



Instytut Gospodarki
Surowcami Mineralnymi
i Energią
Polskiej Akademii Nauk

Międzynarodowa Konferencja
**Strategie wdrażania Zielonego
Ładu: Woda i Surowce**



MONOGRAFIA POKONFERENCYJNA

STRATEGIE WDRAŻANIA ZIELONEGO ŁADU

CZĘŚĆ I

PATRONAT HONOROWY



Publikacja współfinansowana przez NAWA w ramach projektu „Monitorowanie gospodarki wodno-ściekowej w kontekście realizacji założeń gospodarki o obiegu zamkniętym” (MonGOS)

IGSMIE PAN



14–16 grudnia 2020

REDAKTOR NAUKOWY

Dr hab. Marzena Smol, prof. IGSMiE PAN
Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk (IGSMiE PAN)

RECENZENCI

dr inż. Dorota Andrzejewska-Górecka – Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie
dr inż. arch. Anna Berbesz – Politechnika Wrocławska
dr hab. inż. Anna Czaplicka – Politechnika Krakowska
prof. dr hab. inż. Józef Ciuła – Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nowym Sączu
dr hab. inż. Lidia Gawlik, prof. IGSMiE PAN – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN
dr hab. inż. Agnieszka Generowicz, prof. PK – Politechnika Krakowska
prof. dr hab. Joanna Kostecka – Uniwersytet Rzeszowski
dr inż. Edyta Kudlek – Politechnika Śląska
dr inż. Bartłomiej Macherzyński – Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie
dr inż. Piotr Olczak – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN
dr inż. Michał Preisner – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN
dr inż. Agnieszka Sadłowska-Sałęga – Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
dr Monika Sady – Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie
dr Elżbieta Słodczyk – Uniwersytet Opolski
dr hab. Marzena Smol, prof. IGSMiE PAN – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN
prof. dr hab. inż. Wiktoria Sobczyk – Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
dr inż. Dariusz Suszanowicz – Uniwersytet Opolski
prof. dr hab. inż. Maria Włodarczyk-Makuła – Politechnika Częstochowska



ADRES DO KORESPONDENCJI

31-261 Kraków, J. Wybickiego 7A; tel. 12-632-33-00; fax. 12-632-35-24

Redaktor Wydawnictwa: Magdalena Pawłowicz

Redaktor techniczny: Barbara Sudoł

PROJEKT OKŁADKI I SKŁAD

Paulina Marcinek i Dominika Szofdrowska

© Copyright by Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN

© Copyright by Autorzy

Kraków 2021

Printed in Poland

e-ISBN 978-83-961960-3-3



14–16 grudnia 2020

KOMITET NAUKOWY

- Dr hab. Marzena Smol, prof. IGSMiE PAN,
Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Polska, Przewodnicząca
- Prof. Lise Appels, Katholieke Universiteit Leuven, Belgia
- Dr Anna Avdiushchenko, Uniwersytet Jagielloński, Polska
- Prof. Miriam Balaban, University Campus Bio-Medico of Rome, Włochy
- Dr inż. arch. Anna Berbesz, Politechnika Wrocławska, Polska
- Prof. Augusto Bianchini, Università di Bologna, Włochy
- Prof. dr hab. inż. Michał Bodzek, Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, Polska
- Dr hab. inż. Paweł Bogacz, prof. AGH, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Polska
- Dr hab. inż. Józef Ciuła, prof. PWSZ, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nowym Sączu, Polska
- Dr hab. inż. Joanna Duda, prof. AGH, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Polska
- Prof. dr hab. inż. Krzysztof Galos, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Polska
- Dr hab. inż. Krzysztof Gaska, prof. PŚ, Politechnika Śląska, Polska
- Dr hab. inż. Lidia Gawlik, prof. IGSMiE PAN, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Polska
- Dr hab. inż. Agnieszka Generowicz, prof. PK, Politechnika Krakowska, Polska
- Dr inż. Munish Kumar Gupta, Shandong University, Chiny
- Ludwig Hermann, Prezydent European Sustainable Phosphorus Platform (ESPP), Proman Management GmbH, Austria
- Prof. Mika Horttanainen, Lappeenranta-Lahti University of Technology, Finlandia
- Prof. Māris Kļaviņš, University of Latvia, Łotwa
- Prof. Jiří Jaromír Klemeš, Brno University of Technology, Czechy
- Prof. dr hab. inż. Eugeniusz Koda, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie – SGGW, Polska
- Dr Viktor Koval, Kyiv National University of Trade and Economics, Ukraina
- Dr Jolita Kruopienė, prof. KUT, Kaunas University of Technology, Litwa
- Dr Marcin Kuczera, CreativeTime, Polska
- Dr inż. Edyta Kudlek, Politechnika Śląska, Polska
- Dr inż. Bartłomiej Macherzyński, Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie, Polska
- Prof. dr hab. inż. Jacek Mąkinia, Politechnika Gdańska, Polska
- Prof. dr hab. inż. Eugeniusz Mokrzycki, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Polska
- Prof. Majeti Narasimha Vara Prasad, University of Hyderabad, Indie
- Prof. dr hab. inż. Czesława Rosik-Dulewska, Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, Polska.
- Prof. dr hab. inż. Zenon Pilecki, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Polska
- Dr Monika Sady, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Polska
- Dr inż. Alexandros Stefanakis, prof. TUC, School of Environmental Engineering, Technical University of Crete, Grecja
- Prof. dr hab. inż. Krzysztof Szamałek, Uniwersytet Warszawski, Polska
- Dr inż. Beata Szatkowska, Aquateam COWI, Norwegia–Polska
- Dr inż. Renata Tomczak-Wandzel, Aquateam COWI, Norwegia–Polska
- Prof. Konstantinos Tsagarakis, Democritus University of Thrace, Grecja
- Prof. dr hab. inż. Maria Włodarczyk-Makuła, Politechnika Częstochowska, Polska
- Dr Dariusz Włóka, GreenBack, Polska
- Dr inż. Justyna Wrzosek-Truszkowska, Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, Polska



14–16 grudnia 2020

Spis treści

MARZENA SMOL	
<i>Przedmowa</i>	5
MARZENA SMOL, DOMINIKA SZOŁDROWSKA	
<i>Model gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ) w gospodarce wodno-ściekowej w Polsce</i>	6
PAULINA MARCINEK, MARZENA SMOL, ALEKSANDRA KASZTELEWICZ	
<i>Znaczenie biogospodarki w mapach drogowych gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ) w wybranych państwach europejskich</i>	20
JUSTYNA KOC-JURCZYK, ŁUKASZ JURCZYK	
<i>Gospodarka osadami ściekowymi jako narzędzie gospodarki o obiegu zamkniętym</i>	35
IZABELA KIEŁB-SOTKIEWICZ	
<i>Wykorzystanie narzędzia „Google Trend” w analizie wzrostu zainteresowania tematyką segregacji odpadów na przykładzie Polski i Włoch</i>	46
WOJCIECH DEREJ	
<i>Gospodarka odpadami w Unii Europejskiej w kontekście możliwości implementacji idei Europejskiego Zielonego Ładu</i>	57
EWA HOŁOTA, SYLWIA TERPIŁOWSKA, ARTUR POLIT	
<i>Analiza wybranych parametrów powietrza wewnętrznego w pomieszczeniu dydaktycznym</i> ..	70
SYLWIA TERPIŁOWSKA, EWA HOŁOTA, MAGDALENA PLISZKA	
<i>Zagrożenie mikrobiologiczne powietrza wokół pojemników na odpady komunalne</i>	82
KAMIL OLZACKI	
<i>Plan Zrównoważonej Mobilności Miejskiej jako instrument prewencyjnej ochrony środowiska</i>	93
MACIEJ MRÓZ	
<i>Bezpieczeństwo importu gazu ziemnego do Polski jako przejściowego nośnika energii w procesie transformacji energetycznej kraju</i>	106



14–16 grudnia 2020

Przedmowa

Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Strategie Wdrażania Zielonego Ładu – Woda i Surowce” (ICGreenDeal2020), odbyła się w dniach 14–16 grudnia 2020 r. w formie online. Organizatorem konferencji była Pracownia Surowców Biogenicznych Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk (IGSMiE PAN) w Krakowie.

Celem konferencji było poruszenie zagadnień związanych ze zmianami klimatycznymi oraz metodami ich zapobiegania poprzez innowacyjne rozwiązania, które mogą zostać wdrożone w ramach Zielonego Ładu. Strategie Zielonego Ładu stanowią obecnie jedne z największych planów działań na rzecz ochrony środowiska na świecie, uwzględniających działania mające na celu zapobieganie zmianom klimatycznym oraz przyspieszenie zielonej transformacji energetycznej. Warto podkreślić, iż strategie na rzecz wdrażania Zielonego Ładu rozwijają się bardzo dynamicznie w ostatnich latach w różnych regionach świata, takich jak Ameryka Północna, Europa oraz Azja. Wiele organizacji międzynarodowych, w tym m.in. Organizacja Narodów Zjednoczonych (ONZ) oraz Europejska Partia Zielonych, wskazują na konieczność wdrażania strategii Zielonego Ładu już od początku XXI wieku.

Konferencja okazała się dużym sukcesem – w pierwszej edycji wzięło udział prawie 500 uczestników. Podczas trzech dni zaprezentowano niemal 150 referatów ustnych i posterów w 14 sesjach tematycznych. Największą popularnością wśród uczestników cieszyły się następujące sesje tematyczne:

- strategii wdrażania Zielonego Ładu,
- współpraca na rzecz klimatu,
- zrównoważone gospodarowanie wodą i surowcami,
- zrównoważony rozwój regionów,
- woda i ścieki w gospodarce o obiegu zamkniętym,
- surowce do ochrony zdrowia,
- biogospodarka,
- surowce i odpady,
- innowacyjne surowce i materiały dla zrównoważonej przyszłości,
- surowce krytyczne w Zielonym Ładzie – studium przypadku fosforu,
- zielone strategie dotyczące odpadów i energii,
- działania na rzecz klimatu i gospodarki o obiegu zamkniętym,
- woda – odpady – energia w Zielonym Ładzie.

Mam nadzieję, że wymiana wiedzy i doświadczeń podczas konferencji pomogła uczestnikom zapoznać się z szerokim zakresem strategii wdrażania Zielonego Ładu, ze szczególnym uwzględnieniem wody i surowców.

Monografia „Strategie Wdrażania Zielonego Ładu – Woda i Surowce” zawiera wybrane referaty, które zostały zaprezentowane podczas I edycji Międzynarodowej Konferencji nt. Strategii Wdrażania Zielonego Ładu – Woda i Surowce.

Serdecznie dziękuję wszystkim Autorom i Recenzentom za trud i czas poświęcony na przygotowanie tekstów artykułów oraz ich recenzje. Razem działamy na rzecz ratowania Planety!

*dr hab. Marzena Smol
prof. IGSMiE PAN*



Marzena SMOL*

Dominika SZOŁDROWSKA*

Model gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ) w gospodarce wodno-ściekowej w Polsce

STRESZCZENIE: Gospodarka o obiegu zamkniętym (GOZ) to model regeneracyjnego wzrostu opierający się na bardziej zrównoważonym gospodarowaniu zasobami ze źródeł pierwotnych i wtórnych. W kontekście gospodarki wodno-ściekowej, transformacja w kierunku modelu GOZ uwzględnia bardziej racjonalne metody gospodarowania wodą (jako surowcem pierwotnym) oraz odpadami wytwarzanymi podczas procesów wykorzystania wody, oczyszczania ścieków i przetwarzania osadów ściekowych. W pracy przedstawiono założenia do modelu GOZ w gospodarce wodno-ściekowej oraz wskazano przykłady dobrych praktyk wdrażania GOZ w ramach gospodarki wodno-ściekowej w Polsce. Założenia do modelu wdrażania zasad GOZ w gospodarce wodno-ściekowej opracowano na podstawie modeli „xR” w gospodarce odpadami, a także unijnej hierarchii postępowania z odpadami. Założenia do modelu GOZ w gospodarce wodno-ściekowej uszeregowano w grupy działań wpisujących się w założenia GOZ, tj.:

- przemysłenie,
- minimalizacja,
- oczyszczanie,
- ponowne użycie,
- recykling,
- odzysk.

W drugiej części pracy dokonano inwentaryzacji wybranych przykładów dobrych praktyk wdrażania GOZ w przedsiębiorstwach związanych z sektorem wodno-ściekowym w Polsce, które opierają się na innowacyjnych rozwiązaniach wprowadzających model GOZ w swojej działalności, w tym pierwsza w Polsce instalacja do recyklingu wody w przedsiębiorstwie branży kosmetycznej, instalacja do odzysku fosforu ze ścieków na cele nawozowe oraz instalacja do odzysku wody ze ścieków i wykorzystywanie jej do naśnieżania stoku narciarskiego w okresie zimowym, oraz do nawadniania terenów zielonych w okresie letnim. Ponadto, przedstawiono zakres działalności powołanej w 2020 r. Rady ds. Kompetencji w Sektorze Gospodarki Wodno-Ściekowej i Rekultywacji, której efektem pracy ma być dostosowanie kwalifikacji pracowników sektora do realnych potrzeb pracodawców sektora gospodarki wodno-ściekowej. Dalsze prace na rzecz wdrażania praktycznych i organizacyjnych rozwiązań pozwalających na odzysk wody, energii oraz surowców stanowią podstawę zrównoważonej i cyrkularnej

* Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN; e-mail: smol@meeri.pl, szoldrowska@meeri.pl



14–16 grudnia 2020

gospodarki, której celem jest bardziej wydajne korzystanie z zasobów naturalnych, przy jednoczesnym zapewnieniu ich dostępności dla przyszłych pokoleń.

SŁOWA KLUCZOWE: gospodarka o obiegu zamkniętym, model GOZ; dobre praktyki, sektor gospodarki wodno-ściekowej

1. Wprowadzenie

Zmiany klimatyczne oraz wyczerpywanie się zasobów naturalnych mogą prowadzić do poważnych konsekwencji związanych ze stanem środowiska w całej Unii Europejskiej (UE), również w Polsce. Aby przeciwdziałać skutkom zarówno zmian klimatycznych, jak i wyczerpywania się zasobów, należy wprowadzać odpowiednie działania mające na celu ochronę biotycznych i abiotycznych elementów środowiska [1]. Rozwiązanie problemów związanych z klimatem i środowiskiem naturalnym stanowią podstawę Europejskiego Zielonego Ładu (EZŁ), nowej unijnej strategii gospodarczej, która zakłada przekształcenie UE w nowoczesną, zasobooszczędną i konkurencyjną gospodarkę [2]. Jednymi z kluczowych celów EZŁ jest oddzielenie wzrostu gospodarczego od zużywania zasobów oraz osiągnięcie neutralności klimatycznej w Europie do 2050 r. Aby przyspieszyć zmiany transformacyjne wymagane przez EZŁ, należy przyspieszyć proces przechodzenia na model regeneracyjnego wzrostu, który oddaje planecie więcej, niż zabiera. Modelem tym jest gospodarka o obiegu zamkniętym (GOZ), której celem jest utrzymanie konsumpcji zasobów w ramach ograniczeń planety poprzez zmniejszenie śladu konsumpcyjnego i wzrost wykorzystania materiałów w obiegu zamkniętym [3]. Model GOZ zakłada, że ilość wytwarzanych odpadów będzie minimalizowana, a pozostałe odpady będą traktowane jako surowce wtórne, które można ponownie wykorzystać [4]. Należy tutaj podkreślić, iż aby skutecznie wdrażać model GOZ, wymagane jest podjęcie działań na każdym etapie cyklu życia produktu, w każdym sektorze gospodarki [5], w tym w sektorach związanych z gospodarką wodno-ściekową [6].

Ochrona zasobów wodnych oraz właściwe gospodarowanie wodą i ściekami, które nie powodują negatywnych skutków środowiskowych, jest integralnym elementem zrównoważonego zarządzania środowiskiem [7], które ma na celu ochronę środowiska przed presją spowodowaną gospodarczą działalnością człowieka. Sposób zarządzania gospodarką wodno-ściekową zależy od wielu czynników, między innymi od rozwoju gospodarczego państw, rosnących potrzeb społeczeństwa, a także wzrostu ludności świata [8]. Wdrażanie modelu GOZ w sektorze gospodarki wodno-ściekowej wymaga wprowadzenia rozwiązań takich jak retencjonowanie wody, jej oszczędzanie [9], a także cyrkularne zagospodarowanie odpadów generowanych w sektorze [10], w tym m.in. ścieków, osadów ściekowych czy też popiołów z ich spalania [11]. Proces transformacji w kierunku GOZ przyczynia się do tworzenia innowacyjnych rozwiązań, w tym w zakresie wysokoefektywnych metod oczyszczania ścieków, technologii odzysku surowców (fosfor i azot) oraz ponownego wykorzystywania oczyszczonej wody [12]. W ostatnich latach obserwuje się znaczny postęp technologiczny w tym zakresie, zarówno w UE [13], jak i w Polsce [14]. Podyktowane jest to rosnącymi wymaganiami oraz rekomendacjami Komisji Europejskiej (KE) w zakresie wdrażania GOZ, a także



prawodawstwem unijnym, w tym rozporządzeniem w sprawie minimalnych wymogów dotyczących ponownego wykorzystania wody, które zostało opublikowane w 2019 r. [15]. Celem rozporządzenia jest zagwarantowanie, aby odzyskana woda była bezpieczna do nawadniania w rolnictwie, przy zapewnieniu wysokiego poziomu ochrony środowiska oraz zdrowia ludzi i zwierząt. Ponadto, KE podkreśla także rolę rozporządzenia w przechodzeniu na model GOZ, a także wspierania dostosowania do zmiany klimatu. Warto tu podkreślić, iż KE wielokrotnie wskazywała na potrzebę podjęcia działań na rzecz ochrony zasobów wody w Europie [16] oraz stworzenia instrumentów, które regulowałyby normy ponownego wykorzystania wody na cele gospodarcze [17]. Wdrażanie praktycznych rozwiązań pozwalających na odzysk wody oraz surowców stanowi podstawę zrównoważonej i cyrkularnej gospodarki, której celem jest bardziej wydajne korzystanie z zasobów naturalnych, przy jednoczesnym zapewnieniu ich dostępności dla przyszłych pokoleń. Zrównoważone zarządzanie zasobami wody obejmuje także minimalizację jej zużycia w różnych procesach technologicznych oraz skuteczne usuwanie zanieczyszczeń, zarówno z wody, jak i ze ścieków. Najmniej pożądanym rozwiązaniem, zgodnie z hierarchią postępowania z odpadami [18, 19], jest składowanie odpadów generowanych w przedsiębiorstwach sektora gospodarki wodno-ściekowej. Z uwagi na fakt, iż wszystkie sektory gospodarki wykorzystują wodę, a dostęp do wystarczającej ilości wody ma zasadnicze znaczenie dla wielu kluczowych sektorów gospodarki (rolnictwo, energetyka) i społeczności zależnych od działalności tych sektorów, dlatego też podjęcie działań na rzecz cyrkularnego zarządzania zasobami wody ma istotne znaczenie dla bezpieczeństwa funkcjonowania gospodarki krajowej, a także zabezpieczenia w przypadku wystąpienia niedoboru lub deficytu wody. Działania na rzecz zamykania obiegu wody i materiałów wykorzystywanych w sektorze gospodarki wodno-ściekowej powinny stanowić priorytet w procesie transformacji w kierunku GOZ.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie założeń modelu GOZ w gospodarce wodno-ściekowej, opracowanego w ramach międzynarodowego projektu pt. „Monitorowanie gospodarki wodno-ściekowej w kontekście wdrażania założeń gospodarki o obiegu zamkniętym” (akronim: MonGOS), oraz wskazanie wybranych przykładów dobrych praktyk wdrażania GOZ w ramach gospodarki wodno-ściekowej w Polsce.

2. Materiały i metody

Praca składa się z dwóch głównych części:

- przedstawienie założeń modelu GOZ w sektorze gospodarki wodno-ściekowej,
- przegląd dobrych praktyk GOZ w sektorze gospodarki wodno-ściekowej w Polsce.

W pierwszej części przedstawiono założenia modelu GOZ w sektorze gospodarki wodno-ściekowej [6], opracowanego na podstawie hierarchii postępowania z odpadami [18], zmodyfikowanej na potrzeby dostosowania do charakterystyki sektora gospodarki wodno-ściekowej. W tym celu wykorzystano elementy zawarte w hierarchii postępowania z odpadami, tj. minimalizacja (*reduction*), ponowne użycie (*reuse*), recykling (*recycling*) i odzysk (*recovery*), oraz uwzględniono dwa dodatkowe elementy, tj. oczyszczanie (*removal*) – odnoszące się bezpośrednio do sektora,



a także weryfikacja podejścia (*rethink*) – stanowiąca podstawę do wprowadzania zmian w różnych sektorach gospodarki.

W drugiej części pracy dokonano inwentaryzacji wybranych przykładów dobrych praktyk wdrażania GOZ w przedsiębiorstwach związanych z sektorem wodno-ściekowym w Polsce, które opierają się na innowacyjnych rozwiązaniach wprowadzających model GOZ w swojej działalności. Przegląd literatury został przeprowadzony z wykorzystaniem metody analizy danych zastanych, uwzględniającej kompleksową analizę dokumentów (w tym publikacji recenzowanych), dostępnych w bazach danych takich jak Elsevier, Google Scholar, Multidisciplinary Digital Publishing Institute – MDPI, BazTech, oraz stron internetowych przedsiębiorstw i udostępnionych przez nie raportów [20].

3. Model GOZ w sektorze wodno-ściekowym

Proces transformacji w kierunku GOZ wymaga stosowania zrównoważonych praktyk gospodarowania zasobami i odpadami we wszystkich gałęziach gospodarki [21]. Dotyczy to także sektora gospodarki wodno-ściekowej oraz jego kluczowych elementów tj. wody, ścieków, osadów ściekowych, innych odpadów i produktów ubocznych powstających przy uzdatnianiu wody oraz oczyszczaniu ścieków. W praktyce, wdrażanie założeń GOZ w różnych sektorach gospodarki często jest wspierane poprzez wykorzystanie różnych metod racjonalnej gospodarki surowcami, produktami i zasobami, a także zrównoważonej gospodarki odpadami. Wśród najpopularniejszych metod zagospodarowania odpadów wyróżnia się podejścia „xR”, takie jak [6]:

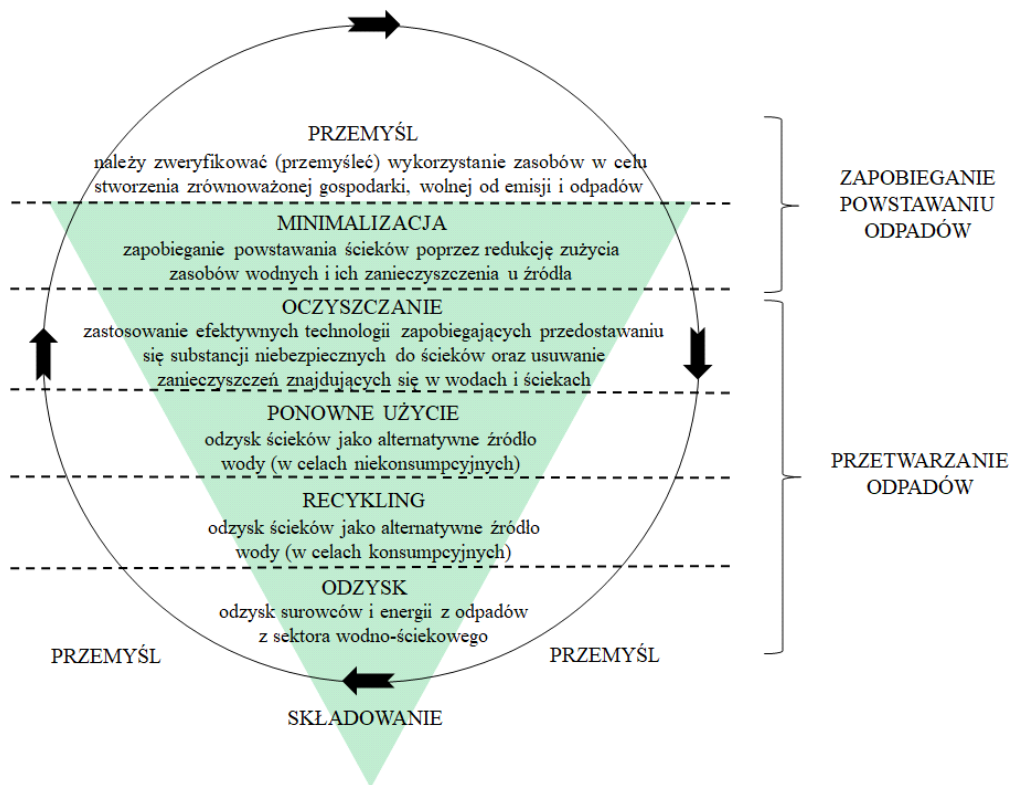
- 2R: minimalizacja i ponowne użycie (*reduce – reuse*);
- 3R: minimalizacja, ponowne użycie i recykling (*reduce – reuse – recycling*);
- 4R: minimalizacja, ponowne użycie, recykling i odzysk (*reduce – reuse – recycling – recovery*).

W założeniach do modelu wdrażania zasad GOZ w sektorze gospodarki wodno-ściekowej, uwzględniono, oprócz wyżej wymienionych modeli „xR”, dwa dodatkowe aspekty, charakterystyczne dla analizowanego studium przypadku:

- oczyszczanie (*removal*) – wysokoefektywne usuwanie zanieczyszczeń z wody i ścieków,
- przemyślenie (*rethink*), czyli weryfikacja podejścia – aspekt stanowiący postawę do wdrożenia zmian systemowych w całym cyklu życia wody, wskazywany jako jeden z kluczowych elementów transformacji w kierunku GOZ we wszystkich gałęziach gospodarki [6].

Założono, iż przedstawione powyżej elementy modelu GOZ powinny pozostawać w zgodzie nie tylko z założeniami GOZ, ale również z hierarchią postępowania z odpadami [18]. Analogicznie jak w przypadku unijnej hierarchii postępowania z odpadami, w proponowanym modelu działania na rzecz wdrożenia GOZ w sektorze gospodarki wodno-ściekowej zostały pogrupowane w kolejności od najbardziej do najmniej pożądanых. Wyjątek stanowi element „przemysł”, czyli weryfikacji podejścia, który powinien być realizowany równoległe ze wszystkimi pozostałymi elementami modelu. Założenia proponowanego modelu GOZ w sektorze gospodarki wodno-ściekowej zostały przedstawione na rysunku 1. Uszeregowanie odpowiednich działań wpisujących się

14–16 grudnia 2020



Rysunek 1.
Proponowany model GOZ w sektorze wodno-ściekowym [6]

w założenia GOZ w poszczególne grupy tj. przemysłenie, minimalizacja, oczyszczalnie, ponowne użycie, recykling i odzysk, podyktowany był założeniami metodycznymi projektu MonGOS, w którym dla poszczególnych elementów modelu identyfikowano wskaźniki, które pozwolą na ocenę postępów procesu transformacji w kierunku GOZ w ramach działań realizowanych przez daną jednostkę (na poziomie mikroekonomicznym). W poniższych rozdziałach przedstawiono charakterystykę poszczególnych elementów proponowanego modelu GOZ w sektorze gospodarki wodno-ściekowej.

3.1. Zapobieganie

Zapobieganie powstawaniu ścieków stanowi nadrzędną opcję w proponowanym modelu GOZ. Dotyczy to głównie zmniejszenia ilości generowanych ścieków poprzez redukcję zużycia zasobów wody oraz ich zanieczyszczenia u źródła. Na tym etapie należy podejmować działania mające na celu efektywne planowanie zużycia zasobów wodnych, oraz projektowanie infrastruktury, urządzeń i budynków pozwalających na minimalizowanie zużycia wody [22]. Największy potencjał do



14–16 grudnia 2020

wprowadzania ulepszeń w zakresie ilości wykorzystywanej wody ma działalność gospodarcza, która wykorzystuje do 90% zużywanych zasobów wodnych w krajach europejskich, w tym na cele rolnictwa, gospodarki leśnej i rybołówstwa (58,3%), przemysłu energetycznego (18,2%), przemysłu wydobywczego i budowlanego (10,6%) i sektora usług (3,3%). Około 10% zużywanych zasobów wodnych przeznaczonych jest dla ludności [23]. Zapobieganie to także działania na rzecz zwiększenia efektywności wykorzystywania wody w poszczególnych sektorach gospodarki, a także zapewnienie zrównoważonego poboru wody oraz dostawy wody pitnej, w celu rozwiązania problemu niedostatku wody w wybranych regionach świata, w tym w Europie [24].

3.2. Oczyszczanie

Oczyszczanie polega na usuwaniu zanieczyszczeń z wody i ścieków. Zgodnie z obowiązującym prawem, zrzut nieoczyszczonych ścieków komunalnych oraz przemysłowych jest niedozwolony w związku z ryzykiem zanieczyszczenia wód powierzchniowych i podziemnych oraz jego konsekwencjami jak eutrofizacja wód lub zagrożenie zdrowotne dla ludności korzystających z wody [25, 26].

Ze względu na zróżnicowany skład ścieków, który uzależniony jest od rodzaju prowadzonej działalności (w przypadku przedsiębiorstw), od wielkości aglomeracji (w przypadku ścieków komunalnych), rodzaju ścieków dopływających oraz samej technologii oczyszczania ścieków [27], wykorzystuje się różne metody oczyszczania ścieków, bazujące na procesach fizykochemicznych, biologicznych i chemicznych, lub ich kombinacji [28]. Zazwyczaj jednostkowe procesy oczyszczania ścieków są integrowane w celu zapewnienia możliwości oczyszczania podstawowego (mechanicznego), wtórnego (biologicznego) i zaawansowanego [29]. W państwach UE około 3,1% ścieków oczyszczanych jest na poziomie podstawowym, 28,5% stanowią ścieki oczyszczone biologicznie, a aż 68,4% stanowią ścieki oczyszczone na poziomie zaawansowanym [30]. Warto tu podkreślić, iż zaawansowane układy oczyszczania ścieków, dzięki zastosowaniu kombinacji metod mechaniczno-biologiczno-chemicznych oraz metod fizycznych, pozwalają na oczyszczanie ścieków do poziomu jakości wody pitnej, dzięki czemu ścieki poddane procesom zaawansowanego oczyszczania mogą być stosowane jako alternatywne źródło wody, w szczególności w regionach o ograniczanych zasobach pierwotnych [31].

3.3. Ponowne użycie

Woda niespełniająca norm jakościowych dla wody pitnej, ale pozbawiona mikroorganizmów i zanieczyszczeń w formie stałej, może być ponownie wykorzystywana na cele gospodarcze, m.in. w rolnictwie do nawadniania pól uprawnych, działalności przemysłowej i w gospodarstwach domowych. Jedną z rekomendowanych możliwości jest ponowne użycie wody szarej, która jest wytwarzana podczas domowych czynności, w tym np. kąpieli czy mycia naczyń. Woda szara może być użyta do spłukiwania toalety, sprzątnięcia domu lub mieszkania, samochodu, lub też do podlewania domowych upraw. Dzięki wykorzystaniu wody szarej możliwa jest redukcja ilości ścieków odprowadzanych do kanalizacji o nawet 55 litrów dziennie w indywidualnych gospodarstwach domowych. Należy tu nadmienić, iż ponowne wykorzystanie jest szczególnie istotne w sektorze rolnictwa,



14–16 grudnia 2020

który jest narażony na deficyt wody. Dlatego też nawadnianie pól dostatecznie oczyszczonymi ściekami może stanowić alternatywne źródło wody w okresach bezdeszczowych. Ponadto ścieki po mechaniczno-biologicznym oczyszczaniu, ze względu na kontrolowaną ilość substancji biogenych, pełnią również funkcję nawozową, z uwagi na zawartość wysoko przyswajalnych związków azotu i fosforu [32]. Wykorzystanie substancji nawozowych zawartych w ściekach zmniejsza zapotrzebowanie na stosowanie nawozów mineralnych, których nadmierne stosowanie często prowadzi do eutrofizacji wód w zlewniach o wysokim udziale gruntów rolnych [33]. W efekcie, oprócz wody, ponownym użyciem zastają objęte również substancje biogenne, których zasoby pierwotne (w szczególności złoża fosforu) są ograniczone, a przewidywany koszt ich importu będzie rósł dynamicznie w najbliższych latach [21].

3.4. Recykling

Recykling odnosi się do odzyskania wody zawartej w ściekach i poddania jej efektywnym procesom oczyszczania i uzdatniania, w celu uzyskania wody o parametrach wody pitnej. Metoda ta wiąże się z koniecznością ponoszenia wysokich nakładów finansowych, gdyż w zależności od jakości ścieków poddawanych recyklingowi istnieje konieczność stosowania wieloetapowego oczyszczania i uzdatniania wody w oparciu o m.in. metody membranowe tj. nanofiltrację i odwróconą osmozę [34, 35]. Recykling wody wydaje się uzasadniony tylko w przypadku braku możliwości zastosowania innych metod wykorzystania ścieków.

3.5. Odzysk

Odzysk może być stosowany na szeroką skalę w sektorze wodno-ściekowym. Dotyczy on zarówno odzysku wody ze ścieków, jak i odzysku materiałów (w tym surowców i energii) ze ścieków i odpadów generowanych w procesie ich przeróbki. Odzysk wody jest ważnym zagadnieniem zarówno w kontekście zrównoważonego rozwoju [24], jak i wymagań unijnych i wdrażania GOZ [15], co wynika z pogłębiającego się deficytu wody, pojawiającego się w różnych regionach świata, w tym w Afryce oraz w Europie (np. w Grecji, Portugalii i Hiszpanii). Odzysk wody ze ścieków do nawadniania pól może przyczynić się do ponownego włączenia do obiegu składników odżywczych roślin, takich jak azot, fosfor i potas. Jednym ze sposobów odzysku wody jest zastosowanie systemu odzysku wody deszczowej. Właściwe podczyszczenie wody deszczowej umożliwia jej wykorzystanie do nawadniania ogrodów, mycia samochodów czy prania. Można w ten sposób zmniejszyć ilość zużycia wody wodociągowej [36]. Ścieki stanowią istotne wtórne źródło wielu surowców, które dzięki technologiom odzysku pozwalają na ich cyrkularne wykorzystanie. Pierwiastki biogenne – azot i fosfor – są obecne w ściekach zarówno w formach mineralnych, jak i organicznych i mogą być wykorzystywane do produkcji nawozów [37]. Ścieki posiadają również duży potencjał do odzysku celulozy, biopolimerów, biogazu i energii cieplnej oraz pierwiastków ziem rzadkich [38]. Szczególną uwagę poświęca się obecnie możliwościom odzysku fosforu ze ścieków, który jest surowcem krytycznym dla europejskiej gospodarki [39]. Odzysk fosforu ze ścieków może zachodzić na kilku etapach oczyszczania ścieków lub przetwarzania osadów ściekowych, w tym ze ścieków surowych,



z odcieków z osadów ściekowych, z odwodnionych osadów ściekowych oraz z popiołów po ich termicznym przekształceniu [40].

3.6. Przemysłenie (weryfikacja podejścia)

Kluczowym elementem proponowanego modelu GOZ jest weryfikacja obecnego podejścia do idei GOZ w sektorze gospodarki wodno-ściekowej. Konieczność weryfikacji, a zatem „przemysłenia”, dotyczy wszystkich powyżej opisanych elementów modelu bazujących na zasadach „xR”.

Wdrażanie założeń GOZ wymaga w pierwszej kolejności przeanalizowania obecnych zachowań oraz zidentyfikowania działań mających na celu bardziej efektywnie wykorzystanie zasobów pierwotnych (wody) i wtórnych (ścieki i ich pochodne). Wdrażanie założeń GOZ powinno opierać się na wprowadzaniu systematycznych zmian w całym cyklu życia wody, w którym woda i surowce w niej obecne są wykorzystywane tak długo, jak to możliwe, a ilość opadów jest minimalizowana. Celem KE jest zbudowanie „społeczeństwa recyklingu” poprzez transfer wiedzy i rozwiązań technologicznych, organizacyjnych, społecznych i finansowych, z bardziej zaawansowanych regionów [41]. W ostatnich latach kraje UE poczyniły znaczne postępy w przekształcaniu odpadów w zasoby i promowaniu zrównoważonych sposobów gospodarki odpadami, takich jak recykling. Jednakże sam proces transformacji w kierunku GOZ przebiega z różną dynamiką w poszczególnych krajach i regionach europejskich. Niektóre z nich już skutecznie nałożyły ograniczenia prawne i zainwestowały w technologie odzyskiwania składników biogenych w oczyszczalniach ścieków (np. Szwajcaria i Niemcy) [39]. Niestety w wielu państwach UE podobne regulacje nie są jeszcze rozważane. Obecnie świadomość ekologiczna jest jedną z głównych sił napędowych transformacji w kierunku GOZ, dlatego też coraz więcej uwagi poświęca się działaniom ukierunkowanym na zmianę sposobu myślenia społeczeństwa oraz edukację na temat kluczowego znaczenia wody i surowców w GOZ [42].

4. Przykłady dobrych praktyk GOZ w gospodarce wodno-ściekowej w Polsce

Stacja Recyklingu Wody fabryki L’Oreal Warsaw Plant

W fabryce przedsiębiorstwa L’Oréal Warsaw Plant, zlokalizowanej w miejscowości Kanie (województwo mazowieckie), rocznie produkuje się około 360 mln kosmetyków (w tym szamponów, mleczek do ciała, toników, wody micelarnej, dezodorantów, farb do włosów i innych). W procesach produkcyjnych zużywana jest bardzo duża ilość wody. Dotychczasowe działania ukierunkowane na zmniejszenie zużycia wody w fabryce L’Oréal Warsaw Plant dotyczyły redukcji wykorzystania wody, w tym poprzez optymalizację programów mycia urządzeń oraz wprowadzenie recyrkulacji wody, mającej na celu redukcję jej straty [43]. W 2017 r. podjęto działania w kierunku wprowadzenia bardziej zrównoważonej gospodarki wodą i ściekami w fabryce, dążąc do realizacji koncepcji tzw. suchej fabryki, w której występuje obieg zamknięty wody, a ścieki nie są odprowadzane do



odbiornika i środowiska. W efekcie, wybudowano pierwszą w kraju instalację do recyklingu wody w przedsiębiorstwie branży kosmetycznej – Stację Recyklingu Wody fabryki L'Oréal Warsaw Plant. Instalacja wyposażona jest w:

- stację oczyszczania ścieków – w pierwszym etapie ścieki są kierowane do procesu mechanicznego podczyszczania (na sitach bębnowych), a następnie fizykochemicznego i biologicznego oczyszczania i ultrafiltracji,
- moduł recyklingu wody – ścieki oczyszczane we wcześniejszych procesach są kierowane do procesu odwróconej osmozy, a następnie do systemu dystrybucji wody czystej.

Instalacja pozwala na cyrkularne zagospodarowanie wody zanieczyszczonej w procesie produkcyjnym. Obecnie stacja recyklingu składa się z 5 zbiorników o łącznej pojemności 1100 m³. Wdrożenie zasad GOZ w obiekcie pozwoliło na odzysk 5500 m³ czystej wody miesięcznie w 2020 r., a tym samym redukcję zużycia wody o 40% w stosunku do 2005 r., przy jednoczesnym wzroście produkcji o 220% oraz wzroście średniej ilości wody w pojemniku produktu o 50% [44].

Oczyszczalnia ścieków przy Stacji Narciarskiej Kasina Ski & Bike Park

Stacja Narciarska Kasina Ski & Bike Park położona jest w miejscowości Kasina Wielka (województwo małopolskie). To ośrodek narciarski z bazą noclegową oraz 9 trasami rowerowymi. Instalacja oczyszczalni ścieków dla Stacji Narciarskiej Kasina Ski & Bike Park, pozwalająca na ponowne wykorzystanie wody odzyskanej ze ścieków, została zrealizowana przez przedsiębiorstwo Schwander Polska. Oczyszczalnia ścieków została wkomponowana w zbocze stoku narciarskiego, dzięki czemu jest obiektem niemal niewidocznym dla turystów. Ponadto, dzięki zastosowaniu tego rozwiązania możliwa była realizacja tej inwestycji, ponieważ wcześniej ze względu na położenie ośrodka nie było możliwości odprowadzenia ścieków do odbiornika. W instalacji wykorzystano zintegrowane procesy membranowe, z powtórным wykorzystaniem ścieków oczyszczonych po dezynfekcji lampą UV. Ścieki po procesie oczyszczania są wykorzystywane do naśnieżania stoku narciarskiego w okresie zimowym, oraz do nawadniania terenów zielonych w okresie letnim. Zastosowana technologia Schwander Polska pozwalała na odzysk wody ze ścieków oczyszczonych dzięki:

- oddzieleniu bakterii chorobotwórczych, wirusów oraz innych zanieczyszczeń takich jak antybiotyki, farmaceutyki oraz zawiesiny, z wykorzystaniem membran mikrofiltracyjnych (MF),
- dodatkowej dezynfekcji z wykorzystaniem lampy UV, pozwalającej na niemal całkowitą eliminację (do 99%) pozostałych bakterii i wirusów, dzięki czemu ścieki oczyszczone spełniają normy prawne pozwalające na ich ponowne wykorzystanie [45].

Woda odzyskana ze ścieków z wykorzystaniem technologii Schwander Polska może być także przeznaczona do nawadniania, podlewania, irygacji ziemi rolnej, mycia ulic oraz placów, a także zasilania myjni samochodowych oraz jako woda technologiczna do pracy urządzeń i czyszczenia przemysłowego. Obecnie prowadzone są dalsze prace przez przedsiębiorstwo Schwander Polska, mające na celu powtórne wykorzystanie ścieków na cele gospodarcze.

Instalacja do odzysku surowców w Cielczy

W czerwcu 2019 r. w mechaniczno-biologiczno-chemicznej oczyszczalni ścieków w Cielczy, w gminie Jarocin (województwo wielkopolskie), rozpoczęto montaż innowacyjnej instalacji,



mającej na celu odzysk surowców (azotu i fosforu) ze ścieków. Instalacja, która obecnie jest w etapie prób przedrozruchowych, a zostanie oddana do użytku w 2022 r., jest jednym z elementów projektu inwestycyjnego realizowanego przez Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji w Jarocinie, przy wsparciu środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW). Projekt ten został wyróżniony nagrodą Grand Prix w kategorii „Finanse i Partnerstwo” w ramach „Innowacji dla Gospodarki o obiegu zamkniętym” podczas międzynarodowej konferencji WEX Global – Water and Energy Exchange w 2018 r. [46]. W Cielczy powstała instalacja, w której z wód poosadowych odzyskiwane są surowce do produkcji nawozów, które mają być przeznaczone do nawożenia i utrzymania terenów zielonych w gminie Jarocin. Wartość zamówienia dotycząca budowy instalacji odzysku fosforu to niemal 9 mln zł netto, które w części są współfinansowane ze środków UE w ramach Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko. Stacja Odzysku Surowców w Cielczy to obecnie jedyna w Polsce instalacja do odzysku fosforu z fazy płynnej jako produktu (nawozu mineralnego) w postaci tzw. struwitu [21], będącego najkorzystniejszą formą fosforu, biodostępną dla roślin. W instalacji w Cielczy wykorzystano proces krystalizacji Ostara Pearl, zachodzący w reaktorze z ruchomym złożem. W wyniku dodania chlorku magnezu do wody procesowej wytrąca się struwit, czyli fosforan amonowo-magnezowy ($MgNH_4PO_4 \cdot 6 H_2O$) [47]. Technologia Ostara Pearl jest z powodzeniem stosowana na skalę przemysłową w oczyszczalniach ścieków w Kanadzie i Stanach Zjednoczonych. Produkt końcowy procesu stanowi nawóz ekologiczny Crystal Green® o ciągłym uwalnianiu, dostarczający fosfor, azot i magnez. Warto zaznaczyć, iż wdrożenie procesu odzysku fosforu w formie struwitu wpływa także na rozwiązanie problemów technicznych oczyszczalni ścieków, ponieważ związek ten strącając się spontanicznie, powoduje szybkie zmniejszanie się przekroju czynnego rurociągów i konieczność ich wymiany lub usuwania powstałego osadu. Dlatego przedstawione rozwiązanie jest rekomendowane z punktu widzenia nie tylko zatrzymania w obiegu cennego surowca, jakim jest fosfor, i ponowne jego wykorzystanie na cele nawozowe, ale także ze względu na ograniczenie problemów technicznych związanych z eksploatacją oczyszczalni ścieków komunalnych.

Rada ds. Kompetencji w Sektorze Gospodarki Wodno-Ściekowej i Rekultywacji

Wdrożenie GOZ w sektorze gospodarki wodno-ściekowej wymaga wykwalifikowanej kadry pracowników, którzy będą odpowiedzialni nie tylko za tworzenie innowacyjnych rozwiązań na rzecz GOZ, ale także za ich systematyczne wdrażanie w przedsiębiorstwach. Dlatego też obecna oferta edukacyjna (średniego szkolnictwa zawodowego, jak i szkolnictwa wyższego) powinna zostać dostosowana do realnych potrzeb sektora gospodarki wodno-ściekowej oraz wyzwań, jakie pojawiły się w procesie transformacji w kierunku GOZ. W Polsce, w styczniu 2020 r. powołano Radę ds. Kompetencji w Sektorze Gospodarki Wodno-Ściekowej i Rekultywacji (Rada ds. Kompetencji Sektora GWSiR), której głównymi zadaniami są identyfikacja i monitorowanie zapotrzebowania na kompetencje w sektorze, opracowywanie rekomendacji dotyczących zapotrzebowania na kompetencje w sektorze gospodarki wodno-ściekowej i rekultywacji, analiza zmian legislacyjnych, a także weryfikacja potrzeb tworzenia sektorowej ramy kwalifikacji oraz kwalifikacji rynkowych. Rada ta stanowi integralną część projektu pt. „Rada ds. Kompetencji w Sektorze Gospodarki Wodno-Ściekowej i Rekultywacji”, dofinansowanego z Europejskiego Funduszu Społecznego z ramach Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój 2014–2020. Projekt ten realizowany jest przez Instytut Ochrony



14–16 grudnia 2020

Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy i Izbę Gospodarczą „Wodociągi Polskie”. Głównym celem projektu ma być dostosowanie kwalifikacji pracowników sektora do realnych potrzeb pracodawców sektora gospodarki wodno-ściekowej. Działalność Rady ds. Kompetencji Sektora GWŚiR opiera się na współpracy pomiędzy ekspertami sektora gospodarki wodno-ściekowej i rekultywacji (przedstawicielami środowiska akademickiego oraz przedsiębiorców) a instytucjami edukacyjnymi (zarówno z obszaru edukacji formalnej, jak i pozaformalnej). Warto zaznaczyć, iż wstępne wyniki analiz prowadzonych przez Radę ds. Kompetencji Sektora GWŚiR wskazują na kluczowe znaczenie sektora gospodarki wodno-ściekowej i rekultywacji w procesie transformacji w kierunku GOZ. Podkreśla się jednak, iż świadomość o szerszym aspekcie GOZ jako konieczności poszukiwania innowacji jest nowym wyzwaniem dla przedsiębiorstw sektora gospodarki wodno-ściekowej i rekultywacji. Konieczność dostosowania sektora do modelu GOZ wprowadza nowe wymagania dotyczące kwalifikacji pracowników [14]. Dlatego wymagane jest, aby szkoły średnie i wyższe wprowadziły edukacje mające na celu wykształcenie kadr bezpośrednio związanych z GOZ.

5. Podsumowanie i wnioski

Transformacja w kierunku GOZ w sektorze gospodarki wodno-ściekowej wymaga wprowadzenia zmian nie tylko w obszarze technologicznym (w tym np. innowacyjne metody odzysku wody, energii i surowców), ale także systematycznych zmian organizacyjnych oraz dostosowania kompetencji sektora do wyzwań w zakresie wdrażania GOZ. Z uwagi na postępujące zmiany klimatyczne, a także spadek dostępnych zasobów wody, wydaje się być kluczowym wprowadzanie racjonalnego gospodarowania wodą, a także cyrkularne gospodarowanie wodą i odpadami wytwarzanymi w sektorze gospodarki wodno-ściekowej.

Proces transformacji w kierunku GOZ w sektorze gospodarki wodno-ściekowej wymaga zaangażowania wszelkich grup interesariuszy, zarówno ekspertów działających na rzecz innowacyjnych i proekologicznych rozwiązań, jak i społeczeństwa, które powinno ograniczać marnotrawstwo wody w gospodarstwach domowych. Ponadto, wprowadzanie zasad GOZ w gospodarce wodno-ściekowej jest ważne dla przedsiębiorstw uzależnionych od wody (np. branży kosmetycznej) i oczyszczalni ścieków, ponieważ ich świadome ekologicznie decyzje dotyczące wdrażania zrównoważonych i cyrkularnych rozwiązań w gospodarowaniu wodą i ściekami mogą przyspieszyć proces transformacji w kierunku GOZ w kraju.

Działania na rzecz wdrażania GOZ w gospodarce wodno-ściekowej powinny uwzględniać minimalizację zużycia wody, efektywne oczyszczalnie wody i ścieków, ponowne użycie wody (na cele niekonsumpcyjne), recykling wody (na cele konsumpcyjne) oraz odzysk wody, energii i surowców wytwarzanych w procesie przeróbki ścieków. Realizacja tych działań może przynieść znaczne korzyści dla środowiska, wynikające z ograniczenia zużycia wody oraz zmniejszenia wpływu zrzutów ścieków na jakość środowiska wodnego. W kolejnych latach należy spodziewać się dalszego postępu technologicznego oraz nowych inwestycji, mających na celu ograniczenie zużycia wody, surowców oraz energii, wpisujących się w model GOZ.



14–16 grudnia 2020

Podziękowania

Praca zrealizowana w ramach projektu MonGOS – „Monitorowanie gospodarki wodno-ściekowej w kontekście wdrażania założeń gospodarki o obiegu zamkniętym” finansowanego przez Narodową Agencję Wymiany Akademickiej (NAWA) w ramach Programu Akademickie Partnerstwa Międzynarodowe (2020–2022).



LITERATURA

- [1] Knutelski, S. 2018. Różnorodność biotyczna dobrostanem ludzkości. *Polish J. Sustain. Dev.* 22, 27–38.
- [2] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. *Europejski Zielony Ład 2019* (COM nr 640).
- [3] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. *Nowy Plan Działania UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym na rzecz czystej i bardziej konkurencyjnej Europy 2020* (COM nr 98).
- [4] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. *Zamknięcie obiegu – plan działania UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym 2015* (COM nr 614).
- [5] Mapa drogowa transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym. *Ministerstwo Rozwoju 2019*.
- [6] Smol, M., Adam, C., Preisner, M. 2020. Circular economy model framework in the European water and wastewater sector. *J. Mater. Cycles Waste Manag.* 22, 682–697.
- [7] Jakubowski, T. 2005. Gospodarka wodno-ściekowa w wybranej gminie. *Infrastrukt. i Ekol. Teren. Wiej.*, 47–58.
- [8] Lorek, A. 2014. Problemy i wyzwania zrównoważonej gospodarki wodno-ściekowej w regionie śląskim. *Stud. Ekon. Ekon. w Katowicach*, 159–168.
- [9] Ramm, K. 2021. Wyzwania dyrektywy 2020/2184 w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. *Technol. Wody 1*, 36–41.
- [10] Kakwani, N.S., Kalbar, P.P. 2020. Review of Circular Economy in urban water sector: Challenges and opportunities in India. *J. Environ. Manag.* 271. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.111010.
- [11] Hukari, S., Hermann, L., Nätörp, A. 2016. From wastewater to fertilisers-Technical overview and critical review of European legislation governing phosphorus recycling. *Sci. Total Environ.* 542, 1127–1135.
- [12] Gromiec, M. 2020. Nowe koncepcje gospodarki wodno-ściekowej-osadowej. *Ocena Gospod. ściekowo-osadowej w Polsce*, 7–32.
- [13] Fahimi, A., Federici, S., Depero, L.E., Valentim, B., Vassura, I., Ceruti, F., Cutaia, L., Bontempi, E. 2021. Evaluation of the sustainability of technologies to recover phosphorus from sewage sludge ash based on embodied energy and CO2 footprint. *J. Clean. Prod.* 289. DOI: 10.1016/j.clepro.2020.125762.
- [14] Kuśmierz, A., Ramm, K., Lutowska, A., Gołębiewski, A. *Charakterystyka Sektora Gospodarki Wodno-Ściekowej i jego potrzeb w zakresie kompetencji*. Rada ds. Kompetencji w Sektorze Gospodarki Wodno-Ściekowej i Rekultywacji. Online: <https://rada-gws.ios.edu.pl/publikacje/charakterystyka-sektora-gospodarki-wodno-ściekowej-i-jego-potrzeb-w-zakresie-kompetencji/> [Dostęp: 12.07.2021].
- [15] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE 2020/741 z dnia 25 maja 2020 r. w sprawie minimalnych wymogów dotyczących ponownego wykorzystania wody. 2020.
- [16] Ramm, K., Gryguć, A. 2019. Bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę w polityce Unii Europejskiej. *Technol. Wody 4*, 48–53.



14–16 grudnia 2020

- [17] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. *Plan ochrony zasobów wodnych Europy 2012* (COM nr 673).
- [18] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy. 2008.
- [19] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/851 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2008/98/WE w sprawie odpadów. 2018.
- [20] Smol, M., Marcinek, P., Duda, J., Szoldrowska, D. 2020. Importance of sustainable mineral resource management in implementing the circular economy (CE) model and the European Green Deal strategy. *Resources* 9(5), 55.
- [21] Smol, M. 2019. The importance of sustainable phosphorus management in the circular economy (CE) model: the Polish case study. *J. Mater. Cycles Waste Manag.* 21, 227–238.
- [22] Zdeb, M., Zamorska, J., Papciak, D., Słyś, D. 2019. The quality of rainwater collected from roofs in the aspect of the possibility of their economic use. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 1–21.
- [23] European Environment Agency. *Use of freshwater resources in Europe*. 2019. Online: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/use-of-freshwater-resources-3/assessment-4> [Dostęp: 14.07.2021].
- [24] ONZ. *Agenda 2030 na rzecz zrównoważonego rozwoju*. 2015. Online: http://www.un.org/pl/files/170/Agenda2030PL_pl-5.pdf [Dostęp: 13.07.2021].
- [25] Dz.U. 2019 r. poz. 1311. Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 12 lipca 2019 r. w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego oraz warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu do wód lub do ziemi ścieków. 2019.
- [26] Dyrektywa Rady z dnia 21 maja 1991 r. dotycząca oczyszczania ścieków komunalnych (91/271/EWG); 1991.
- [27] Mucha, Z., Generowicz, A. 2015. Wybór systemu usuwania i oczyszczania ścieków z wykorzystaniem analizy wielokryterialnej. *Acta Universitatis Nicolai Copernici Ekonomia* 46(2), 259–269.
- [28] Włodarczyk-Makula, M., Wiśniowska, E. 2018. Removal of PAHs from municipal wastewater during the third stage of treatment. *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 21(2), 143–154.
- [29] Gupta, V.K., Ali, I., Saleh, T.A., Nayak, A., Agarwal, S. 2012. Chemical treatment technologies for waste-water recycling—an overview. *RSC Adv.* 2, 6380–6388.
- [30] The European Federation of National Water Services Europe's water in figures. *An overview of the European drinking water and waste water sectors*. 2017. Online: <https://www.eureau.org/resources/publications/1460-eureau-data-report-2017-1/file> [Dostęp: 12.07.2021].
- [31] Tabassum, S. 2019. A combined treatment method of novel Mass Bio System and ion exchange for the removal of ammonia nitrogen from micro-polluted water bodies. *Chem. Eng. J.* 378, 122217.
- [32] Supaporn, P., Kobayashi, T., Supawadee, C. 2013. Factors affecting farmers' decisions on utilization of rice straw compost in Northeastern Thailand. *J. Agric. Rural Dev. Trop. Subtrop.* 114, 21–27.
- [33] Jordan, C., Smith, R. 2005. V Methods to predict the agricultural contribution to catchment nitrate loads: designation of nitrate vulnerable zones in Northern Ireland. *J. Hydrol.* 304, 316–329.
- [34] Kabsch-Korbutowicz, M. 2016. Zastosowanie procesu wymuszonej osmozy do odsalania i odnowy wody. *Ochr. Środowiska* 38(1), 9–14.
- [35] Dudziak, M., Bodzek, M. 2008. Removal of xenoestrogens from water during reverse osmosis and nanofiltration – effect of selected phenomena on separation of organic micropollutants. *Archit. Civ. Eng. Environ.* 1, 95–101.
- [36] Cesluk, K. 2020. Zagospodarowanie i odzysk wody deszczowej i szarej. *Rynek Instal.* 1–2, 80–84.
- [37] Cornel, P., Schaum, C. 2009. Phosphorus recovery from wastewater: Needs, technologies and costs. *Water Sci. Technol.* 59, 1069–1076.
- [38] Barros, Ó., Costa, L., Costa, F., Lago, A., Rocha, V., Vipotnik, Z., Silva, B., Tavares, T. 2019. Recovery of rare earth elements from wastewater towards a circular economy. *Molecules* 24, 1005.



14–16 grudnia 2020

- [39] Herzel, H., Krüger, O., Hermann, L., Adam, C. 2016. Sewage sludge ash – A promising secondary phosphorus source for fertilizer production. *Sci. Total Environ.* 542, 1136–1143.
- [40] Krüger, O., Adam, C. 2015. Recovery potential of German sewage sludge ash. *Waste Manag.* 45, 400–406.
- [41] Avdiushchenko, A. 2018. Toward a circular economy regional monitoring framework for European regions: Conceptual approach. *Sustain.* 10(12), 4398.
- [42] Pathak, A.K., Christopher, K. 2019. Study of socio-economic condition and constraints faced by the farmers in adoption of Bio fertilizer in Bhadohi district (Uttar Pradesh). *J. Pharmacogn. Phytochem.* 8, 1916–1917.
- [43] Zamorowska, K. Stacja Recyklingu Wody – wymierne oszczędności z zamkniętego obiegu. Online: <https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/stacja-recyklingu-wody-GOZ-woda-procesowa-8470.html> [Dostęp: 9.07.2021].
- [44] Gąszczak, S. Innowacyjne rozwiązania w L'Oréal Warsaw Plant – Oszczędzamy zasoby wody, Kampania 17 Celów – Forum Inspiracji, 14.05.2021 r. Online: <https://kampania17celow.pl/wp-content/uploads/2020/05/LOreal-Sucha-Fabryka.pdf> [Dostęp: 9.07.2021].
- [45] Kmak, K. Sposób na skutki suszy – odzysk wody ze ścieków. Online: <https://www.schwander.pl/pl/nws/w-tym-roku-ue-wdrozy-rozporzadzenie-umozliwiajace-odzyskanie-wody-ze-sciekow-oczyszczonych-polska-firma-technologiczna-od-lat-opracowuje-takie-rozwiazania> [Dostęp: 9.07.2021].
- [46] Smol, M., Preisner, M., Bianchini, A., Rossi, J., Hermann, L., Schaaf, T., Kruopien, J., Pamakštys, K., Klavins, M., Ozola-Davidane, R., i in. 2020. Strategies for Sustainable and Circular Management of Phosphorus in the Baltic Sea Region : The Holistic Approach of the InPhos Project. *Sustain.* 12, 2567.
- [47] Ciesielczuk, T., Rosik-Dulewska, C., Kusza, G. 2016. Ekstrakcja fosforu z osadów ściekowych i popiołów ze spalania osadów-analiza problemu. *Polish Journal for Sustainable Development* 20, 21–28.



*Paulina MARCINEK**
*Marzena SMOL**
*Aleksandra KASZTELEWICZ***

Znaczenie biogospodarki w mapach drogowych gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ) w wybranych państwach europejskich

STRESZCZENIE: Model gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ) to jeden z priorytetów współczesnej polityki Komisji Europejskiej (KE). Od 2014 r., kiedy to KE wskazała konieczność transformacji w kierunku GOZ w Unii Europejskiej (UE), wiele krajów członkowskich opracowało narodowe strategie (mapy drogowe) wdrażania modelu GOZ w swoich gospodarkach. W Polsce, prace nad mapą drogową GOZ rozpoczęło Ministerstwo Rozwoju w 2016 r., a została ona zatwierdzona przez Radę Ministrów we wrześniu 2019 r. We wspomnianym dokumencie biogospodarka została wskazana jako jeden z kluczowych elementów niezbędnych w procesie transformacji w kierunku modelu GOZ w Polsce. Celem pracy jest przedstawienie działań niezbędnych w procesie przekształcania modelu linearnego na cyrkularny w wybranych krajach europejskich (Polsce, Niderlandach, Niemczech, Włoszech, Francji), ze szczególnym uwzględnieniem biogospodarki. Biorąc pod uwagę działania KE ukierunkowane na zmianę istniejącego modelu gospodarczego, należy zaznaczyć, iż jednym z jej priorytetów jest zacieśnianie więzi w zakresie współpracy pomiędzy sektorem nauki oraz przemysłem, co powinno przyczynić się do powstawania i wdrażania innowacyjnych rozwiązań w całej gospodarce unijnej, w tym w obszarze biogospodarki. KE dąży również do stworzenia europejskiego rynku wysokiej jakości surowców wtórnych, wykorzystując zrównoważoną produkcję i rozwój sektora usług. W Polsce dużą szansą na dalszy rozwój biogospodarki są znaczne zasoby biomasy w kraju. Wzrost wykorzystania biomasy może pozytywnie wpłynąć na przyśpieszenie procesu transformacji w kierunku GOZ. Z tego powodu planowane są dalsze działania w tym obszarze, w oparciu o kierunki wskazane w mapie drogowej GOZ.

SŁOWA KLUCZOWE: biogospodarka, mapa drogowa, gospodarka o obiegu zamkniętym, GOZ, biomasa

* Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN; e-mail: marcinek@meeri.pl, smol@meeri.pl

** AGH Akademia Górniczo-Hutnicza; e-mail: kasztelewicz@meeri.pl



14–16 grudnia 2020

1. Wprowadzenie

Transformacja w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ), która opiera się na bardziej zrównoważonej gospodarce surowcami pierwotnymi i wtórnymi, to obszar zainteresowania wielu organizacji, w tym także Unii Europejskiej (UE). W 2014 r. Komisja Europejska (KE) wskazała GOZ jako priorytetowy model wpisujący się w europejską politykę gospodarczą [1]. Z kolei w 2015 r. opublikowano pierwszy Plan działania dotyczący wdrażania GOZ w UE [2], zawierający zadania, które były stopniowo realizowane do końca 2019 r. Obecnie obowiązuje nowy Plan działania GOZ, który został przedstawiony w 2020 r. Należy tutaj podkreślić, iż GOZ stanowi jeden z głównych bloków Europejskiego Zielonego Ładu (EZŁ) – najnowszej strategii rozwoju gospodarczego UE na rzecz zrównoważonego rozwoju (ZR). W nowym Planie GOZ zawarto inicjatywy dotyczące całego cyklu życia produktu, ograniczenia nadmiernej konsumpcji oraz zużycia surowców, jak również minimalizacji wytwarzanych odpadów [3]. Już na wczesnym etapie procesu transformacji w kierunku GOZ w UE, KE skupiła się na jej pobudzeniu, zalecając państwom członkowskim przygotowanie krajowych dokumentów (strategii/map drogowych), wyznaczających główne cele GOZ w skali krajowej [4]. Wybrane kraje europejskie, w tym Niderlandy, Niemcy, Włochy, Francja czy Polska opracowały oraz wdrożyły w życie mapy drogowe GOZ. W oficjalnych dokumentach zatwierdzonych przez władze wspomnianych państw zawarto zestaw narzędzi, których celem jest stworzenie warunków do odejścia od modelu linearnego i wdrożenie w skali krajowej nowego modelu gospodarczego GOZ [5]. Dokumenty te są dostępne na stronie internetowej Platformy ds. GOZ (*European Circular Economy Stakeholder Platform*), będącej narzędziem KE, utworzonym w celu wspierania wdrażania GOZ na terenie Europy [6].

Obecnie model GOZ jest wskazywany jako globalny oraz nieodwracalny trend [7]. Jednym z kluczowych obszarów wdrażania GOZ w UE jest biogospodarka [8]. Należy zaznaczyć, iż działania związane z obszarem biogospodarki były podejmowane na skalę europejską już w 2012 r. [9]. Zwrócono wówczas uwagę na specyficzne zagadnienia i zadania, konieczne do zrealizowania w tym obszarze, do których należały m.in. stworzenie społeczeństwa innowacyjnego oraz konkurencyjnego, które w efektywny sposób zarządza posiadanymi zasobami i zapewnia również bezpieczeństwo żywnościowe, korzystanie w sposób zrównoważony z zasobów biologicznych, a przy tym tworzenie spójnego środowiska politycznego dla rozwoju biogospodarki. W 2014 r. wskazano biogospodarkę jako element mający kluczowe znaczenie podczas wdrażania GOZ na terenie UE [1]. Rosnąca konkurencyjność państw członkowskich w skali światowej, wzrost gospodarczy oraz tworzenie nowych miejsc pracy [2] to aspekty, które sprzyjają realizacji rozwoju biogospodarki [9]. Dlatego też została ona również uwzględniona w nowym Planie działania GOZ [3].

Sama biogospodarka ze względu na kompleksowy charakter może zostać zdefiniowana w zależności od obszaru, który obejmuje. Określa się ją m.in. jako gospodarkę, w której główne składniki produkcji (energia, materiały, produkty chemiczne) oparte są na zasobach biologicznych oraz odnawialnych [10]. Biogospodarka tworzy warunki, w których możliwe jest przekształcanie bioodpadów oraz resztek w istotne zasoby oraz buduje świadome społeczeństwo ograniczające marnotrawstwo żywności. Ze względu na istotność biogospodarki w GOZ, została ona wskazana w krajowych planach działaniach GOZ, w Niderlandach, Niemczech, Włoszech, Francji oraz Polsce.

Celem pracy jest przedstawienie głównych kierunków rozwoju sektora biogospodarki w UE.



14–16 grudnia 2020

W pracy dokonano przeglądu najpoważniejszych wyzwań dla biogospodarki przedstawionych w krajowych mapach drogowych GOZ w wybranych krajach (Niderlandy, Niemcy, Włochy, Francja i Polska). Ponadto przeprowadzono analizę dostępnych źródeł biomasy, potencjał oraz pozycję Polski na tle krajów UE w zakresie produkcji biomasy i możliwości, jakie wynikają z wykorzystywania tego surowca.

2. Materiały i metody

W pracy wykorzystano metodę analizy danych zastanych, która uwzględniała kompleksową analizę wybranych dokumentów, w tym europejskich dokumentów związanych z biogospodarką, GOZ, ZR i EZŁ, które zostały opublikowane w ogólnodostępnych bazach danych. Ponadto, dokonano przeglądu aktów prawnych na poziomie europejskim i krajowym. Analizie poddano także dokumenty zawierające narodowe strategie i mapy drogowe dotyczące GOZ w wybranych krajach europejskich. Przeglądowi podlegały również liczne komunikaty prawne związane bezpośrednio z biogospodarką, GOZ, mapami drogowymi i recenzowane artykuły. Dobór analizowanej literatury opierał się na słowach kluczowych, do których należały: „biogospodarka”, „zielona gospodarka”, „gospodarka o obiegu zamkniętym”, „GOZ”, „zrównoważony rozwój”, „UE”, „mapy drogowe GOZ”, „zielony ład”, „Europejski Zielony Ład”. Należy podkreślić, że podczas wstępnej analizy uzyskano kilkaset pozycji literaturowych. Wynika to z faktu, iż biogospodarka, jak i inne wspomniane wyżej aspekty, były opisywane w wielu różnorodnych publikacjach, nie tylko w Europie, ale i na całym świecie, a od kilku lat można zauważyć dynamiczny wzrost zainteresowania (zarówno na poziomie administracji, jak i naukowców) związany z biogospodarką i GOZ. Z tego powodu wyselekcjonowano prace, których treść jest nadal aktualna. Do wskazania potencjału oraz zmian na rynku biomasy w wybranych krajach UE wykorzystano metody porównawcze, które zostały przedstawione w formie opisowej oraz graficznej. Na koniec dokonano interpretacji otrzymanych wyników badań, które połączone z dotychczasową wiedzą, dały cenne wnioski.

3. Wyniki

3.1. Znaczenie biogospodarki w przejściu na model GOZ w wybranych krajach europejskich

Biorąc pod uwagę zmiany klimatyczne, niezrównoważone wydobycie zasobów oraz wzrost liczby ludności na świecie, należy podkreślić, iż obecny model gospodarki światowej nie jest zrównoważony. Wdrażany obecnie model GOZ ma na celu przywrócenie tej równowagi poprzez skupienie się na wszystkich etapach cyklu życia każdego produktu, towaru lub usługi, przy jednoczesnym zwiększeniu efektywności wykorzystania zasobów, ograniczeniu ingerencji w środowisko i marno-



trawstwa surowców, przy jednoczesnym zaspokojeniu potrzeb społeczeństwa [11]. Przejście na model GOZ to trudny i czasochłonny proces, w którym nie ma jednej instrukcji, jak postępować. Na rysunku 1 przedstawiono ogólną koncepcję modelu GOZ, wskazaną przez KE w 2014 r. [1].



Rysunek 1.
Koncepcja modelu GOZ [1]

Większość krajów europejskich podkreśla rolę biogospodarki w procesie transformacji w kierunku GOZ oraz koncentruje się na dokonywaniu radykalnych zmian w podejściu do produkcji, przetwarzania, konsumpcji i neutralizacji zasobów biologicznych. Nadrzędnym celem wprowadzenia modelu GOZ, w tym także biogospodarki jest sprostanie wyzwaniom związanym z szybkim wyczerpywaniem się zasobów biologicznych [12], rosnącą populacją świata oraz presją na środowisko związaną ze zmianami klimatu [9]. Istnieje przekonanie, że biogospodarka jest niezbędnym warunkiem, aby Europa stała się światowym liderem, przede wszystkim w sferze innowacyjności i rozwoju konkurencji [13]. KE systematycznie dąży do nadania państwom członkowskim określonego kierunku rozwoju i innowacyjnego podejścia do możliwości i sposobów wykorzystania zasobów odnawialnych. W jednej z siedmiu inicjatyw przewodnich strategii Europa 2020 [14], tzw. Unii innowacji, zawarto wyzwanie, którym musiała sprostać Europa w zakresie zapewnienia stabilnego rozwoju gospodarczego [15]. Zwiększenie znaczenia innowacyjności oraz wiedzy w rozwoju przedsiębiorstw, przy jednoczesnym uwzględnieniu szans rynkowych i potrzeb konsumentów, wpisują się w nowe spojrzenie na funkcjonujące ekosystemy, sektor spożywczy, rolnictwo i obszary wiejskie. Racjonalne wykorzystanie zasobów świata roślin, zwierząt i mikroorganizmów, przy wsparciu określonych nauk (biotechnologii, genetyki, chemii), może sprawić, że konsument i gospodarka UE osiągną oczekiwane rezultaty wpisujące się w ZR [16].

Transformacja z modelu linearnego do cyrkularnego wymaga ciągłego monitorowania kluczowych trendów oraz wzorców. Jest to niezbędne do zrozumienia, jak poszczególne elementy gospodarki rozwijają się w czasie. Z wykorzystaniem działań ukierunkowanych na monitorowanie zachodzących zmian w gospodarce można ocenić, czy podjęte określone próby były słuszne i wystarczające. Uzyskane wyniki z monitoringu powinny stać się podstawowym argumentem do pod-



14–16 grudnia 2020

jęcia nowych kroków i określenia priorytetów w długofalowych działaniach GOZ. Powinny także być istotne dla wszystkich interesariuszy, jak również motywować do dalszych działań [8].

Biogospodarka jest jednym z kluczowych elementów nowej strategii UE, jaką jest EZŁ [17]. Głównym celem EZŁ w UE jest sprostanie wyzwaniom związanym ze zmianą klimatu i degradacją środowiska. Podjęte działania ukierunkowane są na stworzenie nowej strategii, dzięki której gospodarka UE zyska takie cechy jak efektywne gospodarowanie zasobami, innowacyjność i konkurencyjność. W dokumencie przedstawiającym ogólny zarys strategii EZŁ, sporządzonym przez Komisję Europejską, wskazano najważniejsze zadania EZŁ w UE, do których zaliczono [17]:

- osiągnięcie progu zerowej emisji gazów cieplarnianych netto do 2050 r.,
- oddzielenie zużycia zasobów naturalnych od wzrostu gospodarczego,
- poprawę ochrony i wzrostu kapitału naturalnego,
- uwzględnienie wszystkich interesariuszy w nowej koncepcji.

Zakłada się, że wdrożenie strategii EZŁ spowoduje szereg zmian w społeczeństwie, dlatego ważne jest zaangażowanie wszystkich interesariuszy do czynnego udziału we wprowadzaniu zmian, mających na celu stworzenie korzystnych warunków dla zrównoważonego rozwoju i biogospodarki [17].

KE systematycznie publikuje i wdraża strategię wspierającą EZŁ. W maju 2020 r. KE ogłosiła dwie strategię, które są integralną częścią EZŁ [18]: Strategię „Od pola do stołu” [19] oraz Strategię UE na rzecz różnorodności 2030 [20]. Wskazywane są one jako mapy drogowe mające na celu poprawę w zakresie zrównoważonego rolnictwa i konsumpcji żywności w ramach ZŁ UE. Strategie te wyznaczają początek wieloetapowego procesu, którego głównym celem jest odbudowa funkcjonowania rolnictwa w UE oraz produkcja i dostarczanie żywności obywatelom państw członkowskich [18]. Ponadto w 2020 r. przyjęto także Europejski Pakt na rzecz Klimatu [21], oraz Nową strategię przemysłową dla Europy [22], w których także podkreślono znaczenie biogospodarki w procesie transformacji gospodarki do modelu GOZ.

W dalszej części pracy została przedstawiona rola biogospodarki w dokumentach strategicznych GOZ, w wybranych krajach europejskich, w tym także w Polsce.

3.1.1. Niderlandy

Mapa drogowa *A Circular Economy in the Netherlands by 2050* [23], opublikowana w Niderlandach we wrześniu 2016 r., to program mający na celu rozwój GOZ w kraju do 2050 r. Do kluczowych zadań zawartych w dokumencie należą m.in. [23]:

- redukcja 50% zużycia surowców,
- minimalizacja zużycia zasobów naturalnych,
- niezależność od importu surowców naturalnych,
- zwiększenie bezpieczeństwa dostaw surowców,
- ujednoczenie terminu „gospodarki o obiegu zamkniętym” w przepisach,
- inwestycje w produkty i usługi GOZ,
- promowanie efektywnego gospodarowania zasobami,
- współpraca międzynarodowa,
- skupienie się na pięciu priorytetach: biomasy i żywności, tworzywach sztucznych, przemyśle wytwórczym, sektorze budowlanym oraz towarach konsumpcyjnych.



14–16 grudnia 2020

Niderlandy podjęły działania mające na celu nakreślenie przyszłościowej wizji zrównoważonej gospodarki dla całego społeczeństwa. Biogospodarka (ze szczególnym uwzględnieniem biomasy w Niderlandach) ma zasadnicze znaczenie dla ograniczenia emisji CO₂ (o około 17 megaton rocznie) i uniezależnienia się państwa od zasobów kopalnych. Stosowanie biomasy przyczynia się do ekologizacji kilku głównych sektorów gospodarki o znacznym eksporcie [23]. Zakłada się, iż poprzez wprowadzenie działań opartych na biogospodarce i GOZ Niderlandy zyskają rocznie:

- około 7,3 mld euro oszczędności,
- 54 000 nowych miejsc pracy,
- zmniejszenie wykorzystania surowców o około 100 000 kiloton,
- wzrost produktu krajowego brutto (PKB) w wysokości od 1,5 mld euro do 8,4 mld euro.

Oprócz pozytywnych aspektów, jakie wynikają z wprowadzania GOZ, gospodarka Niderlandów musi sprostać wymaganiom, do których należą m.in. zrozumienie natury zachodzących przemian, jak również opracowanie wskaźników, dzięki którym będą monitorowane postępy działań ukierunkowanych na wdrażanie cyrkularnego modelu gospodarczego [23].

3.1.2. Niemcy

W dokumencie strategicznym *German Resource Efficiency Programme II: Programme for the sustainable use and conservation of natural resources* [24], opublikowanym przez Niemcy w listopadzie 2016 r., zawarto kluczowe działania wspierające wprowadzanie w gospodarce modelu GOZ oraz zapewniające rozwój zrównoważonego społeczeństwa. Do wspomnianych działań należą [24]:

- zapewnienie trwałych dostaw surowców,
- bardziej przyjazne dla środowiska wydobywanie surowców mineralnych i kopalnych,
- zwiększenie efektywności wykorzystania zasobów w produkcji,
- opracowywanie i rozpowszechnianie efektywnych pod względem wykorzystania zasobów metod produkcji i przetwarzania,
- efektywne wykorzystanie zasobów,
- unikanie nadmiernego marnotrawstwa,
- wzmocnienie odpowiedzialności za produkt,
- zwiększanie efektywnego wykorzystania zasobów w zarządzaniu w cyklu zamkniętym,
- zrównoważone budownictwo i zrównoważony rozwój miast,
- infrastruktura efektywnie korzystająca z zasobów.

W Niemczech działania ukierunkowane na rozwój biogospodarki oraz GOZ mają bardzo duże znaczenie. Wynika to przede wszystkim z faktu, iż kraj posiada rozwiniętą świadomość ekologiczną. Niemcy wskazują, że łagodzenie zmian klimatycznych, ochrona różnorodności i zrównoważone wykorzystanie zasobów naturalnych są konieczne ze względu na postępujące obecnie zmiany środowiskowe. W kraju dąży się także do ciągłej poprawy efektywności wykorzystania zasobów, w tym przede wszystkim zasobów biotycznych, oraz odpowiednie zarządzanie importem. Podejmowane są również działania mające na celu zmniejszenie zapotrzebowania na materiały pierwotne poprzez wykorzystanie surowców wtórnych, z których usunięto szkodliwe substancje [24].

W 2021 r. rząd niemiecki opublikował nowy dokument *Circular Economy Roadmap for Germany* [25], którego celem są dalsze działania przyspieszające przejście z modelu linearnego do



modelu GOZ, a tym samym stwarzanie warunków dla efektywnie korzystającego z zasobów, niskoemisyjnego i odpowiedzialnego społeczeństwa.

3.1.3. Włochy

W listopadzie 2017 r. Włochy opublikowały dokument strategiczny *Towards a Model of Circular Economy for Italy – Overview and Strategic Framework* [26], będący mapą drogową w kierunku transformacji gospodarki do modelu GOZ. W dokumencie określono strategiczne stanowisko Włoch w kwestii zmiany modelu gospodarczego zgodnie ze zobowiązaniami przyjętymi w ramach porozumienia paryskiego, agendy Organizacji Narodów Zjednoczonych (ONZ) 2030, komunikatu Grupy Siedmiu (G7) (międzypaństwowej organizacji złożonej z największych rozwiniętych gospodarek świata: Francji, Niemiec, Włoch, Japonii, Stanów Zjednoczonych, Wielkiej Brytanii i Kanady) oraz w ramach UE. W dokumencie podkreślono także, że zmiana podejścia we włoskiej gospodarce, poprzez zastosowanie nowego sposobu konsumpcji, produkcji i prowadzenia biznesu, to jedno z kluczowych działań wspierających wdrażanie modelu GOZ [26].

Włochy są krajem, w którym w dynamiczny sposób następuje wdrażanie modelu GOZ. Działania związane z transformacją są prawidłowo i szybko wdrażane zarówno na poziomie regionalnym, wojewódzkim, jak i gminnym. Niemniej jednak, w kraju występują bariery utrudniające transformację obecnej gospodarki, do których należą m.in. niski wskaźnik badań, czy niski poziom zasobów naturalnych w porównaniu z innymi krajami, w których gospodarka jest równie dobrze rozwinięta. Istnieje także potrzeba opracowania nowej polityki przemysłowej, ukierunkowanej na ZR i innowacje, które mogą zwiększyć konkurencyjność produktów i produkcji [26]. W kwietniu 2017 r. rząd włoski opublikował Narodową Strategię Biogospodarki [27]. Jej główny cel to zebranie i usystematyzowanie działań podejmowanych w obszarze biogospodarki przez różne administracje centralne i terytorialne, a także aktywny udział kraju w rewizji strategii europejskiej [26].

3.1.4. Francja

Mapa drogową *Circular Economy roadmap of France: 50 measures for 100% circular economy* [28], opublikowaną przez Francję w kwietniu 2018 r., zawiera główne cele oraz zadania ukierunkowane na efektywne wdrażanie modelu GOZ w gospodarce krajowej. W dokumencie wskazano cztery priorytetowe obszary działań, do których należą [28]:

- plan działania na rzecz lepszej produkcji,
- plan działania na rzecz lepszej konsumpcji,
- plan działania na rzecz lepszego gospodarowania odpadami,
- plan działania dotyczący mobilizacji wszystkich interesariuszy.

We wskazanych obszarach nakreślono kroki, jakie należy wykonać, aby transformacja gospodarcza przebiegła pomyślnie. W dokumencie zawarto również główne cele, jakie kraj powinien osiągnąć, aby zastąpić model gospodarki liniowej modelem cyrkularnym. Do wspomnianych celów należy zaliczyć [28]:

- zmniejszenie zużycia zasobów naturalnych związane z konsumpcją we Francji,
- zmniejszenie o 50% ilości odpadów innych niż niebezpieczne składowanych do 2025 r. (w porównaniu z rokiem 2010),



- 100% recykling tworzyw sztucznych do 2025r.,
- ograniczenie emisji gazów cieplarnianych.

Przewiduje się, że realizacja działań zawartych w mapie drogowej Francji przyniesie wiele wymiernych korzyści dla kraju. Odejście od obecnego modelu gospodarczego wpłynie przede wszystkim na poprawę stanu środowiska. Szacuje się, że dzięki ograniczeniu wykorzystania plastiku, redukcji ulegnie emisja gazów cieplarnianych o około 8 mln ton. Dzięki transformacji gospodarki, która wymaga współpracy wielu specjalistów z różnych dziedzin nauki, powstanie także około 300 000 nowych miejsc pracy, co pozytywnie wpłynie na PKB kraju i dobrobyt społeczeństwa [29].

3.1.5. Polska

Opracowana i wdrożona we wrześniu 2019 r. Mapa drogowa w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym [8] skupia ogół działań dotyczących tworzenia warunków dla rozwoju GOZ i tym samym ukierunkowana jest na rozwój kluczowych obszarów Polski, do których należą:

- zrównoważona produkcja przemysłowa,
- zrównoważona konsumpcja,
- biogospodarka,
- nowe modele biznesowe.

Nadrzędny cel mapy drogowej GOZ stanowi zabezpieczenie dostaw surowców w gospodarce narodowej, który wynika z niekontrolowanego wyczerpywania się nieodnawialnych surowców, ich rosnących cen oraz rosnącego uzależniania się kraju od eksportu [30]. W obszarze biogospodarki wyznaczono cztery priorytetowe działania, w których skupiono się na kluczowych zagadnieniach:

- tworzenie warunków dla rozwoju biogospodarki,
- działania ukierunkowane na budowę lokalnych łańcuchów wartości oraz bazy surowcowej,
- działania w obszarze energetyki,
- działania w obszarze transformacji przemysłu [8].

W mapie drogowej GOZ Polski podkreślono znaczenie działań zacieśniających współpracę przemysłu z sektorem nauki, czego efektem w przyszłości powinny być innowacyjne rozwiązania wdrażane w całej gospodarce. Kraj dąży również do stworzenia europejskiego rynku wysokiej jakości surowców wtórnych poprzez wprowadzanie zrównoważonej produkcji, jak również stwarzanie warunków dla efektywnego rozwoju sektora usług [8].

3.2. Pozycja Polski w produkcji energii z biomasy na tle wybranych krajów europejskich

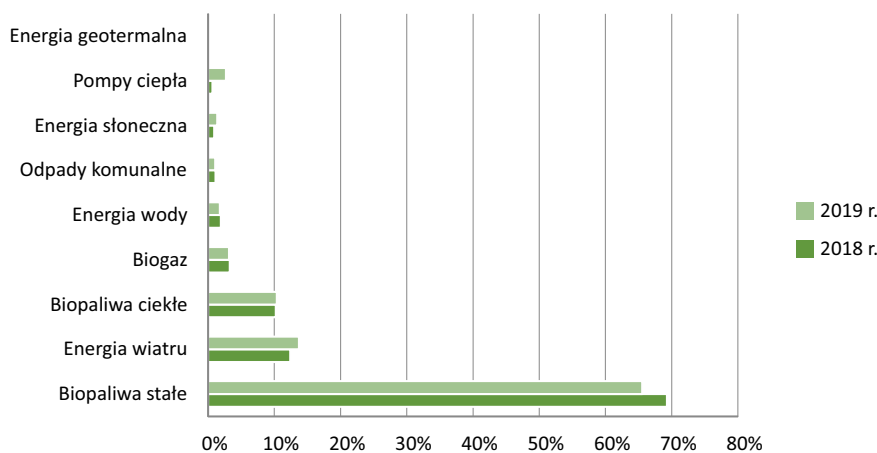
W Polsce, w mapie drogowej GOZ podkreślono, iż szczególną rolę w rozwoju biogospodarki odgrywa zarządzanie zasobami odnawialnymi. Polska posiada wysoki udział użytków rolnych (owies, pszenica, jęczmień, rzepak, ziemniaki, warzywa, owoce) sięgający około 14,7 mln ha, i 9,4 mln ha lasów, co łącznie stanowi prawie 80% całkowitej powierzchni kraju oraz 89,4% ogólnej powierzchni gospodarstw rolnych [31]. Na tle innych krajów członkowskich Polska uważana jest za kraj posiadający wysoki potencjał biomasy energetycznej. Wynika to z faktu posiadania przez Polskę wysokiego udziału gruntów, które są w dyspozycji polskiego rolnictwa. Rozwój rolnictwa oraz obszarów wiejskich, jak również rozwój energetyki odnawialnej w Polsce, bazującej przede wszystkim na



14–16 grudnia 2020

biomasie stałej (do której zalicza się m.in. drewno odpadowe z lasów oraz słomę), są silnie ze sobą skorelowane [32]. Oprócz rolnictwa, biomasę w Polsce pozyskuje się również z leśnictwa (obejmującego produkcję drewna oraz pełniącego funkcję rekreacyjną), ogrodnictwa i przemysłu drzewnego [33]. Ponadto uwarunkowania rolno-środowiskowe w kraju umożliwiają uprawę roślin energetycznych na obszarze oszacowanym na 1,6–2,0 mln ha, a ich potencjał energetyczny szacowany jest na około 305,8 PJ/rocznie. Wykorzystanie wspomnianego potencjału może w znacznym stopniu przyczynić się do dywersyfikacji źródeł energii [34]. Zasoby biomasy mogą także zostać wykorzystane w biogazowniach [35].

Biomasa to najczęściej wykorzystywane źródło odnawialnej energii (OZE) w UE. Na rysunku 2 przedstawiono podział źródeł energii odnawialnej w Polsce w latach 2018–2019. W krajowym pozyskaniu, jak również i wykorzystaniu energii odnawialnej, dominowały przede wszystkim biopaliwa stałe. Ich udział w pozyskaniu energii z OZE w 2019 r. kształtował się na poziomie 65,56% [36, 37].



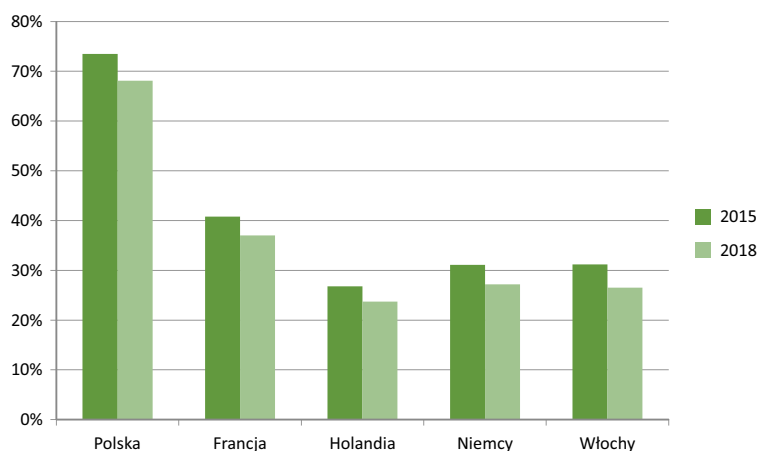
Rysunek 2.

Struktura pozyskiwania energii z OZE w Polsce w latach 2018–2019 [36, 37]

W 2019 r. wskaźnik udziału OZE w końcowym zużyciu energii brutto wzrósł w skali roku o 0,70% do poziomu 12,18% [37]. W omawianym okresie (lata 2018–2019) wzrósł także udział energii wiatru z 12,40% do 13,72%, energii słonecznej z 0,93% do 1,40% oraz biopaliw ciekłych z 10,20% do 10,36%, natomiast spadł udział biopaliw stałych, biogazu, wody, odpadów komunalnych oraz energii geotermalnej. Zmiany w zakresie wykorzystania biomasy na celom OZE są powodowane systematycznym wdrażaniem prawa unijnego, oraz próbą dostosowania do progów określonych w dyrektywie w sprawie odnawialnych źródeł energii [38]. W ostatnich latach Polska podjęła szereg działań mających na celu stworzenie zachęt do wzrostu wykorzystania OZE we wszystkich sektorach gospodarki. Z kolei rozpatrując udział energii biopaliw stałych w pozyskaniu energii z OZE w Polsce i innych krajach UE, należy zaznaczyć, iż jest on niemal dwukrotnie większy, jednak systematycznie spadał od 2015 r. [36, 39]. Największy spadek udziału energii biopaliw stałych w pozyskiwaniu OZE w analizowanych krajach (Polska, Niemcy, Włochy, Francja) nastąpił



14–16 grudnia 2020



Rysunek 3.

Udział energii biopaliw stałych w pozyskaniu energii z OZE w 2015 r. i 2018 r. [36, 39]

w Polsce (5,5%) oraz we Włoszech (4,6%), z kolei w Niemczech i Francji (po 3,8%). Na rysunku 3 przedstawiono udział energii biopaliw stałych w pozyskaniu energii z OZE w badanych krajach UE. Komisja Europejska od wielu lat podkreśla rolę biomasy i biopaliw w produkcji OZE w strategiach na rzecz wzrostu gospodarczego (Europa 2020 oraz EZŁ). Wynika to z konieczności zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego oraz dążenia do realizacji ambitnych celów EZŁ, w tym osiągnięcia neutralności klimatycznej w Europie do 2050 r. [17]. Do 2020 r. zakładano 20% w 2020 r. i co najmniej 32% w 2030 r.

