

# W kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym

## Perspektywa miast



redakcja naukowa  
Joanna Kulczycka i Krzysztof Głuc

# W kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym

---

---

## Perspektywa miast

---

---

redakcja naukowa  
dr hab. Joanna Kulczycka, prof. AGH i dr Krzysztof Głuc

Kraków 2017

**Recenzenci:**

dr hab. Joanna Żyra, Instytut Ekonomii, Socjologii i Filozofii, Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki

dr hab. inż. Krzysztof Gaska, Katedra Technologii i Urządzeń Zagospodarowania Odpadów, Politechnika Śląska



NFOŚiGW

*Niniejszy materiał został opublikowany dzięki dofinansowaniu Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Za jego treść odpowiada wyłącznie Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk*

© Copyright by IGSMiE PAN & MSAP UEK, Kraków 2017

**Projekt graficzny i skład:**

Jolanta Królas, Tomasz Rudek

**Druk:**

Zakład Poligraficzny Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie

ISBN: 978-83-89410-38-2

**Wydawca:**

Małopolska Szkoła Administracji Publicznej  
Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie  
ul. Rakowicka 16  
31-510 Kraków  
tel. 12 293 75 60; faks 12 293 75 59  
[www.msap.uek.krakow.pl](http://www.msap.uek.krakow.pl)

# SPIS TREŚCI

|                  |   |
|------------------|---|
| <b>Przedmowa</b> | 5 |
|------------------|---|

## **Część I**

### **GOZ w ujęciu międzynarodowym**

|  |    |
|--|----|
| <b>Magdalena Dziczek</b><br>Gospodarka o obiegu zamkniętym (GOZ) a wzrost gospodarczy. Jak mierzyć rozwój GOZ?   | 9  |
| <b>Agnieszka Czaplicka-Kotas, Joanna Kulczycka</b><br>Wpływ gospodarki o obiegu zamkniętym na tendencję zmian w polskim eksporcie do Chin produktów i usług środowiskowych | 17 |
| <b>Krzysztof Zachura</b><br>Wdrażanie innowacyjnych zamówień publicznych w Polsce w kontekście doświadczeń międzynarodowych  | 28 |
| <b>Agnieszka Ciechelska</b><br>Realizacja celów gospodarki odpadami komunalnymi – w kontekście gospodarki o obiegu zamkniętym – na przykładzie wybranych krajów            | 44 |

## **Część II**

### **Zastosowanie narzędzi IT i edukacja ekologiczna**

|  |     |
|--|-----|
| <b>Krzysztof Gaska, Agnieszka Generowicz</b><br>Zwirtualizowana przestrzeń badawcza dla sektora infrastruktury komunalnej w metropoliach   | 63  |
| <b>Jacek Pietrzyk, Joanna Leoniewska-Gogola</b><br>Narzędzia IT w gospodarce odpadami jako wsparcie w monitorowaniu i sprawozdawczości   | 72  |
| <b>Łukasz Wawszczak</b><br>Ocena wpływu parametrów modelu dyspersji na proces obliczania poziomów emisji zanieczyszczeń – na przykładzie Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów w Krakowie  | 85  |
| <b>Jacek Pietrzyk, Aleksandra Edelmüller, Tomasz Zmarzły, Aneta Ziótek, Aleksandra Bąk, Magdalena Kołodziejczak, Jakub Liszcz</b><br>Lokalne, ekologiczne gospodarowanie odpadami – czyli jak w przystępny sposób edukować ekologicznie? | 100 |



**Część III****Przykłady rozwiązań technicznych i organizacyjnych promujących GOZ i ograniczenia emisji**

|  |     |
|--|-----|
| <b>Iwona Rackiewicz</b>  |     |
| Ocena niskoemisyjności i efektywności energetycznej polskich miast   | 115 |
| <b>Karolina Misztal</b>  |     |
| Odnawialne źródła energii na terenie Polski  | 125 |
| <b>Agnieszka Marczevska, Anna Balon-Wróbel</b>   |     |
| Nowoczesne niskoemisyjne szkła powłokowe do zastosowań w energooszczędnym budownictwie                               | 136 |
| <b>Dariusz Góra</b>  |     |
| Przegląd wybranych zanieczyszczeń powietrza w 2016 r. na terenie Bielska-Białej oraz ich wpływ na organizm człowieka | 151 |
| <b>Kazimierz Kudlik, Ewa Wysowska</b>  |     |
| Przedsięwzięcia na drodze do gospodarki o obiegu zamkniętym w przedsiębiorstwie wodociągowo-kanalizacyjnym           | 162 |

# Przedmowa

Monografia, którą mamy przyjemność zaprezentować skupia się na niezwykle nośnym i popularnym w ostatnich latach temacie gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ) w kontekście funkcjonowania miast. Jak napisano w Raporcie Ellen MacArthur Foundation w 2017 r. „(...) w centrum kreatywności, innowacji i wzrostu miasta odgrywają kluczową rolę jako motory światowej gospodarki. 54% światowej populacji żyje w obszarach miejskich, a miasta stanowią 85% światowej produkcji PKB. Miasta są również miejscami kumulowania materiałów i składników odżywczych, odpowiedzialnymi za 75% zużycia zasobów naturalnych, 50% światowej produkcji odpadów i 60%–80% emisji gazów cieplarnianych”.

Wszystko wskazuje na to, że najbliższe dziesięciolecie przyniosą jeszcze bardziej dynamiczny rozwój miast, a tym samym znaczące inwestycje i rozwój infrastruktury, koncentrując w swych zasobach kapitał, ludzi i dane. Miasta stają zatem przed poważnym wyzwaniem rozwojowym i koniecznością odpowiedzi na pytanie o przyszły model funkcjonowania. Czy GOZ jest jedyną odpowiedzią i rozwiązaniem? Zapewne nie, bo w gruncie rzeczy nie jest ona czymś unikatowym i wyjątkowym w historii. Poszczególne elementy tego, co dziś nazywamy GOZ są przecież obecne w naszym życiu od dawna – to, co nowe, to nowy sposób myślenia o gospodarce, ale również o zarządzaniu, w tym zarządzaniu publicznym miast. To także nowy model biznesowy z całym swoim instrumentarium zarządczym i finansowym, powiązany z nowymi technologiami i osiągnięciami badań naukowych. Zakres tematyczny związany z GOZ w kontekście miast jest niezwykle szeroki i można go ujmować na wiele sposobów. Prezentowana monografia pokazuje różnorodne podejścia do tego zagadnienia – to, co je łączy, to paradygmat zmiany przestrzeni publicznej miast w oparciu o zasady GOZ. Problematykę zaprezentowano zarówno w ujęciu międzynarodowym (Chiny, wybrane kraje UE), jak i krajowym, wskazując nowe rozwiązania i dobre przykłady wykorzystania narzędzi IT, edukacji ekologicznej, gospodarki odpadami, wodą, ocen niskoemisyjności i efektywności energetycznej oraz rozwoju odnawialnych źródeł energii. GOZ jest wciąż nowym paradygmatem zarządzania w wielu obszarach, dlatego też mamy nadzieję, że ta publikacja będzie dobrym przykładem do poszukiwania ekoinnowacyjnych rozwiązań, ale również pozwoli na tworzenie nowych modeli zarządzania publicznego i zasad funkcjonowania miast. Chodzi o takie działania, które umożliwią realizowanie bieżących zadań, z uwzględnieniem zasady gospodarki okrężnej, w tym koncepcji Miasta-Ideji, w której miasto jest nie tylko przestrzenią fizyczną (zagospodarowaną materialnie, cywilizacją, przedmiotową), ale równocześnie społeczną (interaktywną, kulturą, podmiotową). Każde miasto musi określić swoją ideę, aby mogło się rozwijać. Rozumiemy przez to specyficzny dla tego miasta proces wykorzystania jego potencjału rozwojowego i generowania wartości. Nie jest to zatem model rozwoju miasta, ale normatywnie

ujęte i empirycznie osadzone podejście do jego rozwoju – koncept, a nie formuła. Mamy nadzieję, że prezentowane w niniejszej monografii tematy wnoszą nowe spojrzenie także i w tym kontekście.

Wnikliwe i staranne recenzje tekstów zamieszczonych w prezentowanym tomie opracowali dr hab. Joanna Żyra z Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki oraz dr hab. inż. Krzysztof Gaska z Politechniki Śląskiej, za co pragniemy w tym miejscu serdecznie podziękować.

**Część I**  
**GOZ w ujęciu międzynarodowym**



**mgr Magdalena Dzięczek**

*Szkola Główna Handlowa,*

*Miejskie Przedsiębiorstwo Oczyszczania w m.st. Warszawie Sp. z o.o.*

## **Gospodarka o obiegu zamkniętym (GOZ) a wzrost gospodarczy. Jak mierzyć rozwój GOZ?**

---

### **Streszczenie**

Wzrost gospodarczy jest wyrażany wskaźnikiem PKB, zwyczajowo przeliczanym na jednego mieszkańca lub prezentowanym w formie procentowego wzrostu lub spadku, w odniesieniu do analogicznego okresu, np. roku. Głównymi czynnikami determinującymi wzrost gospodarczy są: konsumpcja (wymagająca określonej podaży dóbr) i inwestycje.

Idea gospodarki o obiegu zamkniętym skupia swoje zainteresowanie na innych obszarach. Czy oznacza to, że wzrost gospodarczy w nowych warunkach nie będzie możliwy?

Powstało już wiele raportów wskazujących na korzyści płynące z wdrożenia zasad GOZ, ale brakuje analiz naukowych odnoszących się do wskaźników, które pozwoliłyby skutecznie mierzyć rozwój gospodarki w modelu obiegu zamkniętego. OECD otworzyła dyskusję, tworząc pojęcie „produktywności surowcowej” odnoszące się do efektywności zużycia surowców pierwotnych w korelacji z poziomem PKB danej gospodarki. Niestety wskaźnik ten koncentruje się na surowcach pierwotnych, abstrahując od wykorzystania surowców wtórnych, które są tak ważne dla sensu istnienia GOZ.

Gospodarka o obiegu zamkniętym wymaga zatem przededefiniowania teorii wzrostu gospodarczego *per se*. Aby to było możliwe, niezbędne jest dopasowanie/modyfikacja tego modelu obliczania najważniejszych dla gospodarki wskaźników ekonomicznych, które określają tempo wzrostu gospodarczego. Pierwsze analizy naukowe pojawiające się w międzynarodowych gremiach akademickich podkreślają konieczność stworzenia nowego modelu wzrostu – modelu dostosowanego do potrzeb zrównoważonej gospodarki o obiegu zamkniętym. Ważnym wnioskiem przedstawianym przez zaangażowanych w tę problematykę badaczy jest potrzeba zmiany postaw i strategii w osiąganiu zrównoważonego wzrostu.

Zgodnie z założeniami gospodarka o obiegu zamkniętym czerpie wiele z odpadów, podkreśla istotę właściwego projektowania produktów. Jednak jej pełne wdrożenie będzie wymagało znacznie szerszych zmian – być może dotyczących najbardziej fundamentalnych zasad funkcjonowania życia gospodarczego.

### **Circular economy and growth. How to measure the development of circular economy?**

#### **Abstract**

Economic growth is measured by the GDP index, usually calculated per capita or expressed by a percentage increase or decline in comparison to an analogical period, e.g. a year. The major factors determining economic growth are: consumption (requiring the supply of goods) and investments.

The idea of the circular economy focuses on other areas. Does it mean that in a set of new circumstances economic growth will cease to continue?

There have been many reports highlighting the benefits of implementing the CE rules. What's missing, however, is scientific analyses of the indexes that would enable us to efficiently measure economic development within the circular economy model. The OECD has initiated this debate by creating the concept of 'resource productivity', which relates to the efficacy of using primary resources in relation to the GDP of a particular economy. Unfortunately, this index is mostly focused on primary resources, disregarding the use of secondary resources, which are crucial if the CE is to make sense.

Thus, circular economy demands that we redefine the theory of economic growth in and of itself. For that to be possible, we need to adjust the model of measuring key economic indexes which indicate the pace of economic development. The initial scientific analyses appearing amongst international academic circles emphasizes the necessity of creating a new model of growth, one that would be adapted to the needs of a sustainable circular economy. The important conclusion proposed by researchers within this field is that there is a need for change in attitudes and strategies towards sustainable development.

Circular economy draws a lot of its concepts from the notion of waste, highlighting the importance of proper product design. However, its implementation would require much broader changes – possibly ones that would affect the most fundamental rules of economics.

---

## Wprowadzenie

Tradycja ekonomiczna i powszechność stosowania wskaźnika PKB (Produkt Krajowy Brutto) determinuje postrzeganie kondycji gospodarczej poszczególnych krajów przede wszystkim przez pryzmat wielkości produkcji, konsumpcji wewnętrznej i eksportu lub importu. Niezależnie od metody kalkulacji (popytowa, wydatkowa, konsumpcyjna) PKB odzwierciedla linearny charakter teorii wartości, zgodnie z którą ocenia się gospodarkę w skali makroekonomicznej.

Perspektywa wdrożenia nowego paradygmatu ekonomii – opartego na założeniu jej obiegowego charakteru – skłania do analiz także na płaszczyźnie teoretycznej związanej z metodami obserwacji rozwoju w kierunku zamknięcia obiegu oraz wskaźnikami, które dadzą szerszą perspektywę i umożliwią rzetelne oszacowanie wartości gospodarki narodowej danego kraju.

Celem niniejszego tekstu jest przybliżenie potencjalnych narzędzi analitycznych, które pozwolą na prawidłowy pomiar aktywności gospodarczej w sytuacji oddzielenia poziomu konsumpcji od wzrostu oraz rozważenie czy istnieje potrzeba zrewidowania utrwalonych, powszechnie stosowanych i uznanych teorii, w tym teorii tworzenia wartości oraz PKB jako podstawowego miernika wielkości gospodarki.

## 1. Gospodarka o obiegu zamkniętym (GOZ) – wskaźniki

Z perspektywy ekonomii gospodarka o obiegu zamkniętym ma na celu zwiększenie konkurencyjności Unii Europejskiej poprzez racjonalne gospodarowanie surowcami pierwotnymi i wtórnymi, a także zmianę trendów konsumpcyjnych i produkcyjnych, co w efekcie ma doprowadzić do rozdzielenia wzrostu i rozwoju gospodarczego od konsumpcji (Ellen MacArthur Foundation, Granta 2015).

Ellen MacArthur Foundation wraz z Granta (2015) wyróżniają kilka grup wskaźników umożliwiających monitorowanie rozwoju gospodarki o obiegu zamkniętym. Najistotniejszy i najbardziej rozbudowany jest wskaźnik cyrkularności materiału, który odnosi się do całego cyklu życia produktu i uwzględnia stosunek zawartości surowców wtórnych do pierwotnych, żywotność produktu oraz użyteczność recyklingową (wraz z określeniem procentowej wartości, która musi zostać zeszkładowana lub unieszkodliwiona termicznie). Ostatnim elementem jest ocena przydatności odzyskanego materiału do dalszego recyklingu.

### Wskaźniki linearnego modelu gospodarczego

Wzrost gospodarczy w ujęciu linearnym jest mierzony przede wszystkim przy pomocy PKB, jednak syntetyczność tego wskaźnika wymusza na badaczach zainteresowanych głębszą analizą stanu gospodarki konieczność odnoszenia się do znacznie szerszego spektrum wskaźników. Ze względu na rozległość zagadnienia w niniejszym opracowaniu analizie zostaną poddane tylko wybrane elementy.

W dużym uproszczeniu gospodarka linearna jest realizowana w duchu *wydobyć – wyprodukować – skonsumować – zeszkładować* (Komisja Europejska 2015). Podstawowym czynnikiem umożliwiającym produkcję jest dostęp do surowców naturalnych, których złoża są ograniczone, a wydobycie niesie za sobą liczne negatywne efekty zewnętrzne. Negatywne oddziaływanie dotyczy każdego ogniwa łańcucha tworzenia wartości, także tych krańcowych, o których systemowo się zapomina – wydobycia surowców naturalnych i zagospodarowania odpadów.

Dla szerszego oglądu rzeczywistej kondycji gospodarki eksperci sięgają po bogaty wachlarz danych statystycznych gromadzonych przez urzędy statystyczne. Do najważniejszych i najpopularniejszych wskaźników należą: poziom zatrudnienia/ bezrobocia, struktura zamożności społecznej, dane demograficzne i migracyjne czy dane środowiskowe (często mające na celu oszacowanie rynku lub zbadanie dostępności infrastruktury, względnie dostępu do surowców).

Teorie wzrostu gospodarczego w ekonomii linearnej odnoszą się do analizy popytu inwestycyjnego i konsumpcyjnego, wewnętrznego i zewnętrznego. Rze-



czywiste koszty wytworzenia produktu stanowią informację trzeciorzędna<sup>1</sup>. Taki model może wynikać z historycznych zaszczości oraz ogromnych zasług Ojców teorii ekonomii dla rozwoju tej dziedziny nauki i ich XIX-wiecznych kontynuatorów, zwolenników ekonomii neoklasycznej, a w konsekwencji mających decydujący wpływ na kształtowanie współczesnej gospodarki. Wskaźnik PKB odnosi się do całkowitego potencjału wytwórczego kraju, niezależnie od kraju pochodzenia inwestorów, a PNB (Produkt Narodowy Brutto) ujmuje wzrost wypracowany wyłącznie przez obywateli i instytucje krajowe, powiększone o przychody z działalności poza granicami kraju.

### **Wskaźniki monitorowania GOZ**

Gospodarka o obiegu zamkniętym w odróżnieniu od modelu linearnego koncentruje się na elementach istotnych z punktu widzenia ekonomii środowiska. Jak podkreślają eksperci reprezentujący EASAC (2016), najistotniejszym celem GOZ jest stworzenie modelu, który zagwarantuje równowagę między celami finansowymi a środowiskowymi nie tylko w skali makro, ale już na poziomie przedsiębiorstw. Osiągnięcie tego ambitnego celu wymaga zmiany przyzwyczajzeń konsumentskich i dostosowania produktów do nowych zasad wykorzystania zasobów, w tym surowców wtórnych. Jak podkreśla UNEP (2011), rozdzielenie wskaźnika wzrostu gospodarczego od ilości wykorzystanych i skonsumowanych zasobów jest elementem krytycznym dla powodzenia transformacji systemowej.

Ze względu na fakt, że odpady stanowią bogate źródło surowców wtórnych, które z powodzeniem mogą być wykorzystywane do procesów produkcyjnych, GOZ lokuje tę fazę cyklu życia produktów bardzo wysoko w strategii rozwoju nowego systemu. Mając na uwadze różnorodność znajdujących się w odpadach substancji, ich właściwe zagospodarowanie stwarza realne trudności i zagrożenia, co pociąga za sobą koszty, które wpływają na finalną cenę poszczególnych grup surowców wtórnych i ich konkurencyjność wobec pierwotnych odpowiedników. Przez wiele dziesięcioleci Europejczycy byli umiarkowanie zainteresowani surowcami ze statusem odpadu (w dużej mierze ze względu na poważne utrudnienia i obostrzenia określone dla przetwarzania odpadów i procedur utraty statusu odpadów), choć wiele frakcji nie stwarza realnego zagrożenia w sytuacji właściwego ich zagospodarowania. Komunikat Komisji Europejskiej (2015) poparty nowelizacją pakietu dyrektyw odpadowych jednoznacznie wskazuje kierunek zmian mających na celu znacznie szersze wykorzystanie potencjału drzemającego w odpadach, zwłaszcza komunalnych.

Do równie ważnych wskaźników obrazujących postęp we wdrażaniu GOZ należą: nowe miejsca pracy związane bezpośrednio i pośrednio z intensyfikacją wykorzystania surowców wtórnych oraz wzrost produktywności materiałowej wyni-

---

<sup>1</sup> W niniejszym tekście przez rzeczywiste koszty rozumie się znacznie szerszą perspektywę niż to zapisano w art. 28 ust. 11 ustawy o rachunkowości, mianowicie obejmującą negatywne efekty zewnętrzne, w tym koszty społeczne i środowiskowe.

kający przede wszystkim z ecodizajnu (WRAP 2015). Nowe miejsca pracy to także struktura zatrudnienia, która będzie ulegać zmianom polegającym na odpływie siły roboczej z przemysłu w kierunku sektora usługowego. Produktyność materiałowa powinna być natomiast rozpatrywana w wielu perspektywach, jednak z naciskiem na przemysł produkcyjny, który zużywa zdecydowanie najwięcej zasobów. Fundacja Ellen McArthur podkreśla w swoim raporcie (2017), że inwestycje w innowacyjne rozwiązania będą stanowić koło zamachowe zmian w kierunku zamknięcia obiegu. W innym raporcie (2015) wskazano na ważne informacje, które winny być pozyskiwane bezpośrednio od przedsiębiorców w celu przedstawienia zagregowanych danych dotyczących wskaźnika produktywności materiałowej przedsiębiorstw. Wskaźnik został szczegółowo opisany w tym dokumencie i zakłada kontrolę nad przepływem surowców, procentowy udział surowców wtórnych w produkcie finalnym, trwałość produktu i jego podatność na proces recyklingu, masę odpadów powstałych w wyniku produkcji i zagospodarowania produktu w ostatniej fazie cyklu życia oraz zapotrzebowanie na surowce pierwotne. Algorytm ten w szczególności odnosi się do cyklu życia produktu, jednak całkiem abstrahuje od finansowych aspektów wytwarzania produktu.

Do innych ważnych wskaźników należy poziom redukcji masy odpadów kierowanych na składowiska oraz nieprzekraczanie 30% poziomu całkowitej masy odpadów zagospodarowanych w drodze termicznego przekształcania. Z punktu widzenia dążenia do osiągnięcia lub zachowania dobrobytu kluczowe wydaje się efektywne przetwarzanie frakcji biodegradowalnej, którego nadrzędnym celem powinno być przywrócenie glebie najważniejszych pierwiastków. Ze względu na zmianę struktury dystrybucji i sposobu pozyskiwania surowców bardzo ważny jest mechanizm monitorowania rynku, którego celem będzie maksymalne usprawnienie przepływu informacji pozwalające na unikanie ryzyk związanych z wykorzystaniem surowców wtórnych (np. wahania cen).

### **Środowiskowa efektywność produkcji**

Środowiskowa efektywność produkcji polegająca na dążeniu do efektywności surowcowej bilansowanej w procesach produkcyjnych należy do bardzo ważnych wskaźników zaproponowanych przez OECD i zapisanych w strategii Unii Europejskiej dotyczącej osiągnięcia zrównoważonego rozwoju (2009). Dzięki zapisanym tam wytycznym dyskurs ekonomiczny nabiera nowego wymiaru, który staje się krokiem milowym na drodze do osiągnięcia zrównoważonego rozwoju europejskich gospodarek. Efektywność surowcowa, efekty zewnętrzne i konieczność skoncentrowania się na ochronie środowiska oraz zasobów Ziemi stały się realną potrzebą i kierunkiem rozwoju społeczno-politycznego. Niestety wskaźniki te nie rozróżniają surowców ze względu na ich pochodzenie czy sposób pozyskania, co wydaje się mieć kluczowe znaczenie. Innym bardzo ważnym elementem, niestety pomijanym

w tej analizie, jest kwestia końca życia produktów i wynikające z tego tytułu obciążenia dla środowiska.

Pomimo swych niedoskonałości, zdefiniowanie wskaźnika środowiskowej efektywności produkcji umożliwiło zbudowanie mentalnych i teoretycznych podwalin do stworzenia idei gospodarki o obiegu zamkniętym.

### **Wzrost gospodarczy w GOZ**

Gospodarka o obiegu zamkniętym koncentruje swoją uwagę na dobrobycie, który będzie osiągniany z poszanowaniem środowiska. Z tego powodu zakłada rozdzielenie wzrostu gospodarczego od zużywanych zasobów. Jeśli taki rozłam nastąpi, obliczanie wartości Produktu Krajowego Brutto w obecnym kształcie straci sens i podstawę merytoryczną. Zainteresowanie krańcami łańcucha tworzenia wartości i zrozumienie dla ogromnego potencjału gospodarczego, jaki kryje się w surowcach i odpadach daje przestrzeń do wypracowywania metod wartościowania rynku z uwzględnieniem całego cyklu życia produktu, w tym obciążeń dla środowiska, jakie pociągają za sobą produkcja, dystrybucja, konsumpcja i utylizacja (LCA).

Powyzsze założenie skłania do wniosku, że wdrożenie zasad GOZ będzie wymagało nie tylko odnoszenia się do szczegółowo określonych wskaźników, które można następnie zagregować, ale również będzie wiązało się z potrzebą przedefiniowania PKB, dostosowując jego kształt do nowego modelu gospodarczego.

Środowiskowa Krzywa Kuznetza (EKC) (Stern 2003) zdaje się potwierdzać, że obserwowane trendy zmierzają ku zmianom próśrodowiskowym. Zgodnie z teorią Kuznetza, która początkowo dotyczyła wyłącznie kwestii zamożności społecznej, a od lat 90. XX w. jest także rozpatrywana w kontekście środowiskowym, po osiągnięciu pewnego poziomu rozwoju gospodarczego polityka państw rozwiniętych powinna w coraz większym stopniu dążyć do odciążania ekosystemów – aż ochrona ta spowoduje powrót do stanu równowagi środowiskowej, typowej dla obszarów nierozwiniętych. Model ten nie jest idealny i nie zawsze odzwierciedla rzeczywistość (zob. np. emisja dwutlenku węgla), może jednak być z powodzeniem stosowany jako narzędzie monitoringu, które wspomaga polityków w podejmowaniu decyzji o kierunkach tworzenia skutecznej polityki ekologicznej.

Bazując m.in. na EKC, D.A.R. George, B. Chi-ang Lin i Y. Chen (2015) przeanalizowali najważniejsze wskaźniki, które powinny bezpośrednio wpływać na kształt PKB, tworząc jednocześnie ich modele ekonometryczne. Celem badaczy było przeanalizowanie czterech grup wskaźników, które będą uwzględniać rzeczywisty wzrost gospodarczy, koncentrując się przy tym na poziomie konsumpcji i zanieczyszczeń z niej wynikających, poziomie wykorzystywanych w produkcji surowców wtórnych i substancji zanieczyszczających środowisko, oszacowaniu zdolności odtworzeniowych środowiska w odniesieniu do poziomu zanieczyszczeń generowanych w gospodarce. Przeprowadzone analizy dotyczą niestety rynku kontrolowanego centralnie,

co stawia pod znakiem zapytania potencjalny rezultat w odniesieniu do rynku konkurencyjnego.

## Wnioski

Komisja Europejska rozpoczęła proces transformacji ku gospodarce o obiegu zamkniętym od opublikowania projektu pakietu dyrektyw odpadowych, co stawia branżę odpadową w bardzo ciekawym położeniu – z jednej strony, nobilitującym przez wzgląd na zainteresowanie, z drugiej strony, bardzo wymagającym ze względu na stawiane w pakiecie cele.

Analizując głębiej skutki zmian zaproponowanych w nowelizacjach, można dojść do wniosku, że przeddefiniują one zasady funkcjonowania całego rynku, niezależnie od bliskości poszczególnych sektorów do gospodarki odpadami (choć wszystkie sektory produkują odpady także w postaci sprzedanych produktów, które w ostatniej fazie wymagają zagospodarowania). Wskaźniki pozwalające na monitorowanie wdrażania nowego paradygmatu gospodarki i oceny jej efektywności będą powodowały dezinformację, ponieważ ich podstawą jest zainteresowanie informacjami, które w przypadku PKB są mało użyteczne lub wręcz niebezpieczne (np. ograniczenie konsumpcji surowców i dóbr finalnych poprzez wydłużenie cyklu życia produktów).

Nowy model gospodarczy – jednoznacznie zrywający z tradycją rewolucji przemysłowej – będzie wymagał nowego, globalnego miernika. Być może nadal będzie to PKB, jednak metodologia dochodzenia do wyniku ulegnie aktualizacji. Być może konieczne będzie stworzenie zupełnie nowego narzędzia, które pozwoli na obiektywne wartościowanie światowych gospodarek.

Niniejszy tekst sygnalizuje niespójności i potrzebę dyskusji nad przyszłością gospodarki i teorii ekonomii. Niewątpliwie sposób obliczania PKB powinien zostać zrewidowany. Co istotne, nie stanie się on jednak impulsem wdrażającym GOZ – może on stanowić tylko narzędzie do wiarygodnej obserwacji i oceny rynku.

## Literatura:

- [1] Ellen MacArthur Foundation, Granta, 2015, *Circularity Indicators. An Approach to Measuring Circularity*.
- [2] Ellen MacArthur Foundation, Systemiq, SUN Institute, 2017, *Achieving Growth Within*.
- [3] European Academies Science Advisory Council (EASAC), 2016, *Indicators for a circular economy*, Saale.
- [4] George D.A.R., Chi-ang Lin B., Chen Y., 2015, *A circular economy model of economic growth*, Environmental Modelling and Software 73 (2015).
- [5] Komisja Europejska, 2001, *Wskaźniki zrównoważonego i trwałego rozwoju Unii Europejskiej*, Bruksela.

- [6] Komisja Europejska, 2009, *Przegląd strategii Unii Europejskiej na rzecz zrównoważonego rozwoju*, Bruksela.
- [7] Komunikat Komisji Europejskiej, <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2015/PL/1-2015-614-PL-F1-1.PDF> (dostęp: 10.09.2017).
- [8] Mitchel P., James K., 2015, *Economic Growth Potential of More Circular Economies*, WRAP, Banbury.
- [9] Stern D.I., 2003, *The Environmental Kuznetz Curve*, Rensselaer Polytechnic Institute, New York.
- [10] UNEP, 2011, *Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth: a report of a Working Group on Decoupling to the International Resource Panel*, Paris.
- [11] Ustawa z dnia 29 września 1994 r. o rachunkowości (Dz.U. z 2017 r., poz. 1089 z późn. zm.).

**mgr inż. Agnieszka Czaplicka-Kotas**

*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza  
im. Stanisława Staszica w Krakowie*

**dr hab. Joanna Kulczycka, prof. AGH**

*Institut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków*

# Wpływ gospodarki o obiegu zamkniętym na tendencję zmian w polskim eksporcie do Chin produktów i usług środowiskowych<sup>1</sup>

---

## Streszczenie

Chiny są pionierem we wdrażaniu zasad gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ), które realizują od początku XX w. Polska dopiero rozpoczyna proces transformacji w kierunku GOZ. W 2016 r. w Ministerstwie Rozwoju opracowano pierwszy projekt Mapy drogowej. Wzrost świadomości związanej z aspektami środowiskowymi stymulowany przez GOZ powinien wpływać na zachowania konsumentów i producentów poprzez m.in. zwiększenie zapotrzebowania na produkty i usługi przyjazne dla środowiska, które mogą być pozyskiwane ze źródeł krajowych i zagranicznych. Celem badań jest ocena, czy wprowadzenie koncepcji GOZ w Chinach przyczyniło się do zwiększenia obrotów produktami proekologicznymi w handlu zagranicznym, w tym na wymianę z Polską. Eksport „zielonych” produktów i usług wciąż stanowi niewielki procent całkowitego eksportu z Polski do Chin, jednak wzrasta szybciej w porównaniu do innych krajów UE. Celem publikacji jest zatem ocena wpływu GOZ na tendencje zmian w handlu produktami i usługami proekologicznymi pomiędzy Polską a Chinami.

## **The impact of the Circular Economy in Polish Environmental Products and Services Exported to China**

### **Abstract**

China is a pioneer in the introduction of the circular economy (CE), which has been implementing since the beginning of the 20th century. Poland has already started the process of transforming in the direction of the circular economy. In 2016 in the Ministry of Development created the CE first project in Poland called “The roadmap to CE”. The increase in awareness stimulated by CE, related to environmental aspects, should influence the behavior of consumers and producers through increasing the demand for environmentally friendly products and services that can be obtained from domestic and foreign sources. The aim of the research is to assess if the introduction of CE in China influences the increase in turnover of environmental products and services from international trade, including Polish products. Export of “green” products and services still represents a small percentage of total exports from Poland to China, although it is growing faster than that of other EU countries. The aim of the article is to assess the effects of CE on the trends in changes in the trade of pro-ecological products and services between Poland and China.

---

<sup>1</sup> Tekst został opracowany na podstawie pracy magisterskiej przygotowanej przez A. Czaplicką (promotor – J. Kulczycka), która była wyróżniona w I edycji konkursu organizowanego przez Polsko-Chińską Radę Biznesu.

## Wprowadzenie

Polska ma znacznie mniejszy potencjał niż Chiny, zarówno pod względem zaludnienia (na jednego Polaka przypada 36 Chińczyków – Kalwasiński 2016), jak również ekonomicznym. Polska generuje niespełna 1% światowego PKB, za to Chiny ponad 15% (Góralczyk 2016). Jednak polskie produkty są coraz bardziej cenione na rynku chińskim. W ostatnich latach zakontraktowano sprzedaż na poziomie 250-500 tysięcy Mg katod miedzianych (KGHM Polska Miedź S.A.) i podpisano list intencyjny na eksport polskich jabłek, których łączna wartość to 40-50 mln USD (Lachowicz 2016). Obecnie dla rozwoju relacji polsko-chińskich kluczowe są: Nowy Szlak Jedwabny – projekt rozbudowy transportu morskiego oraz kolejowego pomiędzy Państwem Środka a Unią Europejską (Nazarko et al. 2016) oraz 16+1 – program na rzecz zwiększenia współpracy regionalnej pomiędzy Chinami a 16 krajami Europy Środkowo-Wschodniej (Ministerstwo Skarbu Państwa).

Państwo Środka jest ważnym partnerem dla Polski, zarówno pod względem obrotów handlowych, jak również dysponowania zasobami surowców mineralnych, np. pierwiastków ziem rzadkich (REE), antymonu, galu i germanu, tj. metali niezbędnych dla rozwoju nowoczesnych technologii. Obecnie w polityce strategicznej Chiny uwzględniają nie tylko rozwój przemysłu, ale również aspekty związane z ochroną środowiska. W planach pięcioletnich podkreśla się znaczenie strategii zrównoważonego rozwoju, zasad czystszych produkcji, jak i idei gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ) (The 13th Five-Year Plan for Economic and Social Development of the People's Republic of China 2016–2020).

Wymiernym efektem wdrażania polityk prośrodowiskowych powinno być zwiększenie zapotrzebowania na produkty proekologiczne, które mogą być wytwarzane na rynku wewnętrznym, jak i importowane. Produkcja oraz zakup wyrobów i usług środowiskowych wpływa zarówno na rozwój technologii przyjaznych środowisku, jak również poprawia jakość życia obywateli. Również w Polsce od wielu lat wprowadzane są regulacje w zakresie ochrony środowiska, np. koncepcja GOZ. Obejmują one znacznie szerszy obszar działań, co może sprzyjać nowym rozwiązaniom promującym wzrost zapotrzebowania na towary i usługi prośrodowiskowe.

Celem pracy jest obliczenie wartości wskaźnika podobieństwa (wskaźnik Fingera-Kreinina) w eksporcie produktami i usługami środowiskowymi pomiędzy Polską a Chińską Republiką Ludową. Na podstawie danych GUS zakwalifikowano produkty i usługi do odpowiednich działów przemysłu i wytypowano kluczowe sektory dla rozwoju działań z zakresu ochrony środowiska. Wybrane, na podstawie przeprowadzonych badań, działy są kluczowe zarówno dla rozwoju działań proekologicznych, jak i wdrażania nowych strategii, np. GOZ.



## 1. Implementacja GOZ w Polsce oraz Chinach

W 1990 r. mieszkaniec Chin zużył 4,41 Mg surowców(materiałów), podczas gdy w 2011 r. było to już 18,20 Mg. Dla porównania, w tym samym czasie mieszkaniec Polski konsumował 14,49 Mg, a w 2011 r. już 20,71 Mg (OECD). W związku z tym, priorytetem strategicznym polityki chińskiej stało się oddzielenie wzrostu gospodarczego od zużycia materiałów oraz wdrożenie idei bazującej na efektywnym zarządzaniu zasobami surowcowymi, tj. GOZ. Podejście GOZ charakteryzuje się transformacją z modelu linearnego „weź – zużyj – wyrzuć”, na model cyrkulacyjny „obieg zamknięty”. Zadaniem GOZ jest zaprojektowanie modelu produkcji, konsumpcji oraz handlu, dzięki któremu zostanie zminimalizowane zużycie kluczowych zasobów dla rozwoju społeczno-gospodarczego (Deloitte 2016). Działania i obszary GOZ nie odnoszą się wyłącznie do odpadów, ale obejmują również surowce i energię, w tym OZE, symbiozę przemysłową, ekoprojektowanie – naprawy i modernizację, trwałość regeneracji, współdzielenie i rozwój usług (w tym ICT).

Pionierem w implementowaniu modelu cyrkulacyjnego w gospodarce są Chiny. Oficjalnie, w 2002 r. wdrożono już zasady GOZ jako narodową strategię ochrony środowiska (Skene, Murray, 2015), a w 2008 r. uchwalono prawo na rzecz promocji zasad GOZ na szczeblach lokalnych i prowincjonalnych, w aspekcie powtórnego wykorzystania surowców z odpadów (UNIDO). Kolejną ważną datą dla rozwoju GOZ w Państwie Środka było utworzenie w 2013 r. „Chińskiego Stowarzyszenia Gospodarki o obiegu zamkniętym” (China Association of Circular Economy, CACE), którego celem jest promowanie idei GOZ, nie tylko w sferze państwowej, ale również przemysłowej i akademickiej (Lacy, Rutqvist 2015). Wdrażanie GOZ odbywa się na trzech poziomach: mikro – przedsiębiorstw przemysłowych, mezo – parków ekoprzemysłowych oraz makro – ekomiast i ekoregionów (Geng, Doberstein 2008). Duże znaczenie w efektywnym wprowadzaniu zasad GOZ w Państwie Środka mają również organizacje rządowe oraz pozarządowe (Yuan et al. 2006). W Chinach są dwie instytucje, które odpowiadają za GOZ, tj. Ministerstwo Ochrony Środowiska (Ministry of Environmental Protection, MEP) oraz Krajowa Komisja Rozwoju i Reform (The National Development and Reform Commission, NDRC) (Heshmati 2015). W 13 Planie Pięcioletnim (2016-2020) podkreślono rolę GOZ w rozwoju, jak również dążenie do osiągnięcia coraz lepszych wyników odnośnie poziomu recyklingu (The 13th Five-Year Plan for Economic and Social Development of the People's Republic of China 2016–2020).

W Europie GOZ jest stosunkowo nową koncepcją. Pierwszy komunikat dotyczący GOZ pt. *Ku gospodarce o obiegu zamkniętym: program „Zero odpadów dla Europy”* został opublikowany w 2014 r. przez Komisję Europejską (COM(2014) 398). Podkreślono w nim m.in. rolę ekoinnowacji, symbiozy przemysłowej, gospodarki opartej na wiedzy, efektywnego zarządzania surowcami itd. W następnym roku



ukazał się kolejny komunikat z zakresu GOZ *Zamknięcie obiegu – plan działań UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym* (COM(2015) 614). Plan ten odbiega od pierwotnego komunikatu (COM(2014) 398), w postulatach dotyczących np. gospodarki odpadami (Kłopotek 2015). W transformacji gospodarki linearnej w kierunku GOZ, KE dostrzega duży potencjał rozwojowy, dlatego też przeznaczyła 650 mln EURO z programu Horyzont 2020 oraz 5,5 mld z funduszy strukturalnych (COM 2015 614) na rzecz wdrażania GOZ. Sukces w efektywnym wprowadzaniu GOZ w UE zależy również od państw członkowskich. Dlatego w Ministerstwie Rozwoju RP opracowano pierwszy (2016) projekt polskiej Mapy drogowej transformacji w kierunku GOZ. Po konsultacjach powadzonych w czterech grupach roboczych odnośnie odpadów, biogospodarki, modeli biznesowych i działań miękkich opracowano nową wersję projektu Mapy (2017). Podkreślono, iż konieczne jest, aby „nowy model gospodarczy miał kompleksową i spójną podstawę oraz realizowany był na wszystkich szczeblach – począwszy od unijnego, poprzez państwa członkowskie, a skończywszy na regionach, województwach i gminach” (Mapa drogowa transformacji w kierunku GOZ, MR). Rozwój GOZ, tj. wdrażanie zrównoważonej produkcji i konsumpcji, rozwój odnawialnych źródeł energii, budownictwa ekologicznego, recyklingu, ekonomii współdzielenia i ICT, powinien być stymulatorem wzrostu wymiany towarami i usługami środowiskowymi.

## 2. Eksport produktów i usług środowiskowych z Polski do Chin

Rezultatem rozwoju sektora produktów i usług środowiskowych jest pozytywny wpływ realizacji strategii na rzecz ochrony środowiska (Keane, Hou 2015). Produktami i usługami środowiskowymi są np. urządzenia do kontroli zanieczyszczeń oraz monitoringu środowiska. Problematiczną kwestią handlu produktami i usługami środowiskowymi jest ich dualność, czyli to, że mogą być one wykorzystane zarówno w celu poprawy jakości środowiska (solarne podgrzewacze wody, jedynie w Chinach określone szczegółowym kodem 841919-10), jak również wyłącznie w aspekcie przemysłowym (urządzenia do podgrzewania wody objęte kodem CN 8419), stąd najpierw muszą być ściśle zdefiniowane kody w statystykach międzynarodowych (Jacob, Møller 2017). Między innymi z tego powodu trudne jest opracowanie takiej polityki, która miałaby na celu np. obniżenie cła na produkty i usługi środowiskowe (Bąkowska 2015; Błaszczu-Zawiła 2015). Próbę liberalizacji handlu produktami i usługami środowiskowymi podjęto podczas Rundy Doha koordynowanej przez Światową Organizację Handlu w 2001 r. Jednak kraje rozwijające się zakwestionowały celowość obniżenia cła, które mogłoby wspierać handel produktami i usługami o mniejszym wpływie na środowisko (UNEP 2012). Udaną formą współpracy, promującą międzynarodowe obroty towarami prośrodowiskowymi, jest za to opracowanie przez APEC we Władywostoku (Rosja) we wrześniu 2012 r. list produktów

środowiskowych. Zatwierdzono w nich 54 produkty środowiskowe i ustalono, że cła do 2015 r. będą na poziomie 5% lub mniejszym (20th APEC Economics Leaders' Declaration, Vladivostok, Russia. Annex C: APEC List of Environmental Goods). Od lipca 2014 r. negocjowane jest też zniesienie barier handlowych pomiędzy UE a 16 krajami WTO2 w ramach Umowy Towarów Środowiskowych (Environmental Goods Agreement, EGA), które są kluczowe dla ochrony środowiska i zmian klimatu (European Commission 2016).

Obecnie istnieje wiele list produktów i usług środowiskowych opracowanych m.in. przez OECD oraz Eurostat, Wspólnotę Gospodarczą Azji i Pacyfiku (APEC), Międzynarodowe Centrum Handlu i Zrównoważonego Rozwoju (ICTSD), Konferencję Narodów Zjednoczonych ds. Handlu i Rozwoju (UNCTAD) (Sugathan 2013, Bucher et al. 2014). W niektórych z tych list produkty i usługi pokrywają się, np. OECD/Eurostat oraz APEC, ale są też zupełnie inne, np. UNCTAD.

W tym tekście analizę przeprowadzono na podstawie danych OECD, która przemysł produktów i usług środowiskowych definiuje jako: „produkty i usługi przyczyniające się do ochrony środowiska, w tym działalności, które wytwarzają towary i świadczą usługi dotyczące pomiaru, prewencji, ograniczania, minimalizacji lub korekty szkód w środowisku, w szczególności zanieczyszczeń wody, powietrza i ziemi, jak również problemów odnoszących się do odpadów, hałasu oraz ekosystemów” i wyróżnia trzy grupy:

1. Zarządzania zanieczyszczeniami (A): dotyczy takich produktów i usług, które służą do minimalizacji emisji zanieczyszczeń i klasyfikowane są za pomocą narzędzi statystycznych, relatywnie łatwych.

2. Czystej technologii i produkcji (B): dotyczy takich towarów i usług, które redukcją lub zmniejszają negatywne oddziaływania na środowisko.

3. Zarządzania zasobami (C): a więc towarami i usługami, które mogą odnosić się do ochrony środowiska, ale nie jest to ich główne zamierzenie; w większości przypadków gromadzenie danych w tej grupie będzie uzależnione od aspektów związanych z polityką oraz statystyką; produkty z tej grupy podlegają cały czas rozwojowi badań z zakresu zbierania i klasyfikacji danych (OECD/Eurostat 1996).

Łączna liczba produktów i usług poddanych analizie w eksporcie z Polski do Chin w poszczególnych latach wynosiła odpowiednio: w 2004 r. – 45, a 77 w 2015 r. Od 2004 r. do 2015 r. odnotowano wzrost eksportu o 58%. Największy udział w handlu prośrodowiskowym ma grupa zarządzania zanieczyszczeniami (zob. rys. 1). Jest to najliczniejsza grupa, gdyż klasyfikuje w eksporcie od 66 do 40 produktów i usług w ostatnich 12 latach. Od 2012 r. obserwuje się pozytywny trend w eksporcie produktów i usług środowiskowych w Polsce (GUS). Dynamika towarów środowiskowych jest zmienna i nie można określić jednego głównego trendu. Jednak w ostatnich 4

---

<sup>2</sup> Australia, Kanada, Kostaryka, Taiwan, Hong Kong, Japonia, Korea, Nowa Zelandia, Norwegia, Singapur, USA, Izrael, Turcja, Islandia.

latach widoczny jest wzrost eksportu oraz spadek importu. To pozytywny czynnik, który wpływa na polską gospodarkę, chociaż należy pamiętać, że np. w 2015 r. import przewyższał eksport ponad 10-krotnie, mimo że odnotowano wzrost eksportu o 49% i spadek importu o 22% w relacji do 2014 r. w „Grupie Zarządzania Zanieczyszczeniami” (GUS).



**Rysunek 1. Eksport produktów i usług środowiskowych z Polski do Chin (mln USD)**

A – grupa zarządzania zanieczyszczeniami

B – grupa czystej technologii i produkcji

C – grupa zarządzania zasobami

Źródło: Opracowanie własne na podstawie GUS.

Szczegółowa analiza produktów pozwoliła na wytypowanie 3 działów gospodarki, które są kluczowe dla rozwoju wymiany handlowej pomiędzy Chinami i Polską. Są to:

1. Produkcja maszyn i urządzeń (niesklasyfikowane gdzie indziej) – analizując lata 2010-2015 zaobserwowano wzrost z 22,6 mld USD do ponad 35,9 mld USD, przy czym znaczący wzrost przypada na „Części urządzeń i aparatury do filtrowania lub oczyszczania cieczy lub gazów, bez wirówek” o kodzie CN 842199 (2,58 mln USD) oraz „Wymienników ciepła” – towaru o kodzie 841950 (6,94 mln USD).

2. Produkcja wyrobów z pozostałych mineralnych surowców niemetalicznych – pomiędzy 2010 r. a 2015 r. eksport wzrósł ponad 3-krotnie, a produktem o znaczącej wartości eksportu były „Artykuły z cementu, betonu, sztuczne kamienie, inne niż płytki, płyty chodnikowe, cegły, elementy konstrukcyjne, prefabrykaty dla budownictwa lub inżynierii lądowej lub wodnej” o kodzie 681099 (0,46 mln USD w 2015 r.).

3. Produkcja wyrobów z gumy i tworzyw sztucznych – eksport wzrósł z prawie 12 mln USD w 2010 r. do 14 mln USD w 2015 r.; najwięcej eksportowano w 2015 r. towaru o kodzie CN 39269 „Artykuły z tworzyw sztucznych oraz materiałów objętych poz. od 3901 do 3914; inne niż objęte poz. od 392610 do 392640”.

**Tabela 1. Wartość eksportu produktów i usług środowiskowych między Polską a Chinami – zgodnie z OECD – z uwzględnieniem poszczególnych działów przemysłu (mln USD)**

| Dział przemysłu /rok  | 2 010      | 2 011      | 2 012      | 2 013      | 2 014      | 2 015      |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Pozostała produkcja wyrobów   | 1 946      | 29 695     | 59 138     | 67 323     | 92 619     | 139 187    |
| Górnictwo i wydobywanie   | 1 030 761  | 1 115 451  | 1 253 666  | 1 390 046  | 859 612    | 758 282    |
| Produkcja chemikaliów i wyrobów chemicznych                                 | 103 309    | 346 329    | 86 815     | 156 808    | 92 493     | 264 158    |
| Produkcja komputerów, wyrobów elektronicznych i optycznych                  | 17 096 120 | 8 236 038  | 12 703 045 | 15 639 067 | 23 667 794 | 14 716 181 |
| Produkcja maszyn i urządzeń, gdzie indziej niesklasyfikowanych              | 22 603 119 | 21 224 946 | 17 577 224 | 21 948 676 | 31 998 478 | 35 878 764 |
| Produkcja metalowych wyrobów gotowych, z wyłączeniem maszyn i urządzeń      | 250 548    | 704 780    | 399 942    | 567 902    | 2 339 458  | 550 990    |
| Produkcja pojazdów samochodowych, przyczep i naczep z wyłączeniem motocykli | 1 648 912  | 248 213    | 462 216    | 805 363    | 801 420    | 936 676    |
| Produkcja urządzeń elektrycznych  | 211 465    | 593 922    | 707 722    | 492 600    | 68 224     | 235 649    |
| Produkcja wyrobów z gumy i tworzyw sztucznych                               | 11 739 866 | 13 144 326 | 13 257 054 | 17 098 752 | 17 251 423 | 14 457 037 |
| Produkcji wyrobów z pozostałych mineralnych surowców niemetalicznych        | 274 173    | 390 662    | 402 804    | 481 900    | 842 428    | 849 581    |
| Łącznie   | 54 960 219 | 46 034 362 | 46 909 626 | 58 648 437 | 78 013 949 | 68 792 575 |

Źródło: Opracowanie własne na podstawie GUS.

### 3. Ocena podobieństwa eksportu produktów i usług środowiskowych pomiędzy Polska i Chińską Republiką Ludową a pozostałymi krajami UE

Celem analiz jest porównanie struktury eksportu produktów i usług środowiskowych z Polski do Chin oraz z Polski do wytypowanych krajów UE. Na podstawie danych o eksporcie z Polski do krajów UE, statystyk dotyczących wielkości produkcji (GUS), produktów i usług środowiskowych w krajach UE (Eurostat), nakładach na ochronę środowiska w krajach UE (Eurostat) oraz raportów na temat handlu produktami i usługami środowiskowymi (Bucher et al. 2015) wytypowano 16 krajów (Niemcy, Francja, Włochy, Holandia, Belgia, Hiszpania, Austria, Szwecja, Węgry, Dania, Norwegia, Grecja, Rumunia, Czechy, Finlandia, Portugalia), które są kluczowe dla analizy. Indeks podobieństwa eksportu został obliczony na podstawie metodologii według Fingera-Kreinina, który „mierzy podobieństwo struktury eksportu z kraju R do kraju P w porównaniu do W, przy jednoczesnym mierzeniu koncentracji eksportu” (Śledziwska 2015):

$$S_w^p = \sum_{i=1}^n \text{Min} \frac{x_{ip}^R}{X_p^R}, \frac{x_{iw}^R}{X_w^R}$$

gdzie:

- i – grupa produktów,
- X- eksport.

Dzięki zastosowaniu tego indeksu można określić podobieństwo struktury handlu pomiędzy wyznaczonymi krajami. Jeżeli wartość wskaźnika przyjmuje wartość 0 to oznacza, że podobieństwo struktury eksportu R do P i R do W jest małe, natomiast w przypadku wartości zbliżonej do 1 podobieństwo struktury eksportu R do P i R do W jest duże (ibidem). Warto podkreślić, że eksport produktów i usług środowiskowych z Polski do krajów UE jest znacznie większy niż z Polski do Państwa Środka, co wynika przede wszystkim z położenia geograficznego. Wartość indeksu podobieństwa oscyluje pomiędzy: 0,35- 0,77 na przestrzeni badanego okresu (zob. tab. 2).

Wartość indeksu podobieństwa eksportu produktów i usług środowiskowych wykazuje, dla większości krajów objętych analizą w latach 2010–2015, wartość powyżej 0,5, z wyjątkiem Norwegii, dla której nie przekroczyła ona 0,5 w badanym okresie (tab. 2). Porównując wartość wskaźnika w latach 2010–2015, odnotowano tendencję wzrostową podobieństwa struktury eksportu produktami i usługami środowiskowymi z Polski do Chin oraz z Polski do wytypowanych krajów UE. Może to oznaczać, że wprowadzenie i promocja rozwiązań GOZ na rynku chińskim spowodowała, iż struktura eksportu z Polski jest coraz bardziej zbliżona do krajów importujących z Polski towary przyjazne dla środowiska. Dynamika wzrostu wartości eks-

portu towarów przyjaznych dla środowiska z Polski do Chin była prawdopodobnie wyższa niż do analizowanych krajów.

**Tabela 2. Indeks podobieństwa eksportu produktów i usług środowiskowych pomiędzy Chinami a Polską i wytypowanymi krajami UE**

|            | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| Austria    | 0,56 | 0,55 | 0,52 | 0,54 | 0,55 | 0,57 |
| Belgia     | 0,66 | 0,63 | 0,60 | 0,60 | 0,62 | 0,64 |
| Czechy     | 0,63 | 0,61 | 0,60 | 0,62 | 0,67 | 0,69 |
| Dania      | 0,51 | 0,52 | 0,52 | 0,53 | 0,52 | 0,61 |
| Finlandia  | 0,51 | 0,51 | 0,51 | 0,52 | 0,62 | 0,63 |
| Francja    | 0,62 | 0,63 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,61 |
| Grecja     | 0,51 | 0,60 | 0,61 | 0,68 | 0,69 | 0,77 |
| Hiszpania  | 0,57 | 0,57 | 0,53 | 0,53 | 0,59 | 0,62 |
| Holandia   | 0,51 | 0,53 | 0,53 | 0,57 | 0,60 | 0,70 |
| Niemcy     | 0,70 | 0,68 | 0,64 | 0,64 | 0,74 | 0,74 |
| Norwegia   | 0,35 | 0,37 | 0,37 | 0,44 | 0,45 | 0,47 |
| Portugalia | 0,55 | 0,56 | 0,61 | 0,61 | 0,61 | 0,66 |
| Rumunia    | 0,61 | 0,62 | 0,59 | 0,58 | 0,64 | 0,72 |
| Szwecja    | 0,54 | 0,53 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| Węgry      | 0,52 | 0,52 | 0,48 | 0,49 | 0,49 | 0,51 |
| Włochy     | 0,62 | 0,62 | 0,61 | 0,63 | 0,63 | 0,63 |

Źródło: Opracowanie własne na podstawie GUS.

## Wnioski

Eksport produktów i usług środowiskowych wciąż stanowi niewielki procent w całkowitym eksporcie z Polski do Chin (3,41% wartości eksportu w 2015 r.), chociaż na przestrzeni ostatnich lat odnotowano tendencję rosnącą. Określenie wielkości i udziałów eksportu produktów i usług środowiskowych jest znacznie utrudnione przez brak jednolitych zasad w handlu środowiskowym. Jednak cele handlu produktów i usług środowiskowych wpisują się w strategię GOZ, której jednym z przedsięwzięć jest wprowadzenie technologii przyjaznych środowisku, zapewniających efektywne wykorzystanie surowców, jak również wzrost poziomu świadomości ekologicznej. Na podstawie przeprowadzanej analizy wykazano, że na przestrzeni ostatnich lat rośnie podobieństwo w strukturze eksportu produktów i usług środowiskowych pomiędzy Polską a Chinami oraz Polską a wybranymi krajami UE. Fakt ten może świadczyć o wzroście konkurencyjności polskich produktów prośrodowiskowych na rynkach zagranicznych, co jest oznaką, że wprowadzane strategie oraz idee środowiskowe są efektywnie wdrażane w gospodarce.

## Literatura:

- [1] Arun J., Møller K.A., 2017, *Policy landscape of trade in environmental goods and services*, ARTNeT Working Paper Series No. 166, ESCAP, Bangkok.
- [2] Bąkowska K., 2015, *Liberalizacja handlu usługami prośrodowiskowymi – główne problemy*, „Unia Europejska” nr 6.
- [3] Błaszczu-Zawiła M., 2015, *Próby zliberalizowania międzynarodowego handlu towarami środowiskowymi*, „Unia Europejska” nr 6.
- [4] Bucher H., Drake-Brockman J., Kasterine A., Sugathan M., 2014, *Trade in Environmental Goods and Services: Opportunities and Challenges*, International Trade Centre (ITC), Geneva.
- [5] Deloitte Sustainability, 2016, *Circular economy potential for climate change mitigation* <https://www2.deloitte.com/> (dostęp: 6.09.2017).
- [6] European Commission, 2016, *The Environmental Goods Agreement (EGA): Liberalising trade in environmental goods and services*, <http://trade.ec.europa.eu/> (dostęp: 6.09.2017).
- [7] Finger J., Kreinin M., 1979, *A Measure of 'Export Similarity' and Its Possible Uses*, “The Economic Journal” 89(356).
- [8] Geng Y., Doberstein B., 2008, *Developing the circular economy in China: Challenges and opportunities for achieving 'leapfrog development'*, “The International Journal of Sustainable Development World Ecology” 15.3.
- [9] Góralczyk B., 2016, *Polska w centrum chińskiego zainteresowania*, Puls Biznesu, 115, Warszawa.
- [10] Heshmati A., 2015, *A review of the circular economy and its implementation*, *Entrepre­nörskapsforum*.
- [11] Keane J., Hou Z., 2015, *Trade in Environmental Goods and Services: Issues and Interests for Small States*, Issue 118.
- [12] KGHM Polska Miedź, 2016, *Kraj dla wyspecjalizowanych i elastycznych firm*, Puls Biznesu, 115, Warszawa.
- [13] Kłopotek B.B., 2017, *Propozycje zmian prawa UE w zakresie gospodarki odpadami w kon­tekście gospodarki o obiegu zamkniętym*, <http://sdr.gdos.gov.pl/> (dostęp: 8.09.2017).
- [14] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Eko­nomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów COM 2015 614, *Zamknięcie obiegu – plan działania UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym*.
- [15] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Eko­nomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów COM 2014 398, *Ku gospodarce o obiegu zamkniętym: program „Zero odpadów dla Europy”*.
- [16] Lachowicz M., 2016, *Appolonia zdobyła wielki kontrakt do Chin*, Puls Biznesu, 116 War­szawa.
- [17] Lacy P., Rutqvist J., 2015, *Waste to wealth: the circular economy advantage*, Springer, London.

- [18] Ministerstwo Rozwoju, 2017, *Mapa drogowa transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym*, <https://www.mr.gov.pl/media/31893/MapaGOZ.pdf>.
- [19] Ministerstwo Skarbu Państwa, 2015, *Polska kluczowym partnerem dla Chin w naszym regionie*, <https://msp.gov.pl/> (dostęp: 20.09.2017).
- [20] Nazarko J., Kuźmich K.A., Czerewacz-Filipowicz K., 2016, *Polska na Nowym Jedwabnym Szlaku*, „Transport Manager” nr 2.
- [21] OECD, <http://stats.oecd.org/> (dostęp: 7.09.2017).
- [22] Skene K., Murray A., 2015, *Sustainable Economics: Context, Challenges and Opportunities for the 21st-century Practitioner*, Greenleaf Publishing.
- [23] Śledziewska K., 2015, *Ocena zmiany konkurencyjności eksportu państw UE po kryzysie 2008/2009*, <https://www.nbp.pl/> (dostęp: 8.09.2017).
- [24] Sugathan M., 2013, *List of Enviromental Goods: An Overview*, <http://www19.iadb.org/> (dostęp: 20.09.2017).
- [25] The 13th Five-Year Plan for Economic and Social Development of the People’s Republic of China 2016–2020, <http://en.ndrc.gov.cn/> (dostęp: 20.09.2017).
- [26] UNEP: Trade and Environment Briefings: Trade in Environmental Goods, <https://www.unep.org/> (dostęp: 10.09.2017).
- [27] United Nations Industrial Development Organization, Circular Economy, <https://www.unido.org/> (dostęp: 20.09.2017).
- [28] Yuan Z.W., Bi J., Moriguichi Y., 2006, *The circular economy: a new development strategy in China*, “Journal of Industrial Ecology”, 10 (1-2).
- [29] 20th APEC Economics Leaders’ Declaration, Vladivostok, Russia. Annex C: APEC List of Environmental Goods.



**mgr Krzysztof Zachura**

*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza  
im. Stanisława Staszica w Krakowie*

## **Wdrażanie innowacyjnych zamówień publicznych w Polsce w kontekście doświadczeń międzynarodowych**

---

### **Streszczenie**

Celem publikacji jest przedstawienie stanu wdrażania innowacyjnych zamówień publicznych w Polsce oraz zaprezentowanie doświadczeń zagranicznych innych krajów, które proces wdrożeniowy w znacznym stopniu mają już za sobą. W niniejszym opracowaniu obszarem badawczym będą głównie kraje europejskie, w których poziom „zazielenienia” zamówień publicznych jest na znacznie wyższym poziomie niż w Polsce. Jako że zielone zamówienia publiczne znacząco mogą poprawić relację gospodarka-środowisko, poprzez ograniczenie negatywnego wpływu produktów i usług na środowisko, nie ulega wątpliwości, że podjęcie skutecznych działań w tej dziedzinie wpisuje się w politykę zrównoważonego rozwoju. W celu dokładnego omówienia problemu badawczego, badania prowadzono w głównej mierze w oparciu o przegląd literatury zagranicznej i doświadczenia międzynarodowe.

### **Implementation of Innovative Public Procurement in Poland in the Context of International Experience**

#### **Abstract**

The purpose of this article is to present the status of implementation of innovative public procurement in Poland and the presentation of foreign experience of other countries that the implementation process to a large extent have already passed. Research area in this study are mainly European countries, where the level of green public procurement is at a much higher level than in Poland. As that green procurement can significantly improve relationship management environment by reducing the negative impacts of products and services on the environment, there is no doubt that effective action in this area, part of a policy of sustainable development. In order to accurately discuss the research problem, research was carried out mainly on the basis of a literature review of foreign and international experience.

---

## **Wprowadzenie**

Zgodnie ze strategią Komisji Europejskiej zawartą w dokumencie „Strategia Europa 2020” (Strategia Europa 2020, Komunikat KE z 3 marca 2010 r., Bruksela) określono trzy priorytety dla Unii Europejskiej, jakie muszą zostać osiągnięte do 2020 r.:

- rozwój inteligentny: rozwój gospodarki opartej na wiedzy i innowacji,
- rozwój zrównoważony: wspieranie gospodarki efektywniej korzystającej z zasobów, bardziej przyjaznej środowisku i bardziej konkurencyjnej,
- rozwój sprzyjający włączeniu społecznemu: wspieranie gospodarki o wysokim poziomie zatrudnienia, zapewniającej spójność społeczną i terytorialną.

Jednym z elementów rozwoju zrównoważonego są innowacje ekologiczne – tzw. ekoinnowacje. Ekoinnowacje definiowane są w dokumentach Unii Europejskiej, w tym m.in. w „Strategii Europa 2020”, jako forma innowacji mająca na celu istotny i widoczny postęp w zakresie celów zrównoważonego rozwoju, poprzez redukcję i ograniczenie negatywnego oddziaływania na środowisko. „Ekoinnowacje są ściśle powiązane ze sposobem, w jaki wykorzystujemy zasoby naturalne oraz z tym, jak produkujemy i konsumujemy, a także z pojęciami ekoefektywności i przemysłu ekologicznego”.

Zgodnie z definicją KE zielone zamówienia publiczne (ZZP) oznaczają politykę, w ramach której podmioty publiczne poszukują rozwiązań ograniczających negatywny wpływ produktów i usług na środowisko, a przez to wpływają na rozwój i upowszechnienie technologii środowiskowych (Kulczycka, Wernicka 2010).

W wąskim ujęciu, innowacja jest wynalazkiem, który znajduje określone wykorzystanie. W szerszym ujęciu, jest całym procesem zarządzania obejmującym różnorodne czynności, prowadzące do tworzenia, rozwijania i wprowadzania nowych wartości w produktach lub nowych połączeń środków i zasobów, które są nowością dla tworzącej lub wprowadzającej je jednostki (Niedzielski, Rychlik 2006). Postrzegane w szerokim ujęciu innowacje obejmują również przenoszenie tych wartości na istniejących bądź nowych partnerów czy podmioty rynkowe.

Ekoinnowacje to rozwiązania na rzecz zrównoważonego rozwoju, mające na celu zmianę wzorców konsumpcji i produkcji, poprzez rozwijanie technologii, produktów i usług ograniczających oddziaływanie na środowisko. Szczególne znaczenie odgrywają one na rynku budowlanym, ale też na innych rynkach, m.in. na rynku technologii, IT, a także coraz częściej w sferze budżetowej, w obszarze samorządów.

Jednym ze sposobów na wdrażanie strategii zrównoważonego rozwoju są m.in. zielone zamówienia publiczne i ekoinnowacje, w szczególności budownictwo energooszczędne i pasywne, a także rozwiązania z dziedziny IT.

Celem szczegółowym niniejszego tekstu jest przedstawienie stanu wdrażania innowacyjnych zamówień publicznych w Polsce, a także zaprezentowanie doświadczeń międzynarodowych w oparciu o przegląd literatury, głównie międzynarodowej. Obszar badawczy niniejszego tekstu stanowią będą takie kraje, jak Niemcy, Norwegia i Francja, w których poziom wdrożenia innowacji ekologicznych jest wysoki. W tekście podane zostaną przykłady zielonych zamówień publicznych w Polsce, ze sfery budownictwa i sfery IT.

Modelowym przykładem ekoinnowacji jest budownictwo pasywne, zdobywające coraz większą popularność również w Polsce. Do ważnych inicjatyw podejmowanych

w tym zakresie należą działalności instytucji, takich jak PIBP w Gdańsku, czy też MCBE w Krakowie.

Niemniej z punktu widzenia możliwości rozwoju tej dziedziny rynku, warto zwrócić uwagę na rynek zamówień publicznych, na którym od kilku lat zachodzą zmiany, w tym w znacznej mierze dzięki wprowadzeniu nowelizacji ustawy o zmianie Ustawy Prawo zamówień publicznych z dnia 22 czerwca 2016 r. (Dz.U. z 2016 r., poz. 1020, ze zm.), a także niektórych innych ustaw odnoszących się bezpośrednio do sfery oszczędzania zasobami.

W wyniku przeglądu literatury, w tym m.in. analizy sprawozdania z funkcjonowania rynku zamówień publicznych w Polsce za 2015 r., stwierdzono, że aktualnie nie istnieje skuteczny model zarządzania systemem ZZP w Polsce, na co wskazuje m.in. poziom zazielenienia polskich zamówień publicznych na tle krajów europejskich. Nie istnieje również zbyt duża liczba fachowych publikacji opisujących badania naukowe. Zdecydowana większość materiałów to analizy dotyczące przepisów prawnych, nieposiadające wystarczającego odzwierciedlenia w danych wynikających z badań naukowych. Brak jest również przyjętych powszechnie przykładów dobrych praktyk, czy też sposobu realizacji zamówień publicznych w oparciu o kryteria ZZP.

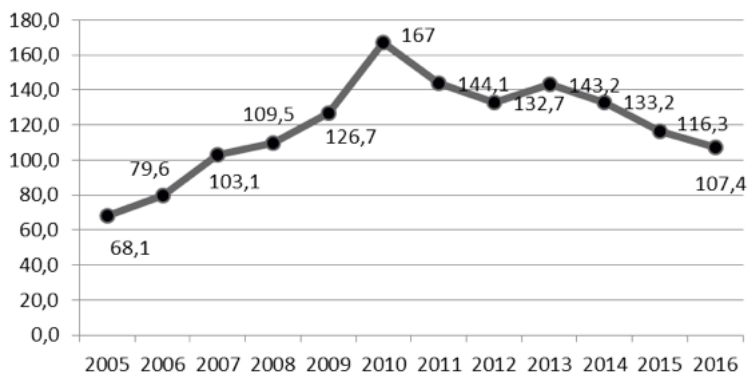
Należy zatem wyjaśnić powody niskiego wdrażania zielonych zamówień publicznych w gospodarce oraz podjąć próbę skutecznego ich usunięcia, dając zamawiającym optymalne i możliwie uproszczone narzędzia przeznaczone do tego typu zamówień. Ważnym argumentem jest fakt, że jak pokazują doświadczenia międzynarodowe, wdrożenie innowacyjnych zamówień publicznych jest możliwe i niekoniecznie wiąże się ze znacznymi kosztami, a raczej z długofalowymi strategiami rozwoju.

## 1. Innowacyjność zielonych zamówień publicznych w Polsce na tle uwarunkowań europejskich

Zamówienia publiczne, ze względu na swoją specyfikę i dużą wartość, to istotny element wpływający na gospodarkę. Szacuje się, że jest to ok. 14% światowego PKB, w zależności od metodyki liczenia, w tym w krajach Unii Europejskiej wynosi on ok. 19%. W Polsce, po przystąpieniu do UE, wartość rynku zamówień publicznych wykazywała stały i dynamiczny wzrost do 2010 r. Wynikało to w szczególności z przyznanych Polsce środków pomocowych. Wraz z kryzysem gospodarczym, jaki można zauważyć w Polsce po 2010 r., nastąpił spadek wartości udzielonych zamówień – osiągając poziom 110 mld zł w 2015 r. Ostatnie sprawozdanie Prezesa Urzędu Zamówień Publicznych za 2016 r. wykazuje wartość rynku zamówień publicznych na poziomie 107,4 mld zł (zob. rys. 1).

Zielone zamówienia publiczne (Green Public Procurement, zwane dalej GPP) są jednym z instrumentów, którymi mogą posługiwać się instytucje publiczne w procesie integracji polityki ekonomicznej i ekologicznej. Zielone zamówienia publiczne

to proces, w ramach którego instytucje publiczne starają się uzyskać towary, usługi i roboty budowlane, których oddziaływanie na środowisko w trakcie ich cyklu życia jest ograniczone w porównaniu z tradycyjnymi towarami, usługami i robotami budowlanymi. Aby mówić o zielonych zamówieniach, wystarczy również ograniczenie do niezbędnego minimum ilości zamawianych dóbr.



**Rysunek 1. Wartość rynku zamówień publicznych za lata 2005-2016**

Źródło: Opracowanie własne na podstawie informacji udostępnianych przez UZP.

Polska, w rankingu zazielenienia zamówień publicznych za 2015 r., uzyskała wynik 11,4% (Sprawozdanie z funkcjonowania rynku zamówień publicznych w Polsce za 2015 r., UZP 2016). Na tle Europy Polska nie wypada najlepiej, licząc wskaźnikowo w ujęciu procentowym, na podstawie ostatnich kompleksowych danych opublikowanych przez Komisję Europejską z 2012 r. (zob. rys. 2).

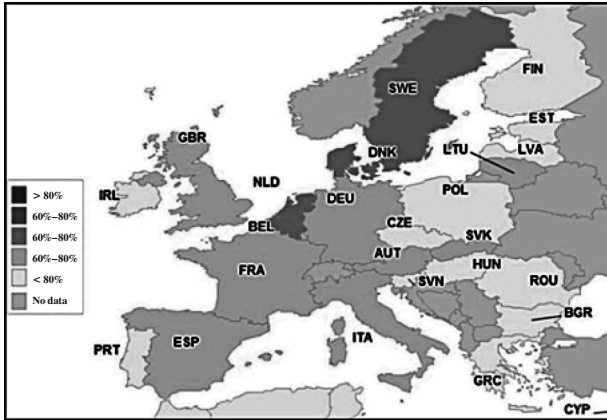
Jak wynika z przedstawionych na rysunku 2 danych, poziom zazielenienia w Europie wynosi w większości krajów zachodnich i skandynawskich od 20% do 40%. Kraje skandynawskie, takie jak Szwecja i Dania, czy też kraje, takie jak Belgia i Holandia, wskaźnik ten mają na poziomie od 40% do 60%. Kraje te spełniły zatem wymogi i zalecenia wynikające z wymagań Komisji Europejskiej, która ustaliła ten wskaźnik na pożądanym poziomie 50%.

Nowym i obowiązującym źródłem prawa zamówień publicznych, w tym dotyczącym zielonych zamówień publicznych w Unii Europejskiej, są:

– Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/24/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie zamówień publicznych, uchylająca dyrektywę 2004/18/WE, w sprawie koordynacji procedur udzielania zamówień publicznych na roboty budowlane, dostawy i usługi,

– Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/25/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie udzielania zamówień przez podmioty działające w sektorach gospodarki wodnej, energetyki, transportu i usług pocztowych, uchylająca dyrektywę

2004/17/WE Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/23/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie udzielania koncesji.



Rysunek 2. Poziom zazielenienia zamówień publicznych w Europie

Źródło: (CEPS 2012).

Celem wdrożenia wskazanych dyrektyw było w szczególności zwrócenie uwagi na rozwój zrównoważony – jako docelowy model funkcjonowania Unii Europejskiej, dążący do racjonalnego gospodarowania zasobami w taki sposób, aby zapewnić takie same warunki życia następnym pokoleniom.

Jednymi ze sposobów wdrażania zasad zrównoważonego rozwoju są eko-innowacje realizowane przez sektor publiczny, który dysponuje znaczną siłą popytowo-podażową. W zielonych zamówieniach publicznych w Polsce warto zwrócić uwagę na budynki pasywne, których intensywne promowanie może stać się stymulatorem rozwoju eko-innowacji dla całego sektora. Wartym uwagi jest również fakt, że powoli pojawia się szereg inicjatyw podejmowanych przez Zamawiających, którzy w postępowaniach o udzielenie zamówienia publicznego wprowadzają kryteria inne niż cena, często realizując zakupy jako zielone zamówienia publiczne.

Istnieją budynki pasywne prywatne i publiczne. W niniejszej analizie warto odnieść się do obiektów użyteczności publicznej w województwie małopolskim, które zostały zbudowane w ciągu ostatnich 5-6 lat. Należy do nich zaliczyć m.in. pasywną halę w Słomnikach, wybudowaną zgodnie z wymaganiami PHI (Passive Haus Institute).

Warto również zwrócić uwagę na nowe budynki, które pojawiły się w 2016 r. Do takich budynków należy zaliczyć halę sportową w Centralnym Ośrodku Sportu – Ośrodku Przygotowań Olimpijskich w Zakopanem, zbudowaną zgodnie z wymaganiami Małopolskiego Certyfikatu Budownictwa Energooszczędnego przy Politechnice Krakowskiej (Zachura 2016, s. 232–241). MCBE stanowi małopolską

odpowiedź na zainteresowanie sektora budownictwa pasywnego, w związku z wdrażaniem i implementacją nowych przepisów w zakresie charakterystyki energetycznej budynków.

Punktem istotnym dla zaproponowania prawidłowych rozwiązań jest analiza ogłoszeń przetargowych. Ze względu na znaczną wartość tego rynku – przekraczającą 100 mld zł rocznie (ibidem), warto zwrócić uwagę na nowe możliwości, jakie daje wprowadzona w 2016 r., Ustawa Prawo zamówień publicznych.

Obecnie trudno jest spotkać wzorcowe inicjatywy zazielenienia zamówień, jednak warto zwrócić uwagę na propozycje, jakie zawarte są w gałęzi IT i wyposażenia komputerowego.

Dobrym przykładem zastosowania zielonego zamówienia publicznego, w tym istotnego znaczenia pozacenowych kryteriów oceny ofert, może być postępowanie o udzielenie zamówienia publicznego organizowane w Gminie Maków Podhalański w powiecie suskim, obejmujące dostawę wyposażenia komputerowego i wyposażenia pracowni TIK (zob. tab. 1).

**Tabela 1. Kryteria oceny ofert w postępowaniu przetargowym na dostawę wyposażenia komputerowego wraz z akcesoriami w Gminie Maków Podhalański**

| Kryterium oceny ofert   | Znaczenie (%) |
|---|---------------|
| Cena oferty brutto za wykonanie dostawy                             | 60%           |
| Wydłużenie gwarancji (ponad gwarancję podstawową)                   | 15%           |
| Kryterium środowiskowe (certyfikat ECOdeclaration)                  | 10%           |
| Właściwości funkcjonalne (obsługa dotykiem bez używania akcesoriów) | 15%           |

Źródło: BIP Gminy Maków Podhalański, Maków Podhalański, lipiec 2017 r.

Warto podkreślić, że ustalając takie kryteria, Zamawiający zawarł w specyfikacji istotnych warunków zamówienia dodatkowe wyjaśnienia, w celu uzasadnienia zastosowania takich kryteriów. Stało się tak, gdyż na etapie formułowania specyfikacji istotnych warunków zamówienia dokonano dokładnego przeglądu opisu przedmiotu zamówienia, w wyniku którego stwierdzono, że brak dodatkowych wyjaśnień może, ze względu na brak takich postępowań na rynku, spotkać się z brakiem zrozumienia przez Wykonawców. Na rynku dostaw sprzętu IT i multimedialnego większość producentów posiada wdrożone strategie zarządzania środowiskiem, w tym posiada wymagane deklaracje i certyfikaty dla oferowanego sprzętu, zatem zapis nie stanowił jakiegokolwiek ograniczenia konkurencji.

Dzięki zastosowaniu pozacenowych, w tym środowiskowych kryteriów oceny ofert, przyznając im znaczną wagę, Zamawiający zagwarantował sobie zakup sprzętu nie tylko nowoczesnego, ale i bezpiecznego ekologicznie, minimalizującego możliwość negatywnych konsekwencji oddziaływania na uczniów, takich jak szkodliwe substancje, czy też opary wydzielane przez komputery przenośne.

Każda inicjatywa w zakresie wdrażania zielonych zamówień publicznych zasługuje na podkreślenie, gdyż jak wynika z mocno niespójnych danych, opublikowanych za 2016 r. przez Urząd Zamówień Publicznych (Sprawozdanie dostępne jest pod stroną [https://www.uzp.gov.pl/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0024/35178/Sprawozdanie-UZP-za-2016.pdf](https://www.uzp.gov.pl/__data/assets/pdf_file/0024/35178/Sprawozdanie-UZP-za-2016.pdf), str. 103, dostęp 15.08.2017 r.), w 2016 r. łącznie w całym kraju udzielono tylko 45 zamówień, w których w kryteriach oceny ofert odwołano się do oznakowania, o którym mowa w art. 30a ustawy Pzp, związanego z aspektami środowiskowymi, i tylko 7 zamówień, w których zastosowano kryterium kosztu z wykorzystaniem rachunku kosztów cyklu życia, o którym mowa w art. 91 ust. 3b ustawy Pzp.

## 2. Międzynarodowe doświadczenia we wdrażaniu zielonych zamówień publicznych

### Niemcy

Niemcy były jednym z pierwszych krajów w Europie, które racjonalnie i intensywnie zaczęły wdrażać zielone zamówienia publiczne. Prekursorem zielonych budynków pasywnych był Wolfgang Feist, który w 1991 r. wznosił pierwszy budynek mieszkalny w standardzie pasywnym w niemieckim mieście Darmstadt (zob. zdjęcie 1). W tamtym czasie inicjatywa stanowiła dla Niemiec bodziec rozwojowy dla tej gałęzi budownictwa. W obecnych czasach w Niemczech buduje się wyłącznie budynki o minimalnym zużyciu energii.



**Zdjęcie 1. Pierwszy dom pasywny zbudowany w Niemczech w Darmstadt**

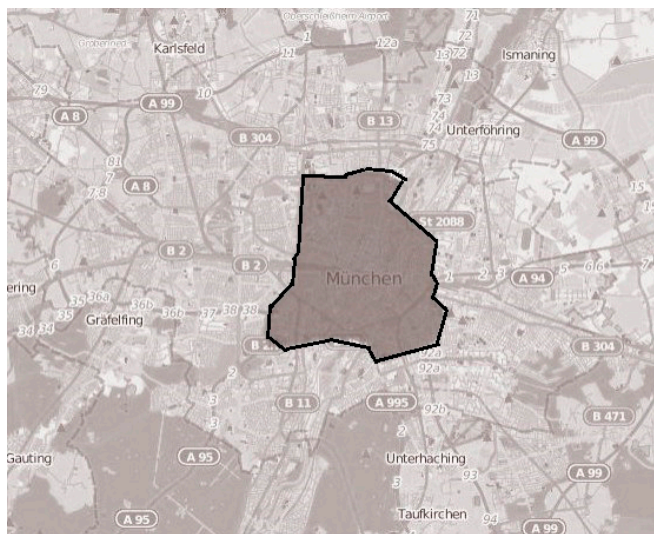
Źródło: <https://passiv.de> (dostęp: 20.02.2017).



Zgodnie z definicją zaproponowaną przez Wolfganga Feista dom pasywny jest budynkiem o bardzo niskim zapotrzebowaniu na energię do ogrzewania wnętrza wynoszącym nie więcej niż 15 kWhm<sup>2</sup>\*rok, w którym komfort termiczny zapewniony jest przez pasywne źródła ciepła (mieszkańcy, urządzenia elektryczne, ciepło słoneczne, ciepło odzyskane z wentylacji), tak że budynek nie potrzebuje autonomicznego, aktywnego systemu ogrzewania. Potrzeby cieplne realizowane są przez odzysk ciepła i dogrzewanie powietrza wentylującego budynek.

Szacuje się, że roczna wartość rynku zamówień publicznych w Niemczech z lat 2014-2016 wynosi ok. 350 mld euro (Zamówienia publiczne w Niemczech, WPHiI Ambasady Polskiej w Berlinie, Berlin 2015 r.). Kwota ta jest zatem wysoka, porównując ją np. do wartości rynku zamówień publicznych w Polsce (ok. 100 mld zł). Tym samym, rynek zamówień publicznych stanowi istotną gałąź gospodarki, która może stymulować popyt i podaż na rozwiązania ekoinnowacyjne.

Działania związane z wybudowaniem pierwszego domu pasywnego były ewenementem na skalę światową. Dostrzegły to niemieckie władze, które zaczęły wdrażać i wspierać tego rodzaju inicjatywy, dostrzegając w nich potencjał długofalowego wzrostu. Do sukcesów w tej dziedzinie można zaliczyć powołanie Passiv Haus Institut w Darmstadt, który w kolejnych latach stał się liderem certyfikacji budynków pasywnych. Warto nadmienić, że powołana w Polsce instytucja PIBP z siedzibą w Gdańsku stanowi niemiecki oddział PHI w Darmstadt.



**Rysunek 3. „Zielona strefa” w Monachium**

Źródło: <http://gis.uba.de/website/umweltzonen/umweltzonen.php> (dostęp: 20.02.2017).



Szacuje się obecnie, że rozwiązania pasywne w Niemczech są droższe o ok. 6-10% w zależności od rodzaju produktu końcowego (Płaziak 2013). Nie byłoby jednak istotnych sukcesów i rozwoju tej gałęzi rynku, gdyby nie skoncentrowany rozwój kolejnych inicjatyw, w tym wdrażanie i implementacja inicjatyw europejskich.

Dostrzegając znaczny potencjał ekoinnowacji, Niemcy poszły jednak dalej, wdrażając również inne projekty. Do projektów związanych z zielonymi zamówieniami możemy zaliczyć np. projekt z 2008 r. o nazwie „zielone strefy”. Od 1 stycznia 2008 r. w niektórych niemieckich miastach został wprowadzony obowiązek posiadania plaketek uprawiających do wjazdu do tzw. „zielonych stref”. Stanowią one obszar kilkukilometrowy w centrach miast, gdzie nie dopuszcza się wjazdu pojazdów spalinowych, które nie spełniają określonych norm i wymagań ekologicznych. Przykład takiej strefy w Monachium prezentuje rysunek 3.

Przykład niemiecki jest o tyle istotny, że w przypadku wjazdu do tzw. „zielonej strefy” bez odpowiedniej identyfikacji na kierowcę nakładany jest mandat w wysokości 40 euro i 1 punkt karny. Co istotne, poza wskazaną strefą wybudowano dużą liczbę parkingów, w których można pozostawić samochody po preferencyjnych cenach i przesiąść się do komunikacji miejskiej.

Działania związane ze stworzeniem tzw. zielonych stref służą rozwojowi ekoinnowacji i dążą do „oczyszczenia” centrów miast, które ze względu na kumulację ruchu samochodowego są bardzo zanieczyszczone. Warto podkreślić, że zgodnie z prowadzoną polityką zrównoważonego rozwoju, w Niemczech istnieje integralny system zachęt budżetowych do wymiany samochodów na pojazdy spełniające najwyższe normy w zakresie emisji, tj. EURO 6. Wiodącą rolę spełniają w tym procesie władze publiczne, które obowiązkowo, poprzez zielone zamówienia publiczne, zakupują pojazdy komunikacji miejskiej nieemitujące zanieczyszczeń i szkodliwych spalin, powodując tym samym kreowanie inteligentnych wzorców.

Działania podejmowane przez Niemcy należy ocenić jako skuteczne i prowadzące do oczekiwanego rezultatu.

### **Norwegia**

Norwegia jest obecnie jednym z najlepiej rozwiniętych krajów świata (Human Development Report 2017). Dowodzą tego zarówno dane publikowane przez Program Narodów Zjednoczonych ds. Rozwoju, jak i opinie w różnego rodzaju czasopiśmie fachowych. Warto zwrócić uwagę na fakt, że Norwegia jest jednym z częściej wybieranych miejsc emigracji Polaków.

Wdrażanie ekoinnowacji w Norwegii nie przebiegało jednak bez uwarunkowań systemowych oraz prawnych, stąd wymaga omówienia, gdyż stanowi cenne źródło odniesienia do aspektu rozwoju ekoinnowacji. Z uwagi na wskazaną lukę badawczą w zakresie ekoinnowacji w branży budowlanej i stosunkowo skromną liczbę publi-

kacji krajowych (Zachura 2016, s. 232–241), analiza skupiła się w szczególności na dokumentach i literaturze zagranicznej.

Według literatury przedmiotu, przejście do budownictwa zrównoważonego w Norwegii trwało 15 lat (lata 1998-2013) (Nykamp 2016). Jak opisuje autor, faza technologicznego przejścia z tradycyjnego budownictwa do budownictwa zrównoważonego miała trzy cykle. Autor uznaje, że wcześniejsze działania podejmowane w latach 1980-1997 nie były skuteczne, gdyż nie było wtedy powszechnego zainteresowania ani zapotrzebowania społecznego w tej dziedzinie gospodarki.

Cykl I – lata 1998-2003, był pierwszym istotnym okresem, kiedy promowano budownictwo energooszczędne i ekologiczne. Nie było w tym czasie obligatoryjnych wymogów prawnych, które nakładałyby obowiązek uwzględnienia aspektu zrównoważonego rozwoju. W tym okresie pojawiła się jednak inicjatywa, zapoczątkowana w sektorze naukowym, która na wskutek zmiany trendów i stylu życia przybierała postać przepisów wykonawczych.

Pierwszym programem, który powstał w wyniku wprowadzenia szeregu zmian i rozporządzeń był projekt ENOVA (<https://www.enova.no/>). Program miał na celu propagowanie działań zmierzających do budowania budynków uwzględniających aspekty ekologiczne. Wraz z realizacją programu rozpoczęto akcje i kampanie informacyjne. Ważne stało się także uwzględnienie na wszystkich szczeblach edukacyjnych istoty zrównoważonego rozwoju, począwszy od szkoły podstawowej do szkół wyższych.

Wraz z przyjęciem dyrektywy UE 2002/91/WE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków skoncentrowano się na aspekcie zrównoważonego rozwoju, w szczególności na kwestii zapewnienia optymalnych i godnych warunków do życia kolejnym pokoleniom. Dodatkowym bodźcem stymulującym zwiększenie zainteresowania zrównoważonym rozwojem były znaczne skoki i wahania cen energii elektrycznej, które odczuła cała norweska gospodarka, szczególnie w 2001 r. i 2006 r. (Nykamp 2016).

Cykl II – lata 2004-2008 były następnym krokiem w drodze do przejścia do nowej gałęzi budownictwa. Wraz z dużym wzrostem PKB oraz aktywną polityką środowiskową powstawały kolejne inicjatywy, takie jak NGBC ([www.ngbc.no/](http://www.ngbc.no/)), GBA ([www.byggalliansen.no/](http://www.byggalliansen.no/)) i ZEBC ([www.zeb.no](http://www.zeb.no)). Istotnym czynnikiem była również zmiana i ewaluacja programu ENOVA, który dzięki finansowemu wsparciu państwa, umożliwił 50-procentowe finansowanie inwestycji związanych z budową energooszczędnych budynków.

Cykl III – lata 2009-2013 to okres, kiedy dynamiczny rozwój cyklu drugiego zaczął przybierać inną formę. Przyspieszono krajowy program systemów certyfikacji pasywnych budynków oparty na certyfikacie Bream-Nor. Certyfikat BREEAM (Bre Environmental Assesment Metod) został stworzony w 1990 r. w Wielkiej Brytanii przez BRE (Building Researcher Establishment). Ze względu na fakt, że jest systemem łatwo adaptowalnym do lokalnych warunków geograficznych i legislacyjnych jest on stosowany do oceny środowiskowej budynków na całym świecie.

Determinantą wprowadzenia systemu BREEAM-NOR były również aspekty wynikające z międzynarodowych doświadczeń, które wskazywały, że budynki certyfikowane BREEAM-NOR posiadają wyższą wartość, w tym z dochodów z najmu, niskie koszty eksploatacji, a tym samym traktowano je jako budynki o zmniejszonym ryzyku finansowym. Norwegia wybrała zatem sprawdzone wzorce międzynarodowe, które dostosowała do uwarunkowań wewnętrznych.

Jak wskazują dane publikowane przez NGBC, łączna liczba budynków poddanych i uczestniczących w certyfikacji BREEAM-NOR, jak też zarejestrowanych tam produktów i usług, wynosiła w 2016 r. ok. 970 tys. (<http://ngbc.no/#>). Logo certyfikatu przedstawia rysunek 4.



**Rysunek 4. Logo certyfikatu BREEAM-NOR**

Źródło: <http://ngbc.no> (dostęp 20.02.2017).

Istotą wprowadzenia norweskiego odpowiednika systemu BREEAM było to, że system ten sprawdził się w Wielkiej Brytanii, a także aspekt finansowy, który miał wynikać z intensywnego stymulowania wzrostu gospodarczego i poprawy jakości życia. Połączono krajowe badania z wzorcami międzynarodowymi, wytwarzając i adaptując sprawdzone rozwiązania. Jak wynika z danych, była to decyzja słuszna (ocena ilościowa).

W wielu rankingach Norwegia figuruje jako kraj bardzo zamożny. Można zatem wyciągnąć wniosek, że istotny wpływ odegrało tam faktyczne wdrożenie zasad zrównoważonego rozwoju, ze szczególnym uwzględnieniem budownictwa niskoenergetycznego, które dodatkowo wykreowało wewnętrzny bodziec popytowo-podażowy, wpływający na rozwój tej gałęzi gospodarki.

W tym kontekście działania podjęte przez Norwęgę okazały się skuteczne. Nie ma niestety w piśmiennictwie i statystyce międzynarodowej analiz kosztów wdrożenia systemu BREEAM-NOR, które mogłyby pozwolić na skuteczniejszą ocenę przeprowadzonych działań i próbę odniesienia się do kosztów takiej certyfikacji w warunkach polskich.

## Francja

Francja, będąca w latach 90. silną gospodarką, dostrzegła konieczność odejścia od tradycyjnego modelu gospodarczego do modelu związanego z rozwojem zrównoważonym. Stało się tak również ze względu na fakt, że społeczeństwo krytykowało wytwarzanie energii przez elektrownie atomowe, których udział we Francji wynosi powyżej 70% (<http://www.psz.pl/119-energia/energia-jadrowa-francja>). Rosnące i uzasadnione obawy związane ze zdarzeniami związanymi z awariami reaktorów atomowych (m.in. Czarnobyl) sprawiły, że we Francji podjęto publiczną i konstruktywną dyskusję, i liczne działania na rzecz zmian w sektorze energetycznym.

Widoczne zmiany zaczęto wprowadzać przed 2000 r. W tej materii brakuje jednak literatury publicznie dostępnej. Wyczerpywanie się konwencjonalnego modelu gospodarczego spowodowało również spadek konkurencyjności gospodarki oraz spowolnienie i osłabienie wzrostu gospodarczego odnotowywanego do 2010 r. Czynnikiem, który z pewnością miał w tym swój udział był też aspekt związany ze stopniowym wzrostem zadłużenia sektora publicznego.

Istotną rolę w realizacji długookresowych celów odegrała polityka ekonomiczna kraju, co znalazło swoje odzwierciedlenie m.in. w najnowszym programie (pakcie) na rzecz jakości budowy i transformacji energetycznej, uruchomionym w 2015 r. (<http://www.programmepacte.fr/programme>, dostęp 20.02.2017). W ramach paktu przewiduje się sześć priorytetowych obszarów działań w zakresie zmniejszenia zużycia energii, redukcji zanieczyszczeń, rozwoju odnawialnych źródeł energii, zachowania różnorodności przyrodniczej, zwalczania i redukcji odpadów oraz intensywnej edukacji środowiskowej.

We wskazanym programie wymienia się zielone zamówienia publiczne – jako jedno z narzędzi, które ma odegrać kluczową rolę. W organizacji i udzielaniu zamówień publicznych we Francji ważna jest kwestia ekoprojektowania.

Uwzględniając powyższe aspekty, a także konieczność zachowania w długim okresie korzystnego stanu środowiska dla kolejnych pokoleń, szczególną uwagę poświęcono rozwojowi zrównoważonemu. Pierwsze widoczne zmiany zaobserwowano w latach 2004-2006.

Warto podkreślić, że we Francji istnieje prężnie działające Ministerstwo Ekologii, Zrównoważonego Rozwoju Transportu i Mieszkalnictwa, które odgrywa szczególną rolę w kreowaniu polityki związanej z rozwojem zrównoważonym (Leger et al. 2013).

Pierwszą grupą realizowanych działań wszczętą w 2004 r. była szeroka kampania projektowania zrównoważonych – zielonych obszarów miejskich, w szczególności poprzez zamówienia publiczne. W grupie tej znajduje się rewitalizacja terenów miejskich tak, by przywrócić im naturalne oblicze uwzględniające w najwyższym stopniu kwestie środowiskowe.

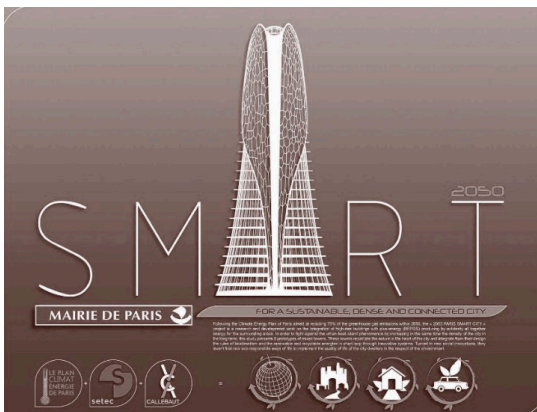
Druga grupa działań objęła realizację infrastrukturalnych projektów budowlanych i przemysłowych w oparciu o wymagania ekologiczne. Grupa ta uwzględnia projekty infrastrukturalne oraz projekty innowacyjne i technologiczne, bazując na ich silnej pozycji w zakresie innowacyjności.

Trzecią grupę stanowiły działania związane z wykreowaniem rynku ekologicznego poprzez ekoetykiety, będące certyfikatami potwierdzającymi ekologiczność nabywanych dóbr i usług. W grupie tej ujęte są wszelkie działania mające na celu propagowanie produktów ekologicznych, uwzględniających aspekt gospodarki o obiegu zamkniętym.

Obecnie we Francji ekologizacja budownictwa odgrywa istotną rolę w kształtowaniu nowych postaw, a także we wdrażaniu odpowiedzialnego budownictwa, z myślą o następnych pokoleniach. Szczególną uwagę zwraca się na zielone zamówienia publiczne w budowie i rewitalizacji obszarów miejskich, w tym w przywracaniu im wartości historycznej.

Przykładem, który obrazuje skalę realizowanych przedsięwzięć może być Paryż, którego władze postawiły sobie za cel, aby do 2050 r. dokonać zmniejszenia o 75% emisji gazów cieplarnianych, przebudowując miasto w tzw. SMART CITY (miasto inteligentne).

Jednym z architektów, którzy pracują nad zaprojektowaniem ekoinnowacyjnych projektów jest Vincent Callebaut (<http://vincent.callebaut.org/cv/>, dostęp 20.02.2017), który w swojej koncepcji Paryża wskazuje na maksymalne wykorzystanie kwestii ekologicznych w dążeniu do powstania aglomeracji miejskiej, uwzględniającej rozwój zrównoważony oparty na nowoczesnych rozwiązaniach technologicznych. Plan zakłada przebudowę Paryża w sposób przyjazny z naturą, zachowując jego elementy historyczne (zob. rys. 5).



Rysunek 5. Logo projektu SMART Paris 2050

Źródło: <http://vincent.callebaut.org/zoom/projects/> (dostęp 20.02.2017).

W wizualizacjach Vincenta Callebauta roi się od „zielonych budynków” wykorzystujących pasywne technologie energetyczne, pełny recykling wody, zielone ściany i ogrody na najwyższych kondygnacjach. Swego rodzaju nowum ekoinnowacyjnym są wieże antysmogowe. U podstaw inicjatyw, jakie proponuje Callebauta – być może nieco futurystycznych – są normy prawne, które wynikają wprost z zielonych zamówień publicznych. Warto zwrócić uwagę, że jednym z obowiązkowych wymogów postępowań przetargowych na wyłonienie projektantów robót budowlanych w zakresie infrastruktury miejskiej jest obligatoryjny wymóg zatrudniania przez wykonawców specjalnych architektów krajobrazu i specjalistów ds. ekologii i ochrony środowiska.

Z analizy literatury przedmiotu (Leger et al. 2013) wynika, że od 2002 r. preferuje się powoływanie wielodyscyplinarnych zespołów do realizacji projektów związanych z architekturą miejską. Takie działania pozwalają kreować i stymulować ekoinnowacje, które z kolei wpływają na aktywizację i rozwój branży budowlanej, zarówno w odniesieniu do popytu, podaży, czy też tworzenia nowych miejsc pracy w oparciu o nowoczesne technologie, bazujące na ekoinnowacjach.

Przykład francuski pokazuje, że uwzględnienie w zamówieniach publicznych ekoinnowacyjności (zespoły wielodyscyplinarne) może być stymulatorem nie tylko odważnych projektów, które Francuzi umieją realizować, ale także motorem napędowym skutecznych działań poprawiających jakość i komfort życia w myśl zasad zrównoważonego rozwoju.

## Wnioski

Dokonując przeglądu doświadczeń międzynarodowych we wdrażaniu ekoinnowacji w branży budowlanej, w krajach wysokorozwiniętych, można zauważyć wiele istotnych prawidłowości, które występowały pomimo różnic geograficznych i gospodarczych. W Niemczech, w Norwegii i we Francji istotny nacisk położono na rozwój sektora nauki i transfer wiedzy. Stanowiło to podstawę do dalszych prac i tworzenia fundamentów budowy rynków związanych z ekoinnowacjami. Branża budowlana, którą cechuje wyjątkowe narażenie na wahania rynkowe, zmiany kursów walut oraz zmiany polityk gospodarczych danego kraju, musi szukać nowych rozwiązań.

Ekoinnowacje i zielone zamówienia publiczne, jak wskazuje przegląd doświadczeń międzynarodowych, stanowią ważny bodziec długookresowego rozwoju, pozwalający wzmocnić odporność na zjawiska zewnętrzne, wpływające na sytuację gospodarki i środowiska naturalnego.

W wyniku przeglądu literatury przedmiotu oraz innych opracowań zagranicznych można zauważyć istnienie luki badawczej w Polsce w zakresie wzorcowych rozwiązań ekoinnowacyjnych i zielonych zamówień. Stanowi to jedną z wielu przeszkód we wdrażaniu ekoinnowacji i przenoszenia ich do gospodarki, tworząc podstawy

komercjalizacji nowych rozwiązań. Liczne opracowania fachowe często skupiają się na aspektach prawnych, a nie na wdrożeniowych. Jak wynika z przedstawionych rankingów, modele zastosowane w krajach sąsiedzkim przyniosły tam oczekiwany efekt.

Przykłady stosowania zielonych zamówień, niezależnie od branży, dają wymierne efekty w postaci zakupu dóbr i usług ze względu na jakość, długi cykl życia i bezpieczeństwo użytkownika.

Przykład ustalenia kryteriów oceny ofert w przetargu publicznym w Polsce uwzględniający aspekty środowiskowe (cena 60%, gwarancja 15%, kryterium środowiskowe 10%, właściwości funkcjonalne 15%) dowodzi, że nie jest to trudne, a może przynieść wymierne korzyści. Często zgłaszane obawy zamawiających przed ewentualnymi oskarżeniami o utrudnienie uczciwej konkurencji nie znajdują uzasadnienia, tym bardziej, że obecne prawo stanowi implementację prawa wewnątrzspółnotowego.

Tym samym warto zwrócić uwagę na aspekty doświadczeń międzynarodowych, w szczególności tych, które zaowocowały wysokim poziomem wdrożenia zielonych zamówień publicznych i eko-innowacji, poprawiając poziom życia i stan środowiska naturalnego.

Doświadczenia międzynarodowe muszą być każdorazowo dostosowywane, wręcz kreowane na nowo, uwzględniając rodzimą specyfikę. Jednak w długim okresie stanowią one mogą doskonały bodziec rozwojowy dla tej dziedziny gospodarki.

## Literatura:

- [1] CEPS, Bruksela, 29.02.2012 (dostęp: 20.02.2017).
- [2] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/24/UE z 26 lutego 2014 r.
- [3] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/25/UE z 26 lutego 2014 r.
- [4] *Human Development Report*, <https://pl.wikipedia.org/wiki/> (dostęp: 20.02.2017).
- [5] Kulczycka J, Wernicka M., 2010, *Czy zamówienia publiczne mogą być zielone? Znaczenie kosztów cyklu życia*, IGSMiE PAN, Kraków.
- [6] Leger A., Ouselati W., Salanie J., 2013, *Public tendering and green procurement as potential drivers for sustainable urban development: Implications for landscape architecture and other urban design profession*, CFRE.
- [7] Niedzielski P., Rychlik K., 2006, *Innowacje i Kreatywność*, Uniwersytet Szczeciński, Szczecin.
- [8] Nykamp H., 2016, *A transition to green buildings in Norway*, CTIC, University of Oslo, Norwegia.
- [9] Płaziak M., 2013, *Domy energooszczędne i pasywne jako nieunikniona przyszłość budownictwa w Polsce*, PKGPTG, Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie, Kraków.
- [10] Sprawozdanie z funkcjonowania rynku zamówień publicznych w Polsce za 2015 rok, UZP 2016.



- [11] Strategia Europa 2020, Komunikat Komisji Europejskiej z 3 marca 2010 r., Bruksela.
- [12] Zachura K., 2016, *Ekoinnowacje w budownictwie w Polsce*, „Inżynieria Ekologiczna” nr 50.
- [13] Zamówienia publiczne w Niemczech, WPHiI Ambasady Polskiej w Berlinie, Berlin 2015.
- [14] Zarębska J., Michalska M., 2016, *Innowacje ekologiczne szansą dla zrównoważonego rozwoju – kierunki i przeszkody implementacji*, „Management” Vol. 20, No. 2.

**Strony internetowe** (dostęp: 20.02.2017):

[www.mcbe.pl/](http://www.mcbe.pl/)  
[www.passiv.de](http://www.passiv.de)  
[www.pibp.pl](http://www.pibp.pl)  
[www.psz.pl/119-energia/energia-jadrowa-francja](http://www.psz.pl/119-energia/energia-jadrowa-francja)  
[www.gis.uba.de/website/umweltzonen/umweltzonen.php](http://www.gis.uba.de/website/umweltzonen/umweltzonen.php)  
[www.ngbc.no/](http://www.ngbc.no/)  
[www.byggalliansen.no/](http://www.byggalliansen.no/)  
[www.zeb.no/](http://www.zeb.no/)  
[www.bre.co.uk/](http://www.bre.co.uk/)  
[www.programmepacte.fr/programme](http://www.programmepacte.fr/programme)  
[www.vincent.callebaut.org/cv/](http://www.vincent.callebaut.org/cv/)  
[www.enova.no/](http://www.enova.no/)



## Realizacja celów gospodarki odpadami komunalnymi – w kontekście gospodarki o obiegu zamkniętym – na przykładzie wybranych krajów

---

### Streszczenie

Systemy gospodarki odpadami komunalnymi w większości krajów europejskich stoją obecnie przed nowymi wyzwaniami i prawdopodobnie przed koniecznością znacznych zmian. Dojrzałe systemy krajów rozwiniętych poddawane są jedynie modyfikacjom, w celu poprawy ich efektywności. Natomiast młode, w krajach, takich jak Polska, są dopiero tworzone, w sposób zgodny ze zrównoważonym rozwojem. Wymuszona zasobooszczędność może sprawić, że konieczne będą zmiany systemowe, nawet w krajach, które uważane są obecnie za liderów. Gospodarka odpadami komunalnymi staje się jednym z filarów gospodarki o obiegu zamkniętym, gdyż może okazać się źródłem zasobów, ograniczając tym samym pozyskiwanie zasobów pierwotnych. W tym celu gospodarka odpadami musi być prowadzona w odpowiedni sposób – tak, aby spełniała założone cele gospodarki o obiegu zamkniętym. Celem tekstu jest ocena czy i na ile cele te są realizowane w wybranych krajach UE – w Słowenii i Niemczech (jako „nowego” i „starego” lidera) oraz w Polsce (jako kraju młodego systemu) i porównana ze średnią w UE. Ponadto, w tekście zostanie przeanalizowane to, czy określone zmiany (np. regulacje prawne czy podniesienie wysokości opłat) w poszczególnych systemach gospodarki odpadami komunalnymi wpłynęły na jej wyniki oraz zarekomendowane zostaną dalsze kierunki ich rozwoju, zgodne z gospodarką o obiegu zamkniętym. Powyższa ocena realizacji celów została dokonana na podstawie analizy danych statystycznych dotyczących gospodarki odpadami komunalnymi.

### Municipal Waste Management Goals in the Context of Circular Economy of Selected Countries

#### Abstract

Municipal waste management systems in most of European countries must face new challenges and they must prepare for general modifications. Mature systems in developed countries are being modified only in order to enhance their effectiveness. However, in young countries like Poland, the systems have been developed in a way accordant with the sustainable development concept. Forced resources savings implemented into the circular economy may encourage changes of the systems, also in countries, which are already leaders. Municipal waste management becomes one of circular economy foundations since it may become a source of resources and limit acquisition of primary resources. To achieve this situation, the waste management must meet assumed goals of a circular economy. Goal of the text is assessment whether these goals are being carried out in certain EU countries – in Slovenia and Germany (the “new”

and the “old” leader) and in Poland (young system). Also, to compare, the average values in EU were analysed. Moreover in the text it is analysed whether certain changes, like e.g. certain legal regulations or increase in payments, in particular systems of the municipal waste management, affected its results. Further directions of development, acc. to circular economy (principles), are recommended as well. Above assessment of performance of goals was based on analyses of statistical data concerning municipal waste management.

---

## **Wprowadzenie**

W ramach obowiązującej obecnie strategii działania UE „Europa 2020” zakłada się zintensyfikowanie działań gwarantujących zasobooszczędność gospodarki. Dalsza trwała poprawa zasobooszczędności jest możliwa i może przynieść znaczne korzyści gospodarcze (Komunikat 2010), pod warunkiem domknięcia obiegów gospodarek. Systemy o obiegu zamkniętym umożliwiają dłuższe zachowanie wartości dodanej produktów i znaczną redukcję odpadów. Pozwalają na zachowanie zasobów w obrocie gospodarczym, kiedy cykl życia produktów dobiega końca, dzięki ich wielokrotnemu wykorzystaniu w kolejnych cyklach produkcyjnych (Komunikat 2014). Systemy te zakładają minimalizację odpadów i powtórne wykorzystanie zasobów na etapie projektowania i w całym łańcuchu wartości, a nie tylko na koniec cyklu życia produktu. W tym celu należy ograniczać ilość surowców i energii niezbędnych do zaspokojenia określonej potrzeby, zwiększać trwałość produktów i możliwości ich naprawy (European 2013), ograniczać zastosowanie materiałów niebezpiecznych lub trudnych do recyklingu w procesach wytwórczych, tworzyć rynki zbytu dla surowców wtórnych w oparciu o normy i zielone zamówienia publiczne oraz podejmować działania zmierzające do symbiozy przemysłów. W tym kontekście gospodarka odpadami, zwłaszcza opakowaniowymi i komunalnymi, nabiera szczególnego znaczenia. Realizacja celów gospodarki zamkniętej wymaga równoczesnej zmiany w modelu konsumpcji, zwiększenia efektywności segregacji odpadów, minimalizacji kosztów recyklingu i ponownego wykorzystania lub tworzenia alternatyw dla prawa własności, w tym współużytkowania, wynajmu czy dzierżawy (Komunikat 2014). Tworzenie innowacyjnych modeli biznesowych w gospodarce o obiegu zamkniętym może stwarzać nowe relacje między przedsiębiorstwami i gospodarstwami domowymi.

Kluczowa dla unijnej gospodarki odpadami hierarchia postępowania z nimi doskonale wpisuje się w cele gospodarki o obiegu zamkniętym. Według niej w pierwszej kolejności należy zapobiegać powstawaniu odpadów, w dalszej kolejności priorytetem staje się przygotowanie do ponownego użycia – recykling, odzysk – i, jako ostatnia preferowana opcja, unieszkodliwianie odpadów (co obejmuje składowanie odpadów resztkowych z procesów spalania bez odzysku energii) (Dyrektywa 2008/98). Najważniejszymi wskaźnikami, służącymi do oceny zgodności realizacji prac krajów członkowskich z celami UE w zakresie odpadów w kontekście gospo-

darki o obiegu zamkniętym, są wskaźniki dotyczące odzysku i recyklingu oraz wskazujące na realizację planów zapobiegania powstawaniu odpadów i gospodarowania nimi (Komunikat 2017). Kraje członkowskie są aktualnie zobligowane do osiągnięcia jednoznacznie określonych celów w zakresie gospodarki odpadami komunalnymi. Wiąże się to niejednokrotnie z koniecznością przeorientowania istniejącego systemu, wprowadzeniem nowych rozwiązań, czy też intensyfikacją dotychczas prowadzonych działań.

## 1. Bieżące cele i wyzwania dla gospodarki odpadami komunalnymi

Aktualnie realizowany przez kraje członkowskie pakiet dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym został przyjęty przez Komisję Europejską 2 grudnia 2015 r. (Komunikat 2015). Zawiera on propozycje legislacyjne dotyczące odpadów komunalnych i opakowaniowych oraz cele długookresowe w zakresie ograniczenia składowania, zwiększenia recyklingu i ponownego użycia odpadów. Ponadto, w celu zamknięcia obiegu w cyklu życia produktów stworzono plan działań wspierający gospodarkę o obiegu zamkniętym na każdym etapie łańcucha wartości: produkcji, konsumpcji, naprawie i gospodarowaniu odpadami i surowcami wtórnymi wprowadzanymi do obiegów produkcyjnych. Pakiet zakłada następujące cele:

- poziom odzysku i recyklingu odpadów komunalnych – 65% do 2030 r., a opakowaniowych do 75% oraz ograniczenie składowania do 10% odpadów wytworzonych (komunalnych),
- wdrożenie systemu wczesnego ostrzegania dla monitoringu realizacji celów pakietu,
- określenie minimalnych wymogów dla odpowiedzialności producentów i ustalenie podstaw ustalania wysokości opłaty w oparciu o koszty efektów zewnętrznych,
- promowanie zapobiegania i ponownego użycia, zwłaszcza w odniesieniu do odpadów żywnościowych,
- opracowanie procedur związanych z utratą statusu odpadu,
- przegląd i redefiniowanie określeń oraz metod naliczania celów i obowiązków raportowania w zakresie odpadów komunalnych (European Parliament 2016).

Szczegółowy plan działań Komisji na 2017 r. zawiera m.in. projekt strategii dotyczącej tworzyw sztucznych, mającej na celu poprawę opłacalności, jakości i zasięgu stosowania recyklingu i ponownego użycia tworzyw sztucznych, ograniczenie przedostawania się ich do środowiska, oraz rozdzielenie trendów zależności zużycia tworzyw sztucznych i wydobywania paliw kopalnych. Ponadto, zostaną zintensyfikowane prace nad recyklingiem żywności i zapobieganiem jej marnotrawstwu (Komisja Europejska 2017). W najbliższych latach kraje członkowskie zobowiązane są osiągnąć następujące cele ilościowe:

- osiągnięcie poziomu recyklingu i przygotowania do ponownego użycia następujących frakcji: papieru, metali, tworzyw sztucznych, szkła w wysokości min. 50% wagowo, do dnia 31.12.2020 (Dyrektywa 2008/98),

- na składowiska może trafiać nie więcej niż 50% wagowo całej masy odpadów komunalnych ulegających biodegradacji przekazywanej do składowania do 16.07.2013 i nie więcej niż 35%, do 16.07.2020 (Dyrektywa 1999/31).

Kraje członkowskie zobowiązane były do redukcji ilości składowanych odpadów biodegradowalnych, w stosunku do ilości tych odpadów z 1995 r., do: 50% w 2009 r., 35% 2016 r. Cele te zostaną jeszcze zaostrzone, aby przyspieszyć domykanie obiegów w gospodarce. Są to m.in.:

- od 1 stycznia 2013 r. składowanie na składowiskach odpadów innych niż niebezpieczne, wyłącznie odpadów resztkowych (odpady będące wynikiem przetwarzania lub odzysku, w tym recyklingu, w przypadku których niemożliwy jest dalszy odzysk, w związku z czym zachodzi konieczność ich unieszkodliwienia),

- do 2030 r. ilość składowanych odpadów komunalnych nie może przekroczyć 5% całkowitej ilości wytwarzanej. Istnieje możliwość przedłużenia tego terminu o 5 lat, jeśli w danym kraju członkowskim w 2013 r. trafiało na składowiska ponad 65% wytwarzanych odpadów komunalnych (m.in. w Polsce),

- zmniejszenie ilości odpadów żywnościowych o 30% do 2025 r. i o 50% do 2030 r.,

- przygotowanie do ponownego użycia i recyklingu odpadów komunalnych na poziomie 60% do 2025 r. i 65% do 2030 r.

Ponadto, prowadzone są prace nad regulacjami dotyczącymi utraty statusu odpadów, co najmniej w odniesieniu do kruszyw, papieru, szkła, metalu, opon i tekstyliów. Planuje się też rozszerzenie odpowiedzialności producentów m.in. za celowe pogarszanie jakości produktów i skracanie ich cyklu życia oraz zbyt wysokiego kosztu napraw, co powoduje ich nieopłacalność.

## 2. System gospodarki odpadami komunalnymi w Niemczech

W UE Niemcy są niewątpliwym liderem w zakresie gospodarki odpadami komunalnymi. Mają długą tradycję tworzenia planów i strategii gospodarki odpadami oraz selektywnej zbiórki, opartych na wskaźnikach. Poziom 50% recyklingu, przyjęty w UE do realizacji na 2020 r., Niemcy osiągnęły już w 2001 r., a w 2014 r. wyniósł on 64%. Wymagane na 2016 r. ograniczenie składowania odpadów biodegradowalnych Niemcy osiągnęły w 2006 r. Obecne działania koncentrują się na wzmocnieniu odpowiedzialności producenta i dobrowolnych działaniach w celu zwiększenia selektywnej zbiórki z gospodarstw domowych, m.in. odpadów bio i metalowych. Odpowiedzialność za gospodarkę odpadami jest podzielona pomiędzy władzę centralną, regionalną i lokalną. Ministerstwo środowiska ustala priorytety, uczestniczy w tworzeniu prawa, nadzoruje planowanie strategiczne, przepływ informacji

i definiuje wymogi prawne dla instalacji odpadowych. Władze federalne i lokalne odpowiadają za wdrożenie wymogów prawnych ustanowionych przez UE i prawo krajowe. Władza federalna odpowiada za planowanie i wprowadza własną koncepcję gospodarki odpadami i zasady eksploatacji składowisk. Odpowiada też za uzyskanie odpowiedniego poziomu odzysku i edukację ekologiczną. Od 1996 r. władze lokalne odpowiadają za zbiórkę i transport odpadów z gospodarstw domowych oraz projektowanie instalacji odpadowych w sposób zgodny z prawem krajowym i lokalnym. Ustalają też wysokość opłat dla mieszkańców za odbiór odpadów zmieszanych i biodegradowalnych. Jako uzupełnienie istniejących przepisów, w 2012 r. przyjęto ustawę w sprawie gospodarki o obiegu zamkniętym (OECD 2013).

Niemcy jako pierwsze wprowadziły w 1991 r. odpowiedzialność producenta m.in. w odniesieniu do opakowań, sprzętu elektronicznego i elektrycznego, samochodów, olejów i baterii. Przy czym 50% rynku odzysku opakowań należy do jednego przedsiębiorstwa. Pozostałą część podzieliło pomiędzy siebie ok. 10 innych podmiotów. Zbiórka odpadów z gospodarstw domowych odbywa się w systemie *door to door* (dla odpadów zmieszanych i surowcowych) oraz w punktach zbiórki selektywnej, przy czym rodzaj zbieranych frakcji jest lokalnie zróżnicowany. Największy udział w zbiórce selektywnej ma papier, odpady opakowaniowe zmieszane, a następnie odpady zielone. Butelki wielokrotnego użytku oraz kontenery zbiorcze do butelek objęte są systemem opłat (depozytów) uzupełniających finansowanie systemu odpadów komunalnych. Odbiór i zagospodarowanie odpadów bio i zmieszanych jest finansowane z opłat mieszkańców, a odpadów surowcowych zbieranych u źródła i w punktach jest zwolnione z opłat i częściowo finansowane z budżetów lokalnych. Niemcy jako jeden z pierwszych krajów wprowadziły w latach 90. XX w. zakaz składowania odpadów opakowaniowych, bio i papieru. W efekcie w 2001 r. recyklingowi poddano 52% odpadów, 26% trafiało na składowiska, a 22% było przekształcanych termicznie. Ponadto, w 2005 r. wprowadzono zakaz składowania odpadów nieprzetworzonych (składowane odpady nie mogą zawierać więcej niż 5% całkowitego węgla organicznego – TOC – a odpady przetworzone mechaniczno-biologicznie mogą zawierać maksymalnie 18% TOC). Wymagania unijne dotyczące zawartości całkowitego węgla organicznego (TOC) w składowanych odpadach na 2013 r. Niemcy wypełniły już w 2006 r. Wobec tak restrykcyjnych zakazów oraz odpowiedzialności producentów i selektywnej zbiórki, Niemcy nie wprowadziły opłaty składowiskowej (Fischer 2013). W 2012 r. w Niemczech funkcjonowały 94 instalacje termicznego przekształcania odpadów i jest to dominujący sposób ich zagospodarowania. Dzięki temu Niemcy nie wykazują odpadów trafiających na składowiska. W rzeczywistości trafiają tam odpady resztkowe po termicznym przekształcaniu, bez odzysku energii i z instalacji MBP.

Przyjęta ustawa o gospodarce o obiegu zamkniętym może spowodować istotne zmiany w funkcjonowaniu systemu niemieckiego. Wymagany dla Niemiec poziom

recyklingu powinien wynieść 65% w 2020 r. W ustawie przyjęto obowiązkową, selektywną zbiórkę odpadów bio, papieru, metalu, plastiku i szkła, dając tym samym impuls do rozwoju instalacji MBP. W długookresowej perspektywie należy spodziewać się szybszego rozwoju instalacji pozwalających na wykorzystanie biogazu (Merta 2016). W przyszłości może być to, wraz ze zbiórką selektywną, wiodący kierunek zagospodarowania odpadów. Tym samym, istniejące spalarnie będą miały coraz większy problem z pozyskaniem odpadów i w konsekwencji będą zamykane. Jest to już teraz widoczne, m.in. poprzez zwiększenie importu odpadów z Polski, niezbędnych do zapewnienia strumienia odpadów w spalarniach.

### 3. System gospodarki odpadami komunalnymi w Polsce

Chociaż pierwsze zapisy prawne dotyczące gospodarki odpadami komunalnymi pojawiły się w 1997 r., to faktyczne działania w tym obszarze związane są z wejściem Polski do UE. W 2001 r. określono wymogi dla podmiotów prowadzących działalność związaną z odpadami, w przepisach prawnych wprowadzono zasadę hierarchii postępowania z odpadami oraz odpowiedzialności producenta. Jednak największe zmiany nastąpiły w 2013 r., kiedy władze lokalne zostały właścicielem odpadów komunalnych wytwarzanych na ich terenie i stały się odpowiedzialne za taki kształt systemu zbiórki i zagospodarowania, który spełnia wymogi unijne<sup>1</sup>. Gminne systemy odpadowe opierają się na założeniach zapisanych w Krajowym planie gospodarki odpadami (Uchwała 2016) (który również uwzględnia założenia gospodarki okrężnej) i są finansowane z opłat mieszkańców za odbiór i unieszkodliwienie odpadów, których wysokość jest ustalana na poziomie gminy. Opłaty te nie są powiązane z zasadą „sprawca zanieczyszczenia płaci”, ale stanowią one rodzaj płatności za usługę<sup>2</sup>. Wszyscy mieszkańcy objęci są systemem odbioru odpadów i ponoszą opłaty za ich odbiór. W systemie *door to door* zbierane są odpady zmieszane oraz surowcowe, a w części gmin frakcja bio jest zbierana dodatkowo. Ponadto, w niektórych gminach zbiórka selektywna realizowana jest w punktach i gniazdach pojemników.

Jeżeli chodzi o składowanie odpadów biodegradowalnych, to wymagane poziomy unijne na 2020 r. Polska osiągnęła już w 2014 r. Jeżeli chodzi o poziom recyklingu odpadów komunalnych, to Polska wykazuje znaczne przestrzenne zróżnicowanie – wschodnia część kraju osiąga niższe wskaźniki – na poziomie 20% (województwo podlaskie – 4% w 2013 r.), a część zachodnia to wyniki na poziomie 30–40% (najwyższy, 43% w 2013 r. osiągnęło województwo zachodniopomorskie) (Merta 2016).

---

<sup>1</sup> Zostały one transponowane do prawa krajowego ustawą z dnia 25 stycznia 2013 r. o zmianie ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach (Dz.U. z 2013 r., poz. 228, z późn. zm.).

<sup>2</sup> Szczegółowe zasady kształtowania tych opłat określa ustawa z dnia 25 stycznia 2013 r. o zmianie ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach (Dz.U. z 2013 r., poz. 228, z późn. zm.).

Pierwsze opłaty składowiskowe zostały wprowadzone w latach 70. XX w. za odpady pokopalniane. W kolejnych latach katalog tych odpadów powiększał się i dopiero w 2002 r. dołączono do niego odpady komunalne. Wpływy z tych opłat były przeznaczane na ochronę środowiska, ale nie bezpośrednio na gospodarkę odpadami. W 2010 r. istniało ok. 20 różnych stawek opłat za składowanie odpadów (Małecki 2009), a ich wysokość była niska i wzrastała tylko o wskaźnik inflacji. Znacząca zmiana nastąpiła w 2007 r., kiedy wysokość opłat wzrosła o kilkadziesiąt procent. Efekt tak drastycznej podwyżki był zauważalny w redukcji ilości odpadów składowanych. Scenariusz dla Polski przewidywał, że w 2020 r. 32% odpadów będzie poddawanych recyklingowi, 62% będzie termicznie przekształcanych i tylko 6% będzie składowanych po wcześniejszym przetworzeniu (M.P. nr 90, poz. 946, M.P. 2007 nr 85, poz. 916). Założenia te nie były zgodne z celami gospodarki o obiegu zamkniętym. Jednak w późniejszych latach plany te ulegały zmianie.

#### 4. System gospodarki odpadami komunalnymi w Słowenii

System gospodarki odpadami komunalnymi funkcjonujący w Słowenii przeszedł proces zmian, podobnie jak polski, jednak w znacznie dłuższym okresie ok. 15 lat. Z całą pewnością daje to możliwość lepszego dostosowania go do lokalnych potrzeb i możliwości. Pierwszą istotną zmianą było zawarcie w programie środowiskowym Słowenii na lata 2000–2005 celów gospodarki odpadami zgodnych z gospodarką o obiegu zamkniętym. Do najważniejszych należy zaliczyć: redukcję ilości odpadów wytworzonych i ograniczenie wykorzystywania surowców pierwotnych, wzrost poziomu recyklingu materiałowego i energetycznego, redukcję emisji gazów cieplarnianych generowanych w wyniku gospodarki odpadami, usprawnienie systemu gospodarki odpadami i eliminację zanieczyszczeń zastarzałych. W 2016 r. Słowenia przyjęła nowy Program gospodarki odpadami i program przeciwdziałania powstawaniu odpadów.

Najistotniejsze zmiany systemowe są wynikiem wejścia do UE. W 2001 r. wprowadzono opłatę składowiskową, z której wpływy trafiały do budżetu centralnego, a następnie przeznaczano je na rozbudowę infrastruktury. Od 2010 r. zasilają one budżety lokalne i przeznaczane są na finansowanie lokalnych punktów selektywnej zbiórki. Wysokość tych opłat jest stosunkowo niska – w latach 2001-2009 wynosiła ona średnio 14,6 euro. Od 2010 r. obniżono jej wysokość do 11 eur/Mg. Od 2009 r. na składowiska mogą trafiać tylko odpady przetworzone, a operatorzy składowisk muszą posiadać zabezpieczenia finansowe (fundusz rekultywacyjny).

W 1995 r. tylko 76% mieszkańców Słowenii było objętych systemem zbiórki odpadów komunalnych. W 2010 r. odsetek ten wyniósł 96%. Widoczne jest jednak duże zróżnicowanie w poszczególnych jednostkach terytorialnych, osiągając nawet



wartość 7%. Słowenia deklaruje, że od 2011 r. 100% mieszkańców objętych jest systemem (Paleari 2016) (choć dane statystyczne tego nie potwierdzają).

Od 2009 r. na składowiska mogą trafiać tylko odpady przetworzone. Spowodowało to zmniejszenie liczby składowisk (z 60 w 2010 r. do 14 obecnie) i znaczną poprawę warunków ich funkcjonowania (z 8 działających zgodnie z dyrektywą składowiskową w 2010 r. (Dyrektywa 1999/31) do 14 obecnie). W kolejnym roku za odpady obciążono odpowiedzialnością władze lokalne i objęto wszystkich mieszkańców systemem ich zbiórki. Zbudowano sieć punktów zbiórki odpadów (dużych centrów odbioru i małych punktów odbioru). Obecnie na 167 mieszkańców przypada jeden mały punkt odbioru. W każdej gminie musi znajdować się co najmniej jedno centrum odbioru odpadów przeznaczone dla nie więcej niż 8000 mieszkańców (Paleari 2016). Od 2013 r. wprowadzono system *door to door* dla odpadów zbieranych selektywnie – opakowaniowych, kuchennych i zmieszanych.

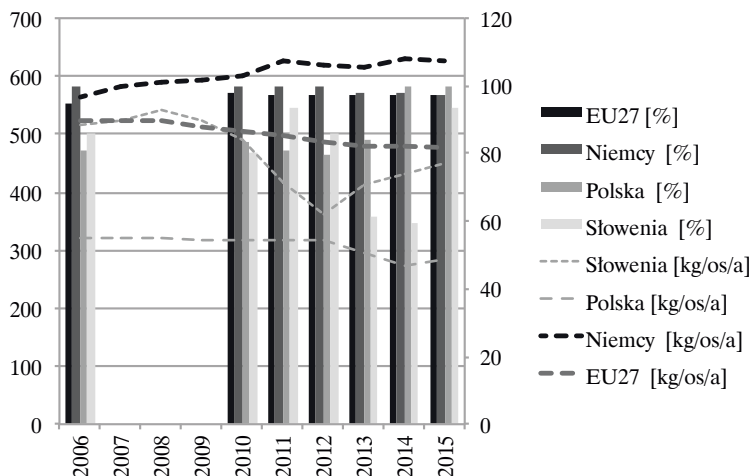
W Słowenii stosowane są różne systemy płatności za odbiór i unieszkodliwienie odpadów – ryczałtowy i za objętość, a dotyczą one zarówno gospodarstw domowych, jak i przedsiębiorców (podobnie jak w Polsce). Odpady są zbierane w różny sposób: *door to door* – workowy i pojemnikowy, gniazdowy oraz poprzez punkty i centra odbioru odpadów zbieranych selektywnie (w tym niebezpiecznych). Co ciekawe, do systemu włączone są punkty skupu odpadów wtórnych, zwłaszcza metali. W całym kraju działają instalacje sortowania, kompostowania i fermentacji beztlenowej oraz składowiska. Aktualnie w wielu regionach kraju prowadzona jest modernizacja istniejących instalacji i powstają też nowe. Powstaje m.in. wielka instalacja MBT z fermentacją beztlenową, która będzie mogła przetworzyć 2/3 odpadów wytwarzanych w kraju. Słowenia, a zwłaszcza Lubljana, postrzegana jest jako europejski lider w zakresie selektywnej zbiórki i recyklingu odpadów komunalnych. W 2014 r. 65% odpadów komunalnych zbierano selektywnie. Szacuje się, że ilość ta będzie nadal wzrastać, tym bardziej, że rozwijana jest selektywna zbiórka odpadów kuchennych i żywnościowych. Słowenia poddaje recyklingowi głównie papier i tekturę (w 2013 r. stanowiło to 36% odpadów komunalnych poddanych recyklingowi), odpady żywnościowe (28%) i ogrodowe (20%). Prawo krajowe Słowenii wprowadziło podwyższone poziomy dotyczące możliwości składowania odpadów biodegradowalnych – 28% w 2012 r., 25% w 2016 r., 22% w 2019 r. Słowenia osiągnęła planowane wskaźniki już w 2012 r., gdyż ilość odpadów biodegradowalnych trafiających na składowiska wynosiła 26% w stosunku do ilości odpadów z 1995 r. (ibidem).

## 5. Analiza danych statystycznych

Przeciętny Europejczyk w 2006 r. wytwarzał rocznie 523 kg odpadów komunalnych na osobę. W ciągu 9 lat ilość ta spadła do 477 kg (tj. o 9 %). W tym okresie trend spadkowy jest stały, co wskazuje na korzystne zmiany z punktu widzenia celów



gospodarki okrężnej. Podobnie jest w Polsce i Słowenii, z tym, że w ostatnich latach w obu krajach widoczny jest wzrost ilości odpadów. Niemcy natomiast odnotowują stały wzrost ilości odpadów. W 2006 r. w Niemczech ilość wytworzonych odpadów komunalnych na osobę na rok wynosiła 564 kg, a w 2015 r. (wzrost o 10,8 %) analogicznie w Polsce 321 kg i 286 kg (spadek o 11 %), a w Słowenii 516 kg i 449 kg (spadek o 13 %). W Słowenii najniższa ilość została osiągnięta w 2012 r. i wyniosła 362 kg/os/a, a w Polsce w 2014 r. i wyniosła 272 kg/os/a. Obrazuje to rysunek 1.



**Rysunek 1. Ilość odpadów komunalnych wytworzonych [kg/os/a] i przetworzonych [%] w latach 2006-2015**

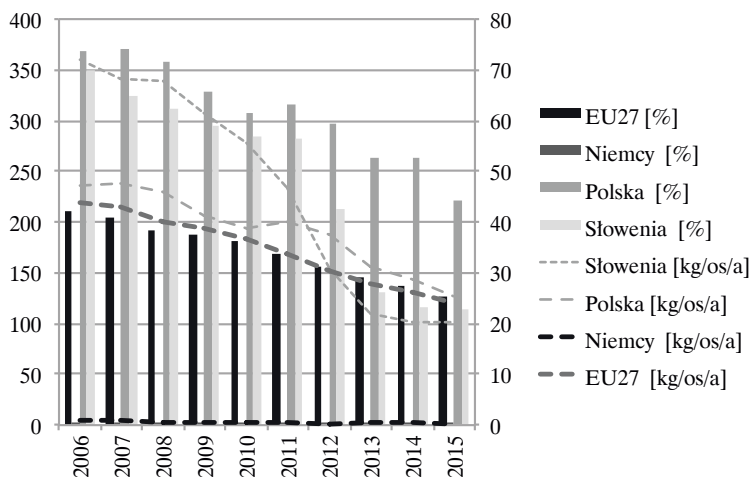
Źródło: Opracowanie własne na podstawie *Municipal waste by waste operations*, Eurostat, [http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env\\_wasmun&lang=en](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_wasmun&lang=en).

Większość odpadów wytworzonych w UE27 została poddana przetwarzaniu. I tak, w 2006 r. przetworzonych zostało 94% odpadów wytworzonych, a od 2010 r. w UE27 przetwarza się powyżej 97% odpadów przetworzonych. W Niemczech w 2016 r. było to 100 %, a od 2013 r. ok. 97,7%. W Polsce od 2006 r. wielkości te wahają się pomiędzy 80% a 83,8%, a od 2014 r. jest to 100%, przy czym jest to wielkość szacunkowa, wynikająca z obowiązujących przepisów prawnych<sup>3</sup>. W Słowenii wielkości te podlegają znacznym wahaniom: w latach 2006-2012 przetwarzanie wahało się pomiędzy 80-85%, wyjątkiem jest 2011 r., kiedy wyniosło ono 93,5%. Lata 2013-2014 to poziom ok. 60%, a 2015 r. aż 94%.

Z punktu widzenia gospodarki okrężnej najbardziej niekorzystnym sposobem postępowania z odpadami jest składowanie. Niemcy – jako lider we wdrażaniu zało-

<sup>3</sup> Zakłada się, że jeśli wszyscy mieszkańcy są objęci systemem zbiórki odpadów, to wytworzona ilość odpadów równa jest ilości odebranych.

zeń gospodarki okrężnej – już 2006 r. składowali tylko 4 kg/os/a (co stanowi 0,7% odpadów wytworzonych), a do 2015 r. zredukowano tę wielkość do 1 kg/os. Odpowiednio dla UE27 wielkości te wynosiły 220 (42%) i 120 kg/os/a (25%), dla Polski 236 (73,5%) i 127 (44%), a dla Słowenii 361(70%) i 102 kg/os/a (23%).

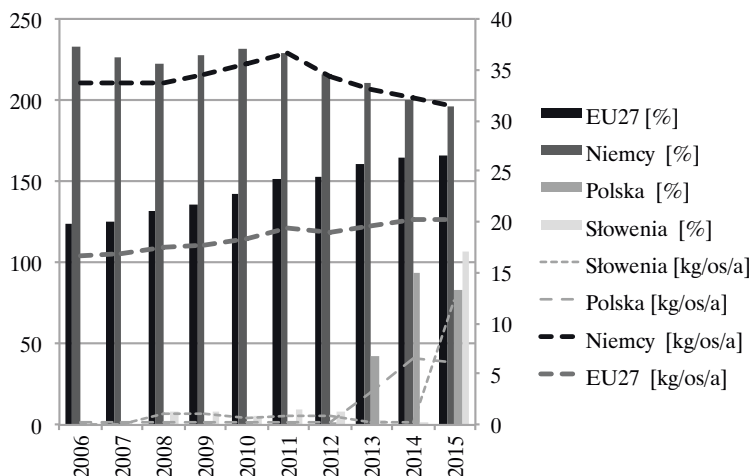


**Rysunek 2. Ilość odpadów składowanych w latach 2006-2015 [kg/os/a] (w %)**

Źródło: Opracowanie własne na podstawie *Municipal waste by waste operations*, Eurostat, [http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=en\\_wasmun&lang=en](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=en_wasmun&lang=en).

W 2006 r. Słowenia i Polska składowała na składowiskach niemal dwukrotnie więcej odpadów komunalnych niż przeciętny Europejczyk. W ciągu 9 lat UE zredukowała tę wielkość o 17 pp, osiągając 25%. W tym czasie Słowenia nieznacznie prześcignęła średnią unijną, osiągając 23% i redukując tę wielkość o 47 pp, a Polska w dalszym ciągu pozostała z takim samym dystansem do średniej unijnej, choć zredukowała wielkość odpadów o 29 pp.

Nieco lepszym niż składowanie sposobem postępowania z odpadami jest termiczne przetwarzanie odpadów, z uwzględnieniem odzysku energii. Średnia unijna wyniosła w 2006 r. 104 kg/os/a, co stanowi ok. 20% odpadów wytworzonych i stale rosła, osiągając w 2015 r. wielkość 127 kg/os/a (26,6% odpadów wytworzonych). Analogicznie, w Niemczech wielkości te wynoszą 210 (37%) i 196 kg/os/a (31%), w Polsce 1 (0,3%) i 38 kg/os/a (13%), a w Słowenii 0 i 77kg/os/a (17%). Słowenia szczyci się przy czym tym, że nie posiada żadnej spalarni odpadów komunalnych a termiczne przekształcanie odpadów występowało jedynie w 2015 r. Wielkości te obrazuje rysunek 3.



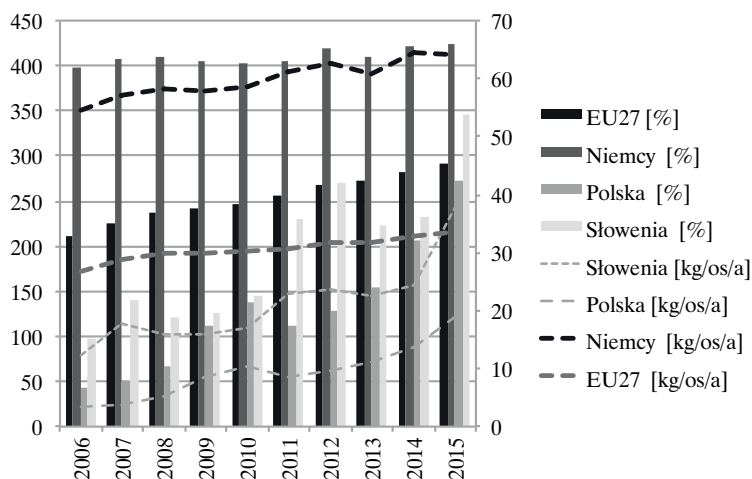
**Rysunek 3. Ilość odpadów poddanych termicznemu przekształceniu, w tym z odzyskiem energii w latach 2006-2015 [kg/os/a] (w%)**

Źródło: Opracowanie własne na podstawie *Municipal waste by waste operations*, Eurostat, [http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env\\_wasmun&lang=en](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_wasmun&lang=en).

W ciągu 9 lat kraje unijne zwiększyły ilość odpadów przekształcanych termicznie o 7,6 pp. W tym czasie w Polsce wielkość ta wzrosła o 13 pp i należy się spodziewać dalszych wzrostów, ze względu na uruchamianie spalarnie odpadów komunalnych. Ciekawa jest sytuacja Słowenii, która nie posiada spalarni odpadów komunalnych, ale w 2015 r. wykazuje aż 17% odpadów wytworzonych poddanych termicznemu unieszkodliwieniu bez odzysku energii. Niemcy powoli zmniejszają wielkość odpadów poddawanych przekształcaniu termicznemu, co jest zgodne z założeniami gospodarki okrężnej, i w ciągu 9 lat ilość ta zmniejszyła się o 6 pp.

Najkorzystniejszym sposobem przetwarzania jest recykling, którego wielkość jest bezpośrednim miernikiem monitorowania postępów realizacji polityki ochrony środowiska krajów członkowskich. W Europie (EU 27) w 2006 r. poddano recyklingowi 172 kg/os/a (33% odpadów wytworzonych), a w 2015 r. już 216 kg/os/a (45% odpadów wytworzonych). W 64% był to recykling materiałowy, odpowiednio 110 i 137 kg/os/a. Pozostałą część stanowiło kompostowanie i fermentacja. W Niemczech recykling wzrósł z 350 kg/os/a (62% odpadów wytworzonych) w 2006 r. do 413 kg (66%) w 2015 r., w Polsce odpowiednio z 22 (7%) do 121 kg/os/a (42%), a w Słowenii z 79 (15%) do 242 kg/os/a (53,8%). Z tego recykling materiałowy stanowił: w Niemczech odpowiednio 257 i 299 kg/os/a, w Polsce 13 i 75 kg/os/a, a w Słowenii 72 i 208 kg/os/a. W Niemczech udział recyklingu materiałowego w całkowitej ilości odpadów poddanych recyklingowi, w ciągu 9 lat, waha się pomiędzy 72,4% a 74,4%, w Polsce wykazuje znaczne zróżnicowanie w poszczególnych latach, pomiędzy 52% a 69,7%,

a w Słowenii wykazuje tendencję spadkową z 91% w 2006 r. do 80% w 2014 r. i 86% w 2015 r. Wielkości te widoczne są na rysunku poniżej (zob. rys. 4).



**Rysunek 4. Ilość odpadów komunalnych poddanych recyklingowi w latach 2006–2015 [kg/os/a] (w%)**

Źródło: Opracowanie własne na podstawie *Municipal waste by waste operations*, Eurostat, [http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env\\_wasmun&lang=en](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_wasmun&lang=en).

Na przestrzeni badanych 9 lat ilość odpadów poddanych recyklingowi w stosunku do ilości odpadów wytworzonych/os/a rośnie, co jest zgodne z celami gospodarki okrężnej. Średnia dla UE27 wynosiła w 2006 r. 33%, a w 2015 r. 45%, co oznacza wzrost o 12 pp. Dla Niemiec wzrost ten wynosił 4 pp, z 62% w 2006 r. do 66%, dla Polski – 35 pp, z 7% do 42%, a dla Słowenii 39 pp – z 15% do 54%. Korzystne zmiany zachodzą zarówno w odniesieniu do recyklingu materiałowego, jak i kompostowania i fermentacji. Wielkość recyklingu materiałowego w odniesieniu do ilości odpadów wytwarzanych wzrosła w UE27 o 8 pp, z 21% w 2006 r. do 29% w 2015 r., w Niemczech o 2 pp, z 45,5% do 47,8%, w Polsce o 22 pp, z 4% do 26%, a w Słowenii o 32 pp, z 14% do 46%. Ilość odpadów komunalnych poddanych kompostowaniu i fermentacji w stosunku do ilości odpadów wytworzonych wzrosła w UE27 z 12% w 2006 r. do 16,5% w 2015 r., tj. o 4,5 pp, w Niemczech z 16,5% do 18% (1,5 pp), w Polsce z 3% do 16% (13 pp), a w Słowenii z 1% do 7,6% (6,6 pp).

## Podsumowanie

Przeprowadzone analizy danych statystycznych wskazują, że w ciągu ostatnich 9 lat zaszły istotne zmiany w gospodarce odpadami komunalnymi wybranych krajów.

Dotyczy to zarówno krajów rozwiniętych (Niemcy), jak i tych, które weszły do Unii Europejskiej stosunkowo późno, w 2004 r. W przypadku Polski i Słowenii zmiany mają charakter systemowy. Najbardziej znaczącym elementem było obciążenie gmin odpowiedzialnością za odpady. Słowenia wdraża te rozwiązania przez ok. 10 lat, a Polska od 2013 r. Skutkiem tych zmian była budowa zróżnicowanych instalacji przetwarzania i unieszkodliwiania odpadów. Wyposażenie kraju w określony rodzaj instalacji jest silnie związane z poziomem osiągnięcia celów gospodarki o obiegu zamkniętym.

Gospodarka o obiegu zamkniętym wymusiła zmianę priorytetów w tym zakresie i sprawiła, że dominującym sposobem przetwarzania powinno być przetwarzanie mechaniczno-biologiczne oraz biogazownie. W tym kontekście w najlepszej sytuacji jest Słowenia, gdyż nie posiada żadnej instalacji termicznego przekształcania odpadów komunalnych, a planowane i realizowane inwestycje to instalacje MBP. Niemcy najprawdopodobniej staną przed problemem zbyt małej ilości odpadów dla istniejących spalarni, zarówno odpadów zmieszanych, jak i RDF. Już dziś zauważalny jest wzrost importu odpadów RDF z Polski. Oprócz spalarni, Niemcy posiadają bardzo efektywny system selektywnej zbiórki i instalacje pozwalające na uzyskiwanie wysokiego wskaźnika recyklingu. Zatem dla Niemiec wyzwaniem jest redukcja liczby spalarni lub poszukiwanie źródeł odpadów dla istniejących spalarni. W najmniej korzystnej sytuacji wydaje się być Polska, która właśnie zrealizowała (lub realizuje) budowę 6 instalacji termicznego unieszkodliwiania odpadów. Początkowe założenia, którym podporządkowano realizację inwestycji (ponad 60% odpadów unieszkodliwianych termicznie i 30% recyklingu), są nieaktualne w kontekście gospodarki o obiegu zamkniętym. Istnienie dużych instalacji termicznego przekształcania odpadów jest bezpośrednią konkurencją w dostępie do odpadów nadających się do recyklingu. Przed tym problemem stoją zarówno Niemcy, jak i Polska, z tą jednak różnicą, że w Polsce system odzysku i recyklingu odpadów komunalnych działa stosunkowo mało skutecznie. Przy obecnym systemie selektywnej zbiórki, z niebodźcową opłatą oraz rozwiniętym systemie sortowni, przyjęte poziomy recyklingu najprawdopodobniej nie zostaną osiągnięte. Konieczne jest zwiększenie selektywnej zbiórki u źródła w celu uzyskania odpadów surowcowych dobrej jakości. Sortowanie tej frakcji z odpadów zmieszanych nie daje zadowalających efektów ze względu na ich zanieczyszczenie. Dlatego też, aby sprostać wyzwaniom gospodarki okrężnej, Polska powinna przeznaczyć środki finansowe nie na spalarnie, ale na działania zwiększające odzysk i recykling. Jednocześnie ograniczenia związane ze składowaniem skłaniają do rozbudowy instalacji MBP i spalarni RDF (Ciechelska 2017). Innym rozwiązaniem jest wykorzystanie instalacji termicznego przekształcania odpadów istniejących w Niemczech. Niemałym problemem w Polsce jest też nadal niewielki popyt na odzyskane surowce. Zatem Polska będzie stała przed bardzo trudnym zadaniem: z jednej strony, będzie musiała utrzymać nowe spalarnie, zapewniając

im strumień odpadów, a z drugiej – zapewnić realizację celów gospodarki o obiegu zamkniętym, czyli recykling. W przypadku niedopełnienia któregoś z tych zadań Polska poniesie konsekwencje finansowe (kary lub konieczność zwrotu środków unijnych przeznaczonych na finansowanie inwestycji). Jednocześnie Polska dysponuje znaczną ilością odpadów powstałych w instalacjach MBP, które nie mogą być składowane i nie posiada wystarczającej liczby instalacji do ich przetwarzania.

Kluczowym wskaźnikiem dla gospodarki o obiegu zamkniętym jest wskaźnik recyklingu odpadów komunalnych. Najwyższy poziom wśród analizowanych krajów mają Niemcy (powyżej 60%), a mimo to nadal są w stanie go podwyższać w tempie ok. 1-2% rocznie. Średnia unijna w tym zakresie to ok. 40%. Wskaźnik Polski jest porównywalny z unijnym, a słoweński przekracza go o ok. 10 pp. Powszechnie Słowenię podaje się jako przykład sukcesu w rozwoju systemu gospodarki odpadami komunalnymi. Jednak postęp, którego w tym zakresie dokonała Polska i Słowenia w badanym przedziale czasu jest podobny, a trzeba pamiętać, że Słowenia swój system wdrażała ok. 10 lat, a Polska od 2013 r. We wszystkich analizowanych krajach na wartość wskaźnika recyklingu składa się recykling materiałowy. Recykling biologiczny (kompostowanie i fermentacja) stanowi w UE tylko 36% recyklingu całkowitego. Na podobnym poziomie jest Polska (34-38%) i Niemcy (27%). Znacznie słabiej wypada tu Słowenia, gdzie ten sposób recyklingu to ok. 14%, mimo że prowadzona jest selektywna zbiórka odpadów żywnościowych i nie ma spalarni odpadów. Biorąc pod uwagę założone cele w tym zakresie, to właśnie ten obszar wymaga znacznej poprawy dla przybliżenia do gospodarki o obiegu zamkniętym.

W zakresie ograniczania składowania najlepiej prowadzą swoją gospodarkę Niemcy, składując tylko odpady resztkowe. Słowenia składowuje nieco powyżej 20% odpadów wytworzonych w 2015 r. i zredukowała tę ilość o blisko 50 pp w badanym okresie. Polska aż takich sukcesów nie ma i swoją ilość odpadów składowanych zredukowała o ok. 30 pp, co i tak jest wynikiem dwukrotnie lepszym niż średnia w UE. W oficjalnych statystykach Polska wytwarza natomiast dużo mniej odpadów na osobę niż pozostałe kraje, ok. 40% mniej niż średnia unijna. Słowenia mieści się w średniej, a Niemcy wytwarzają o 20% więcej. Być może przyczyną tak dobrych wyników Polski są lepsze wzorce konsumpcji, co byłoby najkorzystniejszym zjawiskiem w gospodarce odpadami komunalnymi w długim okresie czasu. Bardziej prawdopodobne jest jednak, że część odpadów nie jest ujawniana w statystykach i w rzeczywistości wytwarzamy podobną ilość odpadów. We wszystkich analizowanych krajach niemal wszystkie odpady poddawane są przetwarzaniu. Tak jest w Niemczech i w Polsce i podobnie w UE. Jedynie w Słowenii ilość ta jest mocno zróżnicowana – od ok. 60 do 90% odpadów wytworzonych w ciągu analizowanych 9 lat, co może być spowodowane niestabilnością lub niewłaściwą konstrukcją systemu i/lub ograniczoną wiarygodnością danych.

Powszechnie Niemcy uważane są za lidera gospodarki odpadami komunalnymi. W ostatnich latach do liderów gospodarki odpadami zaliczana jest również Słowenia – jako kraj „nowej Unii”. Oba kraje stanowią dla Polski źródło dobrych praktyk i wzór do naśladowania. Tymczasem, wobec celów gospodarki o obiegu zamkniętym, pozycje liderów nie są już tak oczywiste. Wszystkie analizowane kraje mogą zwiększać swój wskaźnik recyklingu poprzez zwiększenie recyklingu biologicznego. Zwłaszcza w przypadku Polski i Słowenii działania te są koniecznością. Szczegółowa analiza zmian w sposobie gospodarowania odpadami i odniesienie ich do czasu, w jakim miały miejsce wskazuje, że słoweński system gospodarki odpadami komunalnymi wcale nie różni się bardzo od polskiego. Kluczowe znaczenie ma tu sposób obliczania wskaźnika recyklingu w oficjalnych danych, co powoduje, że Słowenia uzyskuje bardzo wysokie wartości tego wskaźnika. Dlatego w tekście, dla lepszej porównywalności, wszystkie wyliczenia dokonano w odniesieniu do ilości odpadów wytworzonych.

## Literatura:

- [1] Ciechelska A., 2017, *Czy inwestycje w gospodarce odpadami komunalnymi w Polsce służą gospodarce o obiegu zamkniętym?*, materiały konferencyjne Kompleksowa gospodarka odpadami, Abrys, Poznań.
- [2] *Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE w sprawie odpadów oraz uchylającej niektóre dyrektywy* (Dz.Urz. L365 z 19.12.2014, s. 89).
- [3] *Dyrektywa Rady 1999/31/WE w sprawie składowania odpadów* (Dz.Urz. WE L 182 z 16.07.1999, s. 1, z późn. zm.).
- [4] European Commission, 2013, *The opportunities to business of improving resource efficiency. Final report*, AMEC et al., [http://ec.europa.eu/environment/enveco/resource\\_efficiency/pdf/report\\_opportunities.pdf](http://ec.europa.eu/environment/enveco/resource_efficiency/pdf/report_opportunities.pdf) (dostęp: luty 2017 r.).
- [5] European Parliament, 2016, *Closing the loop. New circular economy package, Briefing*, [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/573899/EPRS\\_BRI\(2016\)573899\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/573899/EPRS_BRI(2016)573899_EN.pdf) (dostęp: luty 2017 r.).
- [6] Fischer Ch., 2013, *Municipal waste management in Germany*, EEA, file:///C:/Users/User/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge\_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/Germany\_MSW%20(3).pdf (dostęp: luty 2017 r.)
- [7] Komisja Europejska, 2014, Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. *Ku gospodarce o obiegu zamkniętym: program „zero odpadów dla Europy”*, Bruksela, 25.9.2014 COM (2014) 398 final/2, [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014DC0398R\(01\)&from=EN](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014DC0398R(01)&from=EN) (dostęp: luty 2017 r.).
- [8] Komisja Europejska, 2017, Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. *Przegląd wdrażania polityki ochrony środowiska UE – wspólne wyzwania i jak łączyć wysiłki by*



- uzyskać lepsze wyniki, Bruksela, dnia 3.2.2017 r. COM (2017) 63 final, [http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:602f44b6-ec53-11e6-ad7c-01aa75ed71a1.0009.02/DOC\\_1&format=PDF](http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:602f44b6-ec53-11e6-ad7c-01aa75ed71a1.0009.02/DOC_1&format=PDF) (dostęp: luty 2017).
- [9] Komisja Europejska 2010, Komunikat Komisji, Europa 2020. *Strategia na rzecz inteligentnego i zrównoważonego rozwoju sprzyjającego włączeniu społecznemu*, Bruksela, KOM(2010) 2020.
- [10] Małecki P., 2009, *Oplaty ekologiczne w Polsce. Analiza i ocena za lata 2002-2007*, UE Kraków, Kraków.
- [11] Merta E., 2016, *Country fact sheet. Municipal waste management, Germany*, EEA, European Topic Centre on Waste and Materials In Green Economy.
- [12] Merta E., 2016, *Country fact sheet. Municipal waste management, Poland*, EEA, European Topic Centre on Waste and Materials In Green Economy, [http://wmge.eionet.europa.eu/sites/etc-wmge.vito.be/files/Poland\\_MSW\\_2016.pdf](http://wmge.eionet.europa.eu/sites/etc-wmge.vito.be/files/Poland_MSW_2016.pdf) (dostęp: luty 2017).
- [13] *Obwieszczenie Ministra Rozwoju Regionalnego z dnia 5 listopada 2007 r. w sprawie listy projektów indywidualnych dla Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko na lata 2007-2013* (M.P. 2007 nr 85, poz. 916).
- [14] OECD, 2013, *Waste Management Service, Policy Roundtables*, DAF/COMP(2013)26, <http://www.oecd.org/daf/competition/Waste-management-services-2013.pdf> (dostęp: luty 2017).
- [15] Paleari S., 2016, *Country fact sheet. Municipal waste management, Slovenia*, EEA, European Topic Centre on Waste and Materials In Green Economy, [http://wmge.eionet.europa.eu/sites/etc-mge.vito.be/files/Slovenia\\_MSW\\_2016.pdf](http://wmge.eionet.europa.eu/sites/etc-mge.vito.be/files/Slovenia_MSW_2016.pdf).
- [16] Komisja Europejska, 2017, *Sprawozdanie Komisji dla Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów na temat wdrażania planu działania na rzecz gospodarki o obiegu zamkniętym*, komisja Europejska, Bruksela dnia 26.1.2017, COM (2017) 33 final.
- [17] *Ustawa z dnia 25 stycznia 2013 r. o zmianie ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach* (Dz.U. z 2013 r., poz. 228 z późn. zm).
- [18] *Uchwała nr 88 Rady Ministrów z dnia 1 lipca 2016 r. w sprawie Krajowego planu gospodarki odpadami 2022*, Monitor Polski 2016, poz. 784.
- [19] *Uchwała Rady Ministrów nr 233 z 29 grudnia 2006 r. w sprawie Krajowego Planu Gospodarki Odpadami 2010* (M.P. nr 90, poz. 946).





## **Część II**

# Zastosowanie narzędzi IT i edukacja ekologiczna



**dr hab. inż. Krzysztof Gaska**

*Politechnika Śląska*

**dr hab. inż. Agnieszka Generowicz, prof. PK**

*Politechnika Krakowska*

## Zwirtualizowana przestrzeń badawcza dla sektora infrastruktury komunalnej w metropoliach

---

### Streszczenie

Poszukiwanie optymalnych rozwiązań technologicznych zarówno hard i soft (systemy teleinformatyczne) w gospodarce niskoemisyjnej, w tym szczególnie energetycznej, wodno-ściekowej czy odpadowej, wymaga specjalistycznej, dziedzinowej wiedzy, która przy wykorzystaniu zaawansowanych rozwiązań może stanowić kluczowy element w inteligentnych systemach ICT czasu rzeczywistego. Modelowanie numeryczne pozwala budować systemy oparte na wiedzy o skomplikowanych systemach, procesach i urządzeniach w stosunkowo krótkim czasie. Jest ono szczególnie istotne w kontekście optymalizacji procesów, wymagających złożonych obliczeń dla jednego przypadku (budowanie rzeczywistych modeli dla każdego z wariantów rozwiązania jest niemożliwe z przyczyn technicznych). Modele tego typu są wykorzystywane w każdej z dziedzin energetyki i inżynierii środowiska, począwszy od symulacji pojedynczych urządzeń, przez projekty układów elektroenergetycznych, takich jak elektrownie, do modeli technicznych i społecznych całych systemów dla regionu czy kraju.

W tekście przedstawiono autorskie zaawansowane technologicznie rozwiązanie – system ekspertowy oparty na predefiniowanym środowisku komponentowym. System klasy HPC (High Performance Computing) działający w czasie rzeczywistym to środowisko zorientowane komponentowo, z dziedzinową (dedykowaną) bazą wiedzy reprezentującą elementy składowe procesów technologicznych w obszarze zarządzania infrastrukturą komunalną w metropoliach.

### Virtualized Research Space for Municipal Infrastructure in Metropolitan Area

#### Abstract

Seeking the best in technology, both hard and soft, in a low-carbon economy, including energy, water and sewage, or waste, requires specialized, domain knowledge that can be a key element in intelligent real-time ICT systems. Numerical modeling allows you to build knowledge-based systems with complex systems, processes and devices in relatively short time. It is particularly important in the context of process optimization, requiring complex case-by-case calculations (it is technically impossible to build real models for each variant solution). Models of this type are used in every field of power engineering and environmental engineering, from simulation of individual devices, power system designs such as power plants to technical and social models of whole systems for a region or country.

The article presents a technologically advanced solution – an expert system based on a predefined component environment. The real-time HPC (High Performance Computing) system is a component-oriented environment, with a dedicated (knowledge base) component that represents components of technological processes in the management of metropolitan infrastructure in metropolitan areas.

---

## Wprowadzenie

Systemy teleinformatyczne mogą pełnić rolę czynnika zarządzającego i sterującego systemami gospodarki odpadami, systemami energetycznymi, aspektami zarządzania środowiskiem, w tym m.in. gospodarką niskoemisyjną czy systemami wodno-kanalizacyjnymi. Takie systemy powinny być pomocne dla pracowników jednostek samorządu terytorialnego (JST), jak i dla inwestorów oraz firm zajmujących się tymi zagadnieniami. Każdy system informatyczny wymaga jednak wprowadzania uporządkowanych danych, co gwarantuje otrzymanie zuniifikowanych i dobrze zinterpretowanych wyników. Unifikacja i transparentność wprowadzanych danych pozwoli na porównanie między sobą wartości z różnych jednostek administracyjnych, takich jak gminy, związki gmin, powiaty czy województwa. Dlatego też proponowany system i narzędzie informatyczne adresowane będą do pracowników gmin, aby dane pozyskane u źródła stanowiły gwarancję jakości i prawidłowego zarządzania. Ponadto, taki system musi być transparenty i intuicyjny, aby nie powodował trudności w obsłudze i interpretacji otrzymanych wyników.

W celu wsparcia realizowanych zadań statutowych w JST celowe jest ich wyposażenie w zaawansowane narzędzia informatyczne pozwalające usprawnić pracę poszczególnych wydziałów.

Zarządzanie tak dużymi systemami ma niewątpliwie charakter dynamiczny, ponieważ wiąże się z monitorowaniem wielu zjawisk i procesów (Dyson, Chang, 2005; Generowicz et al. 2012).

Zastosowanie w zarządzaniu zaawansowanych systemów informatycznych w postaci Systemów Wspomagania Decyzji (ang. *Decision Support Systems* – DSS) pozwala przejść z dotychczasowej biernej pozycji zarządzania do bardziej aktywnej ułatwiającej podjęcie decyzji podczas rozwiązywania problemów planistycznych. Wiele krajów UE dysponuje już kompleksowymi modelami oceny systemu gospodarki odpadami, wykorzystującymi zaawansowane modele informatyczne, które służą nie tylko do raportowania niezbędnych zmian, ale przede wszystkim do planowania i poszukiwania optymalnych rozwiązań uwzględniających zasady zrównoważonego rozwoju. W wielu z nich aspekty środowiskowe są mierzone w cyklu życia z wykorzystaniem metodyki LCA, a oceny ekonomiczne są prowadzone na podstawie analizy kosztów i korzyści czy oceny efektywności inwestycji. Ułatwia to zarówno proces podejmowania decyzji, jak i prowadzenie konsultacji społecznych.

## 1. Identyfikacja potrzeb miasta w zakresie realizacji zadań statutowych, w tym działań planistycznych, analitycznych, strategicznych, prognostycznych i sprawozdawczych

Transformacja światowych gospodarek w kierunku efektywnego wykorzystania zasobów naturalnych i obniżenia emisji zanieczyszczeń, w tym gazów cieplarnianych, staje się jednym z kluczowych wyzwań cywilizacyjnych. Negatywne konsekwencje zmian klimatu czy nieodwracalnej utraty części zasobów naturalnych, przy braku zintegrowanych, działań mogą być odczuwalne już w niedalekiej przyszłości. Gospodarka niskoemisyjna zakłada zintegrowany system działań przy wykorzystaniu wszystkich zaawansowanych technologii. Kluczowe znaczenie ma wdrażanie efektywnych, zaawansowanych technologicznie rozwiązań we wszystkich obszarach wytwarzania, dystrybucji i użytkowania energii w kontekście zmniejszenia zużycia energii i materiałów, zwiększania wykorzystania energii odnawialnej oraz wprowadzania proekologicznych innowacji technologicznych. Podejmowane działania determinowane są przyjętą strategią na rzecz ograniczenia zmian klimatu o znaczeniu globalnym. Dokument strategiczny regulujący rozwój gospodarki niskoemisyjnej to Pakiet klimatyczny, zawierający zapisy, które jednoznacznie obligują wszystkie państwa do osiągnięcia w 2020 r., w ramach UE:

- 20 % redukcji emisji gazów cieplarnianych,
- 20 % udziału energii odnawialnej w bilansie energetycznym,
- 20% oszczędności w zużyciu energii,
- 10% udziału biopaliw,

a także:

- uzyskanie znaczącej poprawy jakości powietrza poprzez wykorzystanie synergii działań w ramach działań na rzecz ochrony klimatu,
- uzyskanie oszczędności związanych z zastosowaniem bardziej energooszczędnych rozwiązań,
- wykorzystanie działań na rzecz klimatu dla rozwoju regionalnego i lokalnego,
- zaangażowanie do działań społeczeństwa w zakresie ochrony klimatu i środowiska,
- uzyskanie ogólnej poprawy stanu środowiska (Generowicz et al. 2012; Goedkoop, Spriensma 2001; Lozano, Valles 2007).

Podstawy prawne wymaganych działań wynikają z polityki klimatyczno-energetycznej oraz polityki ochrony powietrza UE (McDougall, Hruska 2000; White et al. 1996). Kluczowym dokumentem o znaczeniu strategicznym dla rozwoju zaawansowanych technologii determinujących zrównoważony rozwój gospodarczy, przy jednoczesnym zapewnieniu redukcji zmian w środowisku, jest „Europa 2020 – Strategia na rzecz inteligentnego i zrównoważonego rozwoju sprzyjającego włączeniu społecz-

nemu” (KOM (2010) 2020 wersja ostateczna). Strategia obejmuje trzy wzajemnie ze sobą powiązane priorytety:

1. Rozwój inteligentny: rozwój gospodarki opartej na wiedzy i innowacji.
2. Rozwój zrównoważony: wspieranie gospodarki efektywniej korzystającej z zasobów, bardziej przyjaznej środowisku i bardziej konkurencyjnej.
3. Rozwój sprzyjający włączeniu społecznemu: wspieranie gospodarki o wysokim poziomie zatrudnienia, zapewniającej spójność społeczną i terytorialną.

Realizacja zadań takiego systemu obejmuje:

- stopniowe wycofywanie dotacji szkodliwych dla środowiska, stosując wyjątki jedynie w przypadku osób znajdujących się w trudnej sytuacji społecznej,
- stosowanie instrumentów rynkowych, takich jak zachęty fiskalne i zamówienia publiczne, w celu zmiany metod produkcji i konsumpcji,
- tworzenie inteligentnej oraz w pełni zintegrowanej infrastruktury transportowej i energetycznej przy wykorzystaniu potencjału technologii ICT,
- zapewnienie skoordynowanej realizacji projektów infrastrukturalnych w ramach sieci bazowej UE, które będą miały ogromne znaczenie dla efektywności całego systemu transportowego UE,
- wykorzystywanie regulacji prawnych w zakresie efektywności energetycznej budynków i instrumentów rynkowych, takie jak podatki, dotacje i zamówienia publiczne, w celu ograniczenia zużycia energii i zasobów, a także stosowanie funduszy strukturalnych na potrzeby inwestycji w zakresie podnoszenia efektywności energetycznej w budynkach użyteczności publicznej (Gaska, Generowicz 2009; Generowicz et al. 2011).

Systemy teleinformatyczne mogą pełnić rolę czynnika zarządzającego i sterującego również systemami gospodarki odpadami regionu i być pomocne dla pracowników JST, jak również inwestorów i firm zajmujących się gospodarką odpadami. Zgodnie z ustawą obowiązkiem gminy jest dokonywanie corocznej analizy stanu gospodarki odpadami komunalnymi. Analiza ta ma zweryfikować możliwości techniczne i organizacyjne gminy w zakresie możliwości przetwarzania odpadów komunalnych, potrzeb inwestycyjnych, kosztów systemu gospodarki odpadami komunalnymi. Ma również dostarczyć informacji o liczbie mieszkańców, liczbie właścicieli nieruchomości, którzy nie wykonują obowiązków określonych w ustawie, a także ilości odpadów komunalnych wytwarzanych na terenie gminy, w szczególności zmieszanych odpadów komunalnych, odpadów zielonych oraz pozostałości z sortowania przeznaczonych do składowania. Są to niezbędne informacje dla stworzenia systemu gospodarki odpadami komunalnymi. Na gminie spoczywają również obowiązki prowadzenia działań informacyjnych i edukacyjnych w zakresie prawidłowego gospodarowania odpadami komunalnymi, w szczególności selektywnego zbierania odpadów komunalnych. W celu wsparcia realizowanych zadań statutowych w JST konieczne jest wyposażenie ich w zaawansowane narzędzia informatyczne, pozwala-

jące usprawnić pracę poszczególnych wydziałów w zakresie obowiązków określonych przepisami (Gaska, Wandrasz 2008; Gaska, Generowicz 2009; Generowicz et al. 2011; Lozano, Valles 2007).

W przypadku systemu odbioru i oczyszczania ścieków zbiór elementów, których integracja nastąpi poprzez wprowadzenie systemu sterowania predykcyjnego jest podobny i uwzględnia:

- sterowanie procesem oczyszczania ścieków pozwalające na minimalizację kosztów oczyszczania, uwzględniające zmienność w czasie składu i ilości dopływających ścieków,
- procesy oczyszczania ścieków zmiennych warunków atmosferycznych i dostosowanie procesu oczyszczania do przewidywanej ilości i jakości ścieków,
- sterowanie siecią kanalizacyjną i jej urządzeniami w oparciu o model hydrauliczny, prowadzące do minimalizacji kosztów zużycia energii i optymalizacji pracy urządzeń sieciowych,
- identyfikację odcinków sieci kanalizacyjnej, na których występuje wysoka infiltracja, co powoli na właściwe planowanie inwestycji odtworzeniowych na sieci,
- inwentaryzację i wizualizację sieci i urządzeń w systemie GIS, pozwalającym na planowanie rozbudowy sieci kanalizacyjnej z uwzględnieniem terenów, na których funkcjonowanie zbiorcze systemu kanalizacyjnego ma uzasadnienie ekonomiczne (realizacja scenariusza „co, jeśli?”).

Przewagą proponowanego systemu sterowania nad innymi dotychczas funkcjonującymi jest element przewidywania przyszłych zdarzeń. Cecha ta, w połączeniu z samouczącym się inteligentnym systemem sterowania, pozwala nie tylko reagować na bieżąco na zmiany stanu czujników, ale również przewidywać te zmiany i z odpowiednim wyprzedzeniem korygować działanie systemu, przygotowując go na przewidywany rozwój sytuacji, co ma szczególnie duże znaczenie w systemach o dużej bezwładności, takich jak rozległe sieci wodociągowe i kanalizacyjne.

Zintegrowane rozwiązanie informatyczne umożliwi wykorzystanie danych generowanych przez narzędzia i moduły monitorujące parametry pracy systemów oraz ich przetwarzanie w lokalnych serwerach czy w systemie nadrzędnym, bezpośrednio jako parametrów do zrealizowania funkcji sterowania, dostępnych na poziomie obiektowym. Umożliwia to również organizowanie zaawansowanych scenariuszy sterowania, np. oświetleniem czy ogrzewaniem/wentylacją pomieszczeń zależnie od obecności osób lub innych parametrów zewnętrznych (temperatura, intensywność oświetlenia, stężenie CO<sub>2</sub> itp. – sygnały z rozproszonych na obiekcie czujników), jednak dodatkowo z uwzględnieniem sygnałów i danych dotyczących zużycia energii, poziomów obciążenia obwodów zasilających, okresów z różnymi taryfami cen energii itd.



## 2. Zespoły ds. zarządzania energią i środowiskiem w jednostkach samorządu terytorialnego

Beneficjentami proponowanego rozwiązania będą użytkownicy na różnych poziomach decyzyjnych w sektorach:

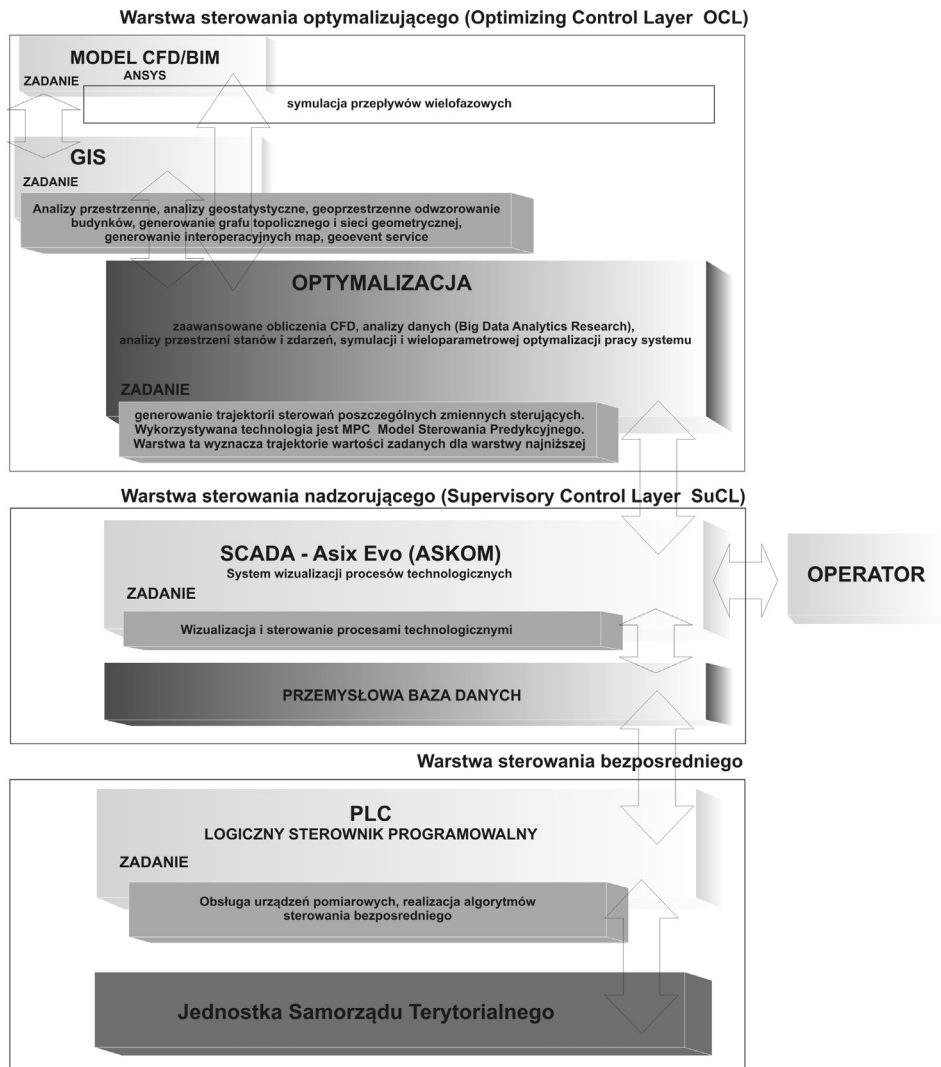
- gospodarki komunalnej (zarządzanie energią i środowiskiem w infrastrukturze komunalnej),
- gospodarki wodno-ściekowej (w zakresie inteligentnego zarządzania energią i środowiskiem).

Proponowany system *EnviroLab Enterprise Solution Platform.NEnviroT Framework* zapewni, dzięki specjalistycznym dedykowanym (dziedzinowym) narzędziom typu SMART (klasy HPC) wbudowanym w system, wspomaganie decyzji w zakresie rozwiązywania standardowych zadań statutowych JST oraz zaawansowanych analiz procesów technologicznych, w tym dystrybucji energii cieplnej i elektrycznej, paliw, gospodarki odpadami oraz wodno-ściekowej.

Szczególnie ważny jest sektor JST, tj. Wydziały Gospodarki Komunalnej, Ekologii, Planowania Strategicznego, Inwestycji, Zarządzania Energią i Środowiskiem – w zakresie systemu wspomaganie decyzji SDSS do monitorowania, bilansowania, prognozowania i wskazywania czynników wpływających na niestabilną pracę systemu dystrybucji energii cieplnej, poprzez wykorzystanie np. interpretera przestrzeni stanów i zdarzeń.

Zespoły ds. zarządzania energią i środowiskiem w gminach zyskują w ten sposób nowe narzędzie monitoringu zużycia energii i mediów, bez konieczności instalowania dodatkowej dedykowanej sieci, modułów systemowych itp. (zob. rys. 1).

Liczniki i moduły monitorujące, z interfejsami sieciowymi odpowiednimi do standardowych sieci automatyki budynkowej poziomu obiektowego, są bezpośrednio przyłączane do sieciowych kanałów komunikacyjnych. Takie zintegrowane rozwiązanie umożliwia wykorzystanie danych generowanych przez liczniki i moduły monitorujące parametry zasilania lub też wyników ich przetwarzania w lokalnych serwerach czy w systemie nadrzędnym, bezpośrednio jako parametrów do zrealizowania funkcji sterowania, dostępnych na poziomie obiektowym. Umożliwia to również organizowanie zaawansowanych scenariuszy sterowania np. oświetleniem czy ogrzewaniem lub wentylacją pomieszczeń, zależnie od obecności osób lub innych parametrów zewnętrznych (temperatura, intensywność oświetlenia, stężenie CO<sub>2</sub> itp. – sygnały z rozproszonych na obiekcie czujników), jednak dodatkowo z uwzględnieniem sygnałów i danych dotyczących zużycia energii, poziomów obciążenia obwodów zasilających, okresów z różnymi taryfami cen energii itd. Taka funkcjonalność otwiera nowe obszary w zakresie poprawy efektywności energetycznej budynków, obniżenia ich kosztów eksploatacyjnych, poprawy funkcji użytkowych współczesnych budynków, zwłaszcza użyteczności publicznej, komercyjnych, biurowych oraz przemysłowych.



**Rysunek 1. Warstwa sterowania optymalizującego w zespole zarządzania energią**

Źródło: Opracowanie własne.

Ponadto, możliwe staje się zarządzanie popytem – *Demand Response*, a w perspektywie wykorzystanie energii ze źródeł odnawialnych do zasilania pojedynczych budynków lub całych kampusów czy osiedli, wsparcie użytkownika takich obiektów w tzw. trybie prosumenckim, czyli okresowej konsumpcji i okresowej generacji energii.

## Wnioski – wymierne efekty zaproponowanych rozwiązań

W ramach specjalizacji SMART Management System (EMS) zostanie opracowany system ekspertowy oparty na predefiniowanym środowisku komponentowym *ProBuilding Objects.NET*, będącym jedną z kategorii środowiska *NEnteroT* (rozwiązanie autorskie). System klasy HPC (*nVidia CUDA*) działający w czasie rzeczywistym to środowisko zorientowane komponentowo, z dziedziczną (dedykowaną) bazą wiedzy reprezentującą elementy składowe procesów technologicznych w obszarze zarządzania systemami traktowanymi jako obiekty sterowania (BMS). Wszystkie zmienne związane z obsługiwanyimi urządzeniami będą na bieżąco aktualizowane poprzez serwery OPC UA systemu monitoringu i sterowania. System ten tworzy platformę do działania zaawansowanych algorytmów, stanowiąc rodzaj interfejsu pomiędzy systemem sterowania i monitoringu a sterownikami PLC. Konfiguracja systemu zapewni stały monitoring połączeń komunikacyjnych oraz automatyczną reakcję systemu w przypadku wystąpienia awarii, nagłych zmian parametrów itp. W systemie mogą być ponadto uwzględnione kluczowe wskaźniki wydajności, a wszystkie obliczenia niezbędne do optymalnej pracy systemu prowadzone są w czasie rzeczywistym przy wykorzystaniu równoległej architektury obliczeniowej. Przedmiotowy system zaawansowanego sterowania wieloparametrowego składa się z głównego sterownika typu MPC oraz indywidualnych sterowników MPC dla każdego z urządzeń składowych.

Działanie algorytmów predykcyjnych MPC opiera się na wykorzystaniu wiedzy o przyszłym zachowaniu się wielkości regulowanej, w celu wyznaczenia wartości zmiennych sterujących. Przewidując przyszłe wartości parametrów regulowanych, korzysta się z modelu matematycznego obiektu sterowania (model obiektu sterowania), wcześniejszych wartości sygnału sterującego oraz wartości sygnałów zakłócających (przeszłych, teraźniejszych i ewentualnie przyszłych). Podstawowe zalety sterowania predykcyjnego to:

- możliwość stosowania dla obiektów oraz procesów liniowych i nieliniowych,
  - budowa układów sterowania typu SISO (*Single Input Single Output*) i MIMO (*Multiple Input Multiple Output*),
  - uwzględnienie ograniczeń zmiennych procesowych,
  - uwzględnienie wewnętrznych interakcji w obiekcie sterowania, dzięki wykorzystaniu modelu obiektu (regulator poprzez model obiektu sterowania ma wiedzę o obiekcie),
  - uwzględnienie zmiennych opóźnień czasowych obiektów sterowania,
  - optymalizacja wskaźników ekonomicznych związanych ze sterowaniem.
- Algorytm MPC uwzględnia bezpośrednio ograniczenia różnego typu, w tym:
- ograniczenia wartości zmiennych sterujących,
  - ograniczenia przyrostów wartości zmiennych sterujących,

- ograniczenia zmiennych wyjściowych,
- ograniczenia zmiennych technologicznych, które są formułowane analogicznie do ograniczeń na zmienne wyjściowe.

## Literatura:

- [1] Dyson B., Chang N.B., 2005, *Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modelling*, "Waste Management" 25 (7).
- [2] Gaska K., Wandrasz A., 2008, *Mathematical modelling of biomass fuels formation process*, "Waste Management" 28 (6).
- [3] Gaska K., Generowicz A., 2009, *Modelling of the integrated waste management systems using graph-oriented data structures*, XII International Waste Management and Landfill Symposium, S. Margherita di Pula (Cagliari), Sardinia.
- [4] Generowicz A., Kowalski Z., Kulczycka J., Banach M., 2011, *Ocena rozwiązań technologicznych w gospodarce odpadami komunalnymi z wykorzystaniem wskaźników jakości technologicznej i analizy wielokryterialnej*, „Przemysł Chemiczny” 90 (5).
- [5] Generowicz A., Kowalski Z., Makara A., Banach M., 2012, *The application of multi-criteria analysis in the management of waste in Cracow, Poland*, "Waste Management" 32.
- [6] Goedkoop M., Spriensma R., 2001, *The Eco-indicator 99: A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Methodology Report*, Amersfoort (Holandia).
- [7] Lozano M., Valles J., 2007, *An analysis of the implementation of an environmental management system in a local public administration*, "Journal of Environmental Management" 82 (4).
- [8] McDougall F., Hruska J.P., 2000, *The use of Life Cycle Inventory tools to support an integrated approach to solid waste management*, "Waste Management & Research" 18 (6).
- [9] White P.R., Franke M., Hindle P., 1996, *Integrated Solid Waste Management. A Life Cycle Inventory*, McGraw-Hill, London.
- [10] <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20140328084622/http://www.environment-agency.gov.uk/research/commercial/102922.aspx> (dostęp: 22.01.2015).

**mgr inż. Jacek Pietrzyk**

*ATMOTERM S.A., AGH Akademia Górniczo-Hutnicza  
im. Stanisława Staszica w Krakowie*

**mgr inż. Joanna Leoniewska-Gogola**

*ATMOTERM S.A.*

# Narzędzia IT w gospodarce odpadami jako wsparcie w monitorowaniu i sprawozdawczości

---

## Streszczenie

Sprawozdawczość kojarzona jest powszechnie z przykrym obowiązkiem, za niewypełnienie którego może grozić kara. Spojrzenie na ten obowiązek jako na jeden z elementów sprawnego zarządzania zupełnie zmienia podejście do zagadnienia. W tekście, wykorzystując rzeczywiste dane z 2015 r., przedstawiono najczęstsze problemy gmin związane z nadzorem nad gospodarką odpadami oraz zalety rozwiązań informatycznych, które już dziś wspomagają, i które będą wspierać, efektywne zarządzanie przepływem strumienia odpadów oraz dokumentów poświadczających jego zagospodarowanie. Celem publikacji jest wykazanie, iż efektywne zarządzanie musi być oparte na danych przekazywanych w czasie rzeczywistym, rozumianym np. jako dzienne rozliczenie. Autorzy wykazują, że nie ma niepotrzebnych sprawozdań, są tylko niewykorzystane dane. To stopień przetworzenia informacji zawartych w sprawozdaniach daje przewagę konkurencyjną i świadomość zarządczą, która przy wykorzystaniu wiarygodnych danych, w odpowiednio zaprojektowanych systemach zintegrowanej sieci połączeń, doprowadzi do zakładanego ujednolicenia standardów gospodarki odpadami oraz zwiększy przychody z tytułu podatków i opłat. Dzięki zebraniu wszystkich danych w systemach IT, możliwe będzie sprawne zarządzanie i działanie w kierunku zrównoważenia gospodarki ze środowiskiem, w którym odpady to przede wszystkim surowce do wykorzystania w ramach *circular economy*. Dane przedstawiane w tekście zostały pobrane w ramach udostępniania informacji o środowisku z urzędów marszałkowskich, urzędów gmin, a następnie przetworzone z wykorzystaniem algorytmów opracowanych przez ATMOTERM S.A.

## IT Systems in Waste Management as Supporting Monitoring and Reporting

### Abstract

Reporting is commonly associated with an annoying obligation threatened with punishment if not completed on time. However, this obligation could be one of the key elements of good governance, which completely changes the approach to reporting. The text, based on true data, presents the most common issues which are faced by municipalities in waste management and the benefits of IT solutions supporting the effective management of the waste stream and documents evidencing its management, currently used and will be used in the future. Effective management must be based on real-time data, such as daily settlement. The authors show that there are no unnecessary reports but only unused data. In their opinion

degree of processing of the information contained in the reports provides a competitive advantage and management awareness that, using reliable data, in properly designed systems of integrated network connections, will lead to standardization of waste management and will increase revenues from taxes and fees. Collecting all data in IT systems, will enable efficient management and work towards sustainability of economy and environment, pointing out that waste is primarily raw materials used in the circular economy. The data presented in the text were collected as part of public access to environmental information from the governor's and municipal offices, and then processed using algorithms developed by ATMOTERM S.A.

---

## 1. Cele i kierunki w gospodarce odpadami

### Polityka Unii Europejskiej

Polska jako kraj członkowski UE jest zobowiązana implementować do swojego porządku prawnego rozwiązania Dyrektyw Unii Europejskiej. Podstawowym aktem prawnym UE w zakresie odpadów jest Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy. Nie bez znaczenia są komunikaty Komisji Europejskiej ukazujące kierunki polityki gospodarczej w zakresie odpadów. Mowa tutaj o Komunikacie Komisji Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów (*Zamknięcie obiegu – plan działania UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym*) z grudnia 2015 oraz konkluzjach Rady z 20 czerwca 2016 r. (*Council conclusions on the EU action plan for the circular economy*). Z wymienionych dokumentów jednoznacznie wynika, że kraje członkowskie, celem ochrony zasobów pierwotnych oraz ograniczenia wpływu odpadów na środowisko, powinny dążyć do opierania gospodarki na surowcach z odzysku. Działania te mają tworzyć niskoemisyjną, zasobooszczędną i konkurencyjną gospodarkę. Realizacja idei cyrkulacyjnej gospodarki rozpoczyna się od projektowania produktów oraz procesów produkcyjnych, poprzez sposób użytkowania, aż po przetwarzanie produktów, które stały się odpadami. Surowce to nie tylko pierwiastki krytyczne, ale również powszechnie występujące materiały, np. tworzywa sztuczne. Istotną wagę przywiązuje się do potencjału zawartego w odpadach ulegających biodegradacji, których przetwarzanie w Polsce uznawane jest przez wiele gmin jedynie za kosztowny obowiązek.

### Krajowy Plan Gospodarki Odpadami 2022

Krajowy Plan Gospodarki Odpadami 2022 (zwany dalej KPGO 2022) stanowi o polityce państwa wobec wszystkich dwudziestu grup odpadów określonych w katalogu odpadów (zob. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014 r. w sprawie katalogu odpadów). Najwięcej zapisów poświęconych jest odpadom komunalnym oraz odpadom powstającym z ich przetwarzania. KPGO 2022 określa

cele horyzontalne uwzględniające politykę i kierunki wyznaczone przez Unię Europejską. W dokumencie nie ma mowy wprost o gospodarce cyrkulacyjnej, jednak wskazane wymagania dotyczące sposobów postępowania z odpadami jednoznacznie wskazują na realizację takiej właśnie polityki. Wśród istotnych celów, jakie stawiane są przed zarządzającymi odpadami komunalnymi wyróżnić należy:

- osiągnięcie wymaganego poziomu recyklingu i przygotowania do ponownego użycia papieru, metali, tworzyw sztucznych i szkła pochodzących ze strumienia odpadów komunalnych w wysokości 50% ich masy do 2020 r.,
- nieprzekroczenie 30% udziału masy termicznie przekształcanych odpadów komunalnych oraz odpadów pochodzących z przetworzenia odpadów komunalnych w stosunku do wytworzonych odpadów komunalnych do 2020 r.,
- poddanie recyklingowi 60% odpadów komunalnych do 2025 r.,
- poddanie recyklingowi 65% odpadów komunalnych do 2030 r.,
- redukcja składowanych odpadów komunalnych do maksymalnie 10% do 2030 r.

Ważnym celem jest także ograniczanie wytwarzania masy zmieszanych odpadów komunalnych. Cele pośrednie w tym zakresie to ujednoczenie systemów selektywnego zbierania odpadów w gminach oraz zapewnienie odbierania odpadów zielonych i innych bioodpadów u źródła do końca 2021 r.

### **Wojewódzkie Plany Gospodarki Odpadami na lata 2016-2022**

Pierwsze wojewódzkie plany gospodarki odpadami na lata 2016–2022 wraz z załącznikami uchwalone zostały pod koniec 2016 r. Po blisko dwuletnich pracach, jako ostatni w Polsce (w czerwcu 2017 r.), swój Plan przyjął Sejmik Województwa Łódzkiego. Spośród załączników do WPGO określonych w ustawie o odpadach (Dz.U. z 2016 r., poz. 1987, z późn. zm.) najwięcej emocji wzbudzał plan inwestycyjny zawierający listę istniejących i planowanych instalacji do przetwarzania odpadów komunalnych. Powodem takiego stanu rzeczy jest treść art. 38a tej ustawy: „Jeżeli instalacja, przeznaczona do przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych, odpadów zielonych oraz przeznaczonych do składowania pozostałości z sortowania odpadów komunalnych i pozostałości z procesu mechaniczno-biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych, nie została ujęta w wojewódzkim planie gospodarki odpadami, odmawia się wydania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach, pozwolenia na budowę, pozwolenia zintegrowanego lub zezwolenia na przetwarzanie odpadów w tej instalacji”. Treść planów inwestycyjnych jest przedmiotem wielu sporów pomiędzy przedsiębiorcami a zarządami województw, a jednym z istotnych powodów uchwalania i aktualizowania WPGO była potrzeba sporządzenia bilansu masy odpadów w stosunku do mocy przerobowych instalacji, które mogą je przetwarzać. W tym celu korzystano z danych o masach zebranych i odebranych odpadów komunalnych w 2014 r., pochodzących ze sprawozdań wójtów, burmistrzów i prezydentów miast, składanych na formularzu, który został określony



rozporządzeniem Ministra Środowiska z 15 maja 2012 r. (zob. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 15 maja 2012 r. w sprawie wzorów sprawozdań o odebranych odpadach komunalnych, odebranych nieczystościach ciekłych oraz realizacji zadań z zakresu gospodarowania odpadami komunalnymi). To właśnie te dane, a raczej ich rzetelność i wiarygodność, stanowiły kwestionowaną przez wielu podstawę do prognozowania masy odpadów na lata 2016-2022 wraz z perspektywą nawet do 2030 r.

Niniejsze prognozy oraz zapisy WPGO istotne są z punktu widzenia uchwały w sprawie wykonania wojewódzkiego planu gospodarki odpadami, w której wskazuje się regionalne instalacje przetwarzania odpadów komunalnych (RIPOK) oraz instalacje do zastępczej obsługi regionów gospodarki odpadami. Do RIPOK trafiać mają bowiem zmieszane odpady komunalne, selektywnie zebrane odpady zielone i inne ulegające biodegradacji oraz pozostałości z sortowania odpadów komunalnych, jeśli przeznaczone są do składowania, a instalacje do zastępczej obsługi regionów po 1 lipca 2018 r. będą mogły przyjmować wyżej wymienione odpady tylko w przypadku posiadania statusu RIPOK (zob. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach).

### **Akty prawne wpływające na organizację systemu gospodarki odpadami w gminie**

Do realizacji celów wyznaczonych w KPGO 2022 oraz WPGO 2016 Minister Środowiska i Rada Ministrów tworzą uwarunkowania prawne i ekonomiczne, które mają zachęcać i dyscyplinować samorządy w zakresie właściwego postępowania z odpadami. W ostatnim czasie wydano rozporządzenia:

– **Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 grudnia 2016 r. w sprawie szczegółowego sposobu selektywnego zbierania wybranych frakcji odpadów**, które zobowiązuje wszystkie gminy w Polsce do ujednocnienia kolorystyki i oznaczeń pojemników i/lub worków służących do zbierania odpadów. Rozporządzenie wskazuje na okresy przejściowe wdrażania jego zapisów. Ostatecznie w pełni wdrożona standaryzacja będzie obowiązywać od lipca 2022 r. Minimalne wymagania w zakresie frakcji podlegającym standaryzacji zbierania określonych rozporządzeniem wskazano w tabeli 1.

– **Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 6 marca 2017 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie opłat za korzystanie ze środowiska**, którego głównym celem jest ekonomiczne oddziaływanie na gospodarujących odpadami mające prowadzić do zwiększenia poziomów przygotowania do ponownego użycia i recyklingu oraz znaczącego obniżenia udziału odpadów komunalnych i pochodzących z przetwarzania odpadów komunalnych przekazywanych do składowania. Ujednoczona stawka opłaty za umieszczanie odpadów na składowisku dla odpadów komunalnych przetworzonych i nieprzetworzonych ma zapobiegać także tzw. „przekodowaniu” odpadów, czyli procesom przetwarzania odpadów, które nie przynoszą oczekiwanych efektów ekologicznych, a jedynie korzyści ekonomiczne wynikające z niższych stawek opłat za składowanie odpadów po przetworzeniu (grupa 19 wg katalogu odpadów). Rozporządzenie definiuje



stawki na 2020 r. w maksymalnej wysokości dopuszczanej przez ustawę prawo ochrony środowiska, tj. 270 zł/Mg netto. Zaznaczyć jednak należy, że stawka ta ulega corocznie zmianie o wskaźnik inflacji, stąd jej ostateczna wysokość w 2020 r. może ulec zmianie. Wprowadzony mechanizm ekonomiczny w przypadku kilku grup odpadów zwiększa w ciągu 3 lat stawkę za ich składowanie nawet dziesięciokrotnie w stosunku do stawek obowiązujących w 2017 r. Dla tzw. stabilizatu (odpady o kodzie 19 05 99 i 19 06 04) stosowane będzie obniżenie opłaty podstawowej do jej 25%, w przypadku wypełnienia warunków dotyczących zapotrzebowania próbki na tlen, strat prażenia i zawartości węgla organicznego. Regulacje te wpłyną także w sposób znaczący na wysokość ewentualnych kar dla gmin za nieosiągnięcie wymaganych poziomów przygotowania do ponownego użycia, recyklingu, odzysku oraz ograniczenia składowania odpadów ulegających biodegradacji. Ich wysokość liczona jest jako iloraz stawki za składowanie zmieszanych odpadów komunalnych i masy brakującej do osiągnięcia wymaganych poziomów (art. 290 ustawy prawo ochrony środowiska).

**Tabela 1. Oznaczenia kolorystyczne pojemników do selektywnego zbierania wybranych frakcji odpadów komunalnych**

| Oznaczenie słowne pojemnika/worka | Kolor pojemnika/worka | Charakterystyka zbieranych odpadów  |
|-----------------------------------|-----------------------|---|
| Papier                            | niebieski             | odpady z papieru, w tym tektury, odpady opakowaniowe z papieru i odpady opakowaniowe z tektury  |
| Szkło                             | zielony               | odpady ze szkła, w tym odpady opakowaniowe ze szkła   |
| Szkło bezbarwne*                  | biały                 | szkło bezbarwne   |
| Szkło kolorowe*                   | zielony               | szkło kolorowe  |
| Metale i tworzywa sztuczne        | żółty                 | odpady metali, w tym odpady opakowaniowe z metali, odpady tworzyw sztucznych, w tym odpady opakowaniowe tworzyw sztucznych, oraz odpady opakowaniowe wielomateriałowe |
| Bio                               | brązowy               | odpady ulegające biodegradacji, ze szczególnym uwzględnieniem bioodpadów  |

\*opcjonalnie

– **Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 grudnia 2016 r. w sprawie poziomów recyklingu, przygotowania do ponownego użycia i odzysku innymi metodami niektórych frakcji odpadów komunalnych**, które w stosunku do wcześniej obowiązującego rozporządzenia uregulowało kwestię wliczania do poziomów przygotowania do ponownego użycia i recyklingu odpadów opakowań wielomateriałowych. Rozszerzono zakres kodów odpadów uwzględnianych w obliczaniu poziomów przygotowania do ponownego użycia i recyklingu o grupę 19, czyli odpady wysortowane

w instalacjach. Nie zmieniono jednak podejścia do sposobu liczenia masy papieru, metali, tworzyw sztucznych i szkła (dalej PMTS) zawartej w zebranych i odebranych odpadach komunalnych. Rozporządzenie określa sposób liczenia (wzór 1) i wymagane poziomy dla łącznie liczonych odpadów papieru, metali, tworzyw sztucznych i szkła wg następującej klasyfikacji zgodnej z katalogiem odpadów: 15 01 01, 15 01 02, 15 01 04, 15 01 05, ex 15 01 06 – w części zawierającej papier, metal, tworzywa sztuczne, szkło, opakowania wielomateriałowe, 15 01 07, 19 12 01, 19 12 02, 19 12 03, 19 12 04, 19 12 05, 20 01 01, 20 01 02, 20 01 39, 20 01 40, ex 20 01 99 odpady papieru, metali, tworzyw sztucznych i szkła,

$$P_{\text{pmts}} = \frac{Mr_{\text{pmts}}}{Mw_{\text{pmts}}} \times 100\% \quad (1)$$

gdzie:

$P_{\text{pmts}}$  – poziom recyklingu i przygotowania do ponownego użycia papieru, metali, tworzyw sztucznych i szkła, wyrażony w %,

$Mr_{\text{pmts}}$  – łączna masa odpadów papieru, metalu, tworzyw sztucznych i szkła poddanych recyklingowi i przygotowanych do ponownego użycia, pochodzących ze strumienia odpadów komunalnych z gospodarstw domowych oraz od innych wytwórców odpadów komunalnych, wyrażona w Mg,

$Mw_{\text{pmts}}$  – łączna masa wytworzonych odpadów papieru, metalu, tworzyw sztucznych i szkła, pochodzących ze strumienia odpadów komunalnych z gospodarstw domowych oraz od innych wytwórców odpadów komunalnych, wyrażona w Mg, obliczana na podstawie wzoru:

dla gmin:

$$Mw_{\text{pmts}} = Lm \times Mw_{\text{GUS}} \times Ump_{\text{pmts}} \quad (2)$$

dla podmiotów odbierających i zbierających odpady komunalne poza zakresem zleconym przez gminę/związek międzygminny:

$$Mw_{\text{pmts}} = Mo \times Ump_{\text{pmts}} \quad (3)$$

gdzie:

$Lm$  – liczba mieszkańców gminy na podstawie rejestru bądź wg ilości z deklaracji odpadowych,

$Mw_{\text{GUS}}$  – masa wytworzonych odpadów komunalnych przez jednego mieszkańca na terenie województwa wg aktualnej wartości podanej przez GUS,

$Mo$  – łączna masa odebranych odpadów komunalnych od właścicieli nieruchomości z wyłączeniem grupy 17 (odpady budowlane i rozbiórkowe),

$Ump_{\text{pmts}}$  – udział łączny odpadów papieru, metali, tworzyw sztucznych, szkła i wielomateriałowych w składzie morfologicznym odpadów komunalnych.

Obliczający może użyć własnych wyników badań lub posłużyć się danymi z obowiązującego KPGO 2022, według którego wskaźniki przedstawiają się następująco:

**Tabela 2. Wskaźniki morfologii odpadów wg KPGO 2022**

| Rodzaj gminy             | Wskaźnik morfologii [%] |
|--------------------------|-------------------------|
| gminy wiejskie           | 31,80                   |
| miasta <50 tys. mieszk.  | 36,40                   |
| miasta > 50 tys. mieszk. | 49,30                   |

**Tabela 3. Relacja średniej ilości odpadów wg GUS do danych ze sprawozdań gmin w 2015 r.**

| Województwo  | Rodzaj gminy    | MwGUS [kg/M/rok] | Wartość średnia ze sprawozdań gmin |
|--------------|-----------------|------------------|------------------------------------|
| małopolskie  | wiejska         | 236              | 155                                |
|              | miejsko-wiejska |                  | 258                                |
|              | miejska         |                  | 395                                |
| dolnośląskie | wiejska         | 340              | 270                                |
|              | miejsko-wiejska |                  | 312                                |
|              | miejska         |                  | 386                                |
| lubuskie     | wiejska         | 328              | 251                                |
|              | miejsko-wiejska |                  | 267                                |
|              | miejska         |                  | 299                                |
| mazowieckie  | wiejska         | 311              | 179                                |
|              | miejsko-wiejska |                  | 256                                |
|              | miejska         |                  | 384                                |
| opolskie     | wiejska         | 279              | 263                                |
|              | miejsko-wiejska |                  | 315                                |
|              | miejska         |                  | 399                                |

Warto wskazać, że wskaźniki zamieszczone w KPGO 2022 mają swoje źródło w badaniach sprzed ponad 10 lat. Jak wynika z doświadczeń krajów zachodniej Europy, w takim okresie skład odpadów ulega znaczącym zmianom (Pająk 1996). Wartości te są mimo wszystko jednolite dla całej Polski, co może zniekształcać otrzymane wyniki na tle sprawozdawczości ogólnokrajowej. Istotniejszy jest publikowany corocznie przez GUS wskaźnik ilości wytworzonych odpadów w przeliczeniu na jednego mieszkańca – MwGUS (Rocznik Statystyczny Ochrony Środowiska, GUS 2016). Jest on odmienny dla każdego województwa, ogłaszany ok. 8 miesięcy po terminie opracowania sprawozdań przez gminy. Taka sytuacja sprawia, że do bieżących obliczeń gminy przyjmują wartości dotyczące masy odpadów poddanych wymaganym procesom według rzeczywistych mas, a wskaźnik MwGUS dotyczy roku wcześniejszego. Ponadto, metodyka wyliczania wskaźnika jest dalece odległa od rzeczywistości. Polega ona na podzieleniu masy odpadów zebranych i odebranych w województwie przez liczbę mieszkańców województwa. Takie podejście nie uwzględnia istotnych różnic w ilościach odpadów

trafiających do systemu z obszarów wiejskich i miejskich. Wykorzystanie niniejszego wskaźnika byłoby realne, jeśli wyznaczenie średniej byłoby oddzielne dla gmin wiejskich, miejsko-wiejskich i miejskich, co zastosowane zostało, w większości, w wojewódzkich planach gospodarki odpadami do prognozowania ilościowego masy na mieszkańca. Dla przykładu poniżej podano wartości dla kilku województw w 2015 r. wg GUS i wg średniej wyliczonej dla poszczególnych rodzajów gmin na podstawie sprawozdań wójtów, burmistrzów, prezydentów miast.

W tabeli 3 wskazano różnice pomiędzy rodzajami gmin w pięciu wybranych województwach. Z zestawienia danych wynika, iż w województwie lubuskim średnia podana przez GUS jest większa niż poszczególne wartości wyliczone dla różnych gmin na podstawie danych z ich sprawozdań. Stąd w tabeli 4 zamieszczono całkowite masy zebranych i odebranych odpadów komunalnych w zestawieniu: dane GUS i suma wartości ze sprawozdań gmin.

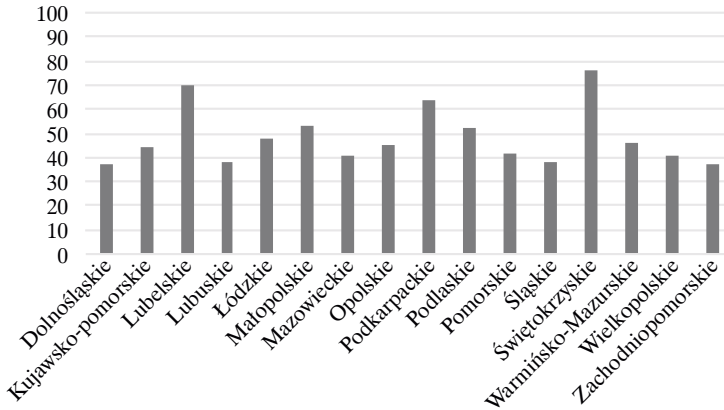
**Tabela 4. Łączna masa odpadów komunalnych wg GUS i sprawozdań gmin składanych Marszałkowi województwa za 2015 r.**

| Województwo  | Łączna masa zebranych i odebranych odpadów komunalnych [Mg] |                      |
|--------------|---|----------------------|
|              | Wg GUS  | Suma sprawozdań gmin |
| małopolskie  | 795 538,80  | 905 755,5            |
| dolnośląskie | 987 211,80  | 1 008 778,8          |
| lubuskie     | 334 313   | 352 915              |
| mazowieckie  | 1 659 644,90  | 1 634 378,2          |
| opolskie     | 278 447   | 313 375              |

W przypadku województw: dolnośląskiego, mazowieckiego, lubuskiego i opolskiego, różnice można uzasadniać metodyką zbierania danych lub sumą omyłek pisarskich. Jednak różnica o ponad 100 tys. Mg w województwie małopolskim powoduje niepokój co do rzetelności danych przekazywanych przez podmioty odbierające odpady oraz gminy. Powodem tych rozbieżności może być także czas składania sprawozdań. Gminy sprawozdają masy odpadów do GUS w styczniu, zaś do Marszałka Województwa w marcu, podczas gdy w okresie luty-marzec urzędy otrzymują od przedsiębiorców liczne korekty, a weryfikacja danych przez urząd marszałkowski powoduje zmiany w sprawozdaniach nawet cztery miesiące po ich złożeniu. Gminy jednak zazwyczaj nie przesyłają równoległe korekt do GUS. Jak istotną wartością jest MwGUS, zaprezentowano na rysunku 1. Widoczne na nim wartości to poziomy przygotowania do ponownego użycia i recyklingu papieru, metali, tworzyw sztucznych i szkła w gminie wiejskiej, którą zamieszkuje 20 tys. mieszkańców, a w 2015 r. odpady poddane wymienionym procesom stanowiły 800 Mg.

Różnice widoczne na rysunku spowodowane są wyłącznie przynależnością administracyjną tej hipotetycznej gminy. I tak, gdyby gmina była położona w województwie dolnośląskim lub zachodniopomorskim, to osiągnęłaby poziom 37%. Mając taką samą

masę odpadów poddanych recyklingowi w województwie świętokrzyskim, poziom ten wyniósłby odpowiednio 76%. We wszystkich przypadkach wzięto pod uwagę skład morfologiczny odpadów wg KPGO 2022.



**Rysunek 1. Poziomy przygotowania do ponownego użycia i recyklingu PMTS (%) w zależności od MwgUS**

Źródło: Opracowanie własne.

Rozporządzenie zawiera także sposób liczenia (wzór 4) i wymagane poziomy recyklingu, przygotowania do ponownego użycia i odzysku innymi metodami, innych niż niebezpieczne odpadów budowlanych i rozbiórkowych stanowiących odpady komunalne. Do tej grupy zaliczane są następujące kody odpadów: 17 01 01, 17 01 02, 17 01 03, 17 01 07, 17 02 01, 17 02 02, 17 02 03, 17 03 02, 17 04 01, 17 04 02, 17 04 03, 17 04 04, 17 04 05, 17 04 06, 17 04 07, 17 04 11, 17 05 08, 17 06 04, 17 08 02, 17 09 04, ex 20 03 99 – inne niż niebezpieczne odpady budowlane i rozbiórkowe.

$$Pbr = \frac{Mrbr}{Mwbr} \times 100\% \quad (4)$$

gdzie:

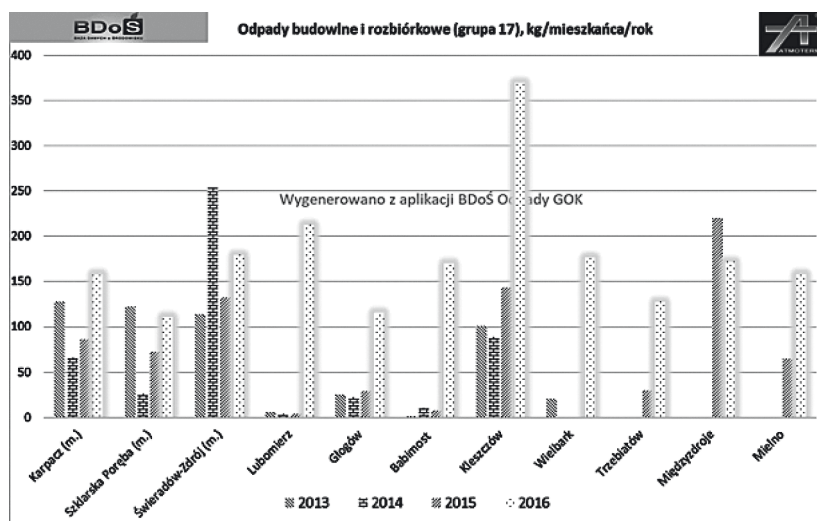
Pbr – poziom recyklingu, przygotowania do ponownego użycia i odzysku innymi metodami innych niż niebezpieczne odpadów budowlanych i rozbiórkowych stanowiących odpady komunalne, wyrażony w %,

Mrbr – łączna masa innych niż niebezpieczne odpadów budowlanych i rozbiórkowych poddanych recyklingowi, przygotowanych do ponownego użycia oraz poddanych odzyskowi innymi metodami, pochodzących ze strumienia odpadów komunalnych z gospodarstw domowych oraz od innych wytwórców odpadów komunalnych, wyrażona w Mg,

Mwbr – łączna masa wytworzonych innych niż niebezpieczne odpadów budowlanych i rozbiórkowych, pochodzących ze strumienia odpadów komunalnych z gospodarstw

domowych oraz od innych wytwórców odpadów komunalnych, wyrażona w Mg. Masę określa się na podstawie ewidencji prowadzonej przez podmiot odbierający odpady komunalne od właścicieli nieruchomości, podmiot prowadzący punkt selektywnego zbierania odpadów komunalnych lub gminę prowadzącą samodzielnie punkt selektywnego zbierania odpadów komunalnych lub na podstawie badań morfologii odpadów komunalnych wykonanych na zlecenie gminy lub podmiotu, o którym mowa w art. 9g ustawy z dnia 13 września 1996 r. o utrzymaniu czystości i porządku w gminach.

Ta grupa odpadów jest przez wiele gmin niezauważana, o czym świadczą dane w sprawozdaniach wójtów, burmistrzów i prezydentów miast. Spośród przykładowych siedmiu województw: dolnośląskiego, opolskiego, małopolskiego, łódzkiego, zachodniopomorskiego, podkarpackiego i warmińsko-mazurskiego, w 2015 r. aż 358 sprawozdających (w tym związki międzygminne) wykazało, że na ich terenie nie zebrano i nie odebrano odpadów budowlanych i rozbiórkowych. W 2016 r. takich sprawozdań było 275, co stanowiło blisko 30% sprawozdań z wymienionych województw. Aż 74% sprawozdających w 2016 r. wykazuje, że odpadów tych jest rocznie mniej niż 10 kg w przeliczeniu na jednego mieszkańca (w tym podawane są również wartości zerowe). Są także gminy, w których odpady budowlane i rozbiórkowe klasyfikuje się do odpadów komunalnych, prawdopodobnie również w przypadkach, kiedy nie pochodzą z tego źródła. Wówczas w gminach ilość tych odpadów przekracza znacząco 100 kg w przeliczeniu na jednego mieszkańca rocznie. Dane z wyżej wymienionych województw przedstawiono na rysunku 2.



**Rysunek 2. Gminy z największą masą odpadów budowlanych i rozbiórkowych w wybranych województwach**

Źródło: Opracowanie własne na podstawie sprawozdań gmin z gospodarki odpadami komunalnymi.

Dzięki bieżącemu przetwarzaniu danych w systemach informatycznych, wnioski ze sprawozdań gmin mogą być wyciągane już na etapie ich sporządzania, a także na etapie wstępnej weryfikacji w urzędzie marszałkowskim. Niestety, w znacznej liczbie przypadków sprawozdawczość uznawana jest za przykry obowiązek, bez holistycznego spojrzenia na system gospodarki odpadami, który poza funkcją sanitarną, jest także branżą generującą wpływy z tytułu podatków, takich jak CIT, PIT, VAT, ale również z opłat i kar za korzystanie ze środowiska, w myśl zasady „zanieczyszczający płaci” (Leoniewska-Gogola, Pietrzyk 2017). Wśród prostych metod weryfikacji rzetelności sprawozdań, tj. wyliczenia masy odpadów odebranych i zebranych w przeliczeniu na jednego mieszkańca gminy, wskazać można, w których gminach nadzór nad strumieniem odpadów jest niewystarczający. Przykładem mogą być gminy, w których według sprawozdań w 2015 r. i 2016 r. odebrano i zebrano mniej niż 77 kg w przeliczeniu na jednego mieszkańca rocznie, co miałyby świadczyć o tym, że mieszkańcy tych gmin wytwarzają ok. 0,2 kg odpadów dziennie. Z kolei ci sami mieszkańcy, wyjeżdżając na wakacje do miejscowości turystycznych, wytwarzają znaczące ilości odpadów, co przedstawiono w tabeli 5.

**Tabela 5. Masa odpadów w przeliczeniu na jednego mieszkańca w przykładowych gminach**

| Gmina            | Województwo        | Masa odpadów<br>[kg/M/rok] |         |
|------------------|--------------------|----------------------------|---------|
|                  |                    | 2015 r.                    | 2016 r. |
| Bobowa           | małopolskie        | 60                         | 76      |
| Iwanowice        | małopolskie        | 61                         | 60      |
| Kozłów           | małopolskie        | 41                         | 41      |
| Pałecznicza      | małopolskie        | 76                         | 70      |
| Majdan Królewski | podkarpackie       | 48                         | 49      |
| Harasiuki        | podkarpackie       | 64                         | 64      |
| Jarocin          | podkarpackie       | 41                         | 64      |
| Jeżowe           | podkarpackie       | 60                         | 71      |
| ...              | ...                | ...                        | ...     |
| Pilzno           | podkarpackie       | 112                        | 1 820   |
| Rewal            | zachodniopomorskie | 1 864                      | 1 932   |
| Dziwnów          | zachodniopomorskie | 1 013                      | 1 175   |
| Międzyzdroje     | zachodniopomorskie | 1 102                      | 1 120   |
| Ustronie Morskie | zachodniopomorskie | 930                        | 1 156   |
| Mielno           | zachodniopomorskie | 1 149                      | 1 351   |

Źródło: Raport z programu BDoŚ Odpady GOK firmy ATMOTERM S.A. na podstawie danych ze sprawozdań wójtów, burmistrzów i prezydentów miast z zakresu gospodarki odpadami komunalnymi.

Gmina Pilzno jest z kolei przykładem prawdopodobnego błędu w klasyfikowaniu odpadów jako komunalne. W tym przypadku analiza sprawozdania wskazuje, iż w 2016 r. 93% masy odpadów komunalnych stanowią odpady wielkogabarytowe. Podane przykłady są jedynie ogólnym zarysem możliwości analitycznych systemu BDoŚ Odpady GOK. Oprócz zastosowania rozwiązań agregujących odpady według grup, rodzajów i działów umożliwiających weryfikację sprawozdań gminnych pod kątem rzetelności i poprawności przekazywanych danych, możliwa jest weryfikacja krzyżowa danych z rocznymi sprawozdaniami podmiotów o wytwarzanych odpadach i o gospodarowaniu odpadami, o których mowa w art. 76. pkt 1 ustawy o odpadach. Ponadto, program pomaga uniknąć błędów także tych pisarskich, które w skali kraju powodują znaczące przekłamanie rzeczywistości.

## Wnioski i podsumowanie

Cele samorządów w zakresie osiągnięcia poziomów przygotowania do ponownego użycia, recyklingu i odzysku odpadów komunalnych wskazują, że kluczowe wydaje się być opieranie działań zarządczych na dysponowaniu rzetelnymi danymi o ilości wytwarzanych i przetwarzanych odpadów (zob. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 grudnia 2016 r.). Ogrom danych gromadzonych w papierowych archiwach nie pozwala na realne zarządzanie gospodarką odpadami. Taki sposób gromadzenia danych utrudnia działania kontrolne i planistyczne. Kilkuletnie już opóźnienie w powstaniu BDO (Baza danych o odpadach) stwarza potrzebę wprowadzania rozwiązań oddolnych, umożliwiających śledzenie i nadzorowanie strumienia odpadów przez samorządy za ten strumień odpowiedzialne.

Na szczeblu wojewódzkim istotne jest również przetwarzanie informacji w systemach informatycznych, które umożliwiają krzyżową weryfikację danych z systemem opłat za korzystanie ze środowiska. Przykładem może być województwo dolnośląskie, które takie działania prowadzi od 2013 r.

Większość decydentów odpowiedzialnych za nadzorowanie gospodarki odpadami oczekuje na powstanie BDO, która według zapewnień Ministra Środowiska ma działać po 2020 r. Zaznaczyć należy, że samo zbieranie danych jest dopiero wstępem do zarządzania gospodarką odpadami. Odpowiednie algorytmy weryfikacji mogą zlikwidować wiele nieprawidłowości, m.in. zaniżanie masy odbieranych odpadów, zwłaszcza w gminach rozliczających się z przedsiębiorcami w sposób ryczałtowy. Opisane w tekście problemy będą się rozwiązywać wówczas, gdy instytucje nadzorujące będą mogły reagować na nie w czasie rzeczywistym. Takie działanie jest możliwe jedynie w przypadku całkowitego przeniesienia sprawozdawczości odpadowej do sfery elektronicznej.



## Literatura:

- [1] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy (Dz.U. L 312., 22.11.2008).
- [2] Leoniewska-Gogola J., Pietrzyk J., 2017, *Wsparcie systemów IT narzędziem do monitorowania systemu gospodarki odpadami*, „Przegląd Komunalny” 1/2017 PLUS.
- [3] Pająk T., 1996, *Model zintegrowanego zagospodarowania odpadów – wybrane elementy. Studium feasibility*, III Konferencja Naukowo-Techniczna. Zagospodarowanie odpadów z rejonu Krakowa, Osieczany.
- [4] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 15 maja 2012 r. w sprawie wzorów sprawozdań o odebranych odpadach komunalnych, odebranych nieczystościach ciekłych oraz realizacji zadań z zakresu gospodarowania odpadami komunalnymi (Dz.U. z 2012 r., poz. 630).
- [5] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. z 2014 r., poz. 1923).
- [6] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 grudnia 2016 r. w sprawie poziomów recyklingu, przygotowania do ponownego użycia i odzysku innymi metodami niektórych frakcji odpadów komunalnych (Dz.U. z 2016 r., poz. 2167).
- [7] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 grudnia 2016 r. w sprawie szczegółowego sposobu selektywnego zbierania wybranych frakcji odpadów (Dz.U. z 2017 r., poz. 19, tom 1).
- [8] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 6 marca 2017 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie opłat za korzystanie ze środowiska (Dz.U. z 2017 r., poz. 723).
- [9] Rocznik Statystyczny Ochrony Środowiska, GUS 2016.
- [10] Uchwała nr 88 Rady Ministrów z dnia 1 lipca 2016 r. w sprawie Krajowego planu gospodarki odpadami 2022 (M.P. z 2016 r., poz. 784).
- [11] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. prawo ochrony środowiska (Dz.U. z 2017 r., poz. 519 z późn. zm.).
- [12] Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz.U. z 2016 r., poz. 1987, z późn. zm.).

# Ocena wpływu parametrów modelu dyspersji na proces obliczania poziomów imisji zanieczyszczeń – na przykładzie Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów w Krakowie

---

## Streszczenie

Zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju realizacja opisanego w tekście przedsięwzięcia powinna odbywać się z poszanowaniem zasad ochrony środowiska, jednocześnie dbając o zachowanie gospodarczych i społecznych potrzeb mieszkańców. Przy planowaniu każdej inwestycji niebagatelne znaczenie mają koszty wybranych rozwiązań projektowych. Z uwagi na wysokie koszty bezpośrednich pomiarów stężeń zanieczyszczeń wykonuje się je jedynie punktowo, a nieocenione w analizie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń pozostają modele dyspersji zanieczyszczeń. Celem pracy jest ocena wpływu wybranych rozwiązań technicznych (parametrów emitorów) na wielkość stężeń zanieczyszczeń w powietrzu oraz wybranie rozwiązań umożliwiających ich optymalizację, przy równoczesnej dbałości o koszty inwestycji.

## Assessment of the Impact of the Dispersion Model Parameters on the Process of Calculating Pollution Immission Levels: A Case Study of the Waste Thermal Processing Plant in Kraków

### Abstract

In line with the principle of sustainable development, the implementation of the project should respect the principles of environmental protection while taking care of the preserved economic and social needs of the inhabitants. The cost of selected design solutions is of great importance when planning each investment. Because of the high cost of direct measurements of pollutant concentrations, they are made in points, and the models are not invaluable in analyzing the spread of pollutants. Carrying out a detailed analysis of the obtained emission modeling results for the Thermal Waste Processing Plant in Cracow, together with a reference to the cost of selecting the solutions (in this case emitter parameters), allows to optimize them.

---

## Wprowadzenie

Ocena jakości powietrza atmosferycznego może być prowadzona poprzez bezpośrednie pomiary stężeń poszczególnych zanieczyszczeń, jak również poprzez szczegółowe obliczenia oparte na modelach matematycznych, czy też modelach

fizycznych. Z uwagi na wysokie koszty bezpośrednich pomiarów stężeń zanieczyszczeń wykonuje się je jedynie punktowo, a nieocenione w analizie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń pozostają właśnie modele dyspersji. Jest to o tyle ważne, że właściwie prowadzona ocena jakości powietrza atmosferycznego pozwala na określenie wpływu inwestycji na środowisko związanego z emisją zanieczyszczeń do atmosfery, jak również pozwala opracowywać metody ograniczania emisji zanieczyszczeń.

Praktyka dotycząca modelowania emisji zanieczyszczeń w naszym kraju oparta jest na gaussowskim modelu smugi (twierdzenie Ostrogradskiego-Gaussa umożliwia zamianę całki powierzchniowej na objętościową (potrójną) i na odwrót, w zależności od potrzeb, w której funkcją podcałkową po objętości jest dywergencja pola wektorowego – szczegółowy opis modelu został zawarty w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 26 stycznia 2010 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. z 2010 r., Nr 16, poz. 87). Powyższy model zawiera jednak liczne ograniczenia – jego zastosowanie jest przydatne jedynie przy uproszczonej rzeźbie terenu, a także tylko na ograniczonym obszarze (model zakłada stałe warunki meteorologiczne na całym analizowanym terenie). Jednak z uwagi na otrzymywanie przy pomocy powyższego modelu zazwyczaj wyników zawyżonych, z powodzeniem sprawdza się on w krajowej praktyce modelowania emisji zanieczyszczeń koniecznej przy ocenie oddziaływania danej instalacji na powietrze atmosferyczne.

Należy wreszcie mieć na uwadze, że modelowanie poziomów substancji w powietrzu atmosferycznym jest sprawą skomplikowaną i zależy od wielu różnych czynników, takich jak: parametry emitora, czynniki topograficzne, czynniki meteorologiczne.

## 1. Cel pracy

Celem pracy była ocena wpływu parametrów modelu dyspersji zanieczyszczeń (wykorzystywanego w krajowej praktyce) na proces obliczania poziomów emisji substancji – na przykładzie inwestycji uruchomienia Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów w Krakowie. W związku z powyższym w niniejszej pracy przeprowadzono odpowiednie obliczenia i analizy.

## 2. Metodyka pracy

W ramach metodyki badań wykonano następujące działania:

- zebranie informacji dotyczących założeń projektowych oraz zakładanych wielkości emisji dla planowanej instalacji Termicznego Przekształcania Odpadów przy ul. Giedroycia w Krakowie,
- zebranie informacji związanych z modelowaniem emisji zanieczyszczeń,
- szczegółowa analiza referencyjnej metodyki modelowania poziomów substancji w powietrzu zawartej w rozporządzeniu Ministra Środowiska z 26 stycz-

nia 2010 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. z 2010 r., Nr 16 poz. 87),

– określenie wpływu poszczególnych parametrów modelu na wyniki obliczeń stanu zanieczyszczenia.

Udowodnienie tezy postawionej w niniejszej publikacji zostało wykonane dla planowanej instalacji termicznego przekształcania odpadów w Krakowie. Charakterystyka powyższej inwestycji oraz dane dotyczące wielkości emisji zostały zaczerpnięte z raportu o oddziaływaniu przedsięwzięcia na środowisko pt.: „Budowa Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów przy ul. Giedroycia w Krakowie”.

### **3. Opis Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów**

#### **Charakterystyka przedsięwzięcia i technologii**

Działania inwestycyjne zostały zrealizowane na terenie położonym przy ul. Giedroycia oraz na trasie przebiegu sieci ciepłowniczej w XVIII Dzielnicy Nowa Huta Miasta Krakowa.

Inwestycja polegała na wybudowaniu instalacji termicznego przekształcania odpadów wraz z instalacjami towarzyszącymi (instalacja waloryzacji żużli, instalacja zestalania i chemicznej stabilizacji popiołów, instalacja ciepłownicza). Na terenie przedmiotowej inwestycji powstały dwie niezależne linie technologiczne służące spalaniu odpadów (każda o wydajności 14,0 Mg/h) (zob. raport o oddziaływaniu przedsięwzięcia na środowisko dla przedsięwzięcia pt. „Budowa Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów przy ul. Giedroycia w Krakowie”).

Do procesu termicznego przekształcania w piecu rusztowym kierowana będzie resztkowa frakcja zmieszanych odpadów komunalnych. Przywożone odpady będą wyładowywane do wybetonowanej fosy w zamkniętej hali (pracującej w podciśnieniu celem ograniczenia emisji w trakcie rozładunku), a następnie będą pobierane z fosy do pieca bez wstępnej ich obróbki. W trakcie termicznego przekształcania wytwarzana będzie energia elektryczna i ciepła. Technologia termicznego przekształcania odpadów oparta będzie o spalanie w piecu rusztowym. Cały proces będzie przebiegać autotermicznie (bez dostarczania dodatkowego źródła ciepła) (ibidem).

#### **Emisja z procesu technologicznego (proces termiczny)**

Głównym źródłem emisji zorganizowanej zanieczyszczeń gazowych na terenie Zakładu będzie prowadzony tam proces technologiczny, polegający na termicznym unieszkodliwianiu odpadów. Poza głównymi składnikami spalin, takimi jak dwutlenek węgla i para wodna, w wyniku spalania powstają również związki nieorganiczne i organiczne. Są to m.in.: tlenki azotu (NO<sub>x</sub>), dwutlenek siarki (SO<sub>2</sub>), tlenek węgla (CO), chlorowodór (HCl), fluorowodór (HF), metale ciężkie (As, Co, Pb, Cd i in.), a także całkowity węgiel organiczny (TOC) oraz dioksyny i furany (ibidem).

Przewidziane jest zaprojektowanie systemów oczyszczania spalin dla obu linii technologicznych. Oczyszczone spaliny będą kierowane przez wentylator ciągu do komina i dalej do atmosfery. Planowane jest ulokowanie kominów osobno dla każdej linii obok siebie – przyjęto wysokość kominów  $h=80$  m (ibidem). Charakterystyka fizyczna projektowanych punktowych źródeł emisji do powietrza (emitorów) została zaprezentowana w tabeli poniżej:

Tabela 1. Dane emitorów

| Symbol emitora | Opis emitora                          | Wysokość emitora [m] | Srednica wewnętrzna emitora [m] | Przepływ w emitorze lub wydajność wentylatora [Nm <sup>3</sup> /h] | Temperatura wylotowa gazów [°C] |
|----------------|---------------------------------------|----------------------|---------------------------------|--|---------------------------------|
| E1             | Komin z pieca linii 1                 | 80                   | 1,6                             | 71 530   | 124                             |
| E2             | Komin z pieca linii 2                 | 80                   | 1,6                             | 71 530   | 124                             |
| E3             | Odpowietrzenie silosu sorbentu        | 8,3                  | 1,0                             | 0  | 20                              |
| E4             | Odpowietrzenie silosu węgla aktywnego | 6,3                  | 1,0                             | 0  | 20                              |
| E5             | Odpowietrzenie silosu popiołów        | 8,3                  | 1,0                             | 0  | 20                              |
| E6             | Wentylacja hali waloryzacji żużli     | 12                   | 1,0                             | 0  | 20                              |

### Emitory będące przedmiotem analizy zawartej w niniejszej pracy

Źródło: Raport o oddziaływaniu przedsięwzięcia na środowisko dla przedsięwzięcia pt: „Budowa Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów przy ul. Giedroycia w Krakowie”.

Tabela 2. Wielkość emisji

| Lp. | Rodzaj zanieczyszczenia     | Emisja      |             |
|-----|-----------------------------|-------------|-------------|
|     |                             | [kg/h]      | [Mg/rok]    |
| 1.  | antymon i jego związki      | 0,004       | 0,029       |
| 2.  | arsen                       | 0,004       | 0,029       |
| 3.  | całkowity węgiel organiczny | 0,674       | 5,256       |
| 4.  | chlorowodór                 | 0,674       | 5,256       |
| 5.  | chrom                       | 0,004       | 0,029       |
| 6.  | dioksyny i furany           | 0,000000007 | 0,000000053 |
| 7.  | dwutlenek siarki            | 3,370       | 26,282      |
| 8.  | fluorowodór                 | 0,067       | 0,526       |
| 9.  | kadm                        | 0,002       | 0,013       |
| 10. | kobalt                      | 0,004       | 0,029       |
| 11. | mangan                      | 0,004       | 0,029       |
| 12. | miedź                       | 0,004       | 0,029       |
| 13. | nikiel                      | 0,004       | 0,029       |
| 14. | olów                        | 0,004       | 0,029       |
| 15. | pył ogółem                  | 0,674       | 5,256       |
| 16. | rtęć                        | 0,003       | 0,026       |
| 17. | tal                         | 0,002       | 0,013       |
| 18. | tlenek węgla                | 3,370       | 26,282      |
| 19. | tlenki azotu                | 13,478      | 105,128     |
| 20. | wanad                       | 0,004       | 0,029       |

Źródło: Raport o oddziaływaniu przedsięwzięcia na środowisko dla przedsięwzięcia pt: „Budowa Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów przy ul. Giedroycia w Krakowie”.

Zgodnie z danymi technologicznymi maksymalny przepływ spalin wilgotnych w warunkach normalnych dla jednej linii termicznego unieszkodliwiania odpadów wyniesie 71 530 Nm<sup>3</sup>/h. W warunkach rzeczywistych, przy uwzględnieniu temperatury spalin u wylotu 124 0C, maksymalny przepływ spalin będzie kształtował się następująco:

$$Q_{rz} = Q_n \cdot \frac{T_g}{T_n} = 71530 \cdot \frac{397}{273} \cong 104020 \frac{m^3}{h}$$

Wynikająca z tego maksymalna prędkość wylotowa gazów będzie wynosić:

$$v_{rz} = \frac{Q_{rz}}{\Pi \cdot r^2} = \frac{104020}{3,14 \cdot 0,8^2} \cong 51762 \frac{m}{h} \cong 14,4 \frac{m}{s}$$

## 4. Podstawy teoretyczne modelowania dyspersji zanieczyszczeń

Dla potrzeb modelowania dyspersji zanieczyszczeń wykorzystywane są informacje o wielkości emitowanych zanