2,64	20,00	±0,00	11,25	67,5	100,00
PWUR	3,25	±1,5	14,25	±2,87	19,75	±0,50	16,25	71,25	98,75

Wysoka efektywność kiełkowania nasion uzyskana dla próbki kontrolnej w trzeciej dobie testu na poziomie 67,5%, jak również po siedmiu dobach inkubacji (100%), świadczy o dobrej kondycji zastosowanych nasion testowych, a także potwierdza odpowiednie warunki hodowli sprzyjające ich rozwojowi. Dla analizowanego produktu wysoką efektywność kiełkowania nasion pszenicy, nieznacznie przekraczającą wartości uzyskane w próbce kontrolnej, otrzymano w pierwszej i trzeciej dobie testu (tab. 3). Procent skielkowanych nasion na poziomie 98,75%, uzyskany dla PWUR po siedmiu dobach inkubacji, można uznać za wynik tożsamy z wynikiem próbki kontrolnej, potwierdzający zarazem pozytywny wpływ badanego materiału na stadium kiełkowania nasion pszenicy (*Triticum aestivum* L.). Wyniki uzyskane w teście oceny wpływu PWUR na wczesne stadium wzrostu pszenicy (*Triticum aestivum* L.) przedstawiono w tabeli 4 i na fotografiach 2 i 3.





Tabela 3. Wyniki testu oceny wzrostu roślin wyższych z wykorzystaniem pszenicy (*Triticum aestivum* L.) – próbka kontrolna

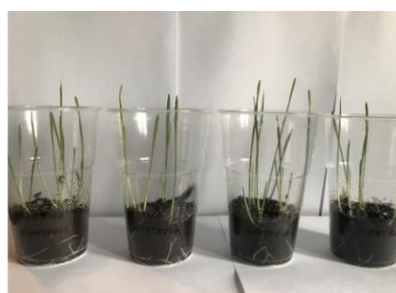
Seria badań	Długość [cm]					
	łodyga	±SD	korzeń	±SD	roślina	±SD
I	20,96	±4,42	11,59	±1,67	32,43	±5,17
II	18,63	±4,45	11,38	±3,25	30,01	±5,71
III	19,50	±4,00	12,38	±3,64	31,88	±6,84
IV	19,14	±4,31	12,08	±3,05	31,22	±6,46
Średnia	19,56	±4,29	11,86	±2,90	31,38	±6,04

Tabela 4. Wyniki testu oceny wpływu PWUR na wzrost roślin wyższych z gatunku *Triticum aestivum*

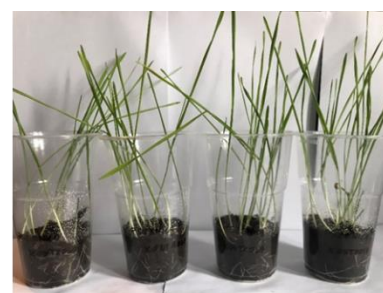
Seria badań	Długość [cm]						Przyrost [%]		
	łodyga	±SD	korzeń	±SD	roślina	±SD	łodyga	korzeń	roślina
I	22,38	±4,50	13,18	±1,98	35,56	±5,41	14,43	11,15	13,33
II	18,03	±3,37	13,15	±1,94	31,18	±4,28	-7,83	10,92	-0,63
III	19,96	±3,32	11,97	±3,22	31,83	±4,03	2,03	0,07	1,42
IV	23,91	±3,77	13,12	±2,70	37,03	±4,32	22,22	10,64	18,00
Średnia	21,07	±3,74	12,83	±2,46	33,90	±4,51	7,71	8,19	8,03



KONTROLA 1 doba testu



KONTROLA 7 doba testu



KONTROLA 14 doba testu

Fot. 2. Wyniki testu oceny wschodu i wzrostu pszenicy (*Triticum aestivum* L.) na glebie kontrolnej



PWUR 1 doba testu



PWUR 7 doba testu



PWUR 14 doba testu

Fot. 3. Wyniki testu oceny wschodu i wzrostu pszenicy (*Triticum aestivum* L.) na glebie wzbogaconej PWUR

Analiza wyników testu wazonowego w zakresie oceny wpływu badanego materiału (PWUR) na wzrost pszenicy dowiodła, że opracowany na bazie komunalnych osadów ściekowych preparat w zastosowanym stężeniu (3 mg/100 cm² podłoża glebowego), wykazuje właściwości stymulujące wzrost roślin. W próbce kontrolnej PWUR powodował przyrost długości części nadziemnej





(pędu) pszenicy w przedziale od 2,03% do 22,22% (seria I, III, IV), w części ryzosferycznej badany produkt stymulował przyrost korzenia w przedziale od 0,07% (seria III) do 11,15% (seria I).

4 WNIOSKI

Przedstawione w pracy wyniki dowodzą, że osady ściekowe mogą stanowić cenny surowiec do produkcji szerokiej gamy produktów stymulujących wzrost roślin uprawnych. Ewentualne zastosowanie komunalnych osadów ściekowych jako surowca bazowego do produkcji konkretnej grupy produktów wspomagających wzrost roślin (tj. nawozów, produktów nawozowych, stymulatorów wzrostu itp.) uwarunkowane jest przede wszystkim parametrami jakościowymi osadu (zawartością składników mineralnych i organicznych, zawartością metali ciężkich oraz obecnością jaj pasożytów) i możliwościami technologicznymi. Co istotne, wykorzystanie komunalnych osadów ściekowych do produkcji produktów nawozowych, wpisuje się w ideę GOZ i umożliwia zmianę dotychczasowego sposobu postrzegania oczyszczalni ścieków nie jako przedsiębiorstw zajmujących się jedynie oczyszczaniem ścieków kosztem wytwarzania coraz większych ilości odpadów, a jako zrównoważone przedsiębiorstwa, w których realizowane procesy ukierunkowane są na odzysk zasobów materiałowych i energetycznych.

LITERATURA

- Breda C. C., Soares M. B., Tavanti R. F. R., Viana D. G., Freddi O. S., Piedade A. R., Mahl D., Traballi R. C., Guerrini I. A. (2020): Successive sewage sludge fertilization: recycling for sustainable agriculture. *Waste Management*, Vol. 109, 38-50.
- Case S. D. C., Jensen L. S. (2019): Nitrogen and phosphorus release from organic wastes and suitability as bio-based fertilizers in a circular economy. *Environmental Technology*, Vol. 40(6), 701-715.
- Collivignarelli M. C., Abbà A., Frattarola A., Miino M. C., Padovani S., Katsoyiannis I., Torretta V. (2019): Legislation for the reuse of biosolids on agricultural land in Europe: overview. *Sustainability*, Vol. 11(21), 6015.
- Cornejo P. K., Becker J., Pagilla K., Mo W., Zhang Q., Mihelcic J. R., Chandran K., Sturm B., Yeh D., Rosso D. (2019): Sustainability metrics for assessing water resource recovery facilities of the future. *Water Environment Research*, Vol. 91(1), 45-53.
- Dyrektywa (2018): Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/851 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2008/98/WE w sprawie odpadów. Bruksela, Parlament Europejski. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX%3A32018L0851> (dostęp: 17.05.2021).
- EC (2019): Circular Economy-Implementation of the Circular Economy Action Plan. Brussels, European Commission. https://ec.europa.eu/environment/topics/circular-economy/first-circular-economy-action-plan_en (dostęp: 17.05.2021).
- Goh C. H., Short M. D., Bolan N. S., Saint C. P. (2018): Biosolids: the growing potential for use. W: R. Crocker, C. Saint, G. Chen, Y. Tong (Eds), *Unmaking waste in production and consumption: towards the circular economy* (s. 67-88). Bingley, Emerald Publishing Limited.
- Kaszycki P., Głodniok M., Petryszak P. (2021): Towards a bio-based circular economy in organic waste management and wastewater treatment – the Polish perspective. *New Biotechnology*, Vol. 61, 80-89.
- OECD (2006): OECD guidelines for the testing of chemicals: terrestrial plant test: seedling emergence and seedling growth test. Paris, Organisation for Economic Co-operation and Development. <https://www.oecd-ilibrary.org> (dostęp: 8.02.2021).





Głodniok M., Korol J., Zawartka P., Krawczyk B., Deska M. (2017): Sposób otrzymywania nawozu organicznego z ustabilizowanych komunalnych osadów ściekowych oraz nawóz organiczny z ustabilizowanych komunalnych osadów ściekowych. Opis patentowy 233754. Warszawa, Urząd Patentowy RP.

PN-EN ISO (2013a): PN-EN ISO 11269-1:2013-06: Jakość gleby: oznaczanie wpływu zanieczyszczeń na florę glebową: metoda pomiaru hamowania wzrostu korzeni.

PN-EN ISO (2013b): PN-EN ISO 11269-2:2013-06: Jakość gleby: oznaczanie wpływu zanieczyszczeń na florę glebową: wpływ związków chemicznych na wschody i wzrost roślin wyższych.

Rozporządzenie (2020): Rozporządzenie Ministra Klimatu z dnia 2 stycznia 2020 r. w sprawie katalogu odpadów. Dz. U. 2020 poz. 10.

Sgroi M., Vagliasindi F. G. A., Roccaro P. (2018): Feasibility, sustainability and circular economy concepts in water reuse. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, Vol. 2, 20-25.

SGS (2019): Sprawozdanie z badań Nr SB/74157/07/2019. Warszawa, SGS Polska.



Ewa Mackiewicz, Urszula Myga-Piątek, Iwona Jelonek

Jakość przestrzeni i środowiska w planowaniu działań
renowacyjnych na przykładzie pałacu w Rzuchowie





Ewa Mackiewicz, Urszula Myga-Piątek, Iwona Jelonek

Uniwersytet Śląski – Wydział Nauk Przyrodniczych

Jakość przestrzeni i środowiska w planowaniu działań renowacyjnych na przykładzie pałacu w Rzuchowie

1. WPROWADZENIE

Jakość życia oraz zrównoważone kształtowanie przestrzeni i krajobrazu odgrywają coraz większą rolę w obecnej polityce przestrzennej (Myga-Piątek, 2010; Salata i Myga-Piątek, 2015), w tym duże znaczenie ma jakość terenów zieleni (Hoffmann, Barros i Ribeiro, 2017). Ważnym elementem tej sfery jest gospodarka o obiegu zamkniętym (GOZ), stanowiąca obecnie przedmiot badań (Mac Arthur, 2013; Morseletto, 2020). W literaturze można znaleźć ponad 200 określeń gospodarki o obiegu zamkniętym, które w różny sposób akcentują elementy odpowiedzialnego i świadomego korzystania z zasobów środowiska. Problematyka badawcza prezentowana w niniejszym rozdziale jest oparta na podstawach teoretycznych sformułowanych przez Jonathana Cullena: „GOZ to taka, która jest odtwarzająca i regeneracyjna z założenia i ma na celu utrzymanie produktów, materiałów i komponentów na najwyższym poziomie użyteczności i wartości przez cały czas” (Kulczycka i Pędziwiatr, 2019). Definicja ta tworzy ramy teoretyczne dla omawianej problematyki dotyczącej adaptacji obiektów zabytkowych do nowych funkcji.

W rozdziale zaprezentowano założenia holistycznej koncepcji adaptacyjnej pałacu w Rzuchowie i przeprowadzono wstępną analizę elementów niezbędnych do zaplanowania procesu zrównoważonej rewitalizacji. W badaniach wykorzystano metody studialne oparte na kwerendzie literatury polskiej i zagranicznej, a także dokumentów strategicznych, projektowych i technicznych dotyczących wybranego obiektu. Uzupełnienie prowadzonych prac stanowiły badania stanu jakości powietrza.

Przyjęto założenie, że przemyślana renowacja obiektów i miejsc zabytkowych, uwzględniająca najnowsze technologie, pozwala na adaptację obiektów zabytkowych do nowych funkcji i jest ważnym procesem służącym poprawie jakości przestrzeni i środowiska. Warunkiem powodzenia tej idei jest wypracowanie kompromisu pozwalającego na zachowanie walorów historycznych i krajobrazowych, przy jednoczesnym zwiększeniu wartości użytkowej. Nadanie nowej funkcji zabytkom wpisuje się w koncepcję GOZ przez przywrócenie wartości ekonomicznej obiektom, które z uwagi na stopień dewastacji lub wymagania inwestora dotychczas nie były objęte takim programem. Przedstawiona koncepcja jest fragmentem szerszego planu badawczego prowadzonego w ramach doktoratu wdrożeniowego.





2 OCHRONA ZABYTEKÓW A GOSPODARKA O OBIEGU ZAMKNIĘTYM

Polski rejestr zabytków nieruchomych zawiera 78 616 obiektów objętych prawną ochroną konserwatorską (stan na 29.01.2021 r.) (Rejestr, 2021), z czego 4847 to budynki rezydencjonalne. Stanowią one 6,84% obiektów w rejestrze, będąc piątą pod względem liczebności grupą zabytków (Raport, 2017).

Zabytki rezydencjonalne znacznie ucierpiały na skutek działań wojennych i późniejszej polityki polskich władz prowadzonej po II wojnie światowej. Jest to szczególnie widoczne w przypadku znacjonalizowanych majątków wiejskich i nieprzemyślane przebudowanych rezydencji poniemieckich. W tych ostatnich często niszczone elementy wskazujące na niemieckie korzenie obiektu (Kozak, 2008), jak to miało miejsce w omawianym poniżej pałacu.

Elementem wpływającym na stan zachowania zabytków jest ich postrzeganie jako obiektów o ograniczonej możliwości wykorzystania z powodu wytycznych konserwatorskich. Założenie *a priori* problemów z konserwatorem skutkuje zaniechaniem działań remontowych, powodując rosnący odsetek zaniedbanych zabytków o wartości historycznej i krajobrazowej.

Szansą na zachowanie i skuteczną ochronę niszczących rezydencji jest zwiększenie ich potencjału adaptacyjnego, przez stosowanie rozwiązań podnoszących wartość użytkową obiektów, w tym pozwalających na poprawę ich efektywności energetycznej.

Po przyjęciu założenia, że budynki zabytkowe są jednym z zasobów, należy rozważyć sposoby optymalizacji ich wykorzystania, które, zachowując walory historyczne tych budynków, pozwolą na zwiększenie ich wartości użytkowej.

Podjęcie tematu adaptacji zabytków do nowych funkcji wiąże się z wieloma pytaniami o zasadność ekonomiczną, możliwości adaptacyjne, wartość historyczną lub architektoniczną i możliwość ingerencji w substancję bez naruszania estetyki miejsca. Widoczne w przestrzeni publicznej efekty stosowania rozwiązań prośrodowiskowych lub zwiększających wartość użytkową, często stoją w sprzeczności z ochroną zabytków i zasadami konserwatorskimi. W wielu przypadkach obniżają jakość przestrzeni, wprowadzając elementy techniczne naruszające walory krajobrazowe i estetyczne, czego przykładem jest widoczna infrastruktura techniczna (klimatyzatory, kolektory solarne, panele fotowoltaiczne) i termomodernizacja ukrywająca detale architektoniczne pod grubą warstwą styropianu.

Nasuwa się pytanie czy zastosowanie nowoczesnych technologii w procesie adaptacji zabytków wpływa pozytywnie czy negatywnie na jakość przestrzeni i środowiska?





3 WYZWANIA ZRÓWNOWAŻONEJ REWITALIZACJI

W działaniach na rzecz ochrony zabytków pierwszym etapem jest zabezpieczenie walorów estetycznych związanych z jego autentycznością. Zadbane, odnowione budynki historyczne poprawiają jakość przestrzeni i podnoszą walory krajobrazowe otoczenia. Obiekty zabytkowe tracą jednak swoją wartość użytkową, a ich ponowne wykorzystanie często wiąże się ze znaczną ingerencją w substancję budynku.

Z konserwatorskiego punktu widzenia podstawową wartością są walory historyczne i estetyczne oraz dawność obiektu, funkcja użytkowa jest natomiast sprawą drugorzędną, której jednak nie można pominąć. Dla większości obiektów adaptacja do nowych, użytecznych społecznie funkcji, stanowi warunek niezbędny dla ich przetrwania (Pawłowska i Swaryczewska, 2002).

Obiekty dobrze zachowane, unikatowe albo posiadające priorytetowe znaczenie dla regionu, podlegają najbardziej restrykcyjnym obostrzeniom w zakresie ingerencji w ich strukturę, otoczenie oraz funkcje. To grupa obiektów, dla której wprowadzenie nowoczesnych technologii jest najtrudniejsze.

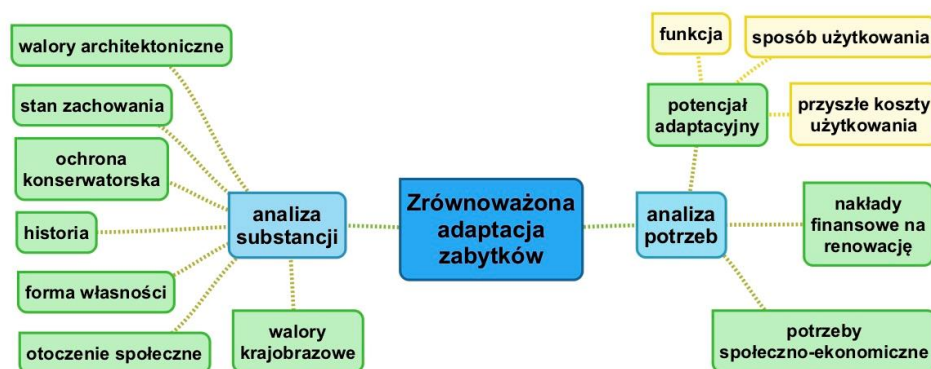
Przedmiotem rozważań jest potencjał zabytków, które zostały wielokrotnie przekształcone lub niszczone opuszczone. Szansą na ich zachowanie jest adaptacja do nowych funkcji. Istotne jest utrzymanie tej subtelnej granicy i równowagi między autentycznością a funkcjonalnością.

Potrzebą podkreślaną przez inwestorów jest optymalizacja funkcjonalno-ekonomiczna zabytku oparta na zwiększeniu wartości użytkowej, maksymalizacji komfortu użytkownika przy jednoczesnym obniżeniu kosztów bieżących. Wspomniane potrzeby wiążą się z poprawą efektywności energetycznej i wykorzystaniem błękitno-zielonej infrastruktury w gospodarce wodnej.

Różnorodność zabytków i złożoność problemów związanych z nadaniem im nowych funkcji sprawia, że nie istnieje uniwersalny model zarządzania procesem adaptacji zabytków (Sowińska-Heim, 2018). Wymaga to indywidualnego podejścia i wnikliwej, wielowymiarowej analizy, obejmującej czynniki istniejące, dotyczące obiektu i otoczenia, a także czynniki potencjalne, związane z jego przyszłą funkcjonalnością.

Uproszczony schemat analizy zawiera elementy, które należy rozważyć przed podjęciem decyzji o adaptacji zabytku. Poglębiona analiza pozwoli na dobrane rozwiązanie, które nie obniżyło walorów estetycznych i historycznych zabytku. Całościowa, zindywidualizowana diagnoza stanu i potencjału budynku jest niezbędna dla prawidłowego przebiegu procesu zrównoważonej adaptacji (Terlikowski, 2016).





Rys. 1. Elementy analizy poprzedzającej adaptację zabytku

4 BADANIA ŚRODOWISKOWE

Zrównoważona adaptacja zabytków wymaga interdyscyplinarnego podejścia do zagadnień z zakresu ochrony środowiska i ochrony zabytków, które w wielu przypadkach stoją wobec siebie w opozycji. Z tego też względu komplementarną częścią prowadzonego projektu są badania środowiskowe. Uniwersyteckie Laboratorium Kontroli Atmosfery (fot. 1) prowadzi pomiary jakości powietrza w Subregionie Zachodnim Województwa Śląskiego. W oparciu o porozumienie o współpracy Uniwersytetu Śląskiego z Fundacją na Rzecz Ochrony Dóbr Kultury, pomiary do stycznia 2021 r. prowadzone są także w rejonie Rzuchowa. Wstępne badania potwierdzają zły stan atmosfery, szczególnie w sezonie grzewczym, gdy wartość pyłów zawieszonych wzrasta o 300% w porównaniu do sezonu letniego, co w pełni uzasadnia wprowadzenie rozwiązań proekologicznych, także w obiektach zabytkowych.



Fot. 1. Balon Uniwersyteckiego Laboratorium Kontroli Atmosfery (fot. E. Mackiewicz)

Czynniki geograficzne i klimat mają ogromne znaczenie dla kształtowania się stanu zanieczyszczeń powietrza. Ich skala zależna jest od warunków meteorologicznych, takich jak prędkość i kierunek wiatru oraz częstotliwości opadów atmosferycznych. Jednak największy wpływ na podwyższone wartości pyłów zawieszonych, tlenków azotu i siarki oraz ditlenku węgla na bada-



nym obszarze, co potwierdziły badania wstępne, mają źródła antropogeniczne, w tym działalność komunalna i transport kołowy.

Na dobra materialne oddziałują zanieczyszczenia powietrza powstające w wyniku tzw. niskiej emisji, która ma niszczący wpływ na obiekty architektoniczne. Są to: tlenki siarki i azotu, ditlenek węgla oraz pyły zawieszone. Do najbardziej narażonych materiałów na działanie wyżej wymienionej substancji należą: piaskowiec, wapień, marmur, cynk, miedź, a także elementy stalowe. Tlenki siarki i azotu oraz ditlenek węgla, w połączeniu z wodą, przeobrażają się w kwasy, które są silnie żrące, przez co niszczą fasady budynków mieszkalnych i zabytków. Doprowadza to do kruśnięcia się i odpadania tynku z elewacji budynków. Natomiast pyły zawieszone osadzają się szczególnie w zniszczonych fasadach budynków, tworząc zabrudzenia, zacieki i powodując szarzenie elewacji budynku.

5 STUDIUM PRZYPADKU – PAŁAC W RZUCHOWIE

Jednym ze zdewastowanych obiektów, który ucierpiał zarówno wskutek działań wojennych, jak i przemian ustrojowych w drugiej połowie XX wieku, jest poniemiecki pałac w Rzuchowie, wzniesiony w 1888 r. Burzliwa przeszłość znajduje swoje odzwierciedlenie w historii budynku i dotychczasowych jego funkcjach.

Od 2010 r. pałac jest własnością prywatną, zarządzaną od 2017 r. przez Fundację na Rzecz Ochrony Dóbr Kultury, prowadzącą adaptację budynku na cele kulturalne i naukowe.



Fot. 2. Pałac w Rzuchowie: a – stan zabytku w czerwcu 2018 r., b – stan zabytku w grudniu 2020 r.

(fot. E. Mackiewicz)

Adaptacja prowadzona jest w oparciu o analizę elementów przedstawionych na rysunku 1. Sprecyzowanie stanu wyjściowego w odniesieniu do cech materialnych, sytuacji prawnej oraz historii, a także wskazanie potrzeb inwestora, pozwalają na określenie przyszłego sposobu użytkowania i potencjału, jaki się z tym wiąże.



Tabela 1 przedstawia syntezę cech wynikających z analizy istniejących elementów, będących punktem wyjścia dla prac adaptacyjnych.

Tabela 1. Analiza istniejących elementów

Elementy analizy substancji istniejącej	Cechy
Walory architektoniczne	<ul style="list-style-type: none"> • styl eklektyczny • na planie prostokąta • podpiwniczony, dwukondygnacyjny z użytkowym poddaszem • elewacja licowana żółtą cegłą • okna w obramieniach ze sztukaterią betonową • na parterze naczółki okien w kształcie muszli • przy wejściu półkolisty portal wsparty na dwóch kolumnach • wieża zwieńczona kopułą ze szpiczastym hełmem • innowacyjne, w okresie budowy, żelbetonowe stropy w hallu i sali reprezentacyjnej
Walory krajobrazowe	<ul style="list-style-type: none"> • park o powierzchni 3,8437 ha • dąb szypułkowy – jedyny w gminie pomnik przyrody • pozostałości zabudowań przypałacowych
Stan zachowania	<ul style="list-style-type: none"> • konstrukcja dachu wymagająca wymiany • zdewastowana, niekompletna stolarka okienna i drzwiowa • zniszczone elementy wystroju architektonicznego elewacji • liczne przebudowy wnętrza pałacu • brak oryginalnych elementów wystroju • zdewastowana lub rozkradziona infrastruktura techniczna
Forma własności	<ul style="list-style-type: none"> • własność prywatna
Ochrona konserwatorska	<ul style="list-style-type: none"> • wpis do rejestru zabytków jako zespół pałacowo-parkowy
Historia	<ul style="list-style-type: none"> • 1883 r. – przekazanie Rzuchowa przez Gustawa Schoena córce Stefanii i jej mężowi Heinrichowi Himmlowi • 1888 r. - wzniesienie pałacu • 1890 r. – ponowny ślub wdowy Stefanii Himml z Joachimem von Klützow • 2–3 maja 1921 r. - walki powstańców śląskich w rejonie pałacu • lata 20. XX w. – włączenie Rzuchowa na mocy traktatu wersalskiego do państwa polskiego – nacjonalizacja pałacu • lata 30 XX w. – utworzenie szkoły gospodarstwa domowego dla dziewcząt • 1940–1942 – Mädchen Läger – obóz dla kobiet • 1945 r. - podpalenie pałacu przez wycofujące się wojska niemieckie i splądrowanie przez wojska radzieckie • lata 50.–lata 90. XX w. – Dom Dziecka • II poł. 90. XX w. (2010 r.) – gwałtowna dewastacja • 2010 r. – zakup zrujnowanego pałacu przez obecnych właścicieli, powołanie Fundacji na Rzecz Ochrony Dóbr Kultury • 2018 r. – decyzja o adaptacji na cele kulturalne i naukowe
Otoczenie społeczne	<ul style="list-style-type: none"> • przychylne nastawienie władz samorządowych • silna więź mieszkańców z pałacem • duże poparcie społeczne dla renowacji i idei adaptacji zabytku na cele kulturalne

Drugim filarem zrównoważonej rewitalizacji jest analiza potrzeb, uwzględniająca rozwiązania wynikające z przyszłej funkcjonalności zabytku. Podstawą jest określenie nowej funkcji i sposobu użytkowania oraz zestawienie ich z potencjałem obiektu.

Tabela 2 przedstawia wybrane aspekty analizy potrzeb inwestora i potencjału obiektu, które przekładają się na przedstawione w tabeli 3 nakłady finansowe niezbędne dla zaspokojenia potrzeb adaptacyjnych.

Tabela 2. Analiza potencjału obiektu

Elementy analizy potencjału	Cechy
Planowana funkcja	działalność kulturalno-naukowa
Powierzchnia użytkowa	1600 m ²
Możliwość ingerencji	zaawansowana dewastacja pozwala na większą ingerencję
Plan budynku	cztery kondygnacje, w tym piwnica i poddasze użytkowe liczne przebudowy układu pomieszczeń
Media	dostęp do sieci energetycznej i wodno-kanalizacyjnej konieczna kompleksowa wymiana instalacji, dostosowanie do nowych potrzeb
Otoczenie	park 3,8 ha
Dostępność komunikacyjna	położenie bezpośrednio przy trasie Rybnik-Racibórz możliwość stworzenia miejsc parkingowych na posesji
Przewidywany sposób użytkowania	całorocznie codziennie w godzinach 6.00–20.00 (dłużej w przypadku wydarzeń kulturalnych)

Tabela 3. Podstawowe kategorie nakładów finansowych

Kategoria kosztów	Wydatki
Roboty budowlane	wymiana dachu drenaż i wzmocnienie fundamentów przywrócenie dawnego układu pomieszczeń i ciągów komunikacyjnych
Prace konserwatorskie	czyszczenie elewacji renowacja wystroju architektonicznego odtworzenie detali
Zagospodarowanie otoczenia	park, obiekty małej architektury poprawa estetyki przestrzeni miejsca parkingowe
Dostępność dla osób niepełnosprawnych	podjazd windy
Efektywność energetyczna	zastosowanie rozwiązań poprawiających efektywność energetyczną budynku

Projektowanie nowych funkcji jest dynamicznym procesem uszczegółowianym w trakcie adaptacji. Zasadnicze dla rozpoczęcia prac jest określenie przeznaczenia poszczególnych kondygnacji, a także otoczenia.

Istotnym wyznacznikiem jakości przestrzeni jest komfort użytkowania budynku, związany z dostępnością obiektu, a także efektywnością energetyczną przekładającą się na komfort cieplny użytkowników (Lopez i Frontini, 2014).

Publiczna użyteczność budynku implikuje likwidację barier architektonicznych. Analiza dostępnych rozwiązań, w kontekście zachowania autentyczności, a także przegląd rozwiązań zastosowanych w innych obiektach pozwoliły na dobranie optymalnych rozwiązań, które zostaną zastosowane w pałacu.

Istotnym wyzwaniem związanym z adaptacją zabytków jest poprawa efektywności energetycznej. Wprowadzenie nowoczesnych technologii zazwyczaj wiąże się z ingerencją w substancję historyczną, dlatego w doborze technologii należy uwzględnić swoisty charakter zabytku.

Obserwowany rozwój technologii OZE pozwala na wprowadzanie innowacyjnych rozwiązań i tworzenie niezależnego energetycznie obiektu zabytkowego. Może to wyznaczyć nowy, innowacyjny kierunek w ochronie dziedzictwa kulturowego, pozwalający na uzyskanie efektu środowi-



skowego. Pałac w Rzuchowie jest przykładem miejsca, gdzie podjęto próbę zrealizowania projektu autonomicznego energetycznie budynku zabytkowego.

Konieczność wymiany konstrukcji dachowej w 2010 r. spowodowała podjęcie decyzji o dostosowaniu nowej więźby do parametrów umożliwiających montaż paneli fotowoltaicznych na płaskiej części dachu. Utworzono także wewnętrzny taras w dachu, pozwalający na ukrycie elementów technicznych systemu wentylacji i rekuperacji.



Fot. 3. Dach pałacu w Rzuchowie 2019 r. (fot. G. Witek)

Efekt termomodernizacyjny uzyskano przez montaż w 2020 r. okien ograniczających straty ciepła. Ponadto wykonano drenaż budynku ze wzmocnieniem i dociepleniem części fundamentowej oraz ocieplenie stropów nad pierwszym piętrem.

W kolejnych etapach planowane jest opracowanie bilansu energetycznego budynku, celem określenia zapotrzebowania energetycznego. Pozwoli to na dobór optymalnego rozwiązania w zakresie parametrów paneli PV i wysokowydajnej rekuperacji. Planowane jest wdrożenie innowacyjnego, optymalizującego koszty użytkowania, systemu sterownia zużyciem energii.

6 PODSUMOWANIE

Dbłość o jakość przestrzeni obiektów zabytkowych wymaga zrównoważenia walorów historycznych, współczesnych standardów funkcjonalności i wytycznych środowiskowych.

Ustawa o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami z 2003 r. (Ustawa, 2013) nakłada obowiązek uzgadniania ze służbami konserwatorskimi wszelkich ingerencji w zabytek. Z kolei Dyrektywa 2002/91/WE Parlamentu Europejskiego z 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej





budynków, dopuszcza niestosowanie wytycznych w przypadku obiektów objętych ochroną konserwatorską, co ma na celu ochronę tkanki zabytkowej (Dyrektywa, 2002).

Dostosowanie obiektu do norm środowiskowych oraz zwiększenie efektywności energetycznej i ekonomicznej są w interesie inwestora, jednakże nie są dla niego obligatoryjne. Wyważone, poprzedzone analizą interdyscyplinarną, działania są fundamentem procesu zrównoważonej adaptacji zabytków do nowych potrzeb.

Przemyślane działania na styku prawa ochrony zabytków i ochrony środowiska stanowią podstawę odpowiedzialnego zarządzania rewitalizacją zabytków, a tym samym wydłużenia cyklu ich życia. Obecne technologie pozwalają na wdrożenia rozwiązań GOZ, które służą przede wszystkim poprawie jakości środowiska i dzięki temu także jakości życia mieszkańców.

LITERATURA

Dyrektywa (2002): Dyrektywa 2002/91/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.

Hoffmann E., Barros H., Ribeiro A. I. (2017): Socioeconomic Inequalities in Green Space Quality and Accessibility – Evidence from a Southern European City. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(8), 916.

Kozak M. (2008): Dwory, palace i zamki – kosztowne pamiątki czy zasób w rozwoju? *Studia Regionalne i Lokalne*, nr 2(32), 92-111.

Kulczycka J., Pędziwiatr E. (2019): Gospodarka o obiegu zamkniętym – definicje i ich interpretacje. W: J. Kulczycka (Red.), *Gospodarka o obiegu zamkniętym w polityce i badaniach naukowych* (s. 9-19). Kraków, IGSMiE PAN.

MacArthur E. (2013): *Towards the Circular Economy. Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition*. Cowes, Ellen MacArthur Foundation.

Morseletto P. (2020): Targets for a Circular Economy. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 153, 104553.

Myga-Piątek U. (2010): Transformation of Cultural Landscapes in the Light of the Idea of Sustainable Development. *Problems of Sustainable Development*, Vol. 5(1), 95-108.

Pawłowska K., Swarczewska M. (2002): *Ochrona dziedzictwa kulturowego: Zarządzanie i partycypacja społeczna*. Kraków, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego.

Lopez C. S. P., Frontini F. (2014): Energy Efficiency and Renewable Solar Energy Integration in Heritage Historic Buildings. *Energy Procedia*, Vol. 48, 1493-1502.

Raport (2017): Raport o stanie zachowania zabytków nieruchomości w Polsce: Zabytki wpisane do rejestru zabytków (księgi rejestru A i C). Warszawa, Narodowy Instytut Dziedzictwa.

Rejestr (2021): Rejestr zabytków nieruchomości. Warszawa, Narodowy Instytut Dziedzictwa. <https://dane.gov.pl/pl/dataset/1130,rejestr-zabytkow-nieruchomych> (dostęp: 29.01.2021).

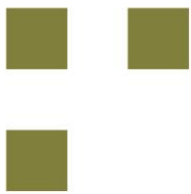
Salata T., Myga-Piątek U. (2015): Landschaftspolitik: Organisation und Technisierung des Raumes – am Beispiel vom Geoinformationssystem (GIS). W: O. Kühne, K. Gawroński i J. Hernik (Eds), *Transformation und Landschaft* (s. 321-338). Wiesbaden, Springer.

Sowińska-Heim J. (2018): Transformacje i redefinicje: Adaptacja dziedzictwa architektonicznego do nowej funkcji, a zachowanie ciągłości historycznej miejsca. Łódź, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego.

Terlikowski W. (2016): Zrównoważona rewitalizacja budynków zabytkowych. *Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture*, Vol. 63(4/16), 531-538.

Ustawa (2013): Ustawa z dnia 23 lipca 2003 r. o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami. Dz. U. 2003 nr 162, poz. 1568.





Dane adresowe

Główny Instytut Górnictwa
Obserwatorium Technologie dla Ochrony Środowiska
Plac Gwarków 1
40-166 Katowice

www.gig.eu