4. Dyskusja

Biogospodarka to jeden z kluczowych obszarów wdrażania modelu GOZ w UE [12]. Prace nad koncepcją biogospodarki rozpoczęto już pod koniec XIX w. [40]. Enriquez i Martinez w 1998 r. zdefiniowali biogospodarkę jako działalność gospodarczą skupiającą się na procesach i mechanizmach na poziomie molekularnym, w celu wdrożenia ich w określonych procesach przemysłowych. Dynamiczny rozwój sektora nauki sprawił, iż biogospodarka zyskiwała coraz szersze grono zwolenników. Szczególną uwagę przywiązywano do występującej symbiozy pomiędzy biogospodarką a środowiskiem naturalnym. Dzięki wsparciu organów unijnych, od 2010 r. nastąpił dynamiczny rozwój biogospodarki. W sporządzonym przez KE w 2010 r. dokumencie *Bioeconomy for Europe* [41] przedstawiono modele opierające się na procesach biologicznych, które zachodzą w ekosystemach. We wspomnianych procesach minimalne ilości energii wykorzystuje się do przetwarzania zasobów naturalnych bez generowania przy tym odpadów, które wytworzone w jednym procesie, są wykorzystywane w kolejnym jako cenny surowiec. W 2018 r. KE wskazała szczegółowy zakres prac nad biogospodarką, który stanowi rozszerzenie strategii na rzecz biogospodarki w UE z 2012 r. [9].



14–16 grudnia 2020

Wskazano, że biogospodarka swoim zasięgiem obejmuje wszystkie sektory oraz systemy, które opierają się na zasobach biologicznych, ich funkcjach, jak również zasadach w nich panujących. Biogospodarka obejmuje oraz łączy także ekosystemy lądowe, morskie i usługowe, wszystkie sektory gospodarcze i przemysłowe wykorzystujące zasoby i procesy biologiczne do produkcji żywności, bioproduktów, pasz, energii oraz usług [42].

Obecnie, zadania z zakresu biogospodarki są spójne z procesem wdrażania modelu GOZ w UE i na świecie. Przejście na GOZ jest kluczowym projektem transformacji ekologicznej i społecznej w wielu krajach. Dzięki ograniczeniu wykorzystania tworzyw sztucznych oraz recyklingowi ograniczeniu ulegnie emisja gazów cieplarnianych. Państwa członkowskie są zobowiązane do realizacji założeń zawartych w mapach drogowych GOZ, które w oparciu o postulaty zrównoważonego rozwoju stwarzają wiele możliwości i korzyści na przyszłość, w tym: oszczędności materiałowe, zmniejszając tym samym narażenie społeczności na zmienność cen, zwiększenie potencjału inicjowania i tworzenia wielu nowych miejsc pracy, zwiększenie odporności gospodarki i organizmów żywych. Te i wiele innych argumentów przemawiają za potrzebą przejścia z gospodarki liniowej na gospodarkę GOZ, w której produkty, komponenty i materiały są zawsze utrzymywane w najwyższej użyteczności i wartości, rozróżniając cykle techniczne i biologiczne [8].

W Polsce, przekrojowy i międzysektorowy charakter biogospodarki sprawia, że nie ma możliwości wskazania jednego resortu (na poziomie centralnym) odpowiedzialnego za realizację działań na rzecz rozwoju biogospodarki w kraju. Z tego powodu podjęto działania ukierunkowane na tworzenie warunków dla rozwoju biogospodarki, z identyfikacją rekomendowanych organów, które powinny brać udział w kształtowaniu i rozwoju biogospodarki w kraju, w tym:

- stworzenie stałego zespołu w gronie dyrektorów departamentów z resortów odpowiedzialnych za poszczególne obszary biogospodarki – minister właściwy do spraw gospodarki we współpracy z ministrem właściwym do spraw rolnictwa, rozwoju wsi i rynków rolnych, ministrem właściwym do spraw środowiska, ministrem właściwym do spraw szkolnictwa wyższego i nauki, ministrem właściwym do spraw energii, ministrem właściwym do spraw rybołówstwa oraz ministrem właściwym do spraw gospodarki wodnej,
- przegląd obowiązujących regulacji i stworzenie jednolitych wymagań/norm dla biomasy – minister właściwy do spraw środowiska we współpracy z ministrem właściwym do spraw gospodarki, ministrem właściwym do spraw energii i ministrem właściwym do spraw rolnictwa, rozwoju wsi i rynków rolnych,
- analiza potencjału podaży biomasy na poziomie krajowym i regionalnym, poprzedzona opracowaniem odpowiedniej metodyk – minister właściwy do spraw rolnictwa, rozwoju wsi i rynków rolnych, we współpracy z ministrem właściwym do spraw środowiska i ministrem właściwym do spraw rybołówstwa,
- identyfikacja priorytetów badań, rozwoju i innowacji (B+R+I) dla rozwoju biogospodarki w Polsce – minister właściwy do spraw nauki i spraw szkolnictwa wyższego, we współpracy z ministrem właściwym do spraw gospodarki oraz ministrem właściwym do spraw rolnictwa, rozwoju wsi i rynków rolnych [8].

Kolejne rekomendowane działania w Polsce w obszarze biogospodarki obejmują analizę możliwych zmian w systemie podatkowym oraz działania, które powinny w większym stopniu koncentrować się na konkurencyjności firm, które działają w oparciu o cyrkularne modele biznesowe [30]. Podkreśla się także wolę tworzenia lokalnych łańcuchów wartości oraz bazy surowcowej



na terenach skupionych wokół lokalnych biorafinerii, produkujących wysokiej jakości biosurowce o określonej ilości, adekwatnej do zapotrzebowania na rynku. W mapie drogowej GOZ podkreślono także znaczenie kaskadowego wykorzystania biomasy, która w pierwszej kolejności powinna zostać wykorzystana na cele przemysłu spożywczego oraz chemicznego, kolejno na potrzeby przemysłu farmaceutycznego, papierniczego, budowlanego oraz jako surowiec do produkcji nawozów organicznych. Na cele energetyczne powinny zostać wykorzystane jedynie pozostałości biomasy. Należy zaznaczyć, iż priorytetem powinna być produkcja biopaliw oraz biogazu. W dokumencie zawarto także działania zorientowane na transformację przemysłu, w którym szczególną uwagę poświęcono biotechnologii, która została wymieniona przez KE, jako jedna z kluczowych technologii dla dalszego rozwoju nie tylko Polski, ale i całej Europy [8].

W Polsce przewidywany rozwój biogospodarki opiera się na dużych zasobach biomasy, co przekłada się w znacznym stopniu na produkcję energii pierwotnej, cieplnej oraz elektrycznej. Biomasa powinno się wykorzystywać wyłącznie w sposób zrównoważony w technologiach, które zapewniają jej konkurencyjność ekonomiczną. Należy podkreślić, iż wykorzystanie potencjału biomasy nie nastąpi samoistnie. Wymaga wprowadzenia radykalnych zmian systemowych w wielu sektorach, inwestycji, a także innowacyjnych pomysłów. Oznacza to, że zwiększenie zdolności do wykorzystania szans, jakie zapoczątkowały innowacyjne produkty, przełoży się na tworzenie nowych miejsc pracy na poziomie lokalnym (przede wszystkim na terenach wiejskich), przy jednoczesnym utrzymaniu rentowności i nadaniu kwestiom związanym z GOZ i zrównoważonym rozwojem priorytetowego znaczenia [43, 44].

5. Wnioski

Rozwój biogospodarki i jej wykorzystanie podczas tworzenia strategii rozwoju, jak również realizacji polityki rozwoju gospodarczego i przemysłu, zarówno na poziomie UE, jak i poszczególnych państw członkowskich, ma znaczenie dla dalszych działań w zakresie:

- rozwoju i funkcjonowania sektorów: rolnictwa, agrobiznesu oraz obszarów wiejskich,
- formułowania inteligentnych specjalizacji w rozwoju poszczególnych krajów i regionów,
- kierowania oraz wspierania badań naukowych, wdrożeń i innowacji,
- wzmocnienia konkurencyjności europejskich krajów oraz sektorów gospodarki tworzących kompleks biogospodarki w skali międzynarodowej i globalnej.

Biogospodarka ma bezpośredni wpływ na zmniejszanie zależności od zasobów naturalnych oraz reagowania na zmiany klimatyczne, a tym samym na wdrażanie modelu GOZ. Biogospodarka spełnia ważną funkcję integracyjną dla różnych sektorów gospodarki, a jej rozwój może przyczynić się do podnoszenia międzynarodowej konkurencyjności krajów europejskich. Z tego powodu większość państw UE koncentruje się na dokonywaniu radykalnych zmian w podejściu do użytkowania zasobami biologicznymi.

W Polsce sektor rolnictwa, jak również przemysłu spożywczego, są kluczowymi obszarami wspierającymi rozwój biogospodarki. Rola pozostałych sektorów przemysłowych oraz energetyki jest silnie powiązana z biogospodarką. Na tle innych krajów członkowskich Polska wyróżnia się



14–16 grudnia 2020

wysokim potencjałem biomasy energetycznej. Jest to skutkiem posiadania przez kraj wysokiego udziału gruntów rolnych będących w dyspozycji polskiego rolnictwa. Jego rozwój, jak również obszarów wiejskich i energetyki odnawialnej w Polsce, bazującej przede wszystkim na biomasie stałej, są ze sobą skorelowane. Umiejętne wykorzystania istniejącego potencjału surowca w znacznym stopniu przyczyni się do stworzenia przewagi konkurencyjnej poszczególnych regionów Polski na tle krajów UE. Z tego powodu strategie rozwoju całej gospodarki i poszczególnych sektorów powinny uwzględniać uwarunkowania, potrzeby i możliwości rozwoju biogospodarki.

Podziękowania

Praca została sfinansowana w ramach projektu MonGOS – „Monitorowanie gospodarki wodno-ściekowej w kontekście wdrażania założeń gospodarki o obiegu zamkniętym”, finansowanego przez Narodową Agencję Wymiany Akademickiej (NAWA) w ramach Programu Akademickie Partnerstwa Międzynarodowe (2020–2022).



LITERATURA

- [1] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Ku gospodarce o obiegu zamkniętym: program „zero odpadów” dla Europy 2014 (COM nr 398).
- [2] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Zamknięcie obiegu – plan działania UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym 2015 (COM nr 614).
- [3] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Nowy plan działania UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym na rzecz czystszej i bardziej konkurencyjnej Europy 2020 (COM nr 98).
- [4] Smol, M., Duda, J., Czaplicka-Kotas, A., Szołdrowska, D. 2020. Transformation towards Circular Economy (CE) in Municipal Waste Management System: Model Solutions for Poland. *Sustainability* 12, 4561. DOI: 10.3390/su12114561.
- [5] Ministerstwo Rozwoju, Pracy i Technologii. Realizacja Celów Zrównoważonego Rozwoju w Polsce. Raport 2018, 2018.
- [6] European Circular Economy Stakeholder Platform. Online: <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/dialogue/existing-eu-platforms> [Dostęp: 30.03.2021].
- [7] Gostomczyk, W. 2013. Udział biomasy energetycznej w realizacji idei zrównoważonego rozwoju. *Studia KPZK* 152, 382–401.
- [8] Ministerstwo Rozwoju. Mapa Drogowa Transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym, 2019.
- [9] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Innowacje w służbie zrównoważonego wzrostu: biogospodarka dla Europy 2012 (COM nr 60).
- [10] McCormick, K., Kautto, N. 2013. The Bioeconomy in Europe: An Overview. *Sustainability* 5, 2589–2608. DOI: 10.3390/su5062589.
- [11] Ministerstwo Rozwoju, Pracy i Technologii. Gospodarka o obiegu zamkniętym. Online: www.gov.pl/web/rozwoj-praca-technologie/gospodarka-o-obiegu-zamknietym [Dostęp: 01.06.2021].



14–16 grudnia 2020

- [12] Marcinek, P., Smol, M. 2020. Bioeconomy as one of the key areas of implementing a circular economy (CE) in Poland. *Environmental Research, Engineering and Management* 76, 20–31. DOI: 10.5755/j01. erem.76.4.27536.
- [13] Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej. Opinia Komitetu Regionów „Innowacje w służbie zrównoważonego wzrostu: biogospodarka dla Europy”, 2013 (2013/C 017/09).
- [14] Komunikat Komisji Europejskiej. EUROPA 2020 Strategia na rzecz inteligentnego i zrównoważonego rozwoju sprzyjającego włączeniu społeczeństwa 2010 (COM nr 2020).
- [15] Parlament Europejski. Polityka innowacyjności, 2020. Online: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/pl/sheet/67/polityka-innowacyjnosci> [Dostęp: 22.04.2021].
- [16] Chytek, E.K., Rzepecka, M. 2011. Biogospodarka – konkurencyjność i zrównoważone wykorzystanie zasobów. *Polish Journal of Agronomy* 7, 3–13.
- [17] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Europejski Zielony Ład 2019 (COM nr 640).
- [18] Raport Departamentu Rolnictwa Stanów Zjednoczonych. Green Deal Strategies for the EU Agri-Food Sector Present a Politically Ambitious Policy Roadmap, 2020.
- [19] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Strategia „od pola do stołu” na rzecz sprawiedliwego, zdrowego i przyjaznego dla środowiska systemu żywnościowego 2020 (COM nr 381).
- [20] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Unijna strategia na rzecz bioróżnorodności 2030. Przywracanie przyrody do naszego życia 2020 (COM nr 380).
- [21] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Europejski Pakt na rzecz Klimatu 2020 (COM nr 788).
- [22] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Nowa strategia przemysłowa dla Europy 2020 (COM nr 102).
- [23] Government of the Netherlands. A circular economy in the Netherlands by 2050, 2016.
- [24] Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety. German Resource Efficiency Programme II – Programme for the sustainable use and conservation of natural resources, 2016.
- [25] Federal Ministry for the Environment. Circular Economy Roadmap for Germany, 2021.
- [26] Ministry for the Environment Land and Sea, Ministry for Economic Development. Towards a Model of Circular Economy for Italy – Overview and Strategic Framework, 2017.
- [27] Rząd włoski. Nowa Strategia Biogospodarki, 2017.
- [28] Ministry for Ecological and Solidary Transition. Circular Economy roadmap of France: 50 measures for a 100% circular economy, 2018.
- [29] Raport Europejskiej Agencji Środowiska. Efektywne gospodarowanie zasobami i gospodarka o obiegu zamkniętym w Europie 2019 – jeszcze więcej za mniej, 2019 (nr 26/2019). DOI: 10.2800/331070.
- [30] Smol, M., Marcinek, P., Koda, E. 2021. Drivers and Barriers for a Circular Economy (CE) Implementation in Poland—A Case Study of Raw Materials Recovery Sector. *Energies* 14, 2219. DOI: 10.3390/en14082219.
- [31] Główny Urząd Statystyczny (GUS). Użytkowanie gruntów i powierzchnia zasiewów w 2018 r., 2019.
- [32] Jasiulewicz, M. 2015. Produkcja energii z Agro biomasy w Polsce na tle wybranych krajów Unii Europejskiej. *Roczniki Naukowe. Stowarzyszenie Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu* 17, 94–99.
- [33] Wyszomierski, R., Bórawski, P., Jankowski, K. 2018. Pozycja Polski w produkcji energii z biomasy na tle innych krajów Unii Europejskiej. *Roczniki Naukowe. Stowarzyszenie Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu* 20, 177–183. DOI: 10.22004/ag.econ.293696.
- [34] Jarosz, Z. 2017. Potencjał energetyczny biomasy roślinnej i możliwości wykorzystania do celów ener-



14–16 grudnia 2020

- getycznych. *Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Problemy Rolnictwa Światowego* 17, 81–92. DOI: 10.22630/PRS.2017.17.2.28.
- [35] Bartoszewicz-Burczy, H. 2012. Potencjał i energetyczne wykorzystanie biomasy w krajach Europy Środkowej. *Energetyka* 12, 860–866.
- [36] Główny Urząd Statystyczny (GUS). Energia ze źródeł odnawialnych w 2018 r., 2019.
- [37] Główny Urząd Statystyczny (GUS). Energia ze źródeł odnawialnych w 2019 r., 2020.
- [38] Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE, 2009.
- [39] Główny Urząd Statystyczny (GUS). Energia 2015, 2015.
- [40] Enriquez, J. 1998. Genomics and the World's Economy. *American Association for the Advancement of Science* 281, 925–926. DOI: 10.1126/science.281.5379.925.
- [41] Komisja Europejska. Bioeconomy for Europe, 2010.
- [42] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Zrównoważona biogospodarka dla Europy: wzmocnienie powiązań między gospodarką, społeczeństwem i środowiskiem 2018 (COM nr 673).
- [43] Banaszuk, P., Wysocka-Czubaszek, A., Czubaszek, R., Roj-Rojewski, S. 2015. Skutki energetycznego wykorzystania biomasy. *Wiś i Rolnictwo* 4, 139–152.
- [44] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Odnowiony europejski program na rzecz badań i innowacji – szansa Europy na ukształtowanie własnej przyszłości 2018 (COM nr 306).



*Justyna KOC-JURCZYK**

*Łukasz JURCZYK**

Gospodarka osadami ściekowymi jako narzędzie gospodarki o obiegu zamkniętym

STRESZCZENIE: Osady powstające w oczyszczalniach ścieków komunalnych stanowią około 3% objętości dopływających ścieków, a koszt ich przeróbki i zagospodarowania może stanowić nawet połowę kosztów eksploatacyjnych obiektu. Na ilość i jakość osadów powstających podczas procesów oczyszczania ścieków wpływają m.in. zmiany demograficzne, rodzaj i skład ścieków dopływających na oczyszczalnię, stężenie zanieczyszczeń w ściekach surowych czy technologia ich oczyszczania. Głównym celem odzysku osadów ściekowych jest maksymalne wykorzystanie ich właściwości agronomicznych oraz potencjału nawozowego, czyli zawartych w nich składników pokarmowych, takich jak azot czy fosfor, oraz mikroelementów, przy zapewnieniu odpowiedniego bezpieczeństwa środowiskowego, w tym m.in. ochrony gleb i wód. W Polsce rocznie powstaje 1048,7 tys. ton suchej masy osadów ściekowych, a od 2016 r. nie wolno ich kierować na składowiska odpadów. Wśród metod zagospodarowania najpowszechniejsza jest ich termiczna utylizacja – 195,7 tys. ton rocznie. Na drugim miejscu – 141,9 tys. ton rocznie, wykorzystanie w rolnictwie. Znaczna część osadów ściekowych jest stosowana również pod uprawy, do produkcji kompostu czy do rekultywacji gruntów. Jednak najważniejszym trendem, jaki promuje Unia Europejska, wpisującym się w założenia gospodarki o obiegu zamkniętym, jest odzysk cennych pierwiastków ze ścieków, głównie fosforu, którego źródłem w ściekach są gospodarstwa domowe oraz przemysł. W Polsce fosfor pozyskuje się z popiołów po termicznym zagospodarowaniu osadów. Później jest on przekazywany m.in. do produkcji nawozów.

SŁOWA KLUCZOWE: osady z oczyszczalni ścieków, termiczna utylizacja, odzysk fosforu

1. Wprowadzenie

Europejski Zielony Ład jest strategią, dzięki której Europa do 2050 r. ma się stać kontynentem neutralnym dla klimatu. Dzięki ekologicznym technologiom, przyczyni się do ożywienia gospodarki,

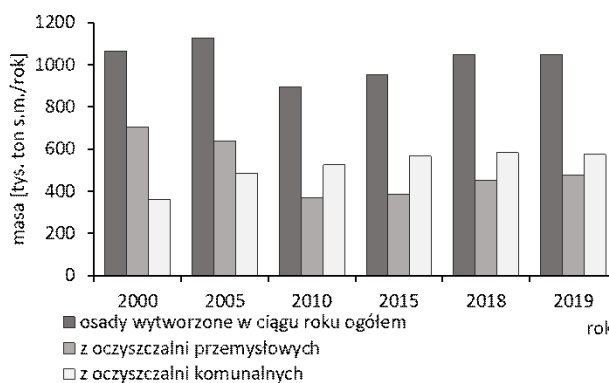
* Uniwersytet Rzeszowski, Instytut Nauk Rolniczych, Ochrony i Kształtowania Środowiska; e-mail: jjurczyk@ur.edu.pl, ljurczyk@ur.edu.pl



14–16 grudnia 2020

zapewni zrównoważony przemysł i transport oraz ograniczy zanieczyszczenia. Jest to zbiór inicjatyw politycznych Komisji Europejskiej, umożliwiające bardziej efektywne wykorzystanie zasobów dzięki przeciwdziałaniu utracie różnorodności biologicznej, zmniejszeniu poziomu zanieczyszczeń oraz przejściu na czystą gospodarkę o obiegu zamkniętym. Osiągnięcie tego celu będzie wymagało działań w wielu sektorach gospodarki, m.in. w inwestycjach w technologie przyjazne dla środowiska. Gospodarka o obiegu zamkniętym jest coraz częściej traktowana jako model gospodarczy, który może zastąpić obecną gospodarkę „liniową”, zajmując się kwestiami m.in. degradacji środowiska. W 2015 r. Komisja Europejska przyjęła plan działania dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym, który obejmuje cały cykl: od produkcji i konsumpcji po gospodarkę odpadami i rynek surowców wtórnych. W kontekście efektywnej realizacji celów gospodarki o obiegu zamkniętym, szczególnie znaczenie należy przywiązywać do gospodarki osadowej, ze względu na możliwość odzyskiwania z osadów ściekowych cennych surowców [1].

Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach [2] określa zasady postępowania z odpadami, w tym również komunalnymi osadami ściekowymi, o ile spełniają definicję odpadów. Komunalne osady ściekowe nie są objęte żadnym wyłączeniem spod stosowania przepisów o odpadach, które zawiera art. 2 ustawy o odpadach, a w szczególności nie stanowią ścieków ani biomasy. Gospodarka osadami ściekowymi jest tematem, który wymaga skutecznych rozwiązań. Jako produkt uboczny oczyszczania ścieków, osady stanowią około 3% ich objętości, a koszt przeróbki i zagospodarowania może stanowić nawet połowę kosztów eksploatacyjnych oczyszczalni ścieków [3]. W Polsce w roku 2019 wytworzono 1048,7 tys. ton suchej masy osadów ściekowych, w tym blisko 55% stanowiły osady wytworzone w komunalnych oczyszczalniach ścieków. Dla porównania, w 2000 r. masa wytworzonych osadów komunalnych stanowiła 33,8%. Może to być spowodowane zmniejszeniem ilości oczyszczalni przemysłowych oraz ilości wytwarzanych ścieków przemysłowych [4] (rys. 1).



Rysunek 1.

Masa osadów ściekowych wytworzonych w Polsce w latach 2000–2019 [4]

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 2 stycznia 2020 r. w sprawie katalogu odpadów [5], osady ściekowe powstające w komunalnych oczyszczalniach ścieków mogą być klasyfikowane następująco:

- 19 08 05 – ustabilizowane komunalne osady ściekowe (jeżeli osady ściekowe w celu stosowania ich na powierzchni ziemi zostały poddane stabilizacji, tj. obróbce biologicznej, che-

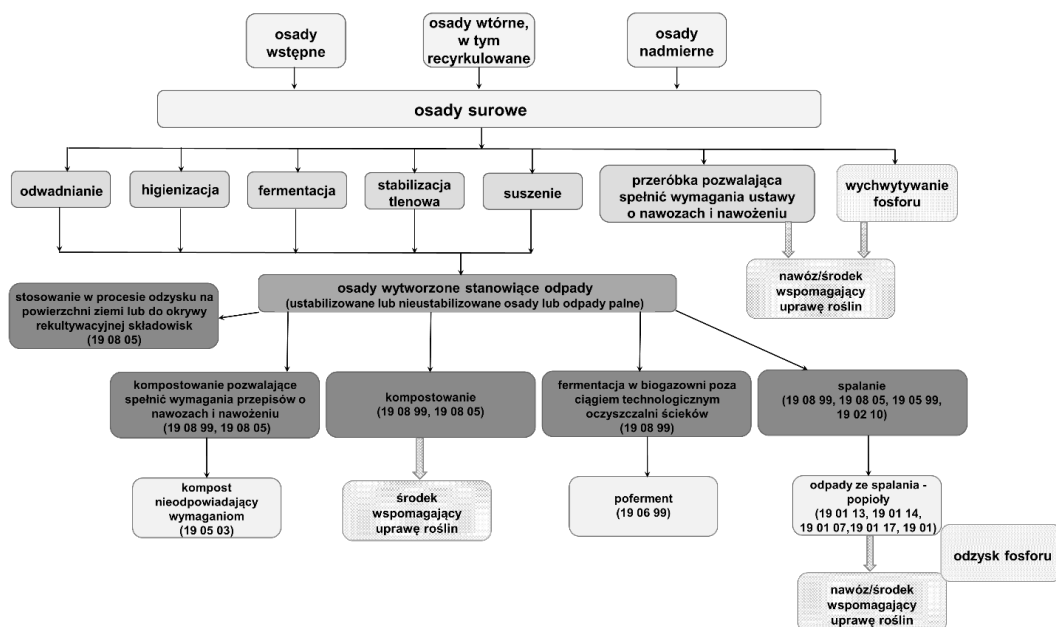


14–16 grudnia 2020

micznej, termicznej lub innemu procesowi, który obniża podatność komunalnych osadów ściekowych na mineralizację (zagniwanie),

- 19 08 99 – inne niewymienione odpady (jeżeli osady ściekowe nie zostały poddane stabilizacji, tj. obróbce biologicznej, chemicznej, termicznej lub innemu procesowi, który obniża podatność komunalnych osadów ściekowych na mineralizację (zagniwanie),
- 19 05 99 – inne niewymienione odpady z tlenowego rozkładu odpadów stałych (jeżeli osady ściekowe zostały poddane obróbce biologicznej).

W celu prawidłowego gospodarowania osadami ściekowymi ważne jest rozstrzygnięcie kiedy, mamy do czynienia z osadami będącymi integralną częścią ścieków, poddawanych procesom przeróbki w ramach ciągu technologicznego w oczyszczalni, a kiedy osady stają się odpadami i mogą zostać zaklasyfikowane jako odpady o odpowiednim kodzie i są przetwarzane w rozumieniu przepisów o odpadach. Na rysunku 2 przedstawiono schemat przeróbki osadów w oczyszczalniach ścieków komunalnych wraz z procesami ich przetwarzania.



Rysunek 2.

Schemat przeróbki osadów w oczyszczalni ścieków oraz procesów przetwarzania komunalnych osadów ściekowych jako odpadów [6]

Charakterystyka ilościowa i jakościowa osadów powstających podczas procesów oczyszczania ścieków jest zmienna. Czynnikiem wpływającym na taki stan rzeczy są zmiany demograficzne, ale również: rodzaj i skład ścieków dopływających na oczyszczalnię, stężenie zanieczyszczeń w ściekach surowych, technologia oczyszczania ścieków, indeks osadu i jego wiek, właściwości reologiczne, wartość opałowa. Duży wpływ na zróżnicowanie właściwości ma również pora roku, stopień oczyszczania ścieków, reagenty stosowane podczas przeróbki osadów (szczególnie do strącenia fosforu, powodując wzrost ilości powstających osadów o 25–35%), stopień rozkładu substancji organicznych



(podczas stabilizacji) oraz stopień odwodnienia. Podstawowymi parametrami biologicznymi, opisującymi wytwarzane osady, są podatność na biologiczny rozkład (tlenowy lub beztlenowy), zagniwalność czy ocena sanitarna. Do parametrów chemicznych charakteryzujących powstające osady zaliczamy: suchą masę organiczną, pH, związki nawozowe (azot, fosfor oraz potas), węgiel organiczny oraz substancje toksyczne (metale ciężkie, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, adsorbowalne organicznie związane chlorowce, polichlorowane bifenole, furany, dioksyny i inne). Osady ściekowe odznaczają się zawartością węgla organicznego powyżej 5%. Z kolei średnia zawartość azotu wynosi 2,5%, a stosunek C:N przyjmuje wartość 10–13:1. Maksymalna zawartość fosforu w osadach ściekowych dochodzi do 9% s.m. (średnio 3% s.m.). Jest to korzystne przy ich rolniczym wykorzystaniu (użyźnianiu gleby). Jednak z powodu ciągle zaniżanych dopuszczalnych stężeń metali ciężkich w osadach, możliwość rolniczego i przyrodniczego wykorzystania osadów ściekowych staje pod dużym znakiem zapytania [7–10]. Należy również pamiętać o tym, że zapisy zawarte w Ustawie Prawo Wodne [11] wymuszają rozbudowę sieci kanalizacyjnej i budowę bądź modernizację znacznej ilości oczyszczalni ścieków, czego konsekwencją będzie zwiększenie strumienia osadów ściekowych.

Najważniejszym etapem w procesie przeróbki osadów ściekowych jest usunięcie wody w nich występującej. Umożliwia to kilkukrotne zmniejszenie objętości osadu. W zależności od miejsca powstawania osadu w układzie technologicznym oczyszczania ścieków, stopień jego uwodnienia ulega ciągłym wahaniom. W przypadku surowych osadów może wynosić nawet ponad 99%. Dla osadów pochodzących z osadników gnilnych parametr ten wynosi 93–95%, a w przypadku osadów zmieszanych 96–97,5%. Osad przefermentowany, odwodniony jest zaliczany do grupy o najmniejszym uwodnieniu – około 70% [7, 10]. Zróżnicowane uwodnienie wpływa na zmianę konsystencji osadów, a to określa warunki ich transportowania.

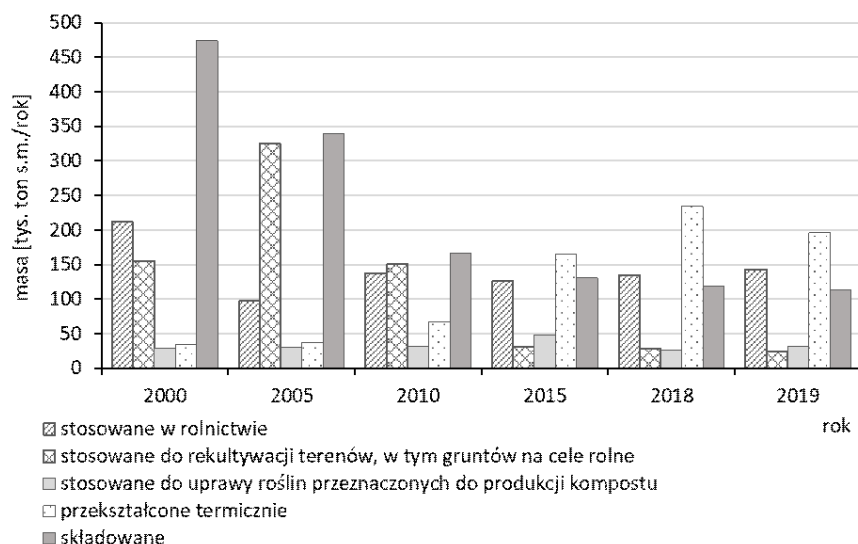
Rosnące ilości osadów ściekowych, związane głównie z realizacją Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK) [12], stanowią ważny społecznie, ekologicznie i technicznie problem, który przy złych rozwiązaniach może zagrażać bezpieczeństwu sanitarnemu kraju. Obok budowy nowych instalacji (od 2000 r. objętość ścieków nieoczyszczonych odprowadzanych do wód i do ziemi obniżyła się z 250,5 do 6,7 hm³ w 2019 r.) zmianom ulegają również stosowane technologie. W 2000 r. objętość ścieków oczyszczanych mechanicznie wynosiła 84,8 hm³, a w 2019 – 0,3 hm³. Spowodowane jest to modernizacją istniejących oczyszczalni i zastąpieniem tradycyjnych metod mechanicznych i biologicznych znacznie wydajniejszymi instalacjami wykorzystującymi podwyższone usuwanie biogenów. Nie pozostało to również bez wpływu na jakość ścieków oczyszczonych, a tym samym – na ilość powstających osadów ściekowych [4, 10]. Ważna jest nie tylko wzrastająca ilość, ale również zmieniająca się jakość osadów ściekowych. Fosfor stanowi podstawowy makroelement w środowisku, jednak gdy wysokie ładunki substancji biogenych (fosforu i azotu) są odprowadzane do wód, powodują eutrofizację. Eutrofizacja jest jednym z podstawowych powodów pogorszenia stanu zasobów wodnych. Konieczność redukcji coraz wyższych ładunków substancji biogenych i związanych z tym coraz ostrzejszych kryteriów jakościowych dla ścieków odprowadzanych do wód, powoduje, że na oczyszczalniach ścieków komunalnych powstają duże instalacje odzysku substancji biogenych, szczególnie fosforu [13]. Osady mogą być traktowane jako substraty poprzez recykling organiczny, związany z wykorzystaniem ich potencjału nawozowego i glebotwórczego, oraz recykling energetyczny i materiałowy, związany z wykorzystaniem właściwości paliwowych oraz minerałów pozostałych w odpadach po termicznym przekształceniu. Dlatego też celem pracy było przybliżenie możliwości odzysku fosforu z osadów ściekowych.



2. Analiza sposobów zagospodarowania osadów ściekowych

Na kolejnych etapach oczyszczania ścieków w oczyszczalni ścieków uzyskujemy komunalne osady ściekowe stanowiące odpady o różnych właściwościach. Odpady te mogą również być poddawane pośrednim procesom przetwarzania w celu zmiany ich właściwości i uzyskania odpadów o innych kodach. Końcowe zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych, rozumiane jako przetwarzanie, jest ostatnim etapem gospodarki osadowej, często nastrożającym najwięcej problemów operatorom oczyszczalni. Aby uniknąć tych problemów, należy już na etapie budowy lub modernizacji oczyszczalni ścieków precyzyjnie określić kierunek ostatecznego zagospodarowania osadów ściekowych oraz zaprojektować odpowiednie instalacje służące ich przeróbce w celu uzyskania pożądaných właściwości, pozwalających na bezpieczne dla środowiska ich zagospodarowanie.

Spośród metod zagospodarowania osadów ściekowych GUS [4] wymienia: stosowanie w rolnictwie, do rekultywacji terenów, w tym gruntów na cele rolne, do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu, przekształcanie termicznie oraz składowanie. W roku 2019 najczęściej osady ściekowe stosowano w rolnictwie oraz poddawano przekształcaniu termicznemu (odpowiednio 13,35 i 18,4%). Najmniej powszechną metodą zagospodarowania było stosowanie do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu. Na uwagę zasługuje fakt, że osady ściekowe coraz rzadziej są składowane. Odsetek osadów poddawanych temu procesowi obniżył się z 44% w roku 2000 do 10% w roku 2019 (rys. 3). Wynika to z faktu, że osady ściekowe, aby mogły być składowane, muszą spełniać wymagania zawarte w Załączniku nr 4 do Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 r. w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach [14]. Nie mogą jednak być selektywnie zbierane, ponieważ wyklucza to możliwość składowania ich na składowisku. A już wcześniej, Dyrektywa Rady 99/31/WE w sprawie składowania odpadów [15],



Rysunek 3.

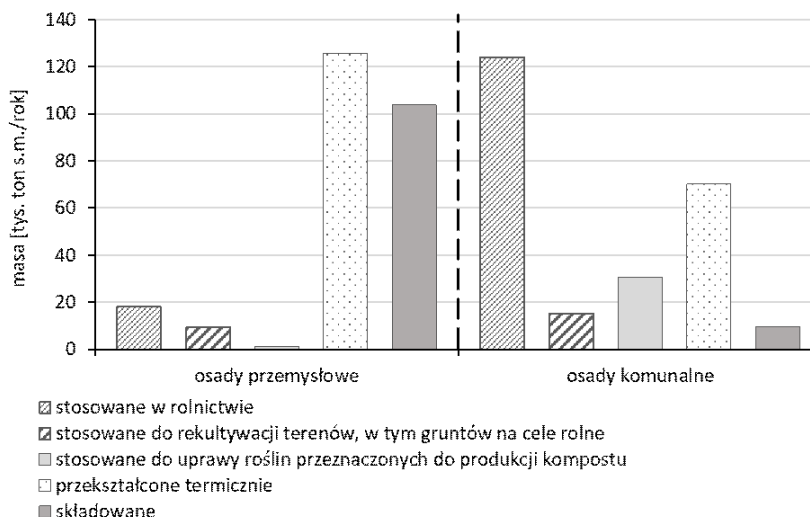
Metody zagospodarowania powstających w Polsce w latach 2000–2019 osadów ściekowych [4]



14–16 grudnia 2020

tw. dyrektywa składowiskowa, wprowadziła ograniczenia odnośnie do składowania odpadów, w tym osadów ściekowych.

Wybór odpowiedniego sposobu zagospodarowania osadów ściekowych jest bardzo ważny. Według danych GUS [4], w 2019 r. najczęściej osadów przemysłowych było składowanych oraz przetworzonych termicznie (odpowiednio 21,9 i 26,4%), najmniej zaś stosowanych do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu (1,1%). W przypadku osadów komunalnych, do stosowania w rolnictwie przekazano 21%, a termicznie przekształcono 12% (rys. 4). W Krajowym planie gospodarki odpadami 2022 przyjęto następujące cele: całkowite zaniechanie składowania komunalnych osadów ściekowych; zwiększenie ilości komunalnych osadów ściekowych przetwarzanych przed wprowadzaniem do środowiska oraz ilości krajowych osadów ściekowych poddanych termicznemu przekształcaniu; dążenie do maksymalizacji stopnia wykorzystania substancji biogennej zawartej w osadach, przy jednoczesnym spełnieniu wszystkich wymogów dotyczących bezpieczeństwa sanitarnego, chemicznego oraz środowiskowego [16, 17].



Rysunek 4.

Metody zagospodarowania powstających w Polsce osadów przemysłowych i komunalnych w 2019 roku [4]

Komunalne osady ściekowe mogą zawierać nie tylko cenne składniki nawozowe, ale również wiele szkodliwych substancji (np. metale ciężkie). Do związków szkodliwych i toksycznych występujących w osadach ściekowych możemy zaliczyć m.in. metale ciężkie, takie jak: chrom, cynk, kadm, miedź, nikiel, ołów, rtęć i inne. Wysoka zawartość metali ciężkich w komunalnych osadach ściekowych polskich oczyszczalni jest spowodowana zdolnością ich efektywnego kumulowania. Źródłem metali są głównie dopływające do oczyszczalni ścieki komunalne z zanieczyszczeniami przemysłowymi oraz ścieki przemysłowe. Znajdujące się w nich metale ciężkie w około 80–90% gromadzone są w osadach ściekowych [18]. Określenie osadów ściekowych mianem odpadów niebezpiecznych następuje w momencie, gdy:

- nie zostaną poddane unieszkodliwianiu i nie będą mogły zostać wykorzystane rolniczo;



14–16 grudnia 2020

- będą zawierać metale ciężkie (takie jak: ołów, kadm, chrom, miedź, nikiel, rtęć, cynk);
- przedostając się drogą pokarmową, oddechową lub wnikając przez skórę, mogą stwarzać ograniczone zagrożenie dla zdrowia;
- są zakaźne, czyli zawierają mikroorganizmy lub ich toksyny, co do których istnieje uzasadnione przypuszczenie negatywnego oddziaływania na zdrowie człowieka i inne żywe organizmy;
- stanowią lub mogą stanowić bezpośrednie lub opóźnione zagrożenie dla środowiska.

Ciągły wzrost ilości powstających komunalnych osadów ściekowych i jednocześnie ograniczenia w ich składowaniu powodują, że zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych stało się ważnym zagadnieniem sanitarnym, ekologicznym i technicznym. Wykorzystanie osadów ściekowych zawierających nadmierne ilości substancji szkodliwych do nawożenia gleb nie powinno mieć miejsca, ponieważ może spowodować wzrost zanieczyszczenia gleb, migrację do wód gruntowych, a także kumulację zanieczyszczeń w roślinach spożywanych przez zwierzęta i ludzi.

2.1. Osady źródłem fosforu

Najważniejszym trendem, jaki promuje Unia Europejska, wpisującym się w założenia gospodarki o obiegu zamkniętym, jest odzysk cennych pierwiastków ze ścieków. Źródłem fosforu w ściekach są zarówno gospodarstwa domowe (detergenty), jak i przemysł. W Polsce fosfor pozyskuje się z popiołów po termicznym zagospodarowaniu osadów. Później jest on przekazywany m.in. do produkcji nawozów. Metoda termicznego odzysku fosforu z osadów ściekowych jest kłopotliwa, ponieważ wymaga monospalarni. Istnieje szereg innych metod wykorzystania tego pierwiastka, bez konieczności budowy instalacji do termicznego przekształcania osadów. Najbardziej znaną technologią odzysku związków fosforu z osadów jest opracowany przez firmę Kemira proces KREPRO (Kemwater REcycling PROcess) polegający na termicznej hydrolizie osadów ściekowych w obecności kwasu siarkowego. Znane są modyfikacje powyższego procesu, takie jak: Cambi/KREPRO czy Kemicond, w wyniku których otrzymuje się fosforan żelaza (III) [19]. W metodzie opracowanej przez Seaborne Environmental Research Laboratory GmbH z osadów ściekowych można otrzymać struwit, w procesie kompleksowej przeróbki osadów ściekowych połączonej z oczyszczaniem biogazu oraz recyklingiem fosforu i azotu. Wodorofosforan wapnia można natomiast otrzymać w procesie Aqua Reci, polegającym na poddaniu osadów utlenianiu do produktów gazowych w obecności czystego tlenu w warunkach nadkrytycznych. Fosfor, zawarty w części nieorganicznej, wytrącony jest przy pomocy ługu sodowego [20]. Innym sposobem odzysku fosforu jest wytrącenie z ekstraktu wodorofosforanu wapnia, przy pomocy mleka wapiennego lub tlenku wapnia. Przy pH powyżej 4 następuje wytrącenie 90% jonów PO_4^{3-} , w roztworze pozostają jednak śladowe ilości metali. Podwyższenie pH do 7 pozwala na niemal 100% odzysk fosforu z ługów. Otrzymany precypitat można wykorzystać bezpośrednio do celów nawozowych lub paszowych przy zachowaniu kontroli zawartości metali ciężkich [21]. Jednak to odzysk fosforu z popiołów pozostałych po procesie spalania osadów ściekowych ma największy potencjał. Surowcami do odzysku fosforu na oczyszczalni ścieków są surowe ścieki, ciecze nadosadowe z odwadniania osadów ściekowych, odwodnione osady ściekowe lub popioły powstałe po spalaniu osadów ściekowych (tab. 1). Procent odzysku zmienia się od 15% dla ścieków, aż do 85% dla popiołu ze spalania osadów ściekowych [22].



14–16 grudnia 2020

Tabela 1.
Źródła fosforu na oczyszczalni ścieków [22]

Źródło fosforu	Ścieki oczyszczone	Ciecz osadowa	Odwodnione osady ściekowe	Popioły po spalaniu osadów
Forma występowania	rozpuszczona	rozpuszczona	biologicznie/ /chemicznie związany	chemicznie związany
Stężenie fosforu	< 0,5 mg/L	20–100 mg/L	10 g/kg s.m.	64 g/kg s.m.
Potencjał odzysku [%]	45–55	45–60	50–60	~90

Z przeglądu literatury wynika, że możliwe jest uzyskanie wyższego potencjalnego procentu odzysku. Największym potencjałem odzysku charakteryzuje się popiół powstały po spalaniu osadów ściekowych (90%), pozostałe metody wykazują efektywność procesów na poziomie około 50% [23]. Procesem pośrednim, mającym na celu przekształcenie osadów ściekowych w trwały produkt o zawartości 90% suchej masy, jest suszenie osadów ściekowych. Proces suszenia w wyniku obniżenia zawartości wody podnosi wartość kaloryczną osadu, która zależy również od zawartości substancji organicznej. Osad uwodniony w 50% i zawierający 50% materii organicznej ma wartość kaloryczną równą 4 MJ/kg, zaś osad, który zawiera 75% materii organicznej, przy tym samym uwodnieniu ma wartość kaloryczną na poziomie 6,5 MJ/kg. Aby spalanie przebiegało prawidłowo, zawartość wilgoci osadu ściekowego powinna wynosić maksymalnie 70% [24].

Obecnie w Polsce pracuje 11 monospalarni osadów ściekowych zlokalizowanych na terenie oczyszczalni ścieków w takich miastach jak: Łomża, Zielona Góra, Olsztyn, Gdynia Dębogórze, Szczecin, Bydgoszcz, Kielce, Kraków, Łódź, Gdańsk i Warszawa (rys. 5). Spalarnie te charakteryzują



Rysunek 5.
Mapa spalarni w Polsce wraz z ich wydajnością [25]



się sumaryczną wydajnością około 160 tys. Mg s.m./rok. Uwzględniono tutaj nominalną (projektowaną) wydajność wszystkich 11 spalarni, w tym największej w Polsce i jednej z większych w krajach UE spalarni osadów na terenie Oczyszczalni Ścieków „Czajka” w Warszawie. W 2017 roku teoretyczny udział monospalania osadów w ich zagospodarowaniu wynosił około 27%. Rzeczywista wydajność krajowych monospalarni może sięgać około 50% albo nawet mniej, w odniesieniu do ich nominalnej wydajności. W dużych spalarniach razem z osadami ściekowymi spalane są skratki, tłuszcze i inne odpady z procesu oczyszczania ścieków komunalnych, jednak stwarza to wiele problemów eksploatacyjnych.

Niektóre spalarnie poduszają osady tylko do wymaganej granicy ich autotermicznego spalania (~33%), co jest charakterystyczne dla instalacji pracujących w technologii fluidalnej (Bydgoszcz, Gdańsk, Gdynia, Kielce, Kraków, Łódź, Warszawa). W instalacjach z technologią rusztową (Łomża, Olsztyn, Szczecin, Zielona Góra) osady suszone są całkowicie, do około 90% s.m., i w tej postaci spalane. Podczas procesu spalania, wartość opałowa osadów jest całkowicie wykorzystana, a ich objętość maksymalnie zredukowana [25]. Monospalanie osadów ściekowych z następującym po nim odzyskiem fosforu jest obecnie szczególnie efektywną metodą recyklingu osadów ściekowych. Należy jednak pamiętać, że obróbka termiczna niszczy zanieczyszczenia organiczne zawarte w osadach ściekowych i zabija ewentualne patogeny. Spalanie osadów ściekowych rozkłada związki organiczne, w tym potencjalnie toksyczne substancje, koncentrując zawartość fosforu. Popioły powstałe w wyniku spalania osadów ściekowych zawierają około 20% pentatlenku difosforu [26]. Nie do końca jest jednak znana forma i przyswajalność dla roślin pierwiastka pochodzącego z tego źródła. Istnieje ryzyko, że popioły z osadów ściekowych, w zależności od źródła ich pochodzenia, mogą charakteryzować się podwyższoną zawartością niektórych metali ciężkich i innych zanieczyszczeń. Uzyskiwane z popiołów ze spalania komunalnych osadów ściekowych granulaty nawozowe nie były dotychczas w Polsce wykorzystywane rolniczo. Nie ma również badań oceny przyswajalności składników pokarmowych oraz wpływu nawozów uzyskiwanych z popiołów na właściwości gleby oraz plonowanie roślin. Z tego względu lepszym rozwiązaniem wydaje się produkcja nawozów na bazie ekstrakcji fosforu z popiołów pochodzących ze spalania osadów ściekowych. Do odzysku związków fosforu z popiołów wykorzystuje się kwasy mineralne, np. azotowy i fosforowy, lub kwas solny czy siarkowy. Powstałe ekstrakty można wykorzystać bezpośrednio do produkcji nawozów fosforowych lub azotowo-fosforowych. Wśród technologii do odzysku fosforu z popiołów po spaleniu osadów można wyróżnić BioCon (kwas fosforowy) czy SEPHOS (fosforan glinu) [21].

3. Podsumowanie

Nową rolę systemów ściekowych i osadowych staje się produkcja zasobów oraz energii. Produkcja zasobów dotyczy aktualnie głównie odnowy wody oraz odzysku substancji biogennej. Osady ściekowe są odpadem, który można wykorzystać i przekształcić na wiele sposobów. Jednym z założeń gospodarki o obiegu zamkniętym jest traktowanie odpadów jako surowców, co może znaleźć szczególne zastosowanie w branży wodno-ściekowej i osadowej. Oczyszczalnia ścieków musi stać się fabryką, np. produkującą energię, nawozy czy materiały do poprawy wzrostu



14–16 grudnia 2020

roślin. Możliwe jest stosowanie rozwiązań umożliwiających odzysk fosforu. Inwestycje te powinny stanowić element w ciągu technologicznym nowo budowanych oczyszczalni ścieków, jak również istniejących instalacji. Dodatkowo, prawidłowe rozwiązanie gospodarki osadowej przyczynia się do zmniejszenia kosztów eksploatacji linii osadowej w komunalnych oczyszczalniach ścieków.

Monospalarnie osadów ściekowych stanowią kompleksowe i trwałe rozwiązanie problemu unieszkodliwiania komunalnych osadów ściekowych metodami termicznymi, m.in. z uwagi na możliwości odzysku energii z procesu spalania osadów i wykorzystania jej do procesu ich suszenia; niezależność od innych podmiotów biorących pośrednio udział w procesie zagospodarowania osadów oraz potencjalną możliwość odzysku fosforu z popiołów.

LITERATURA

- [1] Communication from the commission to the European Parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions COM/2015/0614.
- [2] Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz.U. 2013 poz. 21).
- [3] Castellet-Viciano, L., Torregrossa, D., Hernández-Sancho, F. 2018. The relevance of the design characteristics to the optimal operation of wastewater treatment plants: Energy cost assessment. *Journal of Environmental Management* 222, 275–283.
- [4] Rocznik Ochrony Środowiska. 2020. Główny Urząd Statystyczny. Warszawa.
- [5] Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 2 stycznia 2020 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. 2020 poz. 10).
- [6] Strategia postępowania z komunalnymi osadami ściekowymi na lata 2019–2022. 2018. Warszawa.
- [7] El Hammoudani, Y., Fouad, D., El Ouarghi, H. 2019. Characterization of sewage sludge generated from wastewater treatment plant in relation to agricultural use. *Environmental and Water Sciences, public Health and Territorial Intelligence Journal* 3, 47–52.
- [8] Bień, J.B., Wystalska, K. 2011. Osady ściekowe. Teoria i praktyka. Wyd. III, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa.
- [9] Oladejo, J., Shi, K., Luo, X., Yang, G., Wu, T. 2019. A Review of Sludge-to-Energy Recovery Methods. *Energies* 12, 1–38.
- [10] Kołodziejak, G. 2012. Możliwości wykorzystania potencjału energetycznego biogazu powstającego w trakcie procesu oczyszczania ścieków. Analiza opłacalności proponowanych rozwiązań. *NAFTA-GAZ* 12, 1036–1044.
- [11] Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. Prawo Wodne (Dz.U. 2017 poz. 1566 z późn. zm. Dz.U. 2020 poz. 310).
- [12] Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych, Aktualizacja, 2020. Warszawa.
- [13] Bień, J., Myszograj, S., Płuciennik-Koropcuk, E. 2020. Gospodarka komunalnymi osadami ściekowymi w obiegu zamkniętym [W:] Ocena gospodarki ściekowo-osadowej w Polsce; Bień, J., Gromiec, M., Pawłowski, L., red., Wydawnictwo PAN, Komitet Inżynierii Środowiska, Lublin, 106–124.
- [14] Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 r. w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach (Dz.U. z 2015 r. poz. 1277).
- [15] Dyrektywa Rady 99/31/WE z dnia 26 kwietnia 1999 r. w sprawie składowania odpadów
- [16] Uchwała nr 88 Rady Ministrów z dnia 1 lipca 2016 r. w sprawie Krajowego planu gospodarki odpadami 2022 (M.P. 2016.784).
- [17] Gromiec, M. 2020. Nowe koncepcje gospodarki wodno-ściekowej-osadowej [W:] Ocena gospodarki ściekowo-osadowej w Polsce; Bień, J., Gromiec, M., Pawłowski, L., red., Wydawnictwo PAN, Komitet Inżynierii Środowiska, Lublin, 7–32.



14–16 grudnia 2020

- [18] Pollutants in urban wastewater and sewage sludge. Raport European Commission, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities 2001.
- [19] Duley, B.M. 2001. Recycling phosphorus by recovery from sewage, Second International Conference on recovery of phosphorus from sewage and animal wastes, Noordwijkerhout, Netherlands.
- [20] Berg, U., Schaum, C. 2005. Recovery of phosphorus from sewage sludge and sludge ashes – application in Germany and Northern Europe, Vortrag, 87–98.
- [21] Ciesielczuk, T., Kusza, G., Nemś, A. 2011. Nawożenie popiołami z termicznego przekształcania biomasy źródłem pierwiastków śladowych dla gleb. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 49, 219–227.
- [22] Kasprzyk, M., Gajewska, M., Molendowska, S. 2017. Możliwości odzysku fosforu z odcieków, osadów ściekowych i popiołów po termicznym przekształcaniu osadów ściekowych. *Inżynieria Ekologiczna* 18, 65–78.
- [23] Podewils, W. 2014. Recykling fosforu w Niemczech – stan aktualny i perspektywy. *Wodociągi – Kanałizacja* 119, 26–30.
- [24] Rećko, K. 2005. Termiczna utylizacja osadów ściekowych. *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska* 2, 17–24.
- [25] Pająk, T., Bień, J. 2020. Rola termicznego przekształcania komunalnych osadów ściekowych w strategii rozwoju gospodarki osadami ściekowymi na przykładzie Niemiec [W:] Ocena gospodarki ściekowo-osadowej w Polsce; Bień, J., Gromiec, M., Pawłowski, L., red., Wydawnictwo PAN, Komitet Inżynierii Środowiska, Lublin, 125–142.
- [26] Boutoussov, M. 2009. Thermal process for separating heavy metals from ash in agglomerated form. US 2009183543 (A1).



*Izabela Kielb-Sotkiewicz**

Wykorzystanie narzędzia „Google Trend” w analizie wzrostu zainteresowania tematyką segregacji odpadów na przykładzie Polski i Włoch

STRESZCZENIE: Tak zwana „struktura metainformacyjna” Google Trend jest od lat znanym i szeroko rozpowszechnionym w literaturze źródłem pozyskiwana i analizy danych. Utworzone przez Google’a narzędzie, poprzez analizę zagadnień–trendów, pozwala na określenie (w sposób przybliżony) stopnia zainteresowania internautów danym tematem. W związku z powyższym, narzędzie Google Trend wykorzystywane jest do analizy stopnia zainteresowania internauty danym tematem, który dotyczyć może niemal każdej dziedziny funkcjonowania człowieka. Począwszy od zagadnień geopolitycznych, poprzez kwestie społeczne i kulturowe, kończąc na próbie wykorzystania analizy trendów Google’a w naukach techniczno-inżynierskich.

Celem poniższej pracy było określenie stopnia zainteresowania tematem segregacji odpadów w Polsce i we Włoszech, z wykorzystaniem danych pochodzących z Google Trend. Następnie porównanie otrzymanych wyników, określenie podobieństw i/lub różnic oraz próba zidentyfikowania i wyjaśnienia ukazanych zależności. Ponadto, praca nakierowana była na ukazanie potencjalnych zalet informacji cyfrowych dużych zbiorów danych, możliwych do zastosowania również w naukach środowiskowych i prawnych. W tym celu określono, które regiony świata wykazują najwyższe zainteresowanie tematyką segregacji odpadów. Po określeniu zasięgu terytorialnego, przeanalizowano, w których momentach (w badanym zakresie czasowym), kolejno polscy, jak i włoscy internauci wykazali największe zainteresowanie omawianym tematem. Na koniec, podjęto próbę wykazania związku między wzrostem ilości wyszukiwań a zmianą systemu prawnego (lub innych zależności) w danym kraju.

Analiza zagadnienia związanego z segregacją odpadów pozwoliła na określenie:

- w których rejonach świata fraza ta wyszukiwana była najczęściej,
- w jaki sposób regulacje prawne, bezpośrednio wpływają na ilość tzw. wyszukiwań,
- w jakim stopniu internetowy trend przykłada się na rzeczywistość.

SŁOWA KLUCZOWE: Google Trend, Big Data, Segregacja odpadów, Polska, Włochy

* Szkoła Doktorska Nauk Inżynierjno-Technicznych na Politechnice Rzeszowskiej; e-mail: kielb.izabela@gmail.com



1. Wprowadzenie

Charakterystyczną cechą naszych czasów jest na ogół szeroki dostęp do informacji. Etap dziejowy, w którym żyjemy, wyróżnia się zarówno ilościową, jak i jakościową eksplozją danych – informacji, niemal z każdej dziedziny życia [1]. Wykorzystujemy te dane zarówno w codziennym funkcjonowaniu, jak i w działaniach marketingowych czy nauce. Oprócz nurtów *tradycyjnych* takich jak np. recenzowane publikacje, oficjalne bazy danych m.in. GUS, itp., informacje – uznawane powszechnie za wiarygodne – czerpiemy również z wyszukiwarek internetowych oraz mediów społecznościowych. Tylko w ostatnich latach, dostęp do Internetu w gospodarstwach domowych wzrósł z 75,8% w 2015 r., do 86,7% w 2019 r. [2]. To właśnie wzrost dostępności do Internetu w społeczeństwie oraz wykorzystywanie go do pozyskania informacji, w sposób naturalny tworzy duże zbiory danych, czyli tzw. Big Data [3]. Termin Big Data należy więc rozumieć jako wielki zbiór zmiennych i różnorodnych danych utworzony na podstawie wyszukiwań internetowych (m.in. tzw. słów kluczowych) oraz innych działań online [1].

Według Raportu Digital 2019 [4] dla Polski, średni czas, który poświęcamy na korzystanie z Internetu, wynosi 6h 2 min na osobę na dobę. Wśród najczęściej odwiedzanych przez Polaków stron internetowych na pierwszym miejscu znajduje się wyszukiwarka google.com. Dzięki przeprowadzonym przez Gemius/PBI badaniom z grudnia 2018 r., wiemy, że przeciętny internauta tylko w witrynach Google'a spędza minimum pół godziny dziennie. Nie ulega wątpliwości, że Internet (w tym Google) nigdy dotąd nie był tak istotnym źródłem pozyskiwania informacji. Sięganie do wyszukiwarek internetowych stało się pierwszym odruchem podczas szukania odpowiedzi na nurtujące nas pytania w niemal każdej tematyce [5].

Równocześnie, coraz częściej i głośniejsze mówi się o problemie „zaśmiecenia świata” i o związanych z tym faktem konsekwencjach. O skutkach dotyczących środowiska naturalnego, a przez to i nas samych. W odpowiedzi na niebezpieczne następstwa nieprawidłowego zarządzania odpadami komunalnymi podjęto różne próby rozwiązania tego problemu. Po pierwsze, regulacje prawne – ustawodawca przygotował szereg narzędzi zmierzających do poprawy stanu środowiska naturalnego, m.in. nakładając na obywatela obowiązek segregacji odpadów i egzekwując go z wykorzystaniem różnych kar lub innych środków o charakterze pieniężnym. Po drugie, od lat prowadzona edukacja ekologiczna oraz różnego rodzaju kampanie społeczne mające na celu pomoc w rozróżnianiu poszczególnych rodzajów odpadów (np. określenie co jest biodegradowalne a co nie), a następnie ich prawidłowe przyporządkowanie do właściwych, kolorowych kontenerów. W związku z tymi licznymi działaniami wydawać by się mogło, że na temat właściwej segregacji odpadów wiemy już niemal wszystko [6].

Celem prezentowanego artykułu było ukazanie możliwości wykorzystania narzędzia Google Trends w naukach środowiskowych i prawnych. Aby w pełni przedstawić szereg korzyści, jakie niesie za sobą właściwe korzystanie z dużych zbiorów danych (informacji cyfrowych), posłużono się przykładem: analizą zainteresowania internautów tematyką segregacji odpadów.



2. Materiały i metody

2.1. Charakterystyka narzędzia Google Trend

Google Trends jest jednym z serwisów Google'a, którego funkcjonowanie polega na udostępnieniu informacji na temat liczby, źródła czy też zależności od czasu zapytań internautów kierowanych do wyszukiwarki Google'a. Narzędzie to pozwala m.in. na określenie trendu dla danego regionu oraz na porównanie częstości różnych zapytań, a następnie przedstawienie ich w formie graficznej, za pomocą wykresu [7]. Aplikacja Google Trend, stanowi zatem w pełni zautomatyzowaną bazę zapytań internautów, będących użytkownikami sieci. Wyszukiwarka Google'a pozwala na analizę danych od 2004 r. Wprowadzona w 2009 r. modyfikacja uatrakcyjniła usługę, pozwalając na wizualizację trendów wyszukiwań w czasie rzeczywistym. Dzięki temu wiemy, jak często internauci poszukują w sieci danego słowa (bądź frazy) w różnych miejscach i w różnym czasie [1]. Funkcjonowanie usługi Google'a bazuje na tzw. modelu trzech zmiennych – 3V. Po pierwsze, jak sama nazwa wskazuje, *Big Data* obejmuje dużą liczbę danych (Volume) [8]. Po drugie, narzędzie charakteryzuje się dużą prędkością przetwarzania tych danych (Velocity). Po trzecie, ze względu na swoją specyfikę, mówimy tu o dużej różnorodności zebranych danych (Variety) [9]. Metodologia wykorzystywana w *Big Data* stosowana jest w dziedzinie badań zwanej infodemiologią [10] (wykorzystanie danych zebranych za pomocą źródeł elektronicznych oraz ich właściwa analiza) [3]. Aplikacja Google Trend tworzy i analizuje duże zbiory danych, czyli tzw. *Big Data*.

Dlaczego mówimy *Big Data*, w rozumieniu duży/potężny zbiór? Każdego dnia miliony internautów na całym świecie wykorzystują Internet do nauki, zabawy czy właśnie do wyszukiwania informacji na interesujący ich temat. Według danych (stan na 2019 r.), ludzie produkują średnio dwa i pół miliona trylionów bajtów informacji dziennie [1, 8].

Należy pamiętać, że narzędzie Google Trends, nie jest idealnym źródłem pozyskiwania informacji. Usługa ta działa poprzez wykorzystanie numeru IP komputera użytkownika (lub innego nośnika, z którego padło zapytanie), w związku z czym system „pozwała” na sztuczne generowanie zapytań z odpowiedniej klasy IP, co może prowadzić do zafałszowania wyników. Ponadto, podając za Błaszczuk-Bębenek i in. [3], wśród ograniczeń usługi wymienia się m.in.:

- niewystarczającą dokumentację metodologii działania,
- brak informacji o użytkownikach Internetu (np. płeć, wiek), a tym samym o grupie badanej (jedynie ograniczenie czasowe i geograficzne przekłada się na charakterystykę grupy),
- wynik podawany w postaci względnej liczby wyszukiwań (RSV), a nie w formie ilościowej,
- brak 100% powtarzalności wyników wyszukiwań.

Podsumowując, w usłudze Google Trends nie otrzymamy informacji o tym, ile osób wykazuje zainteresowanie danym hasłem, tylko pewien rodzaj wskazówki, w jakim czasie to zainteresowanie było najwyższe [5].

Na potrzeby poniższego artykułu, analizie poddano temat segregacji odpadów w ujęciu czasowym od 2004 do 2020 roku. Na początku skupiono się na określeniu stopnia zainteresowania badanym tematem w poszczególnych częściach świata. Następnie, po ustaleniu, że największe zainteresowanie tematem segregacji odpadów charakteryzuje regiony Polski i Włoch, dokonano próby odpowiedzi na pytanie, dlaczego badane hasło zyskało największą popularność w tych regio-

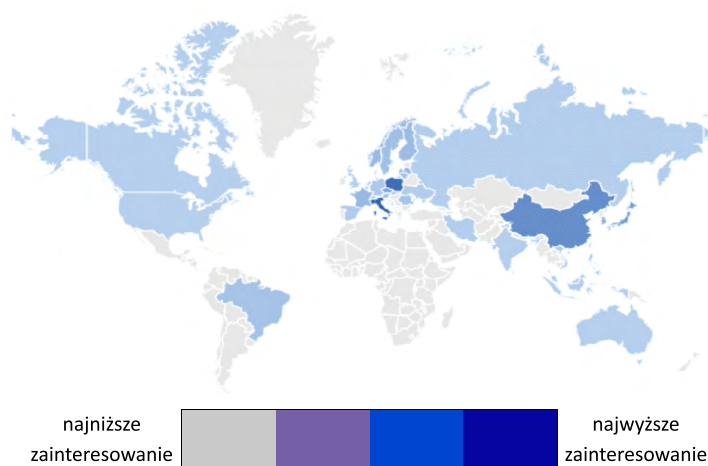


nach świata. W tym celu dokładnie przeanalizowano, kiedy (w badanym ujęciu czasowym) zainteresowanie internautów badanym tematem było największe, a następnie podjęto próbę znalezienia przyczyny tego wzrostu, poprzez analizę sytuacji społeczno-gospodarczej oraz legislatury w danym kraju. Charakterystyki trendu i jej interpretacji dokonano osobno dla Polski i dla Włoch.

3. Rezultaty analizowanych wyników

Zgodnie z brzmieniem art.3.1. pkt. 6. Ustawy z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz.U. 2013 poz. 21), za „odpad” należy przyjmować każdą substancję lub przedmiot, których posiadacz pozbywa się, zamierza się pozbyć, lub do których pozbycia się jest obowiązany. Na podstawie powyższej definicji oraz praktyki życia codziennego wiemy, że z odpadami ma styczność każdy, prawie zawsze i wszędzie. Jak podaje Fundacja Wspierania Inicjatyw Ekologicznych, segregacja odpadów jest podziałem odpadów według rodzaju materiału, z jakiego zostały wykonane tworzące odpady przedmioty, a następnie oddzieleniem materiałów nadających się do powtórnego wykorzystania [11]. Pierwsze Centrum Recyklingu, którego głównym zadaniem było wspieranie efektywnego odzysku surowców ze śmieci, powstało w 1895 r. w Nowym Jorku. Jednak, idea segregacji odpadów zaczęła zyskiwać na popularności, wraz ze stopniowym wzrostem świadomości ekologicznej, dopiero w drugiej połowie XX wieku [12].

Temat: „Segregacja odpadów” w ujęciu czasowym ostatnich 12 miesięcy, tj. od 20 kwietnia 2019 r. do 20 kwietnia 2020 r., w skali całego globu, wyszukiwany był najczęściej we Włoszech, w Polsce i w Chinach (rys. 1). Po rozszerzeniu zakresu czasowego od 2004 r. do dnia dzisiejszego, zainteresowanie według regionu świata zmienia się nieznacznie. Niezmiennie, fraza najczęściej wyszukiwana była we Włoszech, następnie w Japonii i w Polsce. Prześledzimy teraz i porównamy trendy z Polski i Włoch.



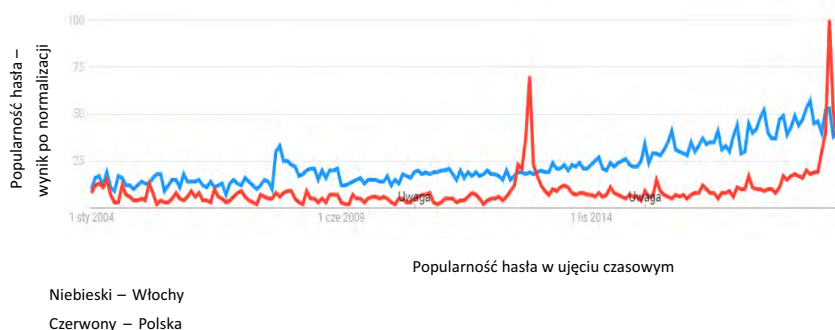
Rysunek 1.

Zainteresowanie (w ujęciu czasowym 12 ostatnich miesięcy) internautów tematyką segregacji odpadów [13]

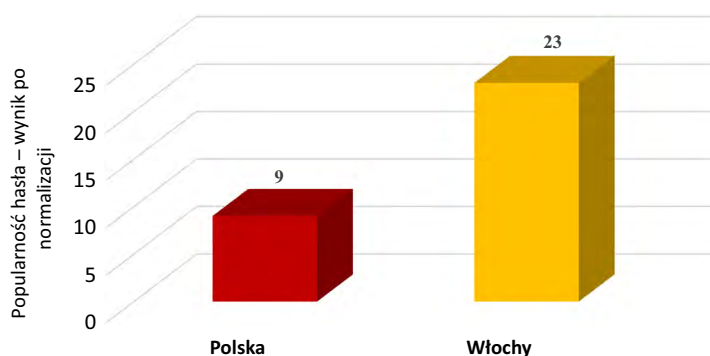


14–16 grudnia 2020

Należy pamiętać, że dane, które uzyskujemy z Google Trend, podlegają normalizowaniu i przedstawiane są w zakresie od 0 do 100. Co to oznacza? Narzędzie stworzone przez Google'a weryfikuje znalezione przez nas dane za pomocą filtrów – m.in. zakres czasowy czy region. Następnie, jak czytamy na stronie Google'a Trend: *Liczby reprezentują poszczególne zainteresowania w wyszukiwaniu względem najwyższego punktu na wykresie. Wartość 100 oznacza najwyższą popularność hasła. Wartość 50 oznacza, że popularność hasła była dwukrotnie mniejsza. Wartość 0 wskazuje, że dla danego hasła nie ma wystarczających danych* [13]. Normalizacja polega zatem na znalezieniu dnia, podczas którego internauci (w danym regionie i czasie) najczęściej wyszukiwali interesujące ich hasła w Google (w porównaniu do wszystkich zapytań w danym regionie i czasie) i oznaczenie go jako 100. Kolejne dni mają proporcjonalnie do najwyższego wyniku przypisywane liczby od 0 do 100 [14, 15]. Z powyższego wynika, że Google Trend, nie pokazuje nam prawdziwej liczby wyszukiwań, ale ich znormalizowany wynik – ujawnia pewien trend. Dzięki tej funkcji możemy porównać popularność haseł/ fraz w różnych miejscach w tym samym czasie. Co istotne, Google wyznacza „najpopularniejsze” jako najczęściej spotykane na danym obszarze i w danym czasie, osobno więc tworzy wynik dla Polski i Włoch, a następnie normalizuje je względem największego zainteresowania dla poszczególnych krajów – rysunek 3. Dzięki temu możemy zaobserwować,



Rysunek 2.
Zainteresowanie internautów tematem „segregacja odpadów” w przedziale czasowym 2004–2020 r. dla Polski i Włoch [13]



Rysunek 3.
Uśredniony wynik zapytań internautów dla frazy „segregacja odpadów” dla Polski i Włoch [opracowanie własne na podstawie danych uzyskanych z narzędzia Google Trends, dla tematu „segregacja odpadów” dla Polski i Włoch [13]]



że w przeciwieństwie do Polski (charakterystyczne „skoki” – cykliczność zainteresowania), we Włoszech zainteresowanie tematem segregacji odpadów rosło powoli, lecz systematycznie na przestrzeni lat.

Dlatego też, jeżeli w zastosowanym filtrze czasowym zaznaczymy okres od roku 2004 do dnia dzisiejszego, zasięgiem terytorialnym obejmiemy teren Polski i Włoch, a następnie uśrednimy uzyskane wyniki, możemy zauważyć, że zainteresowanie tematem segregacji śmieci we Włoszech jest dwukrotnie większe niż w Polsce (rys. 3).

3.1. Analiza zainteresowania tematem segregacji odpadów w Polsce

Zainteresowanie problematyką odpadów w Polsce wraca cyklicznie, co możemy zaobserwować na rysunku 2. Rysunek ten obejmuje dane w ujęciu czasowym od roku 2004 do dnia dzisiejszego (tj. 22.03.2020 r.) dla terenu Polski. Ukazuje zainteresowanie użytkowników Google’a tematem: segregacja odpadów. Użytkownicy „googlowskiej” wyszukiwarki, z uwagi na fakt, że jest to najbardziej popularna wyszukiwarka w Polsce, stanowią dla nas reprezentatywny przekrój polskiego społeczeństwa. Widzimy, że w przyjętym ujęciu czasowym odnotowano dwa momenty, w których liczba użytkowników wyszukujących w przeglądarce internetowej treści związanych z „segregacją odpadów” (lub inne zbliżone synonimy) gwałtownie wzrosła.

Pierwszy „skok” miał miejsce w lipcu 2013 r. Od dnia 1 lipca 2013 r. zaczęły obowiązywać przepisy znowelizowanej Ustawy o zmianie ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach oraz niektórych innych ustaw z dnia 1 lipca 2011 r. (Dz.U. 2011 nr 152 poz. 897). Jednym z punktów tej „śmieciowej rewolucji” było promowanie przez ustawodawcę – poprzez możliwość skorzystania ze specjalnej, obniżonej opłaty – osób segregujących odpady [16]. Chęć dostosowania się do nowych przepisów i przy okazji zaoszczędzenia „kilku złotych” spowodowała znaczący wzrost zainteresowania użytkowników serwisów internetowych zagadnieniami związanymi z segregacją odpadów. Wśród najczęściej wpisywanych w wyszukiwarce fraz (w lipcu 2013 r.) znalazły się pytania o stojaki na worki, kosze do segregacji odpadów oraz podstawowe pytanie dotyczące sposobu prowadzenia segregacji.

Drugim momentem wzrostu zainteresowania tematem „śmieciowym” był styczeń 2020 r. Sytuacja wygląda analogicznie. Dnia 31 stycznia 2020 r. weszła w życie ustawa z dnia 23 stycznia 2020 r. o zmianie ustawy o odpadach oraz niektórych innych ustaw (Dz.U. poz. 150) w zakresie dotyczącym ewidencji i sprawozdań składanych do Bazy danych o produktach i opakowaniach oraz o gospodarce odpadami (BDO). Ustawa weszła w życie z dniem 31 stycznia 2020 r., z wyłączeniem przepisów karnych [17]. Ponadto, dnia 1 stycznia 2019 r., weszło w życie rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 28 grudnia 2018 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowego sposobu selektywnego zbierania wybranych frakcji odpadów (Dz.U. 2018 poz. 2482). Do dnia 1 stycznia 2020 r. gminy mogły zawrzeć umowy na odbiór odpadów, które były niezgodne z warunkami powyższego rozporządzenia, czyli na tzw. starych zasadach (m.in. nieobowiązkowy podział na 5 frakcji) [18]. Od dnia 1 stycznia 2020 r. zaczął obowiązywać powszechny obowiązek prowadzenia selektywnej zbiórki odpadów, z zachowaniem podziału na pięć frakcji. Zobowiązanie to, jest wynikiem powyższych uregulowań oraz nowelizacji Ustawy z dnia 19 lipca 2019 r. o zmianie ustawy o utrzymaniu czystości



i porządku w gminach oraz niektórych innych ustaw (Dz.U. 2019 poz. 1579). Ustawodawca nałożył na osoby niewywiązujące się z powszechnego obowiązku segregacji odpadów opłatę w wysokości nie mniejszej niż dwukrotność i nie większej niż czterokrotność podstawowej opłaty „śmieciowej” [19], co skutecznie zmobilizowało społeczeństwo do ponownego zainteresowania się tematem odpadów. W okresie 01–31.01.2020 r. wśród pytań najczęściej zadawanych przez internautów (w odniesieniu do tematu odpadów) były: „segregacja śmieci jak i gdzie”, „segregacja śmieci 2020” i podobne.

3.2. Segregacja odpadów we Włoszech

W przeciwieństwie do Polski, we Włoszech zainteresowanie tematem segregacji odpadów ro-
sło powoli, lecz systematycznie, na przestrzeni kolejnych lat (rys. 2).

Włoska gospodarka odpadowa rozwijała się dwutorowo. Z jednej strony, w wyniku kryzysu politycznego w latach dziewięćdziesiątych XX w. włoski rynek gospodarki odpadami stał się dla międzynarodowych grup przestępczych (oraz skorumpowanych polityków) sposobem na pozyskanie wysokich zysków, w ramach stosunkowo niskiego ryzyka ujawnienia nielegalnej działalności [20]. Z drugiej strony, rosnąca świadomość ekologiczna oraz zmęczenie włoskiego społeczeństwa śmieciowym problemem przyczyniły się do rozwoju społecznego, oddolnego ruchu chcącego zmian, czego wyrazem może być m.in. wysoka ilość haseł związanych z segregacją odpadów, wyszukiwanych przez włoskich internautów.

Gospodarowanie odpadami w południowych Włoszech (przede wszystkim w okolicach Neapolu i Kampanii) od lat, niemal w całości, wchodziło w zakres działalności lokalnych organizacji przestępczych (m.in. Camorry). Konsekwencją ich szeroko rozwiniętego śmieciowego procederu jest skażenie ogromnych terenów, przejawiające się brakiem możliwości ich wykorzystania nawet przez setki lat oraz bardzo wysokie koszty rekultywacji. W związku z rosnącym we Włoszech „problemem śmieciowym”, sytuacją zainteresowała się Unia Europejska.

Pierwsze wyroki Trybunału UE, dotyczące zaniedbań we Włoszech w kwestii odzysku odpadów niebezpiecznych, zapadły 21 lutego 2002 r. oraz 9 czerwca 2005 r. Następnie, 26 kwietnia 2007 r. zapadł kolejny wyrok Trybunału UE w sprawie: Komisja Wspólnot Europejskich przeciwko Republice Włoskiej. Wśród oskarżeń skierowanych do Republiki Włoskiej odnajdujemy m.in.: zarzut niezapewnienia wszystkich środków niezbędnych, aby każdy posiadacz odpadów przekazywał odpady prywatnemu lub państwowemu punktowi zbierania odpadów bądź przedsiębiorstwu zajmującemu się ich unieszkodliwianiem lub odzyskiwaniem, albo odzyskiwał lub unieszkodliwiał je na własną rękę zgodnie z przepisami dyrektywy Rady UE. Z powyższego stwierdzenia można wywnioskować, że organy administracyjne Republiki Włoskiej miały problem z zapewnieniem swoim obywatelom warunków do prawidłowego gospodarowania odpadami komunalnymi, wytworzonymi w ich gospodarstwach domowym. Kolejny wyrok Trybunału w tej sprawie zapadł 14 czerwca 2007 r. W świetle wyjaśnień zaprezentowanych przez Republikę Włoską w licznych jej pismach, oraz w odniesieniu do informacji pochodzących z innych źródeł – m.in. media, stowarzyszenia, organizacje i osoby prywatne – w dniu 1 lutego 2008 r. Komisja skierowała do Republiki Włoskiej opinię (wraz z uzasadnieniem), wzywając ją do zastosowania się do zawartych w opinii dyspozycji [21].



14–16 grudnia 2020

Kolejnym krokiem w unijno-włoskiej śmieciowej batalii była sentencja wyroku Trybunału UE z dnia 4 marca 2010 r. brzmiąca: *Nie podejmując w odniesieniu do regionu Kampania wszelkich środków niezbędnych dla zapewnienia odzyskiwania lub unieszkodliwiania odpadów bez zagrażania zdrowiu ludzkiemu i bez szkodenia środowisku, a w szczególności nie tworząc odpowiedniej zintegrowanej sieci urządzeń do unieszkodliwiania odpadów, Republika Włoska uchybiła zobowiązaniom ciążącym na niej na mocy art. 4 i 5 dyrektywy 2006/12/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 5 kwietnia 2006 r. w sprawie odpadów*. Jak podaje Karpus [21], na uwagę zasługuje fakt, że segregacja odpadów w regionie Kampanii „miała miejsce jedynie w odniesieniu do 10,6% wytwarzanych odpadów, podczas gdy średnia wspólnotowa wynosiła 33%, a średnia krajowa oscylowała między 19,4% w centralnych regionach Włoch a 38,1% w północnych regionach tego państwa członkowskiego”.

W związku z powyższymi działaniami zdecydowano się na powołanie specjalnej parlamentarnej Komisji Śledczej ds. nielegalnej działalności związanej z cyklem przetwarzania odpadów. Powołana Komisja, w dniach 29–31.10.2012 r., wybrała się na problematyczne tereny w ramach misji informacyjnej, czego rezultatem było powstanie dokumentu roboczego dotyczącego gospodarowania odpadami w Lacjum i Kampanii (pierwsza wizyta informacyjna w Kampanii we Włoszech miała miejsce w dniach 28–30 kwietnia 2010) [22]. Wśród wniosków członków Komisji Petycji Parlamentu Europejskiego z 2012 r. czytamy m.in.: *Nie da się przecenić znaczenia tej misji dla ludności borykającej się z ogromnymi kłopotami(...) Wszyscy ci ludzie oczekują, że „Europa” coś zrobi i wesprze wymierne inicjatywy, zwłaszcza w Neapolu i Kampanii, polegające na tworzeniu skutecznej polityki gospodarowania odpadami, następnie prawidłowo realizowanej przez odpowiedzialne władze publiczne* [22, 20].

Biorąc pod uwagę wzmożone zainteresowanie organów unijnych trudną sytuacją odpadową w niektórych regionach Włoch oraz liczne wyroki Trybunału UE w tej sprawie, nie wydaje się zaskakujący wzrost zainteresowania „śmieciowym problemem” wśród włoskiego społeczeństwa, a tym samym wysoki poziom zapytań włoskich internautów w kwestii samych odpadów, jak i ich segregacji.

4. Podsumowanie

Pod względem organizacyjnym segregacja odpadów w Polsce i we Włoszech wygląda podobnie. Zarówno w Polsce, jak i we Włoszech kompetencje w zakresie gospodarowania odpadami posiadają gminy. Obowiązek segregacji odpadów obowiązuje Włochów od 1997 r. W roku 2013 około 36% zebranych odpadów było powtórnie wykorzystanych [12]. Według danych z 2016 r., we Włoszech wytworzono około 497 kg odpadów komunalnych na mieszkańca, z czego już 51% poddano recyklingowi i/lub kompostowaniu. Z roku na rok możemy zauważyć tam poprawę w działaniach zmierzających do rozwiązania „śmieciowego problemu”. W Polsce, z kolei, w roku 2016 wytworzono około 307 kg odpadów komunalnych na mieszkańca, z czego procentowy udział recyklingu i kompostowania wyniósł 44% [23].

Jak podaje Parlament Europejski: „47% wszystkich odpadów komunalnych w UE podlega recyklingowi lub kompostowaniu (2016 r.). Należy jednak zauważyć, że praktyki w zakresie gospoda-



14–16 grudnia 2020

rowania odpadami są bardzo różne w różnych krajach UE. Składowiska niemal w ogóle nie istnieją w północno-zachodniej Europie (Belgia, Holandia, Szwecja, Dania, Niemcy, Austria, Finlandia), gdzie główną rolę ma spalanie wraz z recyklingiem. Poza tym Niemcy i Austria także należą do państw UE, które recyklingują najwięcej odpadów. Składowiska są nadal popularne we wschodniej i południowej części Unii Europejskiej: 12 krajów składa się co najmniej połowę odpadów komunalnych (na Malcie, w Grecji, na Cyprze i w Rumunii – ponad 80%, w Chorwacji, na Łotwie, na Słowacji, w Bułgarii co najmniej 60%, w Hiszpanii, na Węgrzech, w Czechach i Portugalii – co najmniej połowę). Pozostałe kraje: Estonia, Luksemburg, Francja, Irlandia, Słowenia, Włochy, Wielka Brytania, Litwa i Polska wysyłają nie więcej niż jedną trzecią odpadów na składowiska, wykorzystują również spalanie, a recyklingowi poddają ponad 40% (z wyjątkiem Estonii) odpadów z gospodarstw domowych”. Ponadto należy zauważyć, że zgodnie z danymi przedstawionymi przez Parlament Europejski, Polska zalicza się do tej grupy krajów, które w przeliczeniu na mieszkańca (w wartościach bezwzględnych) wytwarzają najmniej odpadów. Wśród podstawowych przyczyn powodujących wzrost wskaźników uzależnionych od produkcji odpadów należy wskazać turystykę oraz tzw. zamożność danego państwa [23].

Z powyższego wynika, że zarówno Polska, jak i Włochy, na składowiska odpadów wysyłają nie więcej niż jedną trzecią odpadów, co klasyfikuje oba kraje w „średniej europejskiej”, i choć są kraje, które dużo gorzej radzą sobie w kwestii segregacji odpadów niż Polska czy Włochy, to od europejskich liderów segregacji odpadów dzieli nas jeszcze daleka droga.

Analiza trendu internetowych wyszukiwań, związanych z tematem segregacji odpadów na przykładzie Polski i Włoch, przeprowadzona z wykorzystaniem narzędzia Google Trend, pozwoliła na sformułowanie kilku wniosków.

Po pierwsze, stopień zainteresowania internautów danym tematem, nie stanowi wiarygodnego odzwierciedlenia w realizacji przez nich zadań w rzeczywistości. Pomimo faktu, że polscy i włoscy internauci dokonywali największej liczby zapytań w temacie segregacji odpadów, nie miało to realnego przełożenia na statystyki, wskazujące, że w kwestii właściwego gospodarowania odpadami zarówno Polska jak i Włochy są w tzw. średniej europejskiej.

Po drugie, zauważyć można związek pomiędzy zmianą ustawodawstwa, które w sposób bezpośredni przekłada się na życie każdego człowieka, a wzrostem zainteresowania tematem segregacji odpadów przez internautów. Zależność tę widać na przykładzie Polski, gdzie każda zmiana prawna dotycząca zarządzania odpadami związana była z nasileniem aktywności wyszukiwania przez polskich internautów chcących być „na bieżąco”, aby wiedzieć jak przykładowo uniknąć ustawowych kar.

W analizie Google Trend Polska i Włochy wykazują największe zainteresowanie (widać to po ilości wyszukiwań) w temacie segregacji odpadów. Być może wpływ na to mają historia oraz przemiany społeczno-polityczne zachodzące w Polsce czy we Włoszech, czego konsekwencją był późniejszy niż w północno-zachodniej Europie, rozwój świadomości ekologicznej w społeczeństwach. Wnioskując po ilości zapytań w Google Trend dotyczących tematu „segregacji odpadów”, możemy stwierdzić, że mieszkańcy krajów takich jak Polska czy Włochy próbują nadrobić nagromadzone na przestrzeni lat „ekologiczne zaległości”. W zależności od uwarunkowań lokalnych motywacją do zmiany może być zarówno wzrost świadomości ekologicznej w społeczeństwie, stworzenie regulacji prawnych i związanych z nimi kar i sankcji, zaszczości historyczne, sytuacja polityczna w kraju oraz unijna współodpowiedzialność, niejako wymuszająca na swoich członkach dopasowanie się i dotrzymanie ekologicznych standardów.



14–16 grudnia 2020

LITERATURA

- [1] Stehens- Davidowitz, S. 2019. Wszyscy kłamią- Big Data, Nowe dane i wszystko, co Internet może nam powiedzieć o tym, kim naprawdę jesteśmy, Wydawnictwo Literackie, Kraków, 8, 13, 28.
- [2] GUS, Społeczeństwo informacyjne w Polsce. Wyniki badań statystycznych z lat 2015–2019, Warszawa, Szczecin, 2019, 151.
- [3] Błaszczyk-Bębenek, E., Jagielski, P., Schlegel-Zawadzka, M. 2019. Google Trends jako narzędzie wykorzystujące Big Data w naukach żywieniowych, *Bromat. Chem. Toksykol.* – LII 2, 91–96.
- [4] Digital 2019. All the data and trends you need to understand Internet, social media, mobile and e-commerce behaviours in 2019, Hootsuite we współpracy z Global Web Index, GSMA Intelligence, Statista, Locowise, Similarweb, App Annie. Online: <https://www.slideshare.net/DataReportal/digital-2019-poland-january-2019-v01> [Dostęp: 24.04.2020].
- [5] Gwizdak, R. 2019. Jak korzystać z Google Trends. Online: <https://www.widzialni.pl/blog/jak-korzystac-z-google-trends/> [Dostęp: 04.05.2020].
- [6] Kiełb-Sotkiewicz, I. 2020. Problematyczne odpady w sieci czyli o badaniach sondażowych wśród studentów. *Kierunek wod-kan BMP Sp. z o.o.* 3, 50–54.
- [7] Wikipedia, Google Trends: definicja, zastosowanie, kontrowersje. Online: https://pl.wikipedia.org/wiki/Google_Trends [Dostęp: 04.05.2020].
- [8] Bringing big data to the enterprise IBM. Online: <http://www-01.ibm.com/software/data/bigdata/what-is-big-data.html> [Dostęp: 25.04.2020].
- [9] Gonzalez, D. 2015. Big Data [W:] *Managing Online Risk Apps, Mobile and Social Media Security*. Butterworth-Heinemann, 101-25.
- [10] Sciascia, S., Radin M. 2017. What can Google and Wikipedia can tell us about a disease? Big Data trends analysis in Systemic Lupus Erythematosus. *Int J Med Inf.* 107, 65-69.
- [11] Małochleb, M. 2004. Segregacja odpadów. Edukacja Ekologiczna. Broszura informacyjna, Wydawca: Fundacja Wspierania Inicjatyw Ekologicznych, Kraków. Online: <http://www.segregacjaodpadow.eco.pl/broszura.pdf> [Dostęp: 05.05.2020].
- [12] Higieniczny.pl Ergonomia czystości, Segregacja odpadów w Europie. Online: <https://higieniczny.pl/segregacja-odpadow-w-europie.html> [Dostęp: 05.05.2020].
- [13] Google Trends, Dowiedz się, czego szukają internauci z całego świata. Online: <https://trends.google.pl> [Dostęp: 05.05.2020].
- [14] Stanuch, S.M. 2019. Jak śledzić trendy w Google Trends. Online: https://www.press.pl/tresc/57134,-google-trends_-praktyczny-poradnik-dla-dziennikarzy [Dostęp: 04.05.2020].
- [15] Jęgorow, D. 2018. Zastosowanie Google Trends do analizy sezonowości podaży pracy w Polsce. *Przedsiębiorczość i zarządzanie XIX(3)*, część II, Łódź, Warszawa, 119.
- [16] Dalszyce.pl. Rewolucja śmieciowa. Co nas czeka w 2013 roku?. Online: <http://daleszyce.pl/pl/aktualnosci/1197-rewolucja-smieciowa-co-nas-czeka-w-2013-roku> [Dostęp: 05.05.2020].
- [17] Baza danych o produktach i opakowaniach oraz o gospodarce odpadami, Nowelizacja ustawy o odpadach. Online: <https://bdo.mos.gov.pl> [Dostęp: 04.05.2020].
- [18] Kubicka-Żach, K. Przesunięcie wdrożenia nowego systemu segregacji ma pomóc samorządom, które nie zdążyły. Online: <https://www.prawo.pl/samorzad/wdrozenie-nowego-systemu-segregacji-przesuniecie-terminu-ma,352626.html> [Dostęp: 05.05.2020].
- [19] Kaczmarek, Z. Nowelizacja ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach – wejście w życie nowelizowanych przepisów. Online: <https://sozosfera.pl/odpady> [Dostęp: 05.05.2020].
- [20] Charbot, P. 2013. Nielegalny handel odpadami z perspektywy przestępczości zorganizowanej na przykładzie działalności neapolitańskiej Kamorry [W:] *Gospodarka odpadami. Problematyka prawna i ekokryminologiczna*, Wydawca: Katedra Kryminologii i Polityki Kryminalnej Wydział Prawa i Administracji Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Olsztyn, 37–38.



14–16 grudnia 2020

- [21] Karpus, K. 2011. Gospodarowanie odpadami w świetle orzecznictwa Trybunału Sprawiedliwości Unii Europejskiej na gruncie dyrektyw ramowych w sprawie odpadów, Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej we Włocławku, Włocławek 146, 156, 157, 160.
- [22] Dokument roboczy Komisji Petycji Parlamentu Europejskiego w sprawie misji informacyjnej we Włoszech w dniach 29–31 października 2012 r. dotyczącej gospodarowania odpadami w Lacjum i Kampanii (projekt), 2013. Online: https://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2014_2019/documents/peti/dt/942/942408/942408pl.pdf [Dostęp: 02.05.2020].
- [23] Eurostat Biuro ds. analiz PE, Zarządzanie odpadami w UE: Fakty i liczby (infografika) 2018. Online: <https://www.europarl.europa.eu/news/pl/headlines/society/20180328STO00751/zarzadzanie-odpadami-w-ue-fakty-i-liczby-infografika> [Dostęp: 02.05.2020].



Wojciech DEREJ*

Gospodarka odpadami w Unii Europejskiej w kontekście możliwości implementacji idei Europejskiego Zielonego Ładu

STRESZCZENIE: W artykule zaprezentowano uwarunkowania dotyczące gospodarki odpadami w krajach Unii Europejskiej (UE) w kontekście możliwości realizacji założeń idei Europejskiego Zielonego Ładu. W opracowaniu dokonano analizy sposobu zagospodarowania odpadów w krajach UE na tle realizacji wytycznych unijnych w tym zakresie. Z danych statystycznych wynika, iż istnieją znaczące różnice pomiędzy poszczególnymi krajami UE dotyczące sposobów postępowania z odpadami, a tym samym ich zagospodarowanie przez wiele krajów jest na poziomie niższym od oczekiwań. W artykule wskazano również na znaczenie rozwoju nowoczesnych technologii, w postaci innowacji ekologicznych oraz zaangażowania w działalność badawczo-rozwojową (B+R), jako czynników wspierających realizację wymagań dotyczących gospodarki odpadami UE. Porównanie gospodarki odpadami krajów UE z oceną poziomu ich innowacyjności oraz aktywności w zakresie badawczo-rozwojowym wskazuje na zasadność zintensyfikowania innowacji oraz ich wdrożenia w postaci inwestycji ekologicznych umożliwiających realizację wymagań w zakresie zagospodarowania odpadów, co przyczyni się jednocześnie do realizacji idei Europejskiego Zielonego Ładu.

SŁOWA KLUCZOWE: gospodarka odpadami, innowacje ekologiczne, gospodarka cyrkularna, Europejski Zielony Ład

1. Wprowadzenie

Współczesny rozwój gospodarczy Unii Europejskiej w coraz większym stopniu uwzględnia aspekty dotyczące środowiska naturalnego. Powstałe w ostatnich latach unijne plany i programy działań są efektem przyjętych koncepcji rozwojowych uwzględniających kwestie środowiskowe, takich jak zrównoważony rozwój, gospodarka cyrkularna, czy też zielona gospodarka. Są one wyrazem

* Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach; e-mail: wojciech.derej@gmail.com



14–16 grudnia 2020

m.in. troski o środowisko naturalne, świadomości ograniczoności zasobów naturalnych oraz wzrostu świadomości ekologicznej w kontekście jakości życia obecnych i przyszłych pokoleń. Jedną z ostatnich tego typu koncepcji jest Europejski Zielony Ład. Wśród najistotniejszych założeń tej idei jest m.in. przejście na gospodarkę o obiegu zamkniętym. Taki typ gospodarki może być jednak zrealizowany pod warunkiem odpowiednio funkcjonującej gospodarki odpadami. Niniejsze opracowanie jest próbą odpowiedzi na pytanie, jak wyglądają sposoby zagospodarowania odpadów w krajach UE w świetle wytycznych regulujących ten obszar i tym samym, czy obecny stan gospodarki odpadami w krajach UE stwarza możliwość realizacji idei Europejskiego Zielonego Ładu.

Artykuł składa się z czterech części. W pierwszej części zaprezentowane zostały główne założenia Europejskiego Zielonego Ładu, jak również podkreślono znaczenie gospodarki o obiegu zamkniętym w kontekście możliwości realizacji idei Europejskiego Zielonego Ładu. Ponadto wskazano na uwarunkowania gospodarki odpadami w UE w kontekście głównych wytycznych w tym zakresie oraz podkreślono znaczenie innowacji o charakterze ekologicznym. W części drugiej opisano metodologię badawczą, na którą składa się analiza głównych tendencji w zakresie gospodarki odpadami w UE, porównanie sposobów zagospodarowania odpadów w poszczególnych krajach i określenie zależności pomiędzy tymi sposobami a oceną innowacyjności krajów i ich nakładami na badania i rozwój. W części trzeciej niniejszego opracowania zaprezentowano i opisano wyniki badań, natomiast część czwarta obejmuje podsumowanie i wnioski.

2. Uwarunkowania środowiskowe rozwoju gospodarczego

2.1. Główne założenia Europejskiego Zielonego Ładu

Jak już wspomniano, współczesne koncepcje rozwoju gospodarczego zakładają w coraz większym stopniu ochronę środowiska naturalnego. Za docelowy stan takich dążeń można uznać sytuację, gdzie rozwój gospodarczy jest neutralny dla środowiska. Jest to zgodne z założeniami idei Europejskiego Zielonego Ładu, która, w obliczu zmian klimatycznych, zanieczyszczenia środowiska i zużycia zasobów, wskazuje na konieczność dalszego wzrostu gospodarczego w taki sposób, aby przekształcić Unię Europejską w nowoczesną, zasobooszczędną, jak również konkurencyjną gospodarkę. Celem takiego wzrostu jest osiągnięcie statusu gospodarki neutralnej dla klimatu, w której:

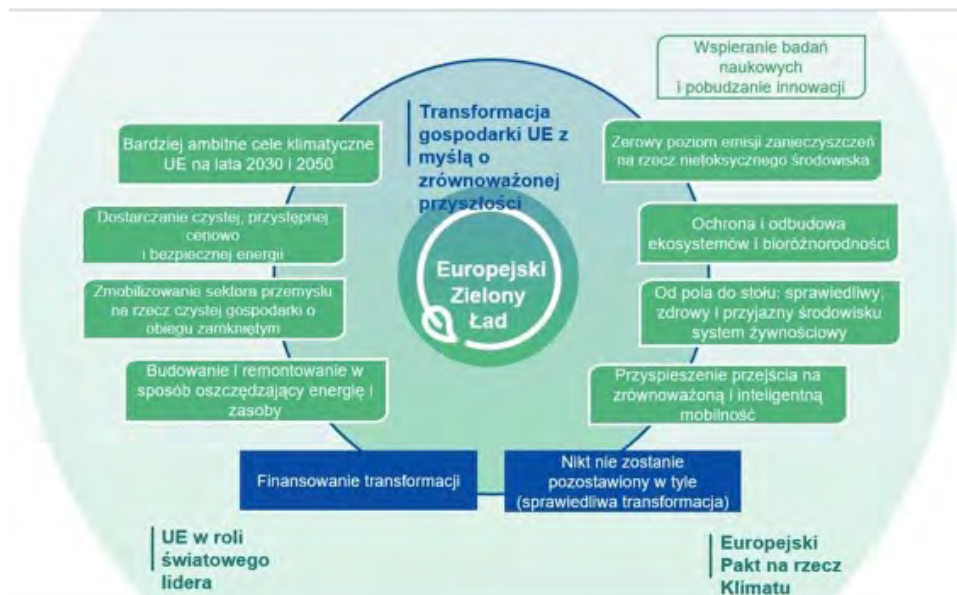
- w 2050 r. zostanie osiągnięty zerowy poziom emisji gazów cieplarnianych netto,
- wzrost gospodarczy zostanie oddzielony od zużywania zasobów,
- zarówno żadna osoba, jak również żaden region nie zostaną w tyle [1].

Poszczególne elementy Europejskiego Zielonego Ładu pokazuje rysunek 1.

Zielony Ład można uznać za swego rodzaju reakcję na ocenę obecnej sytuacji w zakresie stanu środowiska naturalnego, a jednocześnie wskazanie działań umożliwiających jej poprawę. Stąd też w ramach elementów tej koncepcji można wymienić:

- „bardziej ambitne cele klimatyczne UE na lata 2030 i 2050”, co oznacza konieczność wprowadzenia jednolitego prawa klimatycznego w ramach UE, który powinien zapewnić osiągnięcie neutralności energetycznej do 2050 r.,

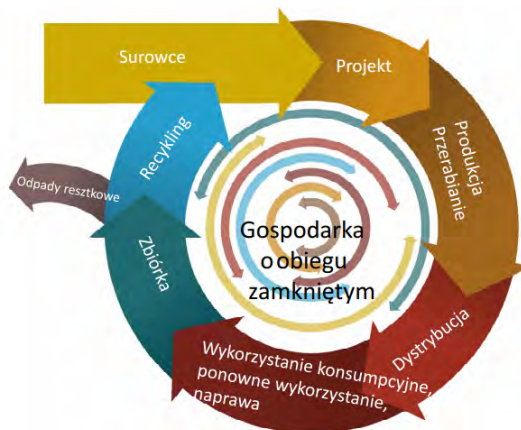
14–16 grudnia 2020



Rysunek 1.
Europejski Zielony Ład [1]

- „dostarczanie czystej, przystępnej cenowo i bezpiecznej energii” – ponieważ 75% emisji gazów cieplarnianych w UE jest efektem produkcji i wytwarzania energii, konieczna jest zmiana na odnawialne źródła energii, zwiększenie efektywności energetycznej oraz innych zrównoważonych rozwiązań w całej gospodarce,
- „zmobilizowanie sektora przemysłu na rzecz czystej gospodarki o obiegu zamkniętym”, co oznacza transformację wszystkich obszarów gospodarki w kierunku gospodarki cyrkularnej,
- „budowanie i remontowanie w sposób oszczędzający energię i zasoby”, co oznacza m.in. strategię działań na rzecz poprawy efektywności energetycznej budynków,
- „przyspieszenie przejścia na zrównoważoną i inteligentną mobilność” – oznacza to zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych generowanych przez transport oraz zwiększenia roli kolei, jak również żeglugi śródlądowej,
- „od pola do stołu: stworzenie sprawiedliwego, zdrowego i przyjaznego środowisku systemu żywnościowego” – oznacza to zmniejszenie generowania zanieczyszczeń oraz zmniejszenia zużywanych zasobów naturalnych przy produkcji żywności,
- „ochrona i odbudowa ekosystemów i bioróżnorodności” – oznacza to integrację wszystkich unijnych polityk w sposób, który przyczynia się do zachowania i odbudowy kapitału naturalnego,
- „zeroowy poziom emisji zanieczyszczeń na rzecz nietoksycznego środowiska” – dotyczy działań zapobiegających generowaniu nowych zanieczyszczeń oraz działań redukujących i usuwających istniejące zanieczyszczenia [1].

Rozumianą w ten sposób koncepcję gospodarki w postaci Europejskiego Zielonego Ładu można uznać za najszerze ujęcie dotychczasowych idei rozwoju gospodarczego uwzględniających aspekty



Rysunek 2.
Gospodarka w obiegu zamkniętym [3]

środowiskowe. Jedną z takich koncepcji, której realizacja jest wkomponowana w założenia Europejskiego Zielonego Ładu, jest gospodarka cyrkularna, która określana jest również jako „gospodarka obiegu zamkniętego”, czy też „gospodarka o obiegu zamkniętym”. W koncepcji tej duży nacisk położono na ochronę środowiska, co przejawia się założeniem wielokrotnego przetworzenia, a tym samym efektywniejszego wykorzystania surowców naturalnych, przy jednoczesnej minimalizacji generowania – jako efekt uboczny – materiałów niebezpiecznych i szkodliwych emisji. Tym samym odpad z jednego procesu produkcyjnego jest surowcem w kolejnym procesie, dzięki czemu zmniejsza się zużycie surowców naturalnych [2].

Zgodnie z rysunkiem 2, działania powinny z jednej strony koncentrować się na maksymalizacji efektywności wykorzystania surowców, przy jednoczesnym minimalizowaniu ich „pobierania” ze środowiska, a z drugiej strony – na ograniczaniu „wytwarzania” odpadów resztkowych. Tym samym, pobierane w takim modelu zasoby są „zatrzymywane” w systemie gospodarczym tak długo, jak to możliwe [4].

Model wzrostu gospodarczego zgodny z omawianą ideą jest obecnie jednym z kluczowych elementów rozwoju zrównoważonej, niskoemisyjnej, zasobooszczędnej i konkurencyjnej gospodarki [5], stanowiąc również istotny element realizacji wizji Europejskiego Zielonego Ładu.

2.2. Gospodarka odpadami jako czynnik umożliwiający realizację idei Europejskiego Zielonego Ładu

Jak już wspomniano, jednym z głównych założeń Europejskiego Zielonego Ładu jest rozwój gospodarczy zgodny z ideą gospodarki o obiegu zamkniętym. Zgodnie z jej wytycznymi, w obliczu zanieczyszczenia środowiska oraz wyczerpywalności zasobów, oczywiste staje się poszukiwanie metod minimalizacji ich wykorzystywania oraz bardziej efektywnej ich eksploatacji. Głównym obszarem działań, niosącym ze sobą duże możliwości w tym zakresie, jest właściwa gospodarka odpadami.



14–16 grudnia 2020

Zagadnienie to jest regulowane przez wiele dyrektyw unijnych, których następstwem są wytyczne dotyczące maksymalnego poziomu generowania i składowania odpadów. Podstawowe regulacje prawne w ramach UE w zakresie gospodarki odpadami zostały określone w dyrektywie unijnej 2008/98/WE z 2008 r. [6]. Porządkuje ona główne definicje z tego zakresu oraz wskazuje na priorytety w zakresie postępowania z odpadami:

- zapobieganie,
- przygotowywanie do ponownego użycia,
- recykling,
- inne metody odzysku, np. odzysk energii,
- unieszkodliwianie.

Zgodnie z przedstawioną hierarchią, w ramach UE funkcjonują wytyczne w postaci konkretnych planów działania, wymagające od krajów unijnych określonego poziomu zagospodarowania odpadów. Przykładem takiego planu może być unijny program „zero odpadów” o następujących założeniach:

- zwiększenie ponownego wykorzystania odpadów komunalnych oraz ich recykling do poziomu co najmniej 70% do 2030 r.,
- osiągnięcie poziomu recyklingu odpadów opakowaniowych w wysokości 60% do 2020 r., 70% do 2025 r. i 80% do roku 2030 r.,
- zakaz składowania odpadów podlegających recyklingowi (tworzywa sztuczne, papier i tekstura, szkła, metale oraz odpady biodegradowalne) od 2025 r.,
- wyeliminowanie składowania odpadów recyklingowych do 2030 r. (z wyjątkiem 5% tzw. odpadów resztkowych, dla których nie istnieją możliwości ich przetwarzania) [3].

Ponadto dyrektywa 2018/851 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2008/98/WE w sprawie odpadów wskazuje, że poziom przygotowania do ponownego użycia i recykling odpadów komunalnych zostanie zwiększony wagowo do minimum 55% w roku 2025, 60% w roku 2030 i 65% w roku 2035 [7].

Obserwując wytyczne unijne dotyczące gospodarki odpadami, można zauważyć, iż podnoszony jest oczekiwany poziom recyklingu, przy jednoczesnym ograniczaniu składowania odpadów na wysypiskach. Coraz wyższe wymagania w zakresie norm środowiskowych stawianych na poziomie krajów UE implikują tym samym konieczność monitoringu w zakresie ich realizacji [4], w tym również z uwzględnieniem hierarchii postępowania z odpadami [8].

2.3. Znaczenie innowacji ekologicznych dla właściwej gospodarki odpadami w krajach UE

Jednym z głównych czynników wspierających efektywne gospodarowanie odpadami jest rozwój nowoczesnych, często innowacyjnych technologii w tym zakresie, które można określić mianem innowacji ekologicznych. Ten rodzaj innowacji został m.in. zdefiniowany w ramach Programu Ramowego na Rzecz Konkurencyjności i Innowacyjności, przygotowanym przez Komisję Europejską [9], oraz w opracowaniu „Innowacja na rzecz zrównoważonej przyszłości – Plan działania w zakresie eko-innowacji (Eco-AP)” [10], gdzie za innowacje ekologiczne uznaje się takie rodzaje innowacji, które przyczyniają się do realizacji idei zrównoważonego rozwoju, poprzez minimalizowanie wpływu na środowisko lub zwiększenie efektywności i odpowiedzialności dotyczącej wykorzystywania zasobów.



14–16 grudnia 2020

Innowacje ekologiczne są czynnikiem wspierającym spełnienie coraz wyższych norm unijnych w zakresie sposobów zagospodarowania odpadów. Jednocześnie przyczyniają się one do realizacji założeń współczesnych koncepcji rozwoju gospodarczego, który – zgodnie z założeniami Europejskiego Zielonego Ładu – powinien być neutralny dla środowiska.

3. Metodologia analiz

Dane do analizy pochodzą z bazy statystycznej Eurostatu [11] oraz z danych publikowanych przez Komisję Europejską w zakresie Europejskiej Tablicy Innowacyjności [12], gdzie na bazie 27 wskaźników określana jest pozycja innowacyjna danego kraju. Zgodnie z przyjętą metodologią badań porównano sposoby zagospodarowania odpadów w UE w okresie 2009–2018, jak również zastosowano analizę o charakterze statystycznym w zakresie sposobów zagospodarowania odpadów w poszczególnych krajach członkowskich w roku 2018 (z wyjątkiem Cypru, z uwagi na brak danych). Dane ilościowe zostały przeliczone na udziały procentowe, stanowiąc bazę do porównań. Następnie porównano wyniki analizy sposobów zagospodarowania odpadów w poszczególnych krajach z oceną ich innowacyjności zgodnie z Europejską Tablicą Innowacyjności, wydatkami na ochronę środowiska oraz badania i rozwój za rok 2018 i lata wcześniejsze od 2009 r. Ponadto obliczono zależność pomiędzy sposobami zagospodarowania odpadów w poszczególnych krajach a wspomnianymi zmiennymi, w postaci współczynników korelacji.

4. Wyniki badań

Analizując okres od 2009 do 2018 r., można zauważyć, że zarówno w wartościach ogólnych, jak i w przeliczeniu na mieszkańca, poziom generowanych odpadów spadł w całym analizowanym okresie odpowiednio o 2,6 i 4,5%. Zjawiska te pokazuje poniższy rysunek 3.

Poddając analizie gospodarkę odpadami w UE w ostatnich latach, można zauważyć, że wykazuje ona właściwe tendencje, tzn. maleje poziom odpadów komunalnych wywożonych na składowiska, przy jednoczesnym wzroście poziomu odzysku, tj. spalania i recyklingu. Widać to po sposobach zagospodarowania odpadów, co pokazuje rysunek 4.

Chociaż ogólne tendencje są właściwe, to jednak występują znaczące różnice pomiędzy krajami zarówno w poziomie odpadów generowanych w krajach UE, jak również w przeliczeniu na mieszkańca.

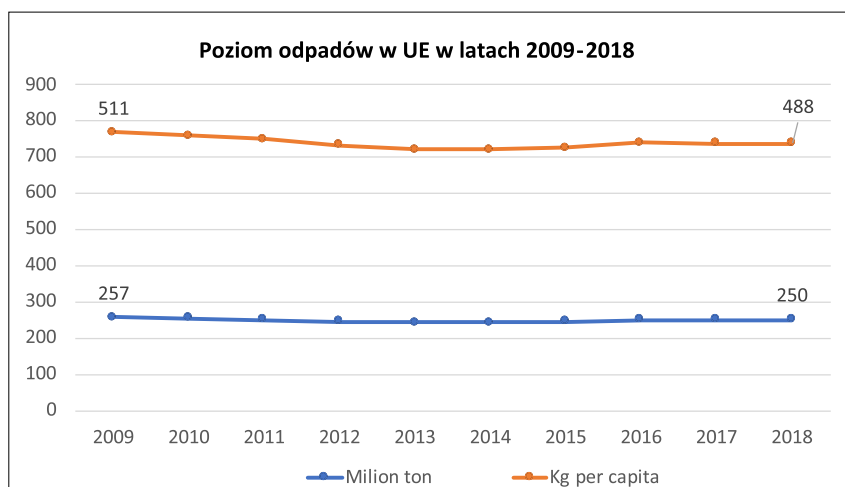
Poniżej zamieszczono kilka obserwacji o charakterze statystycznym na podstawie przedstawionych obliczeń bazujących na 2018 r.:

- maksymalne i minimalne poziomy wygenerowanych odpadów wynoszą odpowiednio 50 260 tys. ton (Niemcy) i 321 tys. ton (Malta) w ramach krajów oraz 812 kg (Dania) i 242 kg (Rumunia) na mieszkańca,



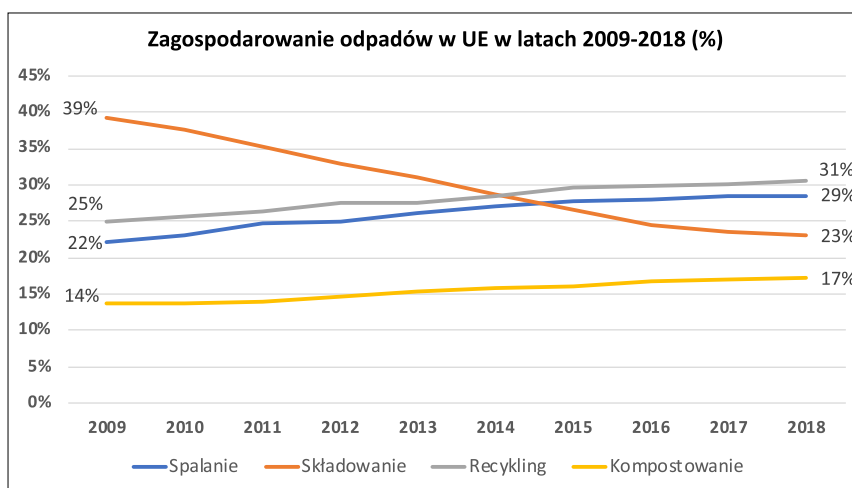
14–16 grudnia 2020

- średni poziom generowanych odpadów to 9 251,85 tys. ton w ramach krajów i 474,78 kg na mieszkańca,
- mediana w prezentowanych danych wynosi 4 416 tys. ton w ramach krajów i 451 kg na mieszkańca,
- 25% krajów „znajduje się” poniżej poziomu 2 011 tys. ton w ramach krajów i 389 kg na mieszkańca (dolny kwartyl),
- 25% krajów „znajduje się” powyżej 7 164,5 tys. ton w ramach krajów i 543 kg na mieszkańca (górny kwartyl),



Rysunek 3.

Kształtowanie się poziomu odpadów komunalnych wytworzonych w UE oraz w przeliczeniu na mieszkańca w latach 2009–2018 (pracowanie na podstawie [11])



Rysunek 4.

Sposoby zagospodarowania odpadów w latach 2009–2018 (średnia) (opracowanie na podstawie [11])



14–16 grudnia 2020

Tabela 1.

Ilość odpadów generowanych w krajów UE i w przeliczeniu na mieszkańca w 2018 r. oraz ich analiza

2018	Ilość odpadów[tys. kg]	Ilość odpadów w przeliczeniu na mieszkańca [kg]
Belgia	4677	404
Bułgaria	2 862	407
Czechy	3 732	350
Dania	4 715	812
Niemcy	50 260	607
Estonia	535	367
Irlandia	2 912	566
Grecja	5 523	514
Hiszpania	22 229	463
Francja	35 889	535
Chorwacja	1 768	395
Włochy	30 165	451
Cypr	b.d.	b.d.
Łotwa	785	351
Litwa	1 301	416
Luksemburg	488	806
Węgry	3 729	383
Malta	321	616
Holandia	8 806	511
Austria	5 119	571
Polska	11 969	320
Portugalia	5 213	487
Rumunia	5 296	242
Słowenia	1 009	383
Słowacja	2 254	414
Finlandia	3 041	551
Szwecja	4 416	434
Wielka Brytania	30 786	463
	Odpady razem [tys. kg]	Odpady per capita [kg]
Max. poziom	50 260,00	812
Min. poziom	321,00	242
Średni poziom	9 251,85	474,78
Mediana	4 416,00	451
Dolny kwartył Q1	2 011,00	389
Górny kwartył Q1	7 164,50	543
Percentyl 10	685,00	350,60
Percentyl 90	30 413,40	610,60
Rozstęp	49 939,00	570
Skośność	2,00	1,04

b.d. – brak danych.

Źródło: opracowanie na podstawie [11]



14–16 grudnia 2020

- 10% krajów „znajduje się” poniżej poziomu 685 tys. ton w ramach krajów i 350,6 kg na mieszkańca (percentyl 10),
- 10% krajów „znajduje się” powyżej 30 413,40 tys. ton w ramach krajów i 610 kg na mieszkańca (percentyl 90),
- różnica pomiędzy największą i najmniejszą wartością w ramach krajów wynosi 49 939 tys. ton i 570 kg na mieszkańca (rozstęp),
- różnica pomiędzy górnym i dolnym kwartyłem wynosi 5 153,5 tys. ton w ramach krajów i 154 kg na mieszkańca (rozstęp kwartylny),

Tabela 2.

Sposoby zagospodarowania odpadów w krajach UE w 2018 r.

2018	Składowanie [%]	Spalanie [%]	Recykling [%]	Kompostowanie [%]
Belgia	1	44	35	20
Bułgaria	61	7	30	2
Czechy	49	17	27	7
Dania	1	49	32	18
Niemcy	1	32	49	18
Estonia	24	45	27	4
Irlandia	15	45	31	9
Grecja	78	2	15	5
Hiszpania	52	12	19	17
Francja	21	34	25	20
Chorwacja	72	0	25	3
Włochy	24	21	32	23
Cypr	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Łotwa	68	2	22	7
Litwa	27	14	27	32
Luksemburg	5	47	30	19
Węgry	49	13	29	8
Malta	89	0	11	0
Holandia	1	43	27	29
Austria	2	39	26	33
Polska	43	24	26	7
Portugalia	51	19	13	18
Rumunia	82	5	9	4
Słowenia	12	13	54	21
Słowacja	55	8	27	10
Finlandia	1	57	29	13
Szwecja	1	53	30	16
Wielka Brytania	15	41	27	17

b.d. – brak danych.

Źródło: opracowanie na podstawie [11]



14–16 grudnia 2020

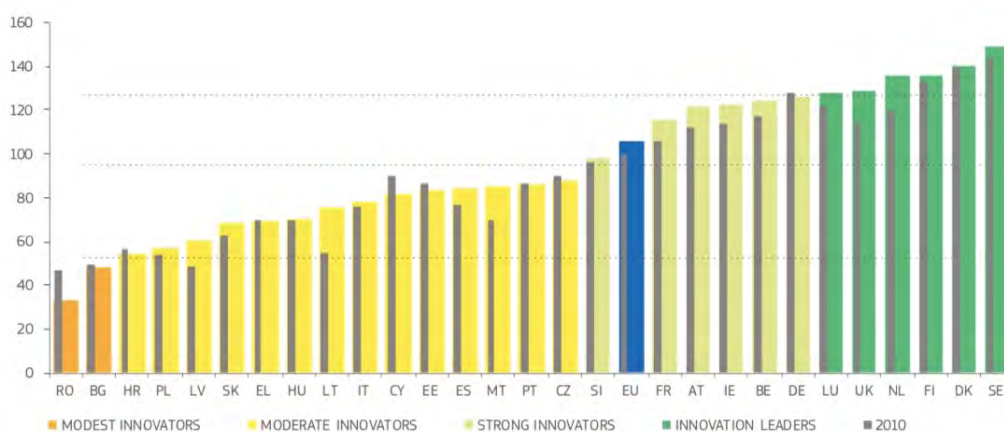
- występuje prawostronna asymetria rozkładu danych, co oznacza, że większość obserwacji znajduje się poniżej średniej, zarówno w ramach krajów, jak i w przeliczeniu na mieszkańca (skośność).

Oprócz różnic w poziomach generowanych odpadów ogółem, jak również w przeliczeniu na mieszkańca, znaczące różnice pomiędzy poszczególnymi krajami UE występują również w sposobach zagospodarowania odpadów.

Z przedstawionych danych wynika, że niektóre kraje funkcjonują na dwóch bardzo różnych pozycjach w zakresie postępowania z odpadami. Po jednej stronie znajdują się takie kraje jak Belgia, Dania, Niemcy, Holandia, Finlandia i Szwecja, gdzie prawie całość odpadów jest „zagospodarowana”, a po drugiej – takie kraje jak Łotwa, Malta, Chorwacja, gdzie odpady są kierowane w większości na składowiska. Ma to związek ze specyfiką gospodarki danych krajów, jak również poziomem rozwoju gospodarczego. Warto przy tym wspomnieć, iż istnieje słaba korelacja pomiędzy ilością odpadów generowanych *per capita* a sposobem ich zagospodarowania wyrażonym udziałem składowania. W latach 2009–2018 współczynnik korelacji wyniósł od $-0,51$ do $-0,33$ ($-0,41$ w 2018 r.)

Spełnienie wytycznych unijnych w zakresie coraz wyższych poziomów recyklingu związane jest z wykorzystaniem nowoczesnych, często innowacyjnych technologii. Umożliwiają one zarówno bardziej efektywne wykorzystanie zasobów, jak również właściwe zagospodarowanie odpadów w sposób zapewniający wysoki poziom ich przetworzenia. Ocena innowacyjności krajów jest prezentowana w corocznie publikowanej Europejskiej Tablicy Innowacyjności [12].

Znaczenie innowacji, w tym innowacji ekologicznych, jest szczególnie widoczne, przy porównaniu sposobów zagospodarowania odpadów w poszczególnych krajach z oceną ich innowacyjności. Kraje posiadające wysoką ocenę w Europejskiej Tablicy Innowacyjności wykazują jednocześnie wysoki poziom zagospodarowania odpadów (niski udział składowania w sposobach zagospodarowania odpadów), natomiast kraje z niską oceną poziomu innowacyjności wykazują również niski poziom zagospodarowania odpadów (wysoki udział składowania). Potwierdza to współczynnik korelacji, który w 2018 r. wyniósł $0,81$, co wskazuje, że innowacje można uznać za jeden z kluczowych czynników wpływających na właściwe gospodarowanie odpadami [4], zgodnie z koncepcją gospodarki cyrkularnej [13].



Rysunek 5.
Europejska Tablica Innowacyjności 2018 [12]



14–16 grudnia 2020

Podobnie silna zależność występuje, gdy porównamy sposoby zagospodarowania odpadów (wyrażone udziałem składowania) z nakładami na badania i rozwój, wyrażone jako procent PKB, gdzie w 2018 r. współczynnik korelacji wyniósł $-0,78$, natomiast w okresie 2009–2018 współczynnik ten kształtował się między $-0,86$ a $-0,77$, co oznacza, że im wyższy poziom tych nakładów, tym niższy udział składowisk w sposobach zagospodarowania odpadów.

Tabela 3.

Zależność między sposobami zagospodarowania odpadów a nakładami na badania i rozwój oraz oceną poziomu ich innowacyjności w roku 2018

2018	Układ składowisk [%]	Pozycja w Europejskiej Tablicy Innowacyjności	% PKB na B+R	Współczynnik korelacji	Współczynnik korelacji
Belgia	1	8	2,67	0,81	-0,78
Bułgaria	62	27	0,76		
Czechy	49	13	1,90		
Dania	1	2	3,02		
Niemcy	1	7	3,12		
Estonia	21	17	1,41		
Irlandia	14	9	1,14		
Grecja	78	22	1,21		
Hiszpania	51	16	1,24		
Francja	21	11	2,20		
Chorwacja	66	26	0,97		
Włochy	22	19	1,42		
Cypr	b.d.	18	0,62		
Łotwa	59	24	0,64		
Litwa	25	20	0,94		
Luksemburg	5	6	1,17		
Węgry	50	21	1,51		
Malta	83	15	0,60		
Holandia	1	4	2,14		
Austria	2	10	3,14		
Polska	43	25	1,21		
Portugalia	49	14	1,35		
Rumunia	74	28	0,50		
Słowenia	10	12	1,95		
Słowacja	55	23	0,84		
Finlandia	1	3	2,76		
Szwecja	1	1	3,32		
Wielka Brytania	15	5	1,73		

b.d. – brak danych.

Źródło: opracowanie na podstawie [11, 14]



14–16 grudnia 2020

Powyższe obserwacje wskazują na konieczność aktywizacji działań w zakresie nakładów na badania i rozwój, jak również stosowania innowacyjnych rozwiązań technologicznych zmierzających do bardziej efektywnego wykorzystywania zasobów oraz większego stopnia przetwarzania odpadów.

W uzupełnieniu przedstawionych uwarunkowań warto wspomnieć, iż na bardzo niskim poziomie kształtuje się zależność pomiędzy udziałem składowania w sposobach zagospodarowania odpadów a wydatkami na ochronę środowiska, gdzie w latach 2014–2017 (tj. w okresie dostępności danych) współczynnik korelacji kształtował się na poziomie od $-0,26$ (2015 r.) do $-0,37$ (2017 r.). Tym samym wskazuje to na brak istotnego powiązania wydatków środowiskowych ze sposobami zagospodarowywania odpadów.

5. Podsumowanie i wnioski

Ewolucja koncepcji rozwoju gospodarczego uwzględniającej aspekt środowiskowy, której obecnym efektem jest idea Europejskiego Zielonego Ładu, skutkuje coraz wyższymi wymaganiami w zakresie norm środowiskowych. Jednym z założeń Europejskiego Zielonego Ładu jest wdrożenie gospodarki cyrkularnej, której realizacja jest możliwa dzięki właściwie funkcjonującej gospodarce odpadami. Zgodnie z wytycznymi unijnymi, kraje członkowskie mają wyznaczone coraz wyższe cele do spełnienia w tym obszarze, które dotyczą m.in. sposobów zagospodarowania odpadów. Z przeprowadzonych badań wynika, że dotychczasowe wyniki poszczególnych krajów są bardzo zróżnicowane w tym zakresie. Tym samym, choć gospodarka odpadami w UE prezentuje właściwą tendencję na przestrzeni lat, co można uzasadnić wpływem krajów będących liderami w tym obszarze, to aby mówić o realizacji wizji Europejskiego Zielonego Ładu, w którym „żaden region nie pozostanie w tyle”, konieczna jest aktywizacja działań zmierzających do poprawy gospodarki odpadami krajów o najgorszych wynikach w tym zakresie. Wsparcie może tu stanowić zwiększenie zaangażowania nowoczesnych innowacyjnych rozwiązań technologicznych, szczególnie o charakterze ekologicznym, jak również efektywne nakłady skierowane na obszar badawczo-rozwojowy. Potwierdzeniem tego jest zestawienie wspomnianych nakładów oraz wyników ocen innowacyjności poszczególnych krajów ze sposobami realizacji przez nie gospodarki odpadami.

LITERATURA

- [1] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Europejski Zielony Ład, Bruksela, 2019.
- [2] EMF. Towards the circular economy. Economic and business rationale for an accelerated transition. Ellen MacArthur Foundation, 2013, 7.
- [3] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów: Ku gospodarce o obiegu zamkniętym: program „zero odpadów” dla Europy, Bruksela, 2014.



14–16 grudnia 2020

- [4] Malinauskaite, J., Jouhara, H., Czajczynska, D., Stanchev, P., Katsou, E., Rostkowski, P., Thorne, R.J., Colon, J., Ponsa, S., Al-Mansour, F., Anguilano, L., Krzyżyńska, R., Lopez, I.C., Vlasopoulos, A., Spencer, N. 2017. Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe. *Energy* 141, 2013–2014, 2038.
- [5] Hollins, O., Lee, P., Sims, E., Bertham, O., Symington, H., Bell, N., Pfaltzgraff, L., Sjögren, P. 2017. Towards a Circular Economy – Waste Management in the EU. *Science and Technology Options Assessment*, Brussels.
- [6] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy, Parlament Europejski i Rada Unii Europejskiej, Bruksela, 2008.
- [7] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/851 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2008/98/WE w sprawie odpadów, Parlament Europejski i Rada Unii Europejskiej, Bruksela, 2018.
- [8] Pires A., Martinho G. 2019. Waste hierarchy index for circular economy in waste management. *Waste Management* 95, 299.
- [9] Decyzja nr 1639/2006/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 24 października 2006 ustanawiająca Program ramowy na rzecz konkurencyjności i innowacji (2007–2013).
- [10] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów: Innowacja na rzecz zrównoważonej przyszłości – Plan działania w zakresie ekoinnowacji (Eco-AP), Bruksela, 2011.
- [11] Eurostat. Online: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/product/view/env_wasmun?lang=en [Dostęp: 23.01.2021].
- [12] European Innovation Scoreboard 2018, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018.
- [13] Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., Hanemaaijer, A. 2017. Circular Economy: measuring innovation in the product chain. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 12.
- [14] Eurostat. Online: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/t2020_20/default/table?lang=en [Dostęp: 17.01.2021].



Ewa HOŁOTA*
Sylvia TERPIŁOWSKA*
Artur POLIT*

Analiza wybranych parametrów powietrza wewnętrznego w pomieszczeniu dydaktycznym

STRESZCZENIE: W pracy przedstawiono analizę jakości powietrza wewnętrznego, w skład której wchodziły pomiary takich parametrów jak temperatura, wilgotność względna i stężenie CO₂, oraz analizę mikrobiologiczną powietrza w pomieszczeniach dydaktycznych podczas trwania zajęć. Pomiary zrealizowano w pracowni komputerowej i w laboratorium biologicznym. Warunki początkowe panujące przed pomiarami znacząco się różniły. W sali komputerowej przeprowadzono dwie serie pomiarów – pierwszą rozpoczęto po intensywnym wietrzeniu sali $t_p = 20,2^\circ\text{C}$, drugą zaś poprzedzono ogrzaniem pomieszczenia do temperatury $23,2^\circ\text{C}$. W laboratorium biologicznym ogrzano powietrze do temperatury $25,1^\circ\text{C}$. Badania parametrów jakości powietrza przeprowadzono przy użyciu przyrządu pomiarowego TESTO 480, który został umieszczony na wysokości głów osób przebywających w pomieszczeniu. Posiewy mikrobiologiczne przeprowadzono metodą sedymentacyjną. Próby powietrza pobierano na płytki Petriego z agarem odżywczym oraz podłożem Sabourauda. Płytki inkubowano w temperaturze 20°C oraz 37°C .

Przeprowadzone badania miały na celu śledzenie zmian parametrów powietrza wewnętrznego w czasie trwania zajęć i wskazanie prawidłowości działania wentylacji w pomieszczeniach. W wyniku przeprowadzonych analiz wykazano zależności pomiędzy stężeniem CO₂, temperaturą oraz wilgotnością względną w pomieszczeniach. Przeprowadzone badania mikrobiologiczne wykazały wzrost mikroorganizmów w temperaturze 37°C . Dominowały G+ i G– ziarniaki. Nie zaobserwowano wzrostu grzybów.

SŁOWA KLUCZOWE: powietrze wewnętrzne, ditlenek węgla, wilgotność względna, mikroorganizmy

1. Wprowadzenie

Człowiek większość czasu spędza w pomieszczeniach zamkniętych, m.in. w domu, w pracy, na uczelni. W każdym z tych budynków wytworzony jest specyficzny mikroklimat, który zależy od

* Wydział Nauk Ścisłych i Nauk o Zdrowiu, Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II; e-mail: ewa.holota@kul.pl, sylvia.terpilowska@kul.pl



wielu czynników, m.in. temperatury, wilgotności względnej, ruchu powietrza, ciśnienia atmosferycznego oraz stężenia ditlenku węgla. Większość z tych czynników, za wyjątkiem ciśnienia atmosferycznego i stężenia CO₂, wpływa na odczucie komfortu cieplnego. Od odpowiedniego mikroklimatu panującego w pomieszczeniach zależy nasze zdrowie fizyczne i psychiczne oraz wydajność pracy [1].

Problem dotyczący jakości powietrza w pomieszczeniach pojawił się wraz z rozwojem technologii budowlanej. Pogorszenie jakości powietrza wewnętrznego nastąpiło również w wyniku coraz częstszego przeprowadzania modernizacji istniejących budynków [2, 3]. Zwiększenie szczelności budynków poprzez zastosowanie nowoczesnych okien i ocieplenie przegród budowlanych spowodowało pogorszenie działania wentylacji naturalnej, na skutek czego dopływ świeżego powietrza do wnętrza pomieszczenia jest często poniżej minimum higienicznego, co przyczynia się do powstania problemu zwanego syndromem chorego budynku [4, 5]. W celu zapewnienia odpowiedniej jakości powietrza w pomieszczeniu, wymaganego ze względów higienicznych, konieczne jest dostarczenie minimalnej ilości powietrza zewnętrznego, zależnej m.in. od liczby osób przebywających w danym pomieszczeniu. Minimalny strumień powietrza zewnętrznego wg normy [6] PN-83/B-03430/Az3:2000 w pomieszczeniach użyteczności publicznej powinien wynosić co najmniej 20 m³/h dla każdej przebywającej osoby, natomiast minimalna liczba wymian powietrza w sali lekcyjnej – 2 h⁻¹. Norma [7] PN-EN 15251 podaje, że dla budynków niemieszkalnych strumień powietrza wentylacyjnego nawiewanego do pomieszczenia zależy nie tylko od sposobu użytkowania pomieszczenia, ale również od zachodzących procesów (np. obsługa kserokopiarek i drukarek w biurze, doświadczenia chemiczne w szkole) czy emisji zanieczyszczeń chemicznych z materiałów zastosowanych do budowy i wyposażenia pomieszczenia.

Parametrów opisujących jakość powietrza jest wiele, jednak do podstawowych możemy zaliczyć temperaturę, wilgotność względną, stężenie ditlenku węgla oraz występowanie bakterii i grzybów. Optymalna wartość temperatury wewnątrz pomieszczeń zależy nie tylko od rodzaju pomieszczenia, ale przede wszystkim od pory roku. W sezonie zimowym temperatura powinna wynosić między 20°C a 22°C, natomiast latem 24–26°C [8]. Zgodnie z przepisami dotyczącymi bezpieczeństwa i higieny pracy na stanowiskach wyposażonych w monitory ekranowe [9] wilgotność względna powietrza w pomieszczeniu nie powinna być niższa niż 40%. Zaleca się, aby wilgotność powietrza zimą wynosiła 40–60%, a latem 30–50%. Spadek wilgotności względnej poniżej 30% powoduje, że powietrze wewnątrz pomieszczeń staje się suche, występuje zwiększone unoszenie się cząstek kurzu, co niekorzystnie wpływa na jakość powietrza. Kolejnym parametrem opisującym jakość powietrza i wydajność wentylacji jest stężenie ditlenku węgla w pomieszczeniu. W polskim prawodawstwie brak jest jednak określonych, dopuszczalnych stężeń ditlenku węgla w powietrzu atmosferycznym i w powietrzu znajdującym się w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi. Przyjmuje się, że dopuszczalne stężenie CO₂ w takich pomieszczeniach nie powinno przekroczyć wartości 1000 ppm [4, 10–12]. Do głównych źródeł zanieczyszczeń biologicznych występujących w salach dydaktycznych możemy zaliczyć gazy wytwarzane przez ludzi, lotne związki organiczne pochodzące od wyposażenia pomieszczeń, a także bakterie i grzyby [4, 5].

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań parametrów powietrza wewnętrznego w dwóch salach dydaktycznych – komputerowej i laboratoryjnej. Zostały one przeanalizowane pod kątem konieczności zapewnienia odpowiednich parametrów powietrza. Analiza parametrów powietrza wewnętrznego pozwoliła również na określenie czasu, po którym wartości stężenia CO₂



przekraczają poziom minimum higienicznego. Wyniki badań pozwoliły na określenie poprawności działania wentylacji w badanym pomieszczeniu.

2. Obiekt badań i metodyka badawcza

Pomieszczenia dydaktyczne, w których przeprowadzono badania, znajdują się w budynku Inżynierii Środowiska Filii Katolickiego Uniwersytetu Lubelskiego Jana Pawła II w Stalowej Woli. Pomiary zostały wykonane w pracowni komputerowej oraz w laboratorium biologicznym. W tabeli 1 przedstawiono cechy charakterystyczne pomieszczeń dydaktycznych. W badanych pomieszczeniach występuje wentylacja mechaniczna nawiewno-wywiewna, o wydajności 480 m³/h dla sali komputerowej i 300 m³/h dla sali laboratoryjnej, która z uwagi na wprowadzenie na uczelni nauczania hybrydowego włączana była tylko w dni, kiedy odbywały się zajęcia stacjonarne.

Tabela 1.
Opis pomieszczeń dydaktycznych

Pomieszczenie	Pracownia komputerowa		Laboratorium biologiczne
Seria badań	I seria	II seria	I seria
Powierzchnia [m ²]	66,90		53,42
Kubatura [m ³]	230,80		184,30
Powierzchnia okna [m ²]	22,80		6,78
Rodzaj wentylacji	mechaniczna nawiewno-wywiewna, włączona		mechaniczna nawiewno-wywiewna, wyłączona
Rodzaj ogrzewania	dwa klimakonwektory		jeden klimakonwektor
Temperatura początkowa [°C]	20,2	23,2	25,1
Początkowe stężenie CO ₂ [ppm]	351	416	407
Początkowa wilgotność względna [%]	44,1	29,8	21,1
Ilość osób w sali	7	7	7

Badania jakości powietrza przeprowadzono w okresie jesiennym, podczas sezonu grzewczego. Temperatura powietrza zewnętrznego oscylowała w granicach 8°C, stężenie CO₂ wynosiło poniżej 400 ppm. Pomiary przeprowadzono przy użyciu wielofunkcyjnego przyrządu pomiarowego TESTO 480 wyposażonego w sondę do pomiaru temperatury, wilgotności i stężenia ditlenku węgla o dokładności: ±0,3°C dla pomiarów temperatury w zakresie od 0 do +50°C, ±1,8%RH + 0,7% mierzonej wartości dla pomiarów wilgotności względnej w zakresie od 0 do 100%RH oraz ±75ppm + 3%



mierzonej wartości dla pomiarów stężenia ditlenku węgla w zakresie od 0 do +5000 ppm CO₂. Rejestrację parametrów powietrza wykonywano co 5 minut.

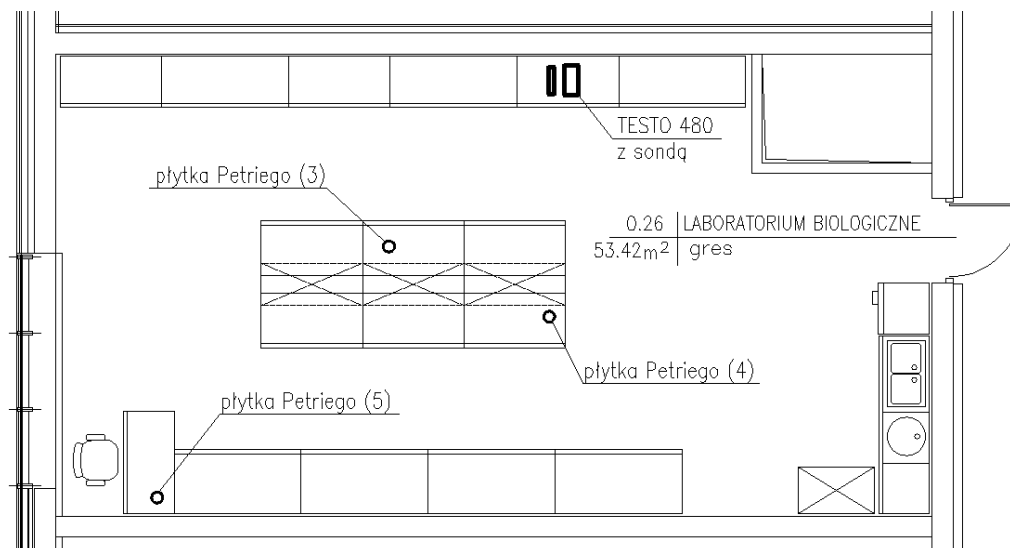
Badania mikrobiologiczne wykonano zgodnie z normą [13] PN-89/Z-04111/02. Próby powietrza pobierano na płytki Petriego z podłożem Sabourauda i agarem odżywczym. W pracowni komputerowej pomiary parametrów jakościowych zostały przeprowadzone w dwóch seriach. Pierwszą serię badań rozpoczęto po intensywnym wietrzeniu sali, otrzymując temperaturę początkową $t_p = 20,2^{\circ}\text{C}$. Drugą serię badań poprzedzono ogrzaniem pomieszczenia do temperatury początkowej $t_p = 23,2^{\circ}\text{C}$. Urządzenie pomiarowe zostało umieszczone pomiędzy stanowiskami komputerowymi, na wysokości głów osób siedzących (rys. 1). Próby powietrza pobrano w dwóch miejscach (rys. 1), rozstawiając płytki Petriego przy komputerze w pierwszym rzędzie (1) oraz w odległości około 1,5 m od urządzenia grzewczego (2). Przygotowane płytki z podłożami umieszczono na wysokości 1 metra na okres 30 minut. Po tym czasie płytki poddano inkubacji w cieplarni laboratoryjnej przez okres 48h. Płytki inkubowano w temperaturach 20°C oraz 37°C. Bezpośrednio po wyjęciu płytek z inkubatorów bakterie poddano barwieniu metodą Grama.



Rysunek 1.

Rzut pracowni komputerowej wraz z umiejscowieniem urządzenia pomiarowego
Testo 480 z sondą pomiarową oraz płytek Petriego

W sali laboratoryjnej została wykonana jedna seria badań. Urządzenie pomiarowe zostało umieszczone na stole laboratoryjnym, na wysokości głów osób siedzących (rys. 2). Próby powietrza w pobrano w trzech miejscach (rys. 2). Płytki Petriego z podłożem Sabourauda i agarem odżywczym rozstawiono na stołach laboratoryjnych w centralnym miejscu sali (3) i bliżej wejścia do sali (4) oraz przy stanowisku osoby prowadzącej (5). Przygotowane płytki z podłożami umieszczono na wysokości 1 metra na okres 30 minut. Po tym czasie płytki poddano inkubacji, a wyrośnięte drobnoustroje barwieniu metodą Grama.



Rysunek 2.

Rzut laboratorium biologicznego wraz z umiejscowieniem urządzenia pomiarowego Testo 480 z sondą pomiarową oraz płytek Petriego

3. Wyniki

3.1. Wyniki pomiarów parametrów jakości powietrza wewnętrznego

Wyniki pomiarów parametrów jakości powietrza wewnętrznego przedstawiono w tabeli 2. Wskazano w niej wartości minimalne, maksymalne oraz średnie mierzonych parametrów. W sali komputerowej pomiary trwały przez okres sześciu godzin zajęć dydaktycznych od 10:00 do 16:00, w godzinach 13:30–14:20 następowało wietrzenie sali. W laboratorium biologicznym pomiary trwały 7,5 godziny, od 12:00 do 19:30. Zajęcia prowadzono w trzech blokach – od 12:00 do 14:10, od 16:00 do 16:45 i od 18:20 do 19:30.

Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono wykres zmian temperatury, wilgotności względnej i stężenia ditlenku węgla w czasie, dla pierwszej i drugiej serii pomiarowej wykonanej w pracowni komputerowej, natomiast na rysunku 5 przedstawiono wyniki pomiarów przeprowadzonych w laboratorium biologicznym. Analizując wykresy, możemy zauważyć wyraźną zależność pomiędzy stężeniem CO₂ i temperaturą. W miarę wzrostu temperatury w pomieszczeniu rosło również stężenie CO₂. W laboratorium biologicznym, w którym panowała niska wilgotność względna powietrza na skutek wysokiej temperatury, większą zależność zauważono pomiędzy stężeniem CO₂ i wilgotnością, niż temperaturą. W przypadku pomiarów w pracowni komputerowej, wilgotność względna w pierwszej serii pomiarowej, w której panowała niższa temperatura, utrzymywała się na stałym poziomie,

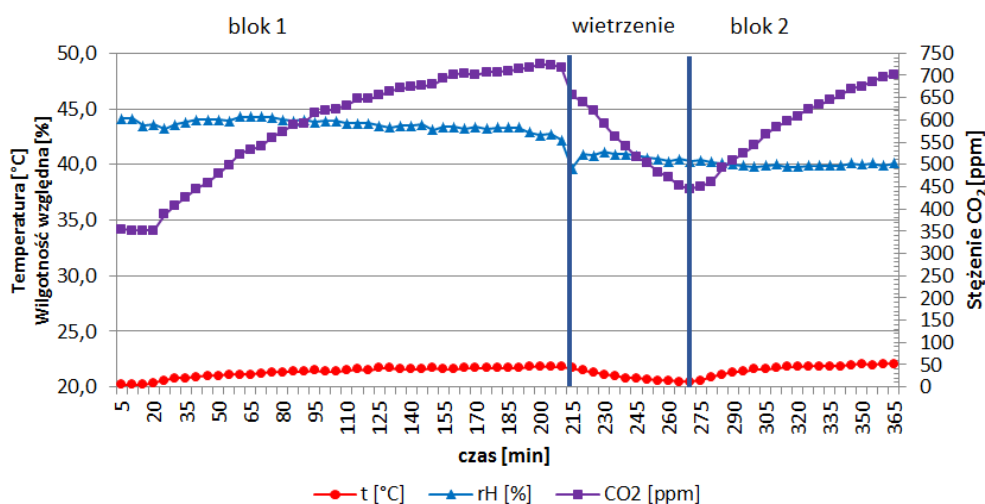


14–16 grudnia 2020

Tabela 2.
Wyniki pomiarów parametrów powietrza wewnętrznego

Mierzony parametr			Temperatura [°C]			Wilgotność względna [%]			Stężenie CO ₂ [ppm]		
			min.	max.	średnia	min.	max.	średnia	min.	max.	średnia
sala komputerowa	SERIA 1	blok 1	20,2	21,9	21,3	39,6	44,1	43,5	351	725	591
		blok 2	20,5	22,1	20,6	39,8	41	38,1	446	704	560
	SERIA 2	blok 1	23,2	24,1	23,8	29,8	30,9	30,5	416	782	663
		blok 2	23,2	24,5	23	30	32,4	29,4	602	914	762
lab. biologiczne	SERIA 1	blok 1	24,8	25,1	24,9	21,1	26,4	24,2	407	853	656
		blok 2	24,4	24,7	24,5	23,6	24,9	24,3	498	637	572
		blok 3	25,1	25,4	25,3	23,9	27,8	26,2	529	922	738

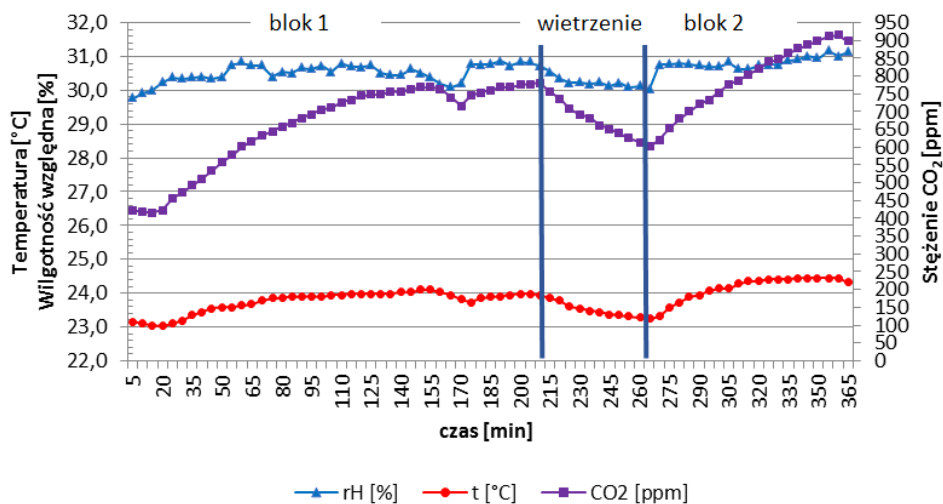
osiągając średnią wartość 42% podczas całego dnia pomiarów. W drugiej serii pomiarowej, przy wyższej temperaturze powietrza wewnętrznego, średnia wartość wilgotności względnej podczas całego czasu trwania pomiarów wynosiła 31%. W laboratorium biologicznym, w którym przez cały okres pomiarów panowała wysoka temperatura (średnia 24,9°C), wilgotność względna była na bardzo niskim poziomie pomiędzy 21,1% a 27,8%. Widać wyraźnie, że wzrost temperatury w pomieszczeniu powoduje obniżenie wilgotności względnej.



Rysunek 3.

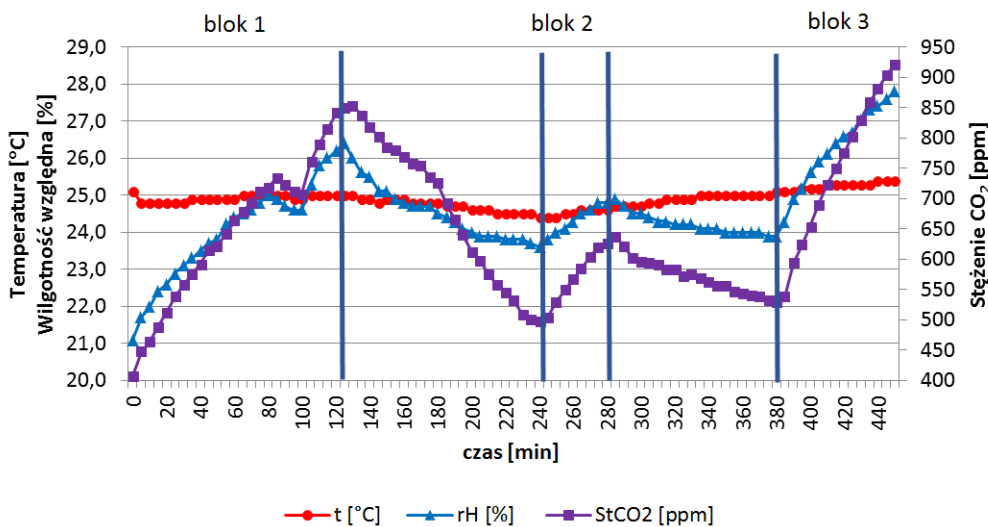
Wykres zmian temperatury, wilgotności względnej i stężenia dwutlenku węgla w czasie dla pierwszej serii pomiarowej

14–16 grudnia 2020



Rysunek 4.

Wykres zmian temperatury, wilgotności względnej i stężenia dwutlenku węgla w czasie dla drugiej serii pomiarowej



Rysunek 5.

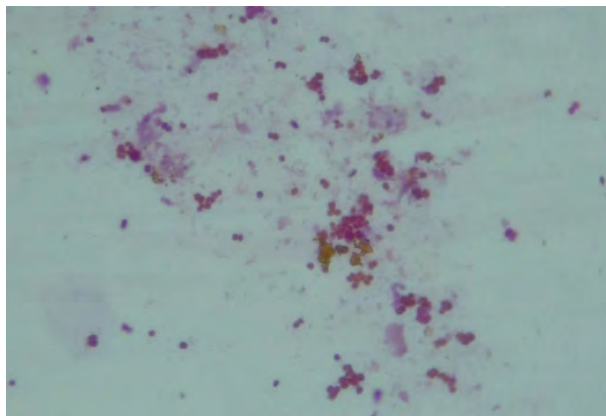
Wykres zmian temperatury, wilgotności względnej i stężenia dwutlenku węgla w czasie w laboratorium biologicznym

3.2. Wyniki posiewów mikrobiologicznych powietrza

W pracowni komputerowej, na płytkach z agarem odżywczym umieszczonych w obu lokalizacjach (rys. 1) i inkubowanych w temperaturze 20°C, nie zauważono wzrostu bakterii i grzybów. Na płytkach inkubowanych w 37°C zaobserwowano małe, okrągłe, pojedyncze, żółte kolonie bakterii



14–16 grudnia 2020

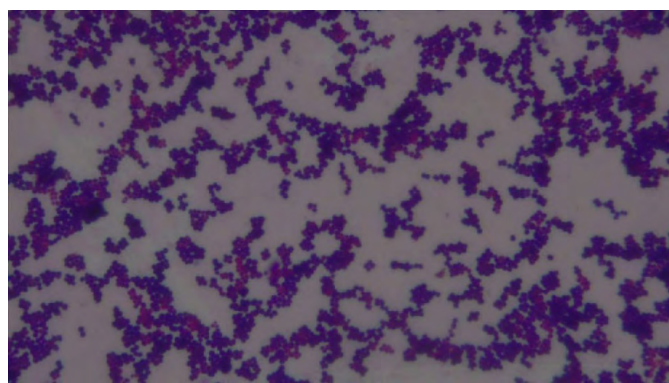


Rysunek 6.

Zdjęcie komórek drobnoustrojów wybarwione metodą Grama inkubowanych w 37°C z pracowni komputerowej, pow. 1000x

o gładkim brzegu. Analiza preparatów pod mikroskopem wykazała występowanie Gram ujemnych ziarniaków występujących po dwie (rys. 6). Na płytkach z podłożem Sabourauda nie zauważono wzrostu mikroorganizmów.

Na wszystkich płytkach z agarem odżywcym umieszczonych w laboratorium biologicznym i inkubowanych w temperaturze 20°C nie zaobserwowano wzrostu bakterii. Podobne rezultaty otrzymano w przypadku płytek z podłożem Sabourauda. Na płytce z agarem odżywcym umieszczonej centralnie w pomieszczeniu laboratoryjnym (nr 3 na rysunku 2) i inkubowanej w temperaturze 20°C zaobserwowano jedną dużą, wypukłą, białą kolonię o gładkim brzegu oraz trzy mniejsze kolonie – dwie żółte i jedną białą. Po analizie mikroskopowej stwierdzono przeważającą ilość Gram dodatnich ziarniaków występujących w gronach (rys. 7).

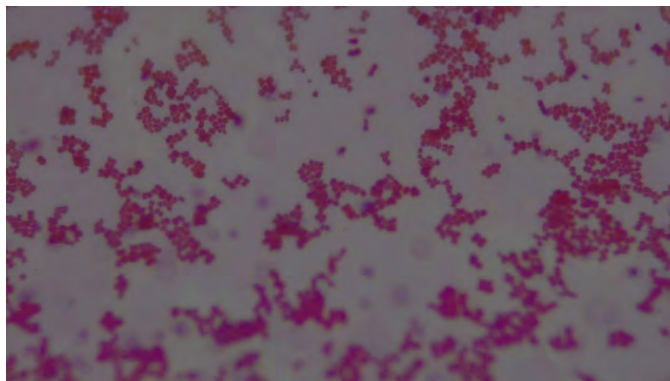


Rysunek 7.

Zdjęcie komórek drobnoustrojów wybarwione metodą Grama inkubowanych w 37°C z miejsca nr 3 w laboratorium biologicznym, pow. 1000x

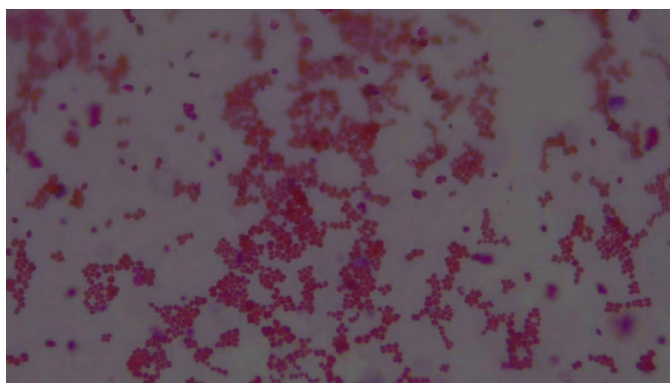


14–16 grudnia 2020



Rysunek 8.

Zdjęcie komórek drobnoustrojów wybarwione metodą Grama inkubowanych w 37°C z miejsca nr 4 w laboratorium biologicznym, pow. 1000x



Rysunek 9.

Zdjęcie komórek drobnoustrojów wybarwione metodą Grama inkubowanych w 37°C z miejsca nr 5 w laboratorium biologicznym, pow. 1000x.

Na płytce z agarem odżywczym umieszczonej w pobliżu wyjścia z sali (nr 4 na rysunku 2) i inkubowanej w temperaturze 37°C dokonano obserwacji kilku pojedynczych, wyniosłych, białych oraz żółtych kolonii, o gładkim brzegu. Podczas obserwacji mikroskopowej zaobserwowano przeważającą ilość Gram ujemnych ziarniaków (rys. 8).

Na płytce z agarem odżywczym, umieszczonej przy stanowisku prowadzącego zajęcia (nr 5 na rysunku 2) i inkubowanej w temperaturze 37°C, zaobserwowano cztery pojedyncze kolonie o gładkich brzegach, wyniosłe, dwie w kolorze żółtym i dwie białe. Analiza wykazała dominującą ilość Gram ujemnych ziarniaków (rys. 9).



14–16 grudnia 2020

4. Dyskusja

Przeprowadzone badania potwierdziły, że jakość powietrza w sali dydaktycznej znajdującej się w budynku Inżynierii Środowiska w Stalowej Woli nie różni się istotnie od jakości obserwowanej w innych budynkach dydaktycznych zarówno w Polsce, jak i w innych krajach [10–16]. Podobne pomiary przeprowadziła Gładyszewska-Fiedoruk [14], która badała wzrost stężenia ditlenku węgla w pomieszczeniach dydaktycznych w zależności od rodzaju wentylacji. W przypadku sali z działającą wentylacją mechaniczną przeprowadzone przez nią pomiary nie różniły się istotnie od opisanych w niniejszym badaniu. Stężenie CO₂ w badanym pomieszczeniu nie wzrosło ponad wartość graniczną 1000 ppm. Pomiary stężenia ditlenku węgla w pomieszczeniach uczelni wyższej, w tym w pracowni komputerowej, przeprowadził również Cichowicz [15, 16], który w swoich badaniach wyłączył wentylację mechaniczną w salach dydaktycznych. Wyniki tych pomiarów wykazały, że poziom CO₂ w pracowni komputerowej w dużej mierze zależy od ilości przebywających w niej osób.

W kilku przypadkach badania przeprowadzone przez innych autorów [17, 18] wykazywały znaczące różnice spowodowane występowaniem w pomieszczeniach dydaktycznych innego rodzaju wentylacji, zazwyczaj grawitacyjnej. W takich przypadkach stężenie CO₂ wzrastało ponad wartość graniczną 1000 ppm, niejednokrotnie przewyższając ją kilkukrotnie.

Badania dotyczące składu mikrobiologicznego powietrza w pomieszczeniach dydaktycznych również były prowadzone przez wielu naukowców. Samudio i inni [19], oprócz pomiarów parametrów fizykochemicznych, przeprowadzili również badania mikrobiologiczne powietrza w pomieszczeniach dydaktycznych w Porto w Portugalii. Otrzymane wyniki były podobne do przedstawionych w niniejszej pracy. W pomieszczeniach dydaktycznych występowały bakterie zarówno Gram dodatnie, jak i Gram ujemne, obecne powszechnie w powietrzu atmosferycznym. Wśród nich przeważały gatunki z rodzaju *Bacillus* i *Pseudomonas*. Wójcik-Stopczyńska [20] przeprowadziła badania mikrobiologiczne powietrza wewnętrznego w budynku szkoły wyższej, w których wykazała, że ogólna liczba bakterii zależy nie tylko od miejsca i pory dnia wykonywanych pomiarów, ale również od przeznaczenia pomieszczenia i liczebności grupy. Podobne wyniki przedstawił Butarewicz [21], który prowadził mikrobiologiczne pomiary jakości powietrza w budynku Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej metodą sedymentacyjną. Zauważył, że jakość mikrobiologiczna powietrza związana jest z liczebnością grupy i aktywnością fizyczną studentów oraz zależy od sprawności systemu wentylacyjnego.

W żadnym badaniu mikrobiologicznym przeprowadzonym w ramach niniejszej pracy nie zauważono wzrostu grzybów. Najprawdopodobniej spowodowane to było wzmożonym ruchem powietrza wytworzonym przez włączone klimakonwektory. Podobne wnioski dotyczące zależności pomiędzy ruchem powietrza a powstawaniem grzybów przedstawił Butarewicz [20]. Zauważył, że w pomieszczeniach, w których panuje większy ruch powietrza spowodowany np. ćwiczeniami fizycznymi, następuje mniejszy przyrost grzybów.



14–16 grudnia 2020

5. Wnioski

- Wyniki badań przeprowadzone w salach dydaktycznych nie wskazały przekroczenia norm dotyczących jakości powietrza.
- Analiza otrzymanych wyników pomiarów jakości powietrza w salach dydaktycznych potwierdziła, że jakość powietrza w dużej mierze zależy od rodzaju wentylacji. W badanym obiekcie podczas przeprowadzania pomiarów działała wentylacja mechaniczna nawiewno-wywiewna, a ruch powietrza dodatkowo wymuszony był włączonymi klimakonwektorami. Dzięki temu, w badanych pomieszczeniach stężenie ditlenku węgla nie przekroczyło wartości 1000 ppm, co świadczy o prawidłowym działaniu wentylacji.
- Pomiary w obu salach dydaktycznych wykazały maksymalne wartości CO₂ pod koniec trwania zajęć. Dla pomiarów przeprowadzonych w sali komputerowej, w drugiej serii pomiarowej, wartość stężenia wzrosła o 498 ppm. Natomiast w przypadku pomiarów w sali laboratoryjnych różnica między minimalnym i maksymalnym stężeniem ditlenku węgla osiągnęła wartość 521 ppm.
- Badania przeprowadzone zostały w trakcie pandemii koronawirusa, dlatego zgodnie z decyzją Rektora konieczne było 45-minutowe wietrzenie sali pomiędzy zajęciami. W normalnych warunkach często zapomina się o wietrzeniu, przez co utrudnione jest usuwanie zanieczyszczeń z pomieszczenia zamkniętego, w szczególności CO₂. Nakaz wietrzenia sal spowodował poprawę jakości powietrza wewnątrz sali komputerowej, w której odnotowano spadek temperatury i stężenia CO₂. W sali laboratoryjnej, w której wyniki pomiarów wykazały brak wietrzenia między zajęciami, temperatura powietrza utrzymywała się na wysokim poziomie, zaś wilgotność względna na niskim poziomie. Jedynie stężenie CO₂, na skutek opuszczenia sali przez studentów, uległo zmniejszeniu.
- Na podstawie otrzymanych wyników należy stwierdzić, że nawet krótkie wietrzenie sali pomiędzy zajęciami jest konieczne do utrzymania odpowiednich parametrów powietrza w sali dydaktycznej.
- Badania laboratoryjne przeprowadzone w obu salach dydaktycznych wykazały występowanie w powietrzu bakterii typowych dla pomieszczeń zamkniętych, głównie Gram ujemnych i dodatnich ziarniaków. Nie zaobserwowano zaś wzrostu grzybów, co świadczy o prawidłowym działaniu wentylacji.

LITERATURA

- [1] Fanger, P.O., Popiołek, Z., Wargocki, P. 2003. Środowisko wewnętrzne: wpływ na zdrowie, komfort i wydajność pracy. Politechnika Śląska, Gliwice.
- [2] Mainka, A., Zajusz-Zubek, E. 2018. Determination on Carbon Dioxide Levels in School Buildings: the Effect of Thermal Efficiency Improvement. *Engineering and Protection of Environment* 21(2), 155–162. DOI: 10.17512/ios.2018.2.3.
- [3] Sowa, J., Noga-Zygmunt, J., Ugorowska, J. 2017. Ocena parametrów powietrza wewnętrznego w budynku wyższej uczelni przed przewidywaną modernizacją do standardu niemal zero energetycznego. *Fizyka budowli w teorii i praktyce* IX(3), 41–46.



14–16 grudnia 2020

- [4] Ferdyn-Grygierek, J. 2008. Jakość powietrza i wentylacja w budynkach edukacyjnych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Architektura* 47, 57–70.
- [5] Poednik, B. 2013. Zanieczyszczenia a jakość powietrza wewnętrznego w wybranych pomieszczeniach. PAN Komitet Inżynierii Środowiska, Lublin.
- [6] PN-83/B-03430/Az3:2000 Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej Wymagania.
- [7] PN-EN 15251:2012 Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego dotyczące projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków, obejmujące jakość powietrza wewnętrznego, środowisko cieplne, oświetlenie i akustykę.
- [8] PN-EN 13779:2008 Wentylacja budynków niemieszkalnych – Wymagania dotyczące właściwości instalacji wentylacji i klimatyzacji.
- [9] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 1 grudnia 1998 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy na stanowiskach wyposażonych w monitory ekranowe (Dz.U.1998.148.973).
- [10] Słodczyk, E., Suszanowicz, D. 2016. Badania parametrów jakości powietrza w salach dydaktycznych. *Proceedings of ECOpole* 10(2), 767–774. DOI: 10.2429/proc.2016.10(1)085.
- [11] Sowa, J., Bartkiewicz, P. 1997. Stężenie dwutlenku węgla jako źródło informacji o jakości powietrza w pomieszczeniach. *VI Konferencja Naukowo-Techniczna Fizyka budowli w teorii i praktyce*, Łódź, 336–345.
- [12] Krawczyk, D., Rodero, A., Gładyszewska-Fiedoruk, K., Gajewski A. 2016. CO₂ concentration in naturally ventilated classrooms located in different climates – measurements and simulations. *Energy and Buildings* 129, 491–498. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.08.003.
- [13] PN-89/Z-04111/02 Ochrona czystości powietrza. Badania mikrobiologiczne. Oznaczanie liczby bakterii w powietrzu atmosferycznym (imisja) przy pobieraniu próbek metodą aspiracyjną i sedymentacyjną.
- [14] Gładyszewska-Fiedoruk, K. 2010. Concentration of carbon dioxide measured in University classrooms. *Civil and Environmental Engineering* 1, 117–121.
- [15] Cichowicz, R., Gawron-Skarbek, A., Godała, M., Zimna-Walendzik, E., Sabiniak, H., Szatko, F. 2014. Ocena stężenia dwutlenku węgla w powietrzu wybranych pomieszczeń uczelni wyższej. *Problemy Higieny i Epidemiologii* 95(2), 287–291.
- [16] Cichowicz, R., Sabiniak, H., Wielgosiński, G. 2015. The influence of a ventilation on the level of carbon dioxide in a classroom at a higher university. *Ecological Chemistry and Engineering S* 22(1), 61–71. DOI: 10.1515/eces-2015-0003.
- [17] Fuoco, F.C., Stabile, L., Buonanno, G., Trassiera, C.V., Massimo, A., Russi, A., Mazaheri, M., Morawska, L., Andrade, A. *Indoor Air Quality in Naturally Ventilated Italian Classrooms. Atmosphere*, 2015, 6, 1652-1675. doi:10.3390/atmos6111652.
- [18] Madureira, J., Paciencia, I., Pereira, c., Teixeira, J.P., Fernandes, E. de O. 2016. Indoor air quality in Portuguese schools: levels and sources of pollutants. *Indoor Air* 26, 526-537. DOI: 10.1111/ina.12237.
- [19] Samudio, M.J., Silva, G.V., Fernandes, E.O., Guedes, J., Vasconcelos, M.T.S.D. 2006. Detailed air study in a school in Porto. *Proc. Healthy Buil* 345–349.
- [20] Wójcik-Stopczyńska, B., Falkowski, J., Jakubowska, B. 2003. Stan mikrobiologiczny powietrza w różnych pomieszczeniach użytkowych budynku Szkoły wyższej. *Zeszyty problemowe postępów nauk rolniczych* 492, 419–425.
- [21] Butarewicz, A. 2005. Mikrobiologiczna jakość powietrza w budynku Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej. *Rocz. Państw. Zakł. Hig.* 56(2), 199–206.



Sylwia TERPIŁOWSKA*

Ewa HOŁOTA*

Magdalena PLISZKA*

Zagrożenie mikrobiologiczne powietrza wokół pojemników na odpady komunalne

STRESZCZENIE: Powietrze nie jest środowiskiem korzystnym do rozwoju mikroorganizmów. Pełni ono jedynie funkcję przenoszenia drobnoustrojów. Mikroorganizmy w powietrzu występują w postaci bioaerozoli. Działalność człowieka, w szczególności składowanie odpadów, ma szczególny wpływ na występowanie w powietrzu atmosferycznym drobnoustrojów. Odpady mogą być źródłem emisji drobnoustrojów saprofitycznych, ale też i patogennych, dlatego celem badań przedstawionych w niniejszej pracy jest ocena występowania drobnoustrojów w pobliżu miejsc gromadzenia odpadów w okresie letnim i zimowym. Badania wykonano zgodnie z Polską Normą PN-89 Z-04111/03 oraz Polską Normą PN-89 Z-04111/02. Próby powietrza pobierano w trzech różnych miejscach usytuowanych po stronie zawiętrznej, zlokalizowanych przy pojemnikach na odpady komunalne.

W badaniu obserwowano różnice w składzie mikroflory w okresie zimowym i letnim. W zimie dominowała mikroflora psychrotroficzna, natomiast latem psychrofilna i mezofilna. Zimą bezpośrednio w pobliżu pojemnika na odpady dominowały G⁻ laseczki i ziarniaki oraz drożdże. Drożdże zaobserwowano również w odległości 10 m od kosza. W okresie letnim zaobserwowano zdecydowanie bogatszą mikroflorę. W bezpośrednim sąsiedztwie pojemników na odpady obserwowano psychrotroficzne bakterie: G⁺ (laseczki i ziarniaki) oraz G⁻ (ziarniaki). Natomiast wśród bakterii mezofilnych w punkcie pomiarowym w pobliżu pojemnika na odpady zaobserwowano G⁺ ziarniaki, w punkcie oddalonym o 10 m od pojemnika G⁺ i G⁻ laseczki, a w punkcie oddalonym o 30 m od pojemnika G⁻ laseczki i ziarniaki.

SŁOWA KLUCZOWE: odpady, mikrobiologia, powietrze

1. Wprowadzenie

Powietrze jest mieszaniną gazów otaczającą ziemię. Tuż nad jej powierzchnią rozciąga się troposfera. W jej skład wchodzi: azot (78%), tlen (21%), argon (0,034%), dwutlenek węgla (0,03%) oraz

* Wydział Nauk Ścisłych i Nauk o Zdrowiu, Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II;
e-mail: sylwia.terpilowska@kul.pl, ewa.holota@kul.pl



neon, hel, wodór, metan, tlenek azotu – w małych ilościach. Oprócz gazów w powietrzu występują zanieczyszczenia w postaci aerozolu lub mgły. Zanieczyszczenia dzielimy na naturalne i sztuczne. Do tych pierwszych zaliczamy: pyłki drzew, kwiatów, traw, grzyby, bakterie i wirusy. Natomiast do drugich zanieczyszczenia uwalniane w procesach przemysłowych, bytowych, czy też wytwarzane w procesach badawczych [1].

Powietrze jest środowiskiem, w którym często zmieniają się warunki atmosferyczne, tj. temperatura, zawartość pary wodnej, ciśnienie, szybkość wiatru i promieniowanie. Z tych względów oraz z braku przyswajalnego źródła węgla, wody oraz promieniowania UV powietrze nie jest miejscem korzystnym do rozwoju mikroorganizmów, a jedynie środowiskiem, w którym dochodzi do przenoszenia drobnoustrojów [1].

Mikroorganizmy w powietrzu występują w postaci bioaerozoli. Jest to układ dwu- lub trójfazowy, składający się z fazy rozpraszającej (powietrze) oraz rozproszonej, zawierającej drobnoustroje. Średnica cząstek bioaerozolu mieści się w zakresie od 0,01 mm do 100 mm. Wielkość cząstek tego układu zależy od gatunków drobnoustrojów i zanieczyszczeń pyłowych. W powietrzu atmosferycznym liczba mikroorganizmów waha się od kilku do 10^7 jtk/m³. Ich czas przeżycia w tym środowisku zależy od wielu czynników, np. uwarunkowań genetycznych drobnoustroju, jego stanu fizjologicznego, wielkości oraz składu cząstek bioaerozolu, warunków klimatycznych: wilgotności i temperatury powietrza. Szczególny wpływ na występowanie w powietrzu atmosferycznym drobnoustrojów ma działalność człowieka, a zwłaszcza obecność instalacji służących do składowania odpadów. Mogą one być źródłem emisji drobnoustrojów saprofitycznych, jak również drobnoustrojów patogennych. Składowiska odpadów komunalnych stanowią jedno ze źródeł zagrożenia dla ludzi. Należy zaznaczyć, że skala zagrożenia zależy od ilości i składu odpadów, sposobu urządzenia składowiska, warunków jego eksploatacji, warunków meteorologicznych i przyrodniczych. Problem wpływu składowisk odpadów na jakość powietrza atmosferycznego był już wielokrotnie badany. Niemniej wciąż istotnym problemem jest wpływ miejsc wstępnego gromadzenia odpadów na jakość powietrza. Problem ten jest ważny z punktu widzenia przeciętnego mieszkańca, ponieważ miejsca te lokalizowane są na osiedlach miejskich, w bezpośrednim sąsiedztwie miejsc zamieszkania [2, 3]. Stąd celem badań przedstawionych w niniejszej pracy jest ocena występowania drobnoustrojów w pobliżu miejsc gromadzenia odpadów w dwóch porach roku: w lecie i w zimie.

2. Materiały i metody

2.1. Oznaczanie ogólnej liczby mikroorganizmów za pomocą metody sedymentacyjnej

2.1.1. Podstawa badań

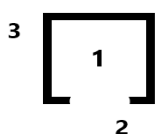
Badania przeprowadzono zgodnie z Polską Normą PN-89 Z-04111/03 *Oznaczanie liczby grzybów mikroskopowych w powietrzu atmosferycznym (imisja) przy pobieraniu próbek metodą aspiracyjną i sedymentacyjną* oraz z normą PN-89 Z-04111/02 *Oznaczanie liczby bakterii w powietrzu atmosferycznym (imisja) przy pobieraniu próbek metodą aspiracyjną i sedymentacyjną* [4, 5].



2.1.2. Pobieranie próbek

Próby powietrza pobierano rozstawiając szalki Petriego z agarem odżywczym i podłożem Sabourauda usytuowanych po stronie zawietrznej, w trzech różnych miejscach zlokalizowanych przy pojemnikach na odpady komunalne. Na rysunku 1 przedstawiono lokalizację umieszczenia szalek.

1. Punkt usytuowany w bezpośrednim sąsiedztwie pojemnika na odpady.
2. Punkt po stronie zawietrznej w odległości około 10 metrów od pojemnika na odpady.
3. Punkt za pojemnikiem na odpady, oddalony około 30 metrów.



1. Punkt usytuowany w bezpośrednim sąsiedztwie pojemnika na odpady.
2. Punkt po stronie zawietrznej w odległości ok. 10 metrów od pojemnika na odpady.
3. Punkt za pojemnikiem na odpady oddalony ok. 30 metrów.

Rysunek 1.
Lokalizacja punktów poboru prób powietrza

Oprócz badań mikrobiologicznych, jednocześnie określano temperaturę, wilgotność powietrza, ciśnienie atmosferyczne, nasłonecznienie oraz kierunek i prędkość wiatru.

2.1.3. Wykonanie badania

Podłoża do hodowli drobnoustrojów: agar odżywczy i podłoże Sabourauda z chloramfenikolem przygotowano wg instrukcji producenta (BTL spółka z o.o, Polska). Podłoże sterylizowano w temperaturze 121°C przez 15 minut w atmosferze 2,1 bar. Przygotowane płytki wystawiono do miejsc poboru próbek opisanych w podpunkcie 2.1.2. Następnie płytki inkubowano w temperaturze 37°C przez 48 h i w temperaturze 20°C przez 48 h. Kolejnym krokiem było wykonanie dokumentacji fotograficznej wzrostu drobnoustrojów oraz przeprowadzenie barwienia metodą Grama, która pozwoliła na rozróżnienie bakterii pod względem budowy ściany komórkowej.

3. Wyniki

3.1. Posiewy wykonane w sezonie zimowym

Podczas dokonywania pomiarów występowały następujące warunki atmosferyczne:

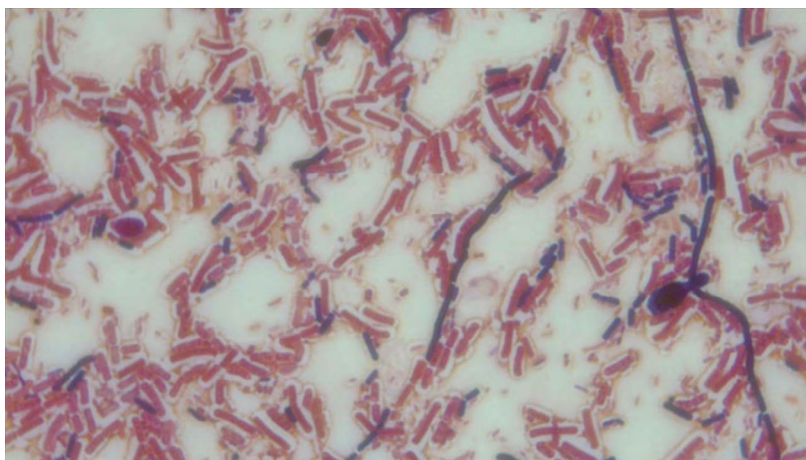
- słabe opady deszczu i zachmurzenie,
- temperatura: 4°C,
- ciśnienie: 1016,75 hPa
- prędkość i kierunek wiatru: 18km/h, zachodni.



14–16 grudnia 2020

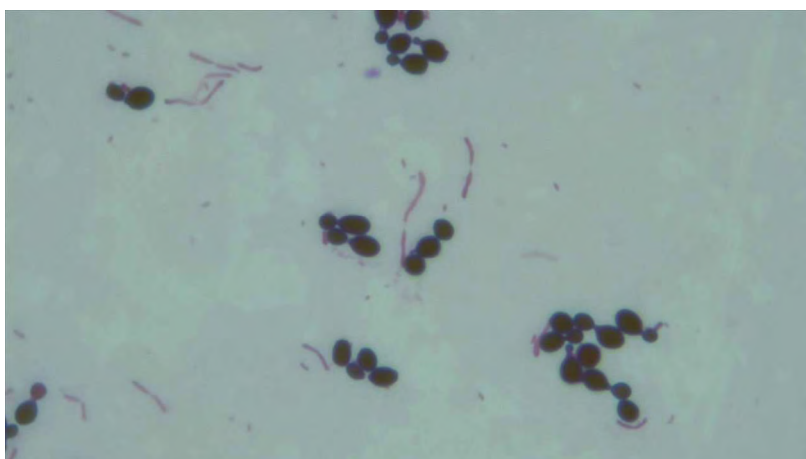
Na płytce z agarem odżywczym umieszczonej w punkcie poboru nr 1 i inkubowanej w temperaturze 20°C zaobserwowano pojedyncze kolonie bakterii. Analiza preparatów mikroskopowych wykazała dominującą obecność G⁻ laseczek. Ponadto obserwowano G⁺ laseczki i pojedyncze G⁺ ziarniaki oraz drożdże (rys. 2).

Na płytce z agarem odżywczym umieszczonej w punkcie nr 2 i inkubowanej w temperaturze 20°C obserwowano nieregularny wzrost płaskich kolonii. Analiza preparatów mikroskopowych wykazała występowanie pojedynczych G⁻ laseczek występujących samodzielnie lub po dwie. Dominującą mikroflorę stanowią natomiast drożdże (rys. 3).



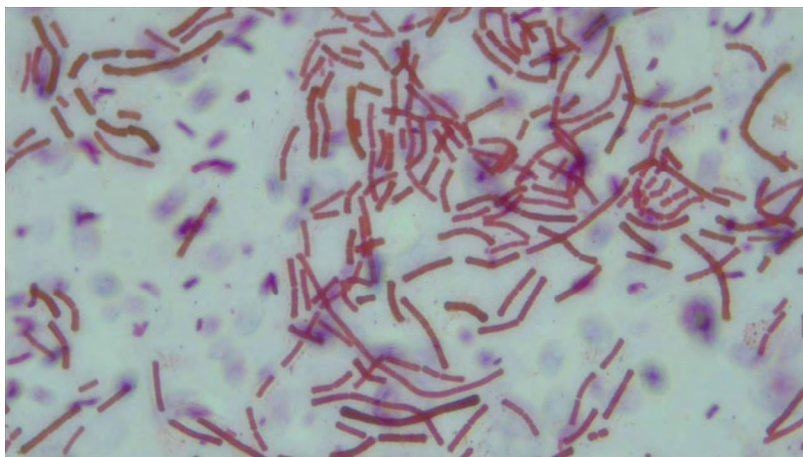
Rysunek 2.

Zdjęcie komórek drobnoustrojów wybarwione metodą Grama, pow. 1000x.
Pora roku – zima, punkt poboru 1. Temperatura hodowli 20°C



Rysunek 3.

Zdjęcie komórek drobnoustrojów wybarwione metodą Grama, pow. 1000x.
Pora roku – zima, punkt poboru 2. Temperatura hodowli 20°C



Rysunek 4.
Zdjęcie komórek drobnoustrojów wybarwione metodą Grama, pow. 1000x.
Pora roku – zima, punkt poboru 3. Temperatura hodowli 20°C

Na płytce z agarem odżywczym, umieszczonej w punkcie 3 i inkubowanej w temperaturze 20°C, obserwowano pojedyncze, białe, okrągłe kolonie bakteryjne. Analiza preparatów mikroskopowych wykazała obecność głównie G– laseczek występujących samodzielnie lub po dwie, obserwowano też pojedyncze G+ laseczki (rys. 4).

We wszystkich punktach poboru próbek nie zaobserwowano wzrostu bakterii (lub pojedyncze kolonie) na podłożu Sabourauda oraz na płytkach z agarem odżywczym, inkubowanych w temperaturze 37°C.

3.2. Posiewy wykonane w sezonie letnim

Podczas dokonywania pomiarów występowały następujące warunki atmosferyczne:

- brak deszczu i duże nasłonecznienie,
- temperatura: 23°C,
- ciśnienie: 1012.75 hPa,
- prędkość i kierunek wiatru: 16,5km/h, północny.

Na płytce z agarem odżywczym, umieszczonej w punkcie poboru nr 1 i inkubowanej w temperaturze 20°C, zaobserwowano białe lub żółte okrągłe kolonie bakterii. Ponadto na płytce tej zaobserwowano wzrost grzybów pleśniowych. Analiza preparatów mikroskopowych wykazała obecność G– laseczek. Jednocześnie zaobserwowano pojedyncze G+ ziarniaki, G+ laseczki oraz drożdże (rys. 5).

Na płytce z agarem odżywczym, umieszczonej w punkcie nr 2 i inkubowanej w temperaturze 20°C, zaobserwowano pojedyncze żółte kolonie bakterii. Dominującą mikroflorę stanowiły grzyby strzępkowe. Analiza preparatów mikroskopowych wykazała występowanie pojedynczych G-ziarniaków oraz pojedyncze G+ laseczki (rys. 6)

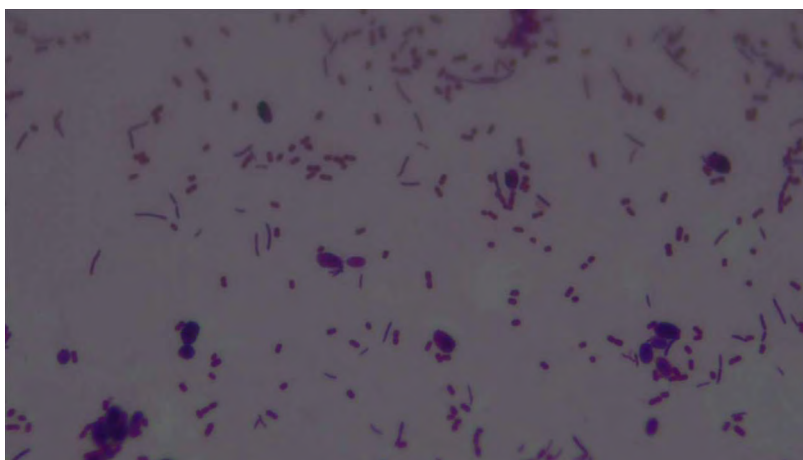


14–16 grudnia 2020

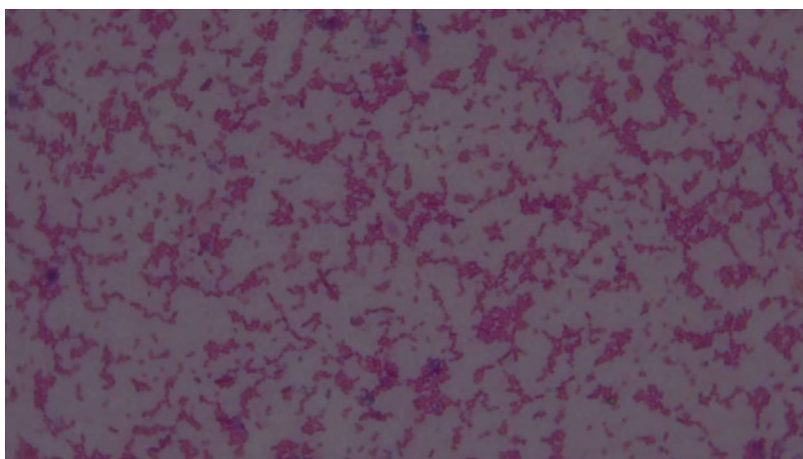
Na płytce z agarem odżywczym, umieszczonej w punkcie nr 3 i inkubowanej w temperaturze 20°C, zaobserwowano żółte, pojedyncze kolonie bakteryjne oraz grzyby strzępkowe.

Na płytce z agarem odżywczym, umieszczonej w punkcie poboru nr 1 i inkubowanej w temperaturze 37°C, zaobserwowano białe lub żółte okrągłe kolonie bakterii oraz grzyby pleśniowe. Analiza preparatów mikroskopowych wykazała obecność G+ ziarniaków łączących się w łańcuszki (rys. 7).

Na płytce z agarem odżywczym, umieszczonej w punkcie nr 2 i inkubowanej w temperaturze 37°C, obserwowano żółte, nieregularne kolonie bakterii oraz grzyby. Analiza preparatów mikroskopowych wykazała występowanie pojedynczych G+ laseczek (rys. 8).



*Rysunek 5.
Zdjęcie komórek drobnoustrojów wybarwione metodą Grama, pow. 1000 x.
Pora roku – lato, punkt poboru 1. Temperatura hodowli 20°C*



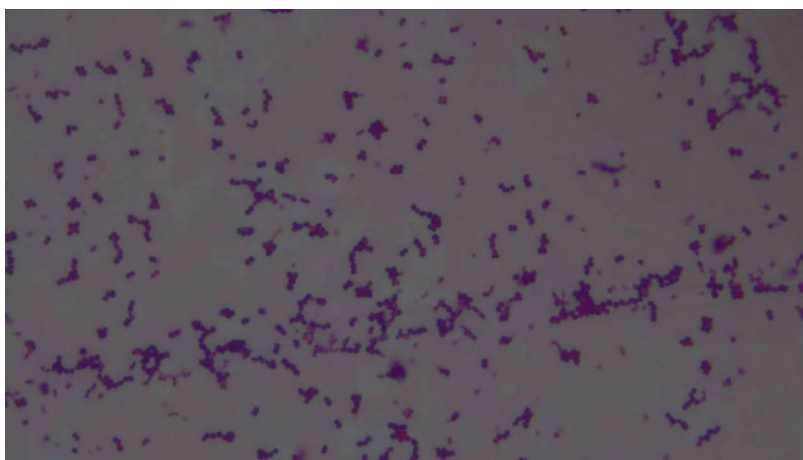
*Rysunek 6.
Zdjęcie komórek drobnoustrojów wybarwione metodą Grama, pow. 1000x.
Pora roku – lato, punkt poboru 2. Temperatura hodowli 20°C*



14–16 grudnia 2020

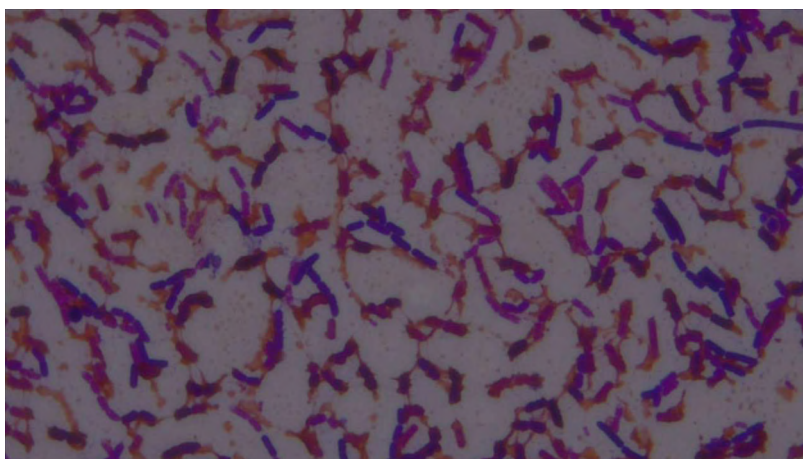
Na płytce z agarem odżywczym, umieszczonej w punkcie nr 3 i inkubowanej w temperaturze 37°C, obserwowano żółte, pojedyncze kolonie bakteryjne oraz płaskie, białe kolonie. Na płytce zaobserwowano grzyby strzępkowe. Analiza preparatów mikroskopowych wykazała występowanie G-laseczek i ziraniaków (rys. 9).

Na płytce z podłożem Sabourauda w punktach poboru 1 oraz 2 zaobserwowano pojedyncze kolonie grzybów.



Rysunek 7.

Zdjęcie komórek drobnoustrojów wybarwione metodą Grama, pow. 1000x. Pora roku – lato, punkt poboru 1. Temperatura hodowli 37°C

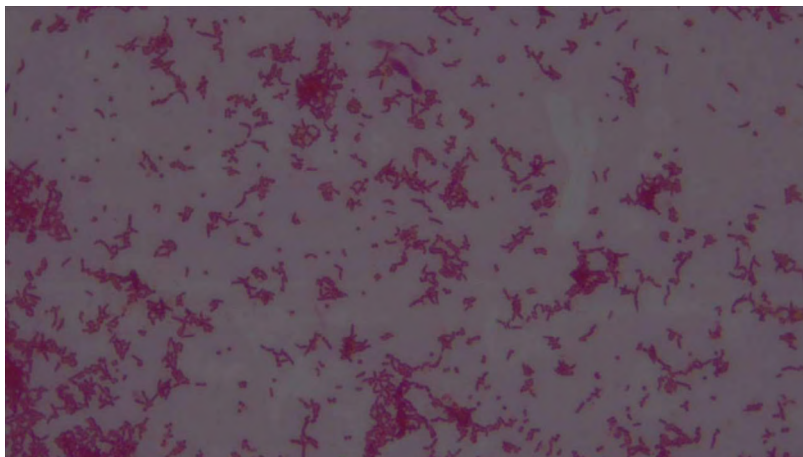


Rysunek 8.

Zdjęcie komórek drobnoustrojów wybarwione metodą Grama, pow. 1000x. Pora roku – lato, punkt poboru 2. Temperatura hodowli 37°C



14–16 grudnia 2020



Rysunek 9.

Zdjęcie komórek drobnoustrojów wybarwione metodą Grama, pow. 1000x.
Pora roku – lato, punkt poboru 3. Temperatura hodowli 37°C

4. Dyskusja

Gromadzenie odpadów wytwarzanych przez gospodarstwa domowe jest jednym z ważniejszych problemów gospodarki odpadami. Przepisy prawa krajowego nakładają na wytwarzającego odpady, jak również na firmy zajmujące się ich zagospodarowaniem, obowiązki związane nie tylko z ich odpowiednią segregacją, ale również ze skuteczną utylizacją. W związku z tym podejmowane są liczne badania i prowadzone są różne procesy technologiczne mające na celu usprawnić całościowy proces gospodarki odpadami, począwszy od miejsca ich wytwarzania, a skończywszy na procesie utylizacji. Sporo miejsca poświęca się udziałowi drobnoustrojów w procesach utylizacji i unieszkodliwiania odpadów w różnych procesach biologicznych. Prowadzone są liczne badania nad wpływem różnych obiektów gospodarki komunalnej, np.: oczyszczalni ścieków, składowisk odpadów czy kompostowni na środowisko naturalne. Badania te dotyczą zarówno możliwości uwalniania do środowiska substancji szkodliwych, a nawet toksycznych, jak i zagrożeń sanitarnych płynących z funkcjonowania tych obiektów. Szczególnie istotny jest problem wpływu namnażających się mikroorganizmów i możliwość uwolnienia ich do środowiska przyrodniczego, a co za tym idzie, wpływu na inne elementy środowiska, tj. zwierzęta i ludzi. Coraz więcej uwagi poświęca się zawartości drobnoustrojów w powietrzu wokół instalacji przeróbki odpadów. Jest to istotny problem, ponieważ drobnoustroje mogą być przenoszone razem z wiatrem na duże odległości i wpływać na równowagę ekologiczną środowisk, nawet położonych daleko od instalacji przeróbki odpadów. Analizy mikrobiologiczne powietrza wykonywane są w odniesieniu do składowisk odpadów, czy też oczyszczalni ścieków. Praktycznie nieprzebadany jest problem składu powietrza w pobliżu pojemników na odpady. Jest to bardzo istotne zagadnienie, ponieważ miejsca składowania odpadów



14–16 grudnia 2020

na początkowym etapie ich gospodarowania znajdują się w bezpośrednim sąsiedztwie mieszkań ludzi. Ponadto sposób, w jaki są składowane, sprzyja wzrostowi liczby gryzoni, owadów, bakterii, grzybów i innych organizmów. Jest to niebezpieczne, szczególnie gdy dochodzi do namnażania mikroorganizmów chorobotwórczych. Stąd tematyka podjęta w niniejszej pracy ma ogromne znaczenie praktyczne [1]. Dokładne zrozumienie wpływu miejsc składowania odpadów komunalnych na środowisko i zdrowie ludzi jest bardzo ważnym zagadnieniem wymagającym kompleksowych, interdyscyplinarnych, długoterminowych badań monitoringowych.

Jak wspomniano wcześniej, w literaturze istnieją doniesienia o negatywnym wpływie składowisk odpadów na jakość powietrza wokół takich obiektów. Barabasz i wsp. (2005) wykazali, że w powietrzu szczególnie dużo było promieniowców, jak i bakterii i grzybów. Jakościowo obserwowano mikroflorę saprofityczną charakterystyczną dla danego obszaru, ale również pojawiały się gatunki chorobotwórcze, np. *Staphylococcus aureus*. Ponadto obserwowano występowanie grzybów, np.: *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Alternaria* i *Rhizopus*. W badaniach wskazanych w omawianej pracy wykazano, że skład mikrobiologiczny powietrza zmienia się wraz z odległością od miejsca składowania odpadów. Największe zróżnicowanie gatunkowe mikroorganizmów obserwowano w strefie czynnej miejsca składowania odpadów i jego sąsiedztwie [6]. Podobne obserwacje poczynili także inni autorzy, m.in. Berleć i wsp. (2009), czy Traczewska i Karpińska-Smulikowska J. (2000) [2, 3]. Powyższe badania wskazują też na niebezpieczeństwo roznoszenia bioaerozolu zawierającego drobnoustroje lub ich zarodniki na duże odległości. Sprzyjają temu wiatr i duża wilgotność powietrza oraz opady [7].

Przywołane powyżej badania to tylko z niektóre prowadzonych na instalacjach przetwarzania odpadów. Jednak niewiele jest prac oceniających jakość mikroflory powietrza w pobliżu pojemników na odpady. Badania przeprowadzone przez Błachno (2009) wykazały, że w pobliżu pojemników na odpady liczba bakterii psychrofilnych nie budziła zastrzeżeń. Natomiast liczba bakterii mezofilnych była zwiększona. Podobnie obserwowano większą liczbą promieniowców i gronkowców. Wykryto też pojedyncze komórki G– pałeczek [8].

W badaniach przedstawionych w niniejszej pracy zaobserwowano różnice w składzie mikroflory w obu badanych porach roku. W zimie dominowała mikroflora psychrotroficzna, a latem zarówno psychrotroficzna, jak i mezofilna. Zimą bezpośrednio w pobliżu pojemnika na odpady dominowały G– laseczki i ziarniaki oraz drożdże. Drożdże obserwowano też w odległości 10 m od pojemnika. Nie było ich w preparatach pochodzących z punktu pomiarowego oddalonego o 30 m od pojemnika. W tym okresie nie obserwowano również grzybów.

Znacznie bogatszą mikroflorę zaobserwowano latem. We wszystkich punktach pomiarowych obserwowano grzyby. W bezpośrednim sąsiedztwie pojemników na odpady obserwowano zarówno psychrotroficzne bakterie: G+ (laseczki i ziarniaki) oraz G– (ziarniaki). Natomiast wśród bakterii mezofilnych w punkcie pomiarowym w pobliżu pojemnika na odpady zaobserwowano G+ ziarniaki, w punkcie oddalonym o 10 m od pojemnika G+ i G– laseczki, a w punkcie oddalonym o 30 m od pojemnika G– laseczki i ziarniaki.

Przywołane powyżej wyniki pokazują, że wyższa temperatura sprzyja rozwojowi drobnoustrojów, szczególnie mezofilnych. Wiele z nich może należeć do patogenów ludzi i zwierząt. Dalsza identyfikacja umożliwiłaby określenie ich przynależności gatunkowej. Niepokojące jest pojawienie się G– laseczek, które mogą stanowić mikroflorę jelitową ludzi i zwierząt. Ponadto pojawiające się ziarniaki G+ mogą należeć do patogenów ludzi, np. *Staphylococcus*. Jest to szczególnie niebezpiecz-



ne zjawisko, gdyż wysoka temperatura może sprzyjać ich namnażaniu, a co za tym idzie – ekspansji na zwierzęta i ludzi.

Jak wykazały zarówno badania Błachno (2009), a także badania przedstawione w niniejszej pracy, drobnoustroje i ich zarodniki wraz z wiatrem mogą być przenoszone na znaczne odległości. W pracy obserwowano bogatą mikroflorę w odległości zarówno 10, jak i 30 metrów.

Badania przeprowadzone w niniejszej pracy powinny być kontynuowane. Będą mogły być przydatne przy planowaniu usytuowania pojemników na odpady, które powinny być tak rozmieszczone, by nie stanowiły zagrożenia epidemiologicznego dla mieszkańców osiedli. Miejsca gromadzenia odpadów powinny być tak zaprojektowane, by uniemożliwić przenoszenie drobnoustrojów. Ma to istotne znaczenie szczególnie w miastach, gdzie brak jest szaty roślinnej, a duży ruch powoduje powstawanie kurzu i zapylenia, a więc warunków sprzyjających przemieszczaniu i osadzaniu się drobnoustrojów na cząstkach zanieczyszczeń. Bardzo istotne znaczenie ma również system odbioru odpadów. Panujące latem wyższe temperatury sprzyjają namnażaniu drobnoustrojów, szczególnie, jak stwierdzono w niniejszej pracy, wśród mikroflory tego okresu pojawiają się drobnoustroje mezofilne, które mogą być potencjalnymi patogenami ludzi i zwierząt. Dlatego istotny jest regularny odbiór odpadów, uniemożliwiający namnażanie drobnoustrojów. Zapobiega to też pojawianiu się w pobliżu pojemników owadów i gryzoni, które mogą też być wektorem wielu chorób. Obserwacje poczynione w niniejszej pracy mogą przyczynić się do lepszego zarządzania gospodarką odpadami na terenie miasta.

5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można wysnuć następujące wnioski:

1. Pojemniki na odpady komunalne przyczyniają się do rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń mikrobiologicznych.
2. Skład mikrobiologiczny powietrza zmienia się wraz z odległością od miejsca składowania odpadów.
3. Temperatura sprzyja rozwojowi drobnoustrojów.
4. Mikroflora powietrza w pobliżu pojemników na odpady jest zróżnicowana w zależności od pory roku. W zimie przeważa mikroflora psychrotroficzna, a latem zarówno psychrotroficzna, jak i mezofilna.

LITERATURA

- [1] Libudzisz, Z. 2007. *Mikrobiologia techniczna t. 1*, Wyd. PWN, Warszawa.
- [2] Berleć, K., Budzińska, K., Szejniuk, B., Kułakowska, A. 2009. Ocena oddziaływania składowiska odpadów komunalnych na wybrane parametry mikrobiologiczne powietrza. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 11, 1317–1328, 35–38.
- [3] Traczewska, T., Karpińska-Smulikowska, J. 2000. Wpływ składowiska odpadów na jakość mikrobiologiczną powietrza. *Ochrona Środowiska* 2(77).



14–16 grudnia 2020

- [4] Polska Norma PN-89 Z-04111/03 Oznaczanie liczby grzybów mikroskopowych w powietrzu atmosferycznym (imisja) przy pobieraniu próbek metodą aspiracyjną i sedimentacyjną.
- [5] Polska Norma PN-89 Z-04111/03 Oznaczanie liczby grzybów mikroskopowych w powietrzu atmosferycznym (imisja) przy pobieraniu próbek metodą aspiracyjną i sedimentacyjną.
- [6] Barabasz, W., Albińska, D., Vofisek, K., Ruiek, L. 2005. Emisja i rozprzestrzenianie się mikroorganizmów wokół składowisk odpadów komunalnych, *Zeszyty Problemowe Postępów nauk Rolniczych* 505, 25–39.
- [7] Petrycka, H., Godlewska-Zablocka, E., Kolasa, M. 1995. Mikroflora powietrza atmosferycznego na obszarze oczyszczalni ścieków w Tychach-Urbanowicach. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 8, 272–274.
- [8] Błachno, B. 2009. Pojemniki na odpady komunalne jako źródło zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 41, 362–368.



Kamil OLZACKI*

Plan Zrównoważonej Mobilności Miejskiej jako instrument prewencyjnej ochrony środowiska

STRESZCZENIE: Transport należy do jednych z najbardziej szkodliwych dla zdrowia i środowiska sektorów gospodarki. By zapobiec dalszemu zanieczyszczeniu środowiska, unijny „Europejski Zielony Ład” postawił przed państwami wspólnoty trudne zadanie – ograniczyć emisje w sektorze transportu aż o 90% do 2050 r. Wskazać przy tym należy, iż *gros* szkodliwych emisji w sektorze transportu wynika z potrzeb transportowych mieszkańców wielkich miast i ich zurbanizowanego otoczenia. Warto więc zaryzykować tezę, iż znaczne ograniczenie szkodliwych emisji w sektorze transportu nie będzie możliwe bez daleko idących zmian w zakresie kształtowania polityk publicznych dotyczących mobilności miejskiej. Autor niniejszej pracy, w oparciu o wykładnię aktów prawa wspólnotowego, analizę literatury przedmiotu, raportów oraz badań, zdecydował się ocenić bieżącą sytuację środowiskową w obrębie transportu miejskiego oraz szczegółowo przedstawić koncepcję Planowania Zrównoważonej Mobilności Miejskiej (SUMP) i jej znaczenie dla prewencyjnej ochrony środowiska. W dalszej części przeanalizowano różnego rodzaju raporty oraz studia przypadku, by przedstawić środowiskowe skutki, z jakimi wiązać się może wdrożenie założeń SUMP. Ocena przywołanych w pracy źródeł pozwala wnioskować, iż wprowadzenie daleko idących zmian w zakresie planowania mobilności miejskiej prowadzi do zauważalnej poprawy jakości środowiska miejskiego.

SŁOWA KLUCZOWE: transport, mobilność, prewencyjna ochrona środowiska, Plan Zrównoważonej Mobilności Miejskiej, zasada zrównoważonego rozwoju, ograniczanie zanieczyszczeń

1. Wprowadzenie

Transport bezsprzecznie odgrywa kluczową rolę zarówno w światowej, jak i europejskiej gospodarce, znacząco ułatwiając przy tym funkcjonowanie w wysoko zglobalizowanym świecie. Jeszcze nigdy w historii ludzkości nie dane było nam przemieszczać się na tak dalekie odległości w tak krótkim czasie. Wskazać przy tym należy, iż sektor transportu *sensu largo* stanowi jedno z klu-

* Uniwersytet Gdański; e-mail: kamil.olzacki@im.edu.pl



14–16 grudnia 2020

czowych źródeł zanieczyszczeń środowiskowych [1], przekładających się w sposób bezpośredni zarówno na jakość otaczającej nas natury, jak i na zdrowie i życie ludzi oraz zwierząt. Taki stan rzeczy zmusza nasze społeczeństwo do podjęcia zdecydowanych i konkretnych działań o charakterze restytucyjnym oraz prewencyjnym, które pomogą opanować szkodliwe i daleko idące skutki antropopresji.

Postanowienia Konstytucji Rzeczypospolitej Polskiej [2] w szczególności obligują władze publiczne do ochrony środowiska (art. 74 ust. 2), zapobiegania negatywnym dla zdrowia skutkom jego degradacji (art. 68 ust. 4) oraz do prowadzenia polityki zapewniającej bezpieczeństwo ekologiczne współczesnemu i przyszłym pokoleniom (art. 74 ust. 1). Realizując działania na rzecz ochrony środowiska, władze publiczne powinny kierować się zasadą zrównoważonego rozwoju (art. 5). Oznacza to w szczególności konieczność minimalizacji stopnia ingerencji w środowisko w taki sposób, by korzyści społeczne będące następstwem tej ingerencji przeważały nad szkodami [3]. W obliczu obecnych zmian społeczno-gospodarczych, środowiskowe zadania nałożone na władze publiczne na mocy konstytucji wydają się stanowić nie lada wyzwanie. Biorąc pod uwagę fakt, iż pojedyncze działania nie w każdym przypadku przynieść mogą wymierne środowiskowe rezultaty [4, 5, 6], bezsprzecznym jest, iż potrzeba nam strategii zintegrowanych i skoooperowanych, podejmujących tematykę ochrony środowiska w sposób iście interdyscyplinarny oraz holistyczny.

Unijni decydenci opracowali szereg różnego rodzaju strategii, polityk, planów i programów, mających na celu transformację europejskiego systemu transportu na model zrównoważony i, co najważniejsze, bardziej ekologiczny. Jednym z istotniejszych, przydatnych w tym zakresie instrumentów polityki środowiskowej Unii Europejskiej jest szczegółowo omówiona w dalszej części artykułu koncepcja planowania zrównoważonej mobilności miejskiej (ang. *Sustainable Urban Mobility Planning, SUMP*). Rzuca ona zupełnie nowe światło na problematykę planowania mobilności na obszarach zurbanizowanych, stawiając na pierwszym miejscu nie wydajność systemu transportowego, a dobro mieszkańców. Autor niniejszej pracy postarał się przybliżyć czytelnikom podstawowe założenia koncepcji planowania zrównoważonej mobilności miejskiej oraz jej potencjalny wpływ na redukcję zanieczyszczeń transportowych (i tym samym realizację prewencyjnej funkcji ochrony środowiska).

2. Materiały i metody

Rozważania zawarte na łamach niniejszej pracy autor oparł w szczególności na: wykładni kluczowych aktów prawa wspólnotowego dotyczących omawianej problematyki, szczegółowej analizie literatury przedmiotu oraz różnego rodzaju: raportach, badaniach i studiach przypadku (*case study*), dotyczących środowiskowych skutków stosowania odpowiednich rozwiązań planistycznych w zakresie mobilności.

W pierwszej części pracy autor opisał genezę i ogólne znaczenie zasady prewencji (ostrożności) w prawie ochrony środowiska. Kolejna część pracy poświęcona została koncepcji planowania zrównoważonej mobilności miejskiej w obrębie funkcjonalnych obszarów miejskich. Autor opisał genezę koncepcji, charakter planów zrównoważonej mobilności miejskiej oraz katalog przykłado-



wych środków i rozwiązań, które mogą zostać na ich mocy wprowadzone. Dalej, w oparciu o analizę przypadku oraz szczegółowe raporty, autor przedstawił potencjalny wpływ SUMP na poprawę jakości środowiska. Całość pracy wieńczy przedstawienie wyników szeregu badań w zakresie środowiskowego wpływu implementacji omawianych na łamach niniejszej pracy rozwiązań (dyskusja) oraz wnioski autora.

3. Wyniki

3.1. Prewencyjna funkcja prawa ochrony środowiska

Realizację prewencyjnej funkcji prawa ochrony środowiska zapewnia, w głównej mierze, unormowana zarówno na poziomie międzynarodowym, unijnym, jak i krajowym, zasada prewencji (ostrożności). Jej sens i znaczenie na potrzeby niniejszego opracowania streścić można do założenia, zgodnie z którym każdy, kto podejmuje jakąkolwiek działalność mogącą negatywnie oddziaływać na środowisko, powinien zapobiegać temu oddziaływaniu. W literaturze przedmiotu wskazuje się, iż nie jest przy tym bezwzględnie konieczne, by działalność ta faktycznie oddziaływała na środowisko w sposób negatywny. Dla zaistnienia przesłanki stosowania zasady prewencji wystarczy jedynie obiektywna możliwość takiego oddziaływania [7]. Obowiązek ten nie znajduje przy tym wyłączeń w zakresie podmiotowym – dotyczy każdego, kto podejmuje takową działalność [8]. Wyrazem tak rozumianej zasady prewencji w unijnym prawie ochrony środowiska jest w szczególności unormowany we wtórnych aktach prawa wspólnotowego daleko idący obowiązek przeprowadzania ocen oddziaływania na środowisko wybranych przedsięwzięć gospodarczych i infrastrukturalnych, a także różnego rodzaju dokumentów strategicznych, w tym planów programów i polityk przyjmowanych przez organy państw członkowskich wszystkich szczebli. Oczywiście jest, iż omawiana zasada wieść będzie także prym podczas opracowywania wszelkiego rodzaju strategii (również transportowych), mających na celu ograniczenie zanieczyszczeń środowiska oraz przeciwdziałanie skutkom antropopresji.

Genezy zasady prewencji w ujęciu prawnośrodowiskowym poszukiwać należy w Deklaracji agendy ONZ z Nairobi z 1982 r. (INEP) [9, 8] oraz w przyjętej dekadę później Deklaracji z Rio de Janeiro z 1992 r. [8]. W prawie wspólnotowym zasada prewencji znalazła swój normatywny wydźwięk w szczególności w Jednolitym Akcie Europejskim, podpisanym 17 lutego 1986 r. [10]. Na mocy art. 25 tego aktu do Traktatu Rzymskiego dodano szereg przepisów środowiskowych, z czego najważniejszy z nich, art. 130r, w ust. 2 odwoływał się do omawianej na łamach niniejszej pracy zasady. Dziś na kluczową rolę zasady prewencji w systemie prawa Unii Europejskiej wskazuje jej umiejscowienie w art. 191 ust. 2 Traktatu o funkcjonowaniu Unii Europejskiej [11] Przepis ten wprowadza bowiem relatywnie krótki katalog podstawowych zasad unijnego prawa ochrony środowiska, odwołując się w swojej treści do: zasady przezorności, zasady prewencji, zasady naprawiania szkody w pierwszym rzędzie u źródła oraz do zasady „zanieczyszczający płaci”. W krajowym systemie prawa ochrony środowiska zasada prewencji uregulowana została natomiast na mocy art. 6 ust. 1 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska [12], zgodnie z którym



każdy, kto podejmuje działalność mogącą negatywnie oddziaływać na środowisko, jest obowiązany do zapobiegania temu oddziaływaniu.

3.2. Transport w ujęciu środowiskowym

Komisja Europejska, przyjmując „Europejski Zielony Ład”, rozeznała, iż sektor transportu odpowiada aż za jedną czwartą emisji gazów cieplarnianych w Unii Europejskiej, a wartość ta wciąż rośnie [13]. Szczegółowych informacji w tym zakresie dostarczył przygotowany w 2018 r. raport Europejskiej Agencji Środowiska. Zgodnie z treścią tego dokumentu, sektor transportu (ogółem) na moment przeprowadzania badania odpowiadał za ponad połowę (55,38%) wszystkich emitowanych do środowiska tlenków azotu (NO_x) oraz jedną piątą (20,08%) emisji tlenków węgla (CO) w Unii Europejskiej. Transport emitował również zauważalny odsetek pyłów zawieszonych, stanowiących mieszaniny szkodliwych dla zdrowia aerozoli atmosferycznych: 13,11% w przypadku pyłów zawieszonych o średnicy cząsteczek nie większej niż 10 μm (dalej: PM_{10}) oraz 19,85% w przypadku nawet bardziej toksycznych pyłów zawieszonych o średnicy cząsteczek nie większej niż 2,5 μm (dalej: $\text{PM}_{2,5}$) [1]. Wskazać przy tym należy, iż stan taki w dużej mierze wynikał z nadmiernej eksploatacji prywatnych i publicznych zmotoryzowanych środków transportu drogowego. Powszechność tego typu form komunikacji spowodowała, iż wyłącznie transportowi drogowemu w 2018 r. zawdzięczaliśmy: 28,12% emisji tlenków azotu (NO_x), 17,97% emisji tlenku węgla (CO), 7,69% emisji pyłów zawieszonych PM_{10} oraz 9,89% emisji pyłów $\text{PM}_{2,5}$ [1].

Tabela 1.

Udział sektora transportu w całkowitej emisji głównych rodzajów zanieczyszczeń powietrza
(stan na 2018 r.)

Rodzaj zanieczyszczenia	Udział sektora transportu w całkowitej emisji [%]	W tym udział sektora transportu drogowego [%]
Tlenki azotu (NO_x)	55,38	28,12
Tlenki węgla (CO)	20,08	17,97
Pyły zawieszane PM_{10}	13,11	7,69
Pyły zawieszane $\text{PM}_{2,5}$	19,85	9,89

Analizując antropogeniczny wpływ sektora transportu na elementy środowiska naturalnego, należy mieć na uwadze, iż w tym przypadku gazy spalinowe, jak mogłoby się powszechnie wydawać, nie są wyłącznym źródłem tego typu zanieczyszczeń. Ogół emisji z pojazdów samochodowych najogólniej podzielić można na: emisję spalin, emisję ze ścierania, emisję par [14] oraz straty podczas tankowania. Na same spaliny składa się cała paleta szkodliwych gazów i pyłów, takich jak: dwutlenek węgla, tlenek węgla, węglowodory, tlenki azotu oraz pyły zawieszane. Z kolei emisja ze ścierania odpowiada w głównej mierze za wprowadzanie do środowiska pyłów zawieszonych.



Te cząsteczki powstają w szczególności podczas ścierania się części samochodowych (opon, hamulca, sprzęgła) oraz nawierzchni drogi. Gdy osiadą na powierzchni, często wzbijane są ponownie przez poruszające się auta. Podczas emisji par paliwa, tak jak w przypadku strat paliwa podczas tankowania, identyfikowane są lotne związki organiczne oraz węglowodory [15].

Wyróżnić można kilka przyczyn nadmiernej emisji szkodliwych związków przez sektor transportu. Po pierwsze, liczba samochodów na europejskich drogach stale rośnie [16], a spora część aut to przecież pojazdy starsze, emitujące znacznie więcej szkodliwych związków niż ich nowsze odpowiedniki. Wzrost liczby samochodów jest z kolei bezpośrednią przyczyną nadmiernego zatłoczenia często niewydolnej sieci drogowej, prowadzącego do powstawania licznych zatorów komunikacyjnych. Wreszcie, nie bez znaczenia pozostaje także rodzaj paliwa zużywanego przez te pojazdy [17]. Wszystkie te czynniki przyczyniają się do znacznego pogorszenia jakości powietrza tak w miastach, jak i w pobliżu głównych szlaków transportowych oraz arterii komunikacyjnych. Stan taki zmusza unijnych decydentów do podjęcia zdecydowanych kroków, mających na celu zmianę środowiskowego *status quo*.

Choć możliwość wprowadzenia radykalnych i daleko idących zmian w zakresie kształtowania polityki transportowej państw członkowskich z powodów środowiskowych była przedmiotem dyskusji czołowych unijnych polityków już w pierwszej dekadzie obecnego wieku, dopiero ostatnie lata zaowocowały opracowaniem założeń, planów i strategii, które w sposób odpowiedni uwzględniają aktualną sytuację środowiskową. Zorganizowana w 2015 r. paryska Konferencja Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu zaowocowała przyjęciem pierwszej uniwersalnej umowy międzynarodowej poświęconej zagadnieniom klimatycznym. „Porozumienie paryskie” [18] nałożyło na swoich sygnatariuszy szereg daleko idących i długoterminowych celów, podkreślając w szczególności konieczność utrzymania wzrostu globalnej średniej temperatury poniżej 2 stopni Celsjusza sprzed epoki industrialnej oraz potrzebę doprowadzenia do szybkiej redukcji szkodliwych emisji, w celu osiągnięcia równowagi środowiskowej.

Swoistym kamieniem milowym w zakresie kształtowania europejskiej polityki środowiskowej było przyjęcie wspomnianego już „Europejskiego Zielonego Ładu” – nowatorskiej strategii, mającej na celu sprawiedliwą transformację unijnej gospodarki na model zrównoważony, która postawiłaby wspólnotę w roli światowego lidera w dziedzinie ochrony klimatu. W dokumencie tym Komisja Europejska wyraźnie podkreśliła konieczność przejścia na zrównoważoną i inteligentną mobilność, stawiając przy tym ambitny cel – ograniczenie emisji w sektorze transportu o 90% do 2050 r. Jego realizacja powinna się opierać w szczególności na: (1) zrównoważonym wykorzystaniu wszystkich rodzajów transportu (drogowego, kolejowego, lotniczego oraz wodnego); (2) rozwoju systemu transportu multimodalnego; (3) odpowiedniej polityce cenowej, odzwierciedlającej wpływ środków transportu na środowisko i zdrowie, (4) uwzględnianiu potrzeb pasażerów poprzez poprawę jakości i dostępności opcji transportowych oraz (5) produkcji alternatywnych zrównoważonych paliw transportowych. Jednocześnie Komisja Europejska zobligowała się do zainicjowania audytu przepisów dotyczących norm emisji dwutlenku węgla (dalej: CO₂) [13]. Wskazać ponadto należy, że w przyjętym w grudniu 2020 r. dokumencie *Sustainable and Smart Mobility Strategy*, unijni decydenci założyli, iż do 2030 r. już 100 europejskich miast powinno oficjalnie stać się neutralnymi klimatycznie [19].



3.3. Zrównoważone planowanie mobilności miejskiej

Postępujący wzrost ogólnej liczby aut na drogach europejskich miast, stale rosnące zapotrzebowanie na szybki zbiorowy transport publiczny, notoryczne zatory komunikacyjne, duża liczba śmiertelnych ofiar wypadków komunikacyjnych, konieczność walki ze stale narastającym zjawiskiem wykluczenia transportowego oraz wysoki udział sektora transportu w zanieczyszczeniu środowiska, w połączeniu z nieefektywnością tradycyjnych rozwiązań, skłoniły organy Unii Europejskiej do opracowania zupełnie nowego podejścia do planowania mobilności miejskiej. Dnia 30 września 2009 r. Komisja Europejska przyjęła „Plan działania na rzecz mobilności w miastach” [20]. Dokument ten wprowadzał katalog kluczowych propozycji, mających na celu wypracowanie zupełnie nowego podejścia do rozwiązywania problemów związanych z planowaniem mobilności miejskiej. Główne założenia Planu oparto w szczególności na zasadzie zrównoważonego rozwoju oraz potrzebie ochrony naturalnego środowiska miejskiego. W dokumencie zwrócono także uwagę na: konieczność optymalizacji źródeł finansowania na potrzeby zmian infrastrukturalnych, uwzględniania dobra obywateli podczas opracowywania różnego rodzaju planów i strategii oraz integracji różnych rodzajów transportu miejskiego.

Konieczność opracowywania planów zrównoważonej mobilności miejskiej poruszona została w tzw. Białej Księdze, dotyczącej planu utworzenia europejskiego obszaru transportu [21], przyjętej przez Komisję Europejską w marcu 2011 r. Zgodnie z założeniem przedstawionym w omawianym dokumencie, plany te powinny stanowić wieloaspektową strategię, łączącą w sobie zagadnienia dotyczące nie tylko problematyki wydajności transportu miejskiego, ale także: planowania przestrzennego, finansów publicznych, bezpieczeństwa, kwestii infrastrukturalnych oraz środowiskowych i ekologicznych. W zakresie przeciwdziałania czynnikom antropogenicznym w dokumencie wskazano, iż dalszy rozwój sektora transportu opierać się powinien na: poprawie efektywności energetycznej pojazdów we wszystkich rodzajach transportu, optymalizacji działania multimodalnych łańcuchów logistycznych oraz zastosowaniu lepszych systemów zarządzania ruchem i informacji [21].

W przyjętym w 2013 r. „Pakiecie dotyczącym mobilności w miastach” Komisja Europejska podkreśliła natomiast konieczność podjęcia skoordynowanych horyzontalnie i wertykalnie, daleko idących działań, które przyczyniłyby się do osiągnięcia zrównoważonej mobilności w miastach [22]. Pakiet stanowił przyczynek do intensyfikacji prac nad opracowywaniem planów zrównoważonej mobilności miejskiej w największych ośrodkach miejskich wspólnoty, wzmacniając współpracę międzynarodową w tym zakresie tak, by umożliwić dzielenie się doświadczeniami i dobrymi praktykami dotyczącymi planowania mobilności w obrębie całej Unii Europejskiej.

W opinii do „Pakietu dotyczącego mobilności w miastach” [23] Europejski Komitet Regionów podkreślił, iż konieczne jest stosowanie zintegrowanych rozwiązań i odejścia od podejścia sektorowego w odniesieniu do tworzenia planów i strategii dotyczących miejskiej mobilności. Komitet w szczególności wskazał na konieczność ścisłego powiązania planów zrównoważonej mobilności miejskiej z polityką przestrzenną miast oraz zaznaczył, iż opisany powyżej „Pakiet” w sposób niewystarczający odnosi się do kwestii jakości powietrza oraz ochrony klimatu.

Będącą efektem przytoczonych powyżej planów i strategii koncepcję planowania zrównoważonej mobilności miejskiej określić można jako strategiczne i zintegrowane podejście do efektywnego rozwiązywania kompleksowych problemów transportu w obrębie całego funkcjonalnego



obszaru miejskiego, rozumianego jako przestrzeń, na którą składa się miasto (rdzeń) oraz wszystkie jego strefy dojazdów do pracy [24] (choć bezsprzecznie w przestrzeni publicznej miast wskazać można na szereg innych stref dojazdowych, to właśnie strefy dojazdów do pracy, jako jedne z najważniejszych, stanowią element kluczowy delimitacji funkcjonalnych obszarów miejskich). Co istotne, głównym zadaniem takiego „zrównoważonego” planowania nie jest wyłącznie poprawa wydajności systemu transportowego. Wskazuje się bowiem, iż działania podejmowane w ramach planowania zrównoważonej mobilności powinny przede wszystkim skupiać się na jakości życia mieszkańców terenów objętych planem, a stosowane w toku procesu rozwiązania muszą uwzględniać kwestie ochrony zdrowia publicznego, przeciwdziałania zanieczyszczeniom środowiska oraz zapewniać równość i sprawiedliwość społeczną [25]. Koncepcja nakazuje uwzględniać w procesie planowania mobilności szereg czynników: planistycznych, ekonomicznych, społecznych, środowiskowych, technologicznych oraz informacyjnych, a sam proces planowania powinien opierać się w szczególności na: zaawansowanej partycypacji społecznej, integracji różnych form transportu oraz ewaluacji przedsięwzięcia zarówno w trakcie procesu implementacji, jak i po jego zakończeniu [25].

Kluczowym narzędziem wykorzystywanym w omawianym procesie są tzw. plany zrównoważonej mobilności miejskiej – szczególne dokumenty strategiczne, opracowywane w celu zaspokajania indywidualnych i zbiorowych potrzeb w zakresie mobilności miejskiej na obszarach miast oraz ich zurbanizowanego otoczenia [25]. Jak już wspomniano, omawiane plany obejmować powinny tereny całych funkcjonalnych obszarów miejskich. Tak szeroki zasięg terytorialny obowiązywania planów zazwyczaj implikować więc będzie konieczność opracowywania i przyjmowania ich w drodze ścisłego współdziałania przedstawicieli różnych jednostek samorządu terytorialnego. Charakter tego współdziałania może być przy tym różny. Zasadne wydaje się twierdzenie, iż opracowanie i przyjęcie planu zrównoważonej mobilności może być zarówno wynikiem „miękkich” form współdziałania (np. porozumienie), jak i efektem działania różnego rodzaju form instytucjonalnych, takich jak w szczególności: związki komunalne, związki metropolitalne oraz stowarzyszenia jednostek samorządu terytorialnego. Wskazać przy tym należy, iż tworzone plany powinny być ściśle zintegrowane z innymi strategiami i politykami obowiązującymi na poziomie samorządowym, w tym w szczególności z polityką zagospodarowania przestrzennego [23].

Wskazać należy, iż planowanie zrównoważonej mobilności miejskiej łączyć w sobie może wiele rozwiązań o charakterze: (1) planistycznym (wprowadzanie stref niskiej emisji lub stref ograniczonej prędkości, wydzielanie specjalnych pasów i obszarów dla wybranych rodzajów transportu, wprowadzenie zmian w zakresie funkcjonowania zbiorowego transportu publicznego); (2) technologiczno-infrastrukturalnym (wykorzystywanie nowych technologii w transporcie, poprawa efektywności energetycznej infrastruktury i pojazdów, wprowadzenie hybrydowych lub bezemisyjnych pojazdów; konserwacja obiektów infrastrukturalnych zapewniających bezpieczeństwo na drogach); (3) społeczno-ekonomicznym (wprowadzanie stref opłat za wjazd, odpowiednia polityka w zakresie podatków i opłat lokalnych; wprowadzanie systemów „współdzielonej mobilności”, przeciwdziałanie wykluczeniu transportowemu) oraz (4) informacyjno-promocyjnym (podejmowanie działań marketingowych mających na celu zmianę nawyków transportowych, promocja ekologicznych rozwiązań transportowych, usprawnienie i tworzenie nowych systemów informowania o dostępnych połączeniach transportowych) [26, 27].



3.4. Wpływ zrównoważonych planów na redukcję zanieczyszczeń

Przyjmując „Pakiet dotyczący mobilności w miastach”, Komisja Europejska przedstawiła dokument szczegółowo analizujący potencjalny wpływ wprowadzenia planu zrównoważonej mobilności miejskiej na szereg istotnych czynników ekonomicznych, społecznych oraz środowiskowych. Wykazano, iż różne scenariusze implementacji SUMP przyczyniłyby się w szczególności do: poprawy jakości powietrza, wody i gleby w miastach, a także zmniejszenia zużycia energii oraz redukcji hałasu w obrębie metropolii. Autorzy dokumentu zaznaczyli przy tym, iż pożądany efekt będzie tym bardziej zauważalny, jeśli opracowanie planu zrównoważonej mobilności miejskiej stanowić będzie prawny obowiązek jednostek samorządu terytorialnego wchodzących w skład europejskich funkcjonalnych obszarów miejskich [28].

W przedmiocie potencjalnego wpływu omawianej strategii na jakość środowiska w metropoliach, należy odwołać się do badań przeprowadzonych w oparciu o analizę konkretnych przypadków, przeprowadzoną już na samym początku obowiązywania unijnych polityk dotyczących zrównoważonego planowania mobilności miejskiej. W 2011 r. władze Île-de-France podjęły się próby oceny potencjalnego wpływu nowego planu mobilności miejskiej na jakość środowiska miejskiego i poziom emisji szkodliwych gazów w perspektywie czasowej do 2020 r. Badano dwa scenariusze rozwoju mobilności w regionie: scenariusz „*status quo*”, uwzględniający ewolucję ruchu drogowego przy braku implementacji omawianych na łamach niniejszej pracy rozwiązań oraz scenariusz, w którym wdrożono założenia unijnych strategii w zakresie rozwoju mobilności. Przeprowadzone badanie jednoznacznie wykazało, iż wprowadzenie zrównoważonego planu mobilności pomogłoby uchronić „dodatkowe” 2% mieszkańców regionu przed szkodliwą ekspozycją na dwutlenek azotu (dalej: NO₂). Choć liczby mogą nie robić w tym przypadku oszałamiającego wrażenia, zdaniem autorów przekładały się one bezpośrednio na około 40 000 mieszkańców Paryża oraz do 100 000 mieszkańców całej konurbacji paryskiej Île-de-France [29].

Tożsame badanie, przeprowadzone dla obszaru metropolitalnego Marsylii w horyzoncie czasowym 2013–2023, jednoznacznie wykazało, iż wprowadzenie zrównoważonego planu mobilności, nazwanego *Plan de Déplacements Urbains de Marseille* (dalej: PDU), może mieć zauważalny wpływ na ograniczenie szkodliwych emisji w obrębie metropolii. Choć przewidywano, iż w perspektywie dziesięcioletniej już sam rozwój przyjaznej środowisku technologii pozwoli w stopniu zauważalnym zredukować poziom emisji pochodzących z sektora transportu, implementacja wszystkich założeń zrównoważonego planu mobilności mogłaby znacząco zwiększyć pożądany efekt. Badanie wykazało, iż nawet bez implementacji założeń planu, władze metropolii mogły spodziewać się redukcji

Tabela 2.

Spodziewana redukcja zanieczyszczeń w obrębie obszaru metropolitalnego Marsylii do 2023 r.

Rodzaj zanieczyszczenia	Redukcja w scenariuszu bez implementacji planu [%]	Redukcja w scenariuszu z implementacją planu [%]	Różnica (punkty proc.)
Tlenki azotu (NO _x)	24	32	+8
Pyły zawieszane (PM)	18	31	+13



emisji na poziomie: 24% w przypadku NO_x oraz 18% w przypadku pyłów zawieszonych (PM). Wprowadzenie PDU miało jednak zwiększyć oba wskaźniki do odpowiednio: 32% redukcji NO_x oraz 31% redukcji pyłów zawieszonych PM [30]. Pełna implementacja planu według założeń miałyby więc doprowadzić do zwiększenia planowanego stopnia redukcji zanieczyszczeń: w przypadku NO_x o 8% oraz w przypadku PM aż o 13% [28, 30].

4. Dyskusja

Poprawa jakości lokalnego środowiska za pomocą zintegrowanych strategii i planów jest działaniem relatywnie nowym. Z tego też powodu dostęp do analiz poświęconych tej tematyce jest jeszcze wyraźnie ograniczony. Przedstawione w tej części niniejszej pracy wyniki zdają się jednak potwierdzać założenia, które towarzyszyły autorom koncepcji SUMP. Wiadomo, że nawet pojedyncze działania, wpisujące się w agendę planowania zrównoważonej mobilności miejskiej, mogą mieć zauważalny wpływ na poprawę jakości lokalnego środowiska. Wskazują na to wyniki pomiarów przeprowadzonych podczas „dnia bez samochodu” zorganizowanego w Brukseli w ramach Europejskiego Tygodnia Zrównoważonego Transportu. W niedzielę 16 września 2018 r., między godziną 9:30 a 19:00, w obrębie całego Regionu Stołecznego Brukseli wprowadzono zakaz poruszania się prywatnymi środkami transportu zmotoryzowanego (zakaz ten nie dotyczył jedynie: taksówek, autobusów podróży, pojazdów służb oraz osób, którym w drodze wyjątku przyznano specjalne zezwolenia). W godzinach obowiązywania zakazu zaobserwowano redukcję emisji NO₂ o 30%, a czarnego węgla – aż o 80%. Oczekiwany stan nie utrzymał się długo, wracając do niechlubnej „normy” niedługo po zniesieniu zakazu [31].

Co do zasady, podejmowanie działań mających na celu ograniczenie szkodliwych emisji pochodzących z sektora transportu ma pozytywny wpływ na lokalne środowisko, a co za tym idzie – na zdrowie i życie ludzi. W literaturze podnosi się jednak, iż nie wszystkie rozwiązania, mogące stanowić potencjalny przedmiot planów zrównoważonej mobilności miejskiej, stanowią efektywne narzędzie w procesie zapobiegania zanieczyszczeniom środowiska [5, 6]. Skuteczność potencjalnych metod często zależy od wielu czynników: społecznych, ekonomicznych, urbanistycznych oraz środowiskowych, a co za tym idzie oceniana powinna być *ad casum*, biorąc pod uwagę specyfikę konkretnego przypadku. Wskazuje się także, że środowiskowa efektywność niektórych rozwiązań (w szczególności: pasów i obszarów przeznaczonych wyłącznie dla środków transportu niezmechanizowanego, miejskich oczyszczaczy powietrza, hybrydowych lub bezemisyjnych środków transportu, czy szeregu działań o charakterze informacyjno-promocyjnym) zależy w dużej mierze od odpowiedniego i umiejętnego integrowania ich z innymi możliwymi środkami planowania zrównoważonej mobilności miejskiej [6].

Szczególną uwagę zwrócić należy na rozwiązania w zakresie elektromobilności. Warto bowiem podkreślić, iż efekt zastąpienia spalinowych środków transportu ich bezemisyjnymi odpowiednikami znacząco różni się w zależności od struktury produkcji i konsumpcji energii w kraju, w którym implementowane jest omawiane rozwiązanie. Co do zasady, elektromobilność może przyczynić się do znaczącego spadku zanieczyszczeń emitowanych przez sektor transportu [32, 33, 4].



14–16 grudnia 2020

Nie dzieje się tak jednak w każdym przypadku. Rozwój elektromobilności wiąże się z większym rocznym zapotrzebowaniem na energię [5]. Perspektywa modernizacji transportu w kierunku bardziej ekologicznym wymaga więc odpowiedniej strategii, skorelowanej z planami w zakresie polityki energetycznej kraju [34]. W krajach, w których proces produkcji energii elektrycznej uzależniony został w głównej mierze od spalania paliw kopalnych, wprowadzenie bezemisyjnych pojazdów na ulice największych metropolii może nawet przyczynić się do ogólnego wzrostu emisji niektórych zanieczyszczeń [4]. Choć w takim wypadku stosowanie bezemisyjnych pojazdów pozwoli co prawda zredukować stężenie niektórych szkodliwych substancji w obrębie samej metropolii, konieczność wyprodukowania energii zasilającej elektryczne środki transportu przyczyni się do wzrostu emisji pochodzących z samych elektrowni. Zjawisko takie autorzy nazywają „geograficznym przesunięciem emisji” (ang. *geographical shift of emissions*) [4]. W literaturze wskazuje się więc, iż kluczem do odpowiedniej implementacji omawianych na łamach niniejszej pracy rozwiązań jest zarówno monitorowanie zanieczyszczeń środowiska (ich poziomów oraz składu chemicznego), jak i umiejętność integrowanie ze sobą wielu różnych narzędzi w zakresie zrównoważonej mobilności miejskiej [6]. Wnioski te są spójne z тезami przedstawionymi w przywołanych w poprzedniej części pracy dokumentach.

Próby przeanalizowania szczegółowych skutków wdrożenia planów zrównoważonej mobilności miejskiej w szerszym kontekście podjęli się także naukowcy ze Wspólnego Centrum Badawczego Komisji Europejskiej. W 2019 r. przeprowadzili symulację implementacji planów w 642 wybranych europejskich funkcjonalnych obszarach miejskich [35]. Badano w szczególności wpływ zrównoważonych rozwiązań planistycznych na redukcję stężenia $PM_{2,5}$ oraz NO_2 w przestrzeni miejskiej. W celu zapewnienia pewnej systematyki, w każdej symulacji wprowadzono ten sam zestaw środków, mających na celu przyczynienie się do redukcji szkodliwych dla środowiska emisji, na który składały różnego rodzaju rozwiązania o charakterze: planistycznym, technologiczno-infrastrukturalnym, społeczno-ekonomicznym oraz informacyjno-promocyjnym [35, 27]. Symulacja wykazała, iż odpowiednia implementacja SUMP w europejskich metropoliach może przyczynić się do średniej redukcji stężenia zanieczyszczeń na poziomie 2% w przypadku pyłów zawieszonych $PM_{2,5}$ oraz 4% w przypadku NO_2 [35]. Autorzy pracy zaznaczyli jednak, iż są to wartości średnie dla całych funkcjonalnych obszarów miejskich, a więc z dużą dozą prawdopodobieństwa zakładać można, iż spodziewany stopień redukcji stężenia będzie znacznie wyższy w pobliżu głównych arterii komunikacyjnych metropolii. W badaniu tym nie analizowano jednak środowiskowego wpływu wprowadzenia rozwiązań z zakresu elektromobilności [35].

5. Wnioski

Bezsporny jest fakt, iż nadmierna eksploatacja różnego rodzaju środków transportu w sposób bezpośredni przyczynia się do wyniszczania środowiska. Potrzeba więc konkretnych i zdecydowanych działań mających za zadanie ochronić naszą generację oraz przyszłe pokolenia przed dotkliwymi skutkami antropopresji i globalnego ocieplenia. Przytoczone powyżej wyniki badań jednoznacznie wskazują, iż pojedyncze i nieskooperowane ze sobą działania często okazują się być



niewystarczające, by efektywnie przeciwdziałać degradacji otaczających nas elementów przyrodniczych. Pojawia się więc potrzeba implementacji rozwiązań skoooperowanych i zintegrowanych, zapewniających efekt synergii podejmowanych działań.

Opisana w poprzednich częściach niniejszej pracy koncepcja planowania zrównoważonej mobilności miejskiej w ocenie autora z całą pewnością wpisuje się w postulaty prewencyjnej funkcji prawa ochrony środowiska. Przywołane powyżej wyniki badań zdają się potwierdzać, iż implementacja planów zrównoważonej mobilności miejskiej, umożliwiających równoczesną implementację szeregu środowiskowych rozwiązań w obrębie całego funkcjonalnego obszaru miejskiego, przy zastosowaniu odpowiednich metod i środków, pozwala w sposób zauważalny zredukować emisję szkodliwych gazów i pyłów, zapobiegając (w pewnej mierze) negatywnemu oddziaływaniu sektora transportu i przyczyniając się w konsekwencji do poprawy jakości lokalnego środowiska oraz ochrony zdrowia i życia mieszkańców największych ośrodków miejskich.

Choć, jak każde ograniczenia, niektóre rozwiązania i środki wprowadzone na mocy planów zrównoważonej mobilności miejskiej mogą niekiedy w znacznym stopniu ograniczać niektóre wolności oraz swobody, obecna sytuacja klimatyczna zdaje się, w ocenie autora, usprawiedliwiać wdrażanie przez władze samorządowe tego typu restrykcji. Żyjemy bowiem w społeczeństwie, a nasze funkcjonowanie – czy tego chcemy, czy nie – w dalszym ciągu uzależnione jest od otaczającego nas środowiska. Moralnym obowiązkiem pokoleń antropocenu jest więc ochrona środowiska w taki sposób, by cieszyć się nim mogły również kolejne generacje. W tym zakresie, koncepcja planowania zrównoważonej mobilności miejskiej zdaje się spełniać swoje zadanie.

LITERATURA

- [1] Contribution of the transport sector to total emissions of the main air pollutants [W:] National emissions reported to the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP Convention), European Environment Agency 2018. Online: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/contribution-of-the-transport-sector-6#tab-chart_4 [dostęp: 16.12.2020].
- [2] Konstytucja Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 2 kwietnia 1997 r. (Dz.U. Nr 78, poz. 483 z późn. zm.).
- [3] Tuleja, P. 2021. Komentarz do art. 5 [W:] Konstytucja Rzeczypospolitej Polskiej. Komentarz, Czarny P., Florczak-Wątor M., Naleziński B., Radziejewicz P., Tuleja P., Red., Wolters Kluwer: Warszawa, wyd. 2.
- [4] Pietrzak, K., Pietrzak, O. 2020. Environmental Effects of Electromobility in a Sustainable Urban Public Transport. *Sustainability* 12(3), DOI: 10.3390/su12031052.
- [5] Brodacki, D., Polaszczyk, J. 2019. Emisyjność dwutlenku węgla przez samochody elektryczne w kontekście strategicznych celów rozwoju elektromobilności w Polsce i Holandii. *Polityka energetyczna – Energy Policy Journal* 21, 99–116.
- [6] Quaramby, S., Santos, G., Mathias, M. 2019. Air Quality Strategies and Technologies: A Rapid Review of the International Evidence. *Sustainability* 11(10), 11 DOI:10.3390/su11102757.
- [7] Wierzbowski, B., Rakoczy, B. 2018. *Prawo ochrony środowiska. Zagadnienia podstawowe*. Wyd. 7, Wolters Kluwer, Warszawa, 112.
- [8] Lew-Gliniecka, K. 2011. Zasada przezorności i zasada prewencji w unijnym prawie ochrony środowiska. Analiza przypadku na tle uwag ogólnych. *Studia Gdańskie, Wizje i rzeczywistość* 8, 210.
- [9] Górski, M. 1995. Zasada prewencji w prawie ochrony środowiska, *Studia Prawno-Ekonomiczne* 52, 87.
- [10] Jednolity Akt Europejski (Dz.U. WE L 169, 29/6/1987).
- [11] Traktat o Funkcjonowaniu Unii Europejskiej (Dz.Urz. UE. C 326, 26/10/2012, s. 47-390).



14–16 grudnia 2020

- [12] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (t.j. Dz.U. z 2020 r. poz. 1219 z późn. zm.).
- [13] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów „Europejski Zielony Ład”, COM(2019) 640, Bruksela 11.12.2019, 12–13.
- [14] Sówka, I. 2017. Transport drogowy jako źródło zanieczyszczenia powietrza w miastach. *Czysta Energia* 1–2, 25.
- [15] European Environment Agency, Report Explaining road transport emissions – a non-technical guide, Publications Office of the European Union, Luxembourg 2016; European Environment Agency, Towards clean and smart mobility. Transport and environment in Europe, EEA Signals, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2016.
- [16] Report: Vehicles in use – Europe 2018, European Automobile Manufacturers Association, s. 7. Online: https://www.acea.be/uploads/statistic_documents/ACEA_Report_Vehicles_in_use-Europe_2018.pdf [Dostęp: 16.12.2020].
- [17] Wojtał, R. 2018. Zanieczyszczenie powietrza w miastach w aspekcie ruchu samochodowego. *Transport Miejski i Regionalny* 15–17.
- [18] Porozumienie paryskie do Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, sporządzonej w Nowym Jorku dnia 9 maja 1992 r., przyjęte w Paryżu dnia 12 grudnia 2015 r. (Dz.U. z 2017 r. poz. 36).
- [19] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów, „Sustainable and Smart Mobility Strategy – putting European transport on track for the future”, COM(2020) 789, Bruksela 9.12.2020, 2-3.
- [20] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów „Plan działania na rzecz mobilności w miastach”, COM(2009) 490, Bruksela, 30.9.2009.
- [21] „Biała Księga: Plan utworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu – dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu”, COM(2011) 144, Bruksela, 28.3.2011.
- [22] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów „Wspólne dążenie do osiągnięcia konkurencyjnej i zasobooszczędnej mobilności w miastach”, COM(2013) 903, Bruksela 17.12.2013.
- [23] Opinia Komitetu Regionów – pakiet dotyczący mobilności w miastach (COTER-V-048).
- [24] GUS: Funkcjonalne obszary miejskie. Online <https://stat.gov.pl/statystyka-regionalna/jednostki-terytorialne/unijne-typologie-terytorialne-tercet/funkcjonalne-obszary-miejskie-fua/> [Dostęp: 16.12.2020].
- [25] Rupperecht Consult: Guidelines for Developing and Implementing a Sustainable Urban Mobility Plan, Second Edition, 2019.
- [26] Gallo, M., Marinelli, M. 2020. Sustainable Mobility: A Review of Possible Actions and Policies. *Sustainability* 12(18), 7–22. DOI: 10.3390/su12187499.
- [27] Lopez-Ruiz, H., Christidis, P., Demirel, H., Kompil, M. 2013. Quantifying the Effects of Sustainable Urban Mobility Plans. *JRC Technical Report* EUR 26123, 15–16.
- [28] Comission staff working document: “Impact Assesment” SWD(2013), 528, 33–58.
- [29] Airparif: Evaluation des impacts de Plan de Déplacements Urbains d’Ile-de-France sur la qualité de l’air et les émissions de gaz a effet de serre à l’horizon 2020, Paris, 2011, 5.
- [30] Cereg Territoires: Le rapport environnemental du PDU de Marseille-Provence Metropole 2013–2023, Aubagne, 2012, 73-78.
- [31] Davis, A., Rye, T., Pressl, R., Köllinger, C. 2019. Linking transport and health in SUMP. How health support SUMP, *European Comission*, Brusses, 37–38.
- [32] Van Essen, H., Kampman, B. 2011. Impacts of Electronic Vehicles – Summary report, Delft.



14–16 grudnia 2020

- [33] Report: How Eco-Friendly Are Electric Cars? A Holistic View, Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, Germany, 2019.
- [34] Tomaszewski, K. 2019. Problemy rozwoju elektromobilności w Polsce w kontekście krajowej polityki energetycznej. *Przegląd Politologiczny* 2, 161.
- [35] Pisoni, E., Christidis, P., Thunis, P., Trombetti, M. 2019. Evaluating the impact of “Sustainable Urban Mobility Plans” on urban background air quality. *Journal of Environmental Management* 231, 250-253. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.10.039.



Maciej MRÓZ*

Bezpieczeństwo importu gazu ziemnego do Polski jako przejściowego nośnika energii w procesie transformacji energetycznej kraju

STRESZCZENIE: Przejście na gospodarkę neutralną dla klimatu i wypełnienie zobowiązań wynikających z porozumienia paryskiego determinują zmiany w dotychczasowym wykorzystaniu nośników energii pierwotnej. Aktualnie, w dalszym ciągu dominuje wykorzystanie energii pochodzącej ze spalania paliw kopalnych (w tym głównie wysokoemisyjnych, takich jak ropa naftowa czy węgiel), co z kolei przekłada się na znaczną skalę emisji gazów cieplarnianych. Kierunkowo, głównym paliwem przejściowym w transformacji energetycznej Polski ma być gaz ziemny, co pozwoli na znaczącą redukcję emisyjności gospodarki krajowej. W przypadku Polski, ze względu na niewielkie pokrycie zapotrzebowania na gaz wydobyciem własnym, konieczny jest import. Powszechnie przyjmuje się, że bezpieczeństwo dostaw gazu ziemnego do Polski zwiększa się za sprawą odpowiednio tworzonej i rozwijanej infrastruktury gazowej, umożliwiającej dywersyfikację importu. Celem artykułu jest weryfikacja empiryczna tego założenia, a więc ocena, na ile przyjęta strategia dywersyfikacji importu gazu do Polski, jako niskoemisyjnego paliwa przejściowego, przyczynia się do zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego kraju.

SŁOWA KLUCZOWE: bezpieczeństwo energetyczne, gaz ziemny, LNG

1. Wprowadzenie

Celem współcześnie realizowanej polityki energetycznej Polski powinna być dbałość o bezpieczeństwo energetyczne kraju, rozumiane jako „stan gospodarki umożliwiający pokrycie bieżącego i perspektywicznego zapotrzebowania odbiorców na paliwa i energię w sposób technicznie i ekonomicznie uzasadniony, przy zachowaniu wymagań ochrony środowiska” [1], przy uwzględnieniu celów klimatyczno-energetycznych Unii Europejskiej. Ramy polityki klimatyczno-energetycznej do

* Katedra Geografii Ekonomicznej, Kolegium Nauk o Przedsiębiorstwie, Szkoła Główna Handlowa w Warszawie;
e-mail: maciej.mroz@sgh.waw.pl



roku 2030 zawierają bowiem ogólnounijne założenia i cele polityki, przewidziane do realizacji na lata 2021–2030. Najważniejsze cele na 2030 r. to przede wszystkim ograniczenie o co najmniej 40% emisji gazów cieplarnianych (w stosunku do poziomu z 1990 r.), zwiększenie do co najmniej 32% udziału energii ze źródeł odnawialnych w całkowitym zużyciu energii oraz zwiększenie o co najmniej 32,5% efektywności energetycznej [2]. Mówiąc zatem o bezpieczeństwie energetycznym Polski, trzeba je rozważać łącznie z kwestią ochrony środowiska i poszanowaniem zasobów przyrody, gdyż te kategorie są ze sobą sprzężone zwrotnie. W tym kontekście przyjmuje się, że gaz – jako najczystsze paliwo kopalne – może być nośnikiem energii, za sprawą którego możliwe będzie stosunkowo łagodne przejście od bezpieczeństwa energetycznego opartego na węglu do bezpieczeństwa energetycznego bazującego na odnawialnych źródłach energii.

Wzrost zużycia gazu ziemnego w Polsce, jako w dalszym ciągu akceptowalnego, a wręcz promowanego paliwa niskoemisyjnego, determinuje konieczność rozwoju infrastruktury gazowej. W tym celu konieczne są inwestycje w zakresie odpowiedniej infrastruktury zaopatrzeniowej i dystrybucyjnej gazu ziemnego w Polsce. W niniejszej publikacji podjęto próbę oceny stanu bezpieczeństwa energetycznego gwarantowanego przez infrastrukturę gazową, zapewniającą import tego surowca do Polski. Za cel publikacji przyjęto próbę odpowiedzi na pytanie: na ile strategia dywersyfikacji importu gazu ziemnego do Polski, jako niskoemisyjnego paliwa przejściowego, przyczynia się do zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego kraju? Przyjmuje się bowiem, że oprócz realizacji celów zrównoważonego rozwoju (w tym niskoemisyjnej gospodarki), konieczne jest zachowanie bezpieczeństwa energetycznego.

Weryfikacja empiryczna powyższej kwestii przeprowadzona została z wykorzystaniem wskaźnika *Risky External Energy Supply (REES)*, który odnosi się do koncentracji importu i służy do pomiaru krótkoterminowego ryzyka dla bezpieczeństwa dostaw energii. Przyjęty okres badawczy obejmuje lata 2016–2019, a także uwzględnia prognozę do 2023 r. Prezentowane podejście empiryczne można uznać za oryginalne, gdyż zdecydowana większość prezentowanych opracowań ma jedynie charakter opisowy.

Okres 2016–2019 obejmuje kluczowe zmiany w zakresie wykorzystania infrastruktury gazowej, m.in. za sprawą wdrożonej strategii dywersyfikacji źródeł dostaw LNG do Polski i z wykorzystaniem terminala LNG w Świnoujściu. Terminal ten został otwarty pod koniec 2015 r., a pierwszy gazowiec wpłynął dokładnie 11 grudnia 2015 r. Natomiast już 7 stycznia 2016 r. rozpoczęto testy systemu regazyfikacji oraz wysyłki gazu ziemnego, pochodzącego z pierwszej dostawy do krajowego systemu przesyłowego (druga dostawa miała miejsce już 8 lutego 2016 r. [3]). We wskazanym okresie podjęto także ważne decyzje w zakresie strategicznej infrastruktury gazowej – *Baltic Pipe*, pozwalającej w przyszłości (tj. od roku 2022 r.) na znaczny import gazu ziemnego ze złóż norweskich.

2. Metodologia

Bezpieczeństwo importu gazu ziemnego do Polski opiera się na pewności dostaw, a więc wynika bezpośrednio ze stabilności politycznej państw eksportujących ten surowiec. Powszech-



14–16 grudnia 2020

nie przyjmuje się, że dywersyfikacja kierunków importu gazu ziemnego wpływa pozytywnie na bezpieczeństwo energetyczne importera. Kwestie stabilności dostaw (z uwzględnieniem aspektu politycznej stabilności importera), poprzez pomiar koncentracji importu i krótkoterminowego ryzyka dla bezpieczeństwa dostaw energii, określa wskaźnik (*REES*) [4], który oryginalnie przyjmuje postać [5]:

$$REES_a^f = U_a^f \sum_i \left(\frac{NPI_{ai}^f}{C_a^f} \right)^2 r_i d_{ia} \quad (1)$$

gdzie:

- U_a^f – udział surowca f w całkowitej konsumpcji energii kraju a ,
- NPI_{ai}^f – import netto surowca f z kraju i do kraju a ,
- C_a^f – całkowita konsumpcja surowca f w kraju a ,
- r_i – polityczna stabilność dostawcy,
- d_{ia} – odległość między krajami i oraz a . Zgodnie z przyjętą metodologią, przyjmuje się następujące wartości: 1, jeżeli odległość między stolicami wynosi do 1500 km; 2 dla odległości między 1500 km a 4000 km; 3 dla odległości równiej lub większej 4000 km.

Z kolei, polityczna stabilność dostawcy określona została przy wykorzystaniu MARSH Long Term Political Risk Index 2019 (MARSH L.T.P.R.Index 2019) oraz następującego wzoru:

$$r_i = \frac{100 - MARSH.L.T.P.R.Index.2019}{100} \text{ przy założeniu, że } r_i \in <0;1> \quad (2)$$

Przyjmuje się, że im wyższe wartości, tym niższa jest polityczna stabilność dostawcy.

Oryginalnie we wzorze określającym polityczną stabilność dostawcy wykorzystywany jest *PSR index*, który uwzględnia indeks politycznej stabilności krajów opracowany przez PSR, jednakże, z uwagi na brak dostępnych danych, w analogiczny sposób posłużono się indeksem długoterminowej stabilności politycznej tj. MARSH Long Term Political Risk Index 2019.

Natomiast w celu oceny stopnia koncentracji rynku posłużono się wskaźnikiem Herfindahla-Hirschmana (HHI), który określa szacunkowy poziom zagęszczenia w danej branży oraz poziom konkurencji na danym rynku [6] (w analizowanym przypadku chodzi o import gazu):

$$HHI = S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_n^2 \quad (3)$$

gdzie:

- S_n – oznacza udział w rynku każdego producenta/dostawcy, a n reprezentuje całkowitą liczbę producentów/dostawców.



Zakłada się, że im wyższe wartości wskaźnika Herfindahla-Hirschmana, tym wyższa jest koncentracja danego rynku (wzrasta zagrożenie dla konkurencyjności dostaw).

3. Wyniki badania

Analiza danych pozwala na stwierdzenie, że między 2016 r. a 2019 r. nastąpił korzystny spadek wskaźnika *REES* z poziomu 0,1287 do 0,0867 oraz spadek koncentracji importu mierzony wskaźnikiem Herfindahla-Hirschmana, z poziomu 0,4005 do 0,2793. Przyczyną obniżenia się obu wskaźników w tym okresie jest spadek dostaw gazu ziemnego z kierunku wschodniego na korzyść zwiększenia zakresu importu LNG, a także ze względu na wzrost dostaw z kierunku południowego i zachodniego (głównie z Niemiec oraz z innych krajów UE – dostawy wewnątrzspółnotowe).

Prezentowane w tabelach 1 i 2 zmiany wskaźnika sugerują poprawę bezpieczeństwa importu surowca, co jest zgodne z obserwowalną w ostatnim czasie rosnącą skalą dywersyfikacji źródeł dostaw gazu do Polski. Należy bowiem zauważyć, że w ciągu analizowanych trzech lat (tj. lata 2016–2019), nastąpił spadek udziału gazu ziemnego importowanego z Rosji o blisko 13 pkt. proc. (spadek udziału zaopatrzenia gospodarki krajowej z 57,0% do 44,1%). Wynika to wprost z realizowanej strategii dywersyfikacji dostaw. Warto również zauważyć, iż nowi kontrahenci wykazują wyższy stopień stabilności politycznej aniżeli Federacja Rosyjska.

W przedstawionej prognozie na 2023 r., czyli w momencie wygaśnięcia kontraktu jamalskiego (kontrakt z Rosją kończy się w październiku 2022 r.), przyjęto założenia o zbliżonym poziomie importu z dotychczas wykorzystywanych kierunków, maksymalnym poziomie dostaw z Norwegii (*via Baltic Pipe*), wzroście zapotrzebowania krajowego do poziomu 24 mld m³/rok [12], a także przyjmując obecny poziom MARSH Long Term Political Risk Index 2019 (całość założeń opisano pod tabelą 3).

Na podstawie otrzymanych wyników przewiduje się, że do 2023 r. nastąpi dalsza poprawa bezpieczeństwa importu gazu ziemnego do Polski – aż 4,5-krotnie względem stanu z 2019 r. Zmiana wartości wskaźnika z poziomu 0,0867 (2019 r.) do poziomu 0,0191 (2023 r.) jest efektem wykorzystania nowego korytarza dostaw gazu i rezygnacji z importu gazu z Rosji.

Zgodnie z predykcją, wystąpi również nieznaczne obniżenie skali koncentracji rynku (spadek wskaźnika Herfindahla-Hirschmana z 0,2793 do 0,2698), przy czym widoczna poprawa wzrostu bezpieczeństwa dostaw jest efektem zamiany kierunku importu z mniej stabilnej politycznie Rosji na Norwegię (wartość wskaźnika MARSH Long Term Political Risk Index 2019 dla Norwegii – 97,3 zamiast Rosji 61,7).



14–16 grudnia 2020

Tabela 1. Wskaźnik Herfindahla-Hirschmana oraz wskaźnik REES dla Polski za 2019 r.

Państwo	MARSH Long Term Political Risk Index 2019	r _i	Udział w dostawach krajowych w 2019 r.	Odległość między stolicami	Współczynnik d _{ia}	Wskaźnik REES	Współczynnik Herfindahla- Hirschmana
Rosja	61,7	0,383	44,10%	1151 km	1	0,0745	0,1945
Katar	70,6	0,294	10,79%	3941 km	2	0,0068	0,0116
Norwegia	97,3	0,027	0,97%	1063 km	1	0,0000	0,0001
USA	84,2	0,158	4,41%	7177 km	3	0,0009	0,0019
Niemcy	87,2	0,128	18,52%	516 km	1	0,0044	0,0343
Nabycie wewnętrzzwspólnotowe z innych krajów UE (przyjęto Czechy)	88,8	0,112	2,15%	517 km	1	0,0001	0,0005
Polonia	75,6	0,244	19,06%	-	-	-	0,0363
Suma	-	-	100,0%	-	-	0,0867	0,2793

Źródło: opracowanie własne na podstawie [7, 8].

Tabela 2. Wskaźnik Herfindahla-Hirschmana oraz wskaźnik REES dla Polski za 2016 r.

Państwo	MARSH Long Term Political Risk Index 2019	r _i	Udział w dostawach krajowych w 2016 r.	Odległość między stolicami	Współczynnik d _{ia}	Wskaźnik REES	Współczynnik Herfindahla- Hirschmana
Rosja	61,7	0,383	57,00%	1151 km	1	0,1244	0,3249
Katar	70,6	0,294	5,50%	3941 km	2	0,0018	0,0030
Norwegia	97,3	0,027	0,50%	1063 km	1	0,0000	0,0000
USA	84,2	0,158	0%	7177 km	3	0,0000	0,0000
Niemcy	87,2	0,128	14,00%	516 km	1	0,0025	0,0196
Nabycie wewnętrzzwspólnotowe z innych krajów UE (przyjęto Czechy)	88,8	0,112	0,03%	517 km	1	0,0000	0,0000
Polonia	75,6	0,244	23,00%	-	-	-	0,0529
Suma	-	-	100,0%	-	-	0,1287	0,4005

Źródło: opracowanie własne na podstawie [9, 8].



14–16 grudnia 2020

Tabela 3.
Wskaźnik Herfindahla-Hirschmana oraz wskaźnik REES dla Polski – prognoza na 2023 r.

Państwo	MARSH Long Term Political Risk Index 2019	r _i	Udział w dostawach krajowych w 2023 r.	Odległość między stolicami	Współczynnik d _{ia}	Wskaźnik REES	Współczynnik Herfindahla-Hirschmana
Rosja	61,7	0,383	0,00%	1151 km	1	0,0000	0,0000
Katar	70,6	0,294	12,00%	3941 km	2	0,0085	0,0144
Norwegia	97,3	0,027	42,00%	1063 km	1	0,0048	0,1764
USA	84,2	0,158	5,00%	7177 km	3	0,0012	0,0025
Niemcy	87,2	0,128	19,00%	516 km	1	0,0046	0,0361
Nabycie wewnątrzspółnotowe z innych krajów UE (przyjęto Czechy)	88,8	0,112	2,00%	517 km	1	0,0000	0,0004
Polska	75,6	0,244	20,00%	–	–	–	0,0400
Suma	–	–	100,0%	–	–	0,0191	0,2698

Źródło: opracowanie własne na podstawie [8].

Założenia:

- przyjęto obecny poziom MARSH Long Term Political Risk Index 2019;
- wraz z końcem 2022 r. i wygaśnięciem kontraktu jamalskiego, brak importu z Rosji;
- zapotrzebowanie krajowe na poziomie 24 mld³/rok [10];
- wykorzystanie pełnych możliwości importu gazu *via Baltic Pipe* w wymiarze 10 mld m³/rok;
- przyjęto zbliżone wartości importu dla pozostałych państw, jakie są w chwili obecnej: Katar (12%), USA (5%), Niemcy (19%), nabycie wewnątrzspółnotowe z innych krajów UE (przyjęto Czechy) (2%);
- wydobycie własne (20%).



14–16 grudnia 2020

4. Dyskusja

Przejście na gospodarkę neutralną dla klimatu i wypełnienie zobowiązań wynikających z porozumienia paryskiego [11] determinuje zmiany w dotychczasowym wykorzystaniu nośników energii pierwotnej. Aktualnie, w dalszym ciągu dominuje wykorzystanie energii pochodzącej ze spalania paliw kopalnych (w tym wysokoemisyjnych jak ropa naftowa i węgiel), co z kolei przekłada się na emisję gazów cieplarnianych. W 2019 r. globalna emisja CO₂ wyniosła 34 169 milionów ton, co oznacza wzrost o 0,5% względem 2018 r. W tym czasie zużycie nośników energii pierwotnej wzrosło o 1,3%. W dłuższym okresie, tj. w latach 2009–2019 odnotowano globalny wzrost emisji CO₂ o 14,9%, podczas gdy globalne wykorzystanie nośników energii w tych latach wzrosło o 21% [12].

W 2019 r. Unia Europejska odpowiadała za niecałe 10% światowej emisji CO₂, przy zużyciu nośników energii pierwotnej na poziomie 11,8% zużycia światowego. Należy jednak zauważyć, że mimo spadku zużycia nośników energii w krajach należących do UE o blisko 4% w latach 2009–2019, w tym właśnie okresie udało się ograniczyć emisję CO₂ aż o 13% [12]. Realizacja dalszych redukcji emisji wymaga zdecydowanych działań we wszystkich gałęziach gospodarki, także w energetyce. Brak wyraźnych alternatyw w postaci wielkoskalowych „zielonych” źródeł energii w Polsce wymusza w dalszym ciągu konieczność wykorzystania paliw kopalnych, których to udział w miksie energetycznym kraju (*energy mix*; strukturze produkcji i konsumpcji energii według kryterium nośników energii lub sposobów jej wytwarzania) będzie dominował w perspektywie najbliższych lat. W obliczu wyzwań polityki klimatyczno-energetycznej Unii Europejskiej szczególnie ważne jest zatem promowanie źródeł o znacznie niższej emisyjności, zwłaszcza w gospodarkach znajdujących się w fazie transformacji energetycznej. W tym zakresie zauważalna jest rola gazu ziemnego jako paliwa przejściowego w procesie transformacji energetycznej Polski. Wydaje się bowiem, że gaz może być paliwem, które pozwoli na stosunkowo łagodne przejście od bezpieczeństwa energetycznego opartego na węglu do bezpieczeństwa energetycznego bazującego na odnawialnych źródłach energii. Gaz ziemny jest bowiem najczystszy paliwem kopalnym, a w jego przypadku emisja CO₂ jest o 30% mniejsza niż przy spalaniu ropy naftowej oraz aż o 60% mniejsza niż w przypadku wykorzystania węgla. Znacznie mniejsza jest także skala emisji SO₂ oraz pyłów i węglowodorów aromatycznych.

Jednakże, stosunkowo niski stopień samowystarczalności energetycznej Polski w zakresie gazu ziemnego determinuje konieczność jego importu. Wydobyte własne gazu ziemnego w Polsce pozwala bowiem na zaspokojenie około 19% zapotrzebowania krajowego. Wobec powyższego, w publikacji wykazano, że gwarancją stabilności dostaw gazu do Polski jest rozbudowana infrastruktura gazowa, pozwalająca na różnicowanie źródeł importu.

5. Wnioski

Wydaje się zatem, że z punktu widzenia bezpieczeństwa energetycznego Polski konieczna jest dalsza realizacja projektów dywersyfikujących zarówno źródła, jak i kierunki importowanego gazu



14–16 grudnia 2020

Tabela 4.
Główne obszary prowadzonych inwestycji w infrastrukturę gazową w Polsce

Elementy infrastruktury zawarte w planach rozwoju	Charakterystyka techniczna elementu infrastruktury	Zakres poprawy bezpieczeństwa energetycznego
Baltic Pipe	Celem tworzenia gazociągu jest stworzenie połączenia między polską siecią przesyłową ze złożami na Norweskim Szelfie Kontynentalnym. Na realizację tej inwestycji będzie składała się budowa połączeń Norwegia–Dania, Dania–Polska (podmorskie połączenie) oraz rozbudowa duńskiego systemu przesyłowego. Realizowana inwestycja zostanie zakończona w terminie do października 2022 r. Zakładana wielkość importu i eksportu gazu ziemnego to odpowiednio około 10 mld m ³ oraz około 3 mld m ³ rocznie.	Zwiększenie bezpieczeństwa surowcowego i energetycznego Polski z uwagi na zwiększenie stabilności dostaw oraz dywersyfikację gazu ziemnego, który obecnie dostarczany jest głównie z Rosji.
Rozbudowa Terminala LNG (Świnoujście)	Rozbudowa terminala LNG do przepustowości (odbioru i regazyfikacji) 7,5 mld m ³ rocznie. (aktualne zdolności regazyfikacyjne wynoszą 5 mld m ³ /rok), a także o rozszerzeniu świadczonych usług o bunkrowanie LNG, przeładunek LNG na statki i kolej do 2023 r. W perspektywie 2030 r. istnieje możliwość dalszej rozbudowy terminala w zależności od zapotrzebowania.	Zwiększenie bezpieczeństwa surowcowego i energetycznego kraju z uwagi na dywersyfikację źródeł dostaw gazu ziemnego poprzez dostawy typu spot. Rozwój globalnego rynku LNG zwiększa również konkurencyjność dostaw gazu do Polski.
Terminal FSRU (ang. floating storage regasification unit) (Gdańsk)	Projekt zakłada umiejscowienie pływającego terminala regazyfikacyjnego gazu ziemnego w Zatoce Gdańskiej. Realizacja pierwszego etapu zapewnającego przepustowość na poziomie co najmniej 4,5 mld m ³ /rok zakładana jest do 2025 r. Możliwa jest dalsza rozbudowa FSRU w zależności od zapotrzebowania.	Zwiększenie bezpieczeństwa surowcowego i energetycznego kraju z uwagi na dywersyfikację źródeł dostaw gazu ziemnego.
Rozbudowa połączeń z państwami sąsiadującymi	Realizacja projektów ma na celu zwiększenie możliwości importu i eksportu gazu. Inwestycje obejmują budowę lub rozbudowę następujących połączeń: <ul style="list-style-type: none"> • ze Słowacją – do zdolności importu 5,7 mld m³ i eksportu 4,7 mld m³ rocznie, • z Litwą (GIPL) – do zdolności importu 1,9 mld m³ i eksportu 2,4 mld m³ rocznie. Ponadto, przygotowane zostały projekty nowych interkonektorów, natomiast decyzja o ich budowie będzie zależała od uzgodnień z zagranicznymi partnerami oraz rozwojem rynku gazu ziemnego w Polsce: <ul style="list-style-type: none"> • z Czechami – do zdolności importu 6,5 mld m³ i eksportu 5 mld m³ rocznie, • z Ukrainą – do zdolności importu i eksportu 5 mld m³ rocznie. 	Rozwoju rynku i wzrost znaczenia Polski jako regionalnego centrum przesyłu i handlu gazem ziemnym dla Europy Środkowo-Wschodniej, co pozwoli na zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego poprzez wzmocnienie relacji handlowych z państwami sąsiadującymi. Zabezpieczenie dostaw gazu w sytuacjach kryzysowych oraz ograniczonej możliwości dostaw od strony Bałtyku.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [13, 14].



14–16 grudnia 2020

ziemnego. Z tego względu w planach strategicznych w zakresie rozbudowy infrastruktury gazowej uwzględniono (całość zmian wskazano w tabeli 1):

- terminal LNG w Świnoujściu;
- terminal FSRU (*Floating Storage Regasification Unit*) w Gdańsku;
- gazociąg Baltic Pipe.

Istniejący gazociąg jamalski zapewnia przepustowość na poziomie 32,96 mld m³/rok, co oznacza, że jest w stanie pokryć 167,3% aktualnego krajowego zapotrzebowania. Jednakże, z uwagi na planowane odejście od dostarczania gazu tą infrastrukturą, za konieczne przyjmuje się zwiększenie alternatywnych kierunków zaopatrzenia w surowiec.

W chwili obecnej gaz importowany jest także z wykorzystaniem funkcjonującego od 2015 r. terminala LNG w Świnoujściu, który to pozwala zagwarantowanie dostaw w ilości 25,3% aktualnego krajowego zapotrzebowania. Docelowa rozbudowa terminala w Świnoujściu (z 5 mld m³/rok do 7,5 mld m³/rok) ma natomiast zapewnić wzrost możliwego importu surowca do poziomu 38% bieżącego krajowego zapotrzebowaniu na gaz (mierzonego skalą zapotrzebowania z 2019 r.). Planowany jest także terminal FSRU w Gdańsku, który to – z możliwościami odbioru gazu na poziomie co najmniej 4,5 mld m³/rok – mógłby sprostać zapotrzebowaniu krajowemu w wysokości 22,8%.

Kluczową inwestycją infrastrukturalną w zakresie importu gazu do Polski jest *Baltic Pipe*, którego przepustowość szacowana jest na 10 mld m³/rok, co pozwoli na zagwarantowanie dostaw gazu z Norwegii w wysokości połowy krajowego zużycia (mierzonego wg aktualnych potrzeb – 50,7%).

Łącznie, na podstawie tych inwestycji (tj. rozbudowa terminala LNG w Świnoujściu, stworzenie terminala FSRU w Gdańsku oraz dokończenie budowy *Baltic Pipe*) infrastruktura importu gazu do Polski ma umożliwiać import rzędu 111,5% obecnego zapotrzebowania krajowego, co teoretycznie powinno gwarantować infrastrukturalne bezpieczeństwo dostaw surowca, przy założeniu stałego zapotrzebowania na gaz oraz *ceteris paribus*.

Bezpieczeństwu energetycznemu będą również sprzyjać planowane połączenia międzysystemowe z państwami sąsiadującymi, umożliwiające zarówno eksport, jak i import gazu ziemnego (w zależności od potrzeb), a także dalszy rozwój wydobycia własnego, który mógłby się znacząco zwiększyć przy realizacji wydobycia ze złóż niekonwencjonalnych.

Ponadto zakłada się, że import gazu do Polski będzie realizowany w ramach połączeń gazowych z państwami sąsiadującymi. Inwestycje obejmują budowę lub rozbudowę połączeń ze Słowacją (do zdolności importu 5,7 mld m³ i eksportu 4,7 mld m³ rocznie) oraz z Litwą (GIPL) (do zdolności importu 1,9 mld m³ i eksportu 2,4 mld m³ rocznie). Na decyzję czekają także projekty nowych interkonektorów, które uwarunkowane są uzgodnieniami z zagranicznymi partnerami oraz rozwojem rynku gazu ziemnego w Polsce, tj. połączenie z Czechami (do zdolności importu 6,5 mld m³ i eksportu 5 mld m³ rocznie), a także z Ukrainą (do zdolności importu i eksportu 5 mld m³ rocznie) [13, 14]. Sumarycznie, realizacja przedstawionych powyżej projektów pozwoliłaby na zabezpieczenie dostaw gazu ziemnego do Polski na poziomie dwukrotnego bieżącego zapotrzebowania.



14–16 grudnia 2020

LITERATURA

- [1] Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne (Dz.U. 1997 nr 54 poz. 348).
- [2] Komisja Europejska. Online: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_pl [Dostęp: 05.01.2021].
- [3] Polskie LNG. Online: <https://www.polskieng.pl/terminal-Ing/program-rozbudowy-terminalu-Ing/dotacja-ue-program-operacyjny-infrastruktura-i-srodowisko> [Dostęp: 05.01.2021].
- [4] Le Coq, Ch., Paltseva, E. 2009. Measuring the security of external energy supply in the European Union. *Energy Policy* 37, 4474–4481. DOI: 10.1016/j.enpol.2009.05.069.
- [5] Nyga-Łukaszewska, H. 2019. Bezpieczeństwo energetyczne na międzynarodowym rynku gazu ziemnego, Warszawa: Oficyna Wydawnicza SGH, 29–30.
- [6] Brown, T. 2018. Measurement of mineral supply diversity and its importance in assessing risk and criticality. *Resources Policy* 58, 207.
- [7] Ministerstwo Energii, Sprawozdanie z wyników monitorowania bezpieczeństwa dostaw paliw gazowych za okres od dnia 1 stycznia 2019 r. do dnia 31 grudnia 2019 r.
- [8] MARSH. Online: <https://www.marsh.com/pl/pl/campaigns/political-risk-map-2019.html> [Dostęp: 15.11.2020].
- [9] Ministerstwo Energii, Sprawozdanie z wyników monitorowania bezpieczeństwa dostaw paliw gazowych za okres od dnia 1 stycznia 2016 r. do dnia 31 grudnia 2016 r.
- [10] PAP. Online: <https://www.pap.pl/aktualnosci/news%2C517712%2Cwiceprezes-pgnig-w-2023-r-zaspo-koimy-popyt-krajowy-bez-dostaw-z-rosji.html> [Dostęp: 07.01.2021].
- [11] Komisja Europejska. Online: https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_pl [Dostęp: 03.01.2021].
- [12] BP Statistical Review of World Energy 2020, 13.
- [13] Gaz-System, Raport zrównoważonego rozwoju 2018.
- [14] Ministerstwo Energii, Polityka energetyczna Polski do 2040 r.

ORGANIZATOR



Instytut Gospodarki
Surowcami Mineralnymi
i Energią
Polskiej Akademii Nauk

PATRONAT HONOROWY



Ministerstwo
Klimatu i Środowiska



Narodowe Centrum
Badań i Rozwoju

PARTNERZY



PROMAN



Green
Back
Innovation for nature



Gdańska Fundacja Wody
CENTRUM SZKOLENIOWE

CREATIVE TIME



MŁDZI
DLA KLIMATU



FUNDACJA
OPTIMUS



POLAND
INNOVATIVE

PATRONAT MEDIALNY



forests

an Open Access Journal by MDPI



sustainability

an open access journal by MDPI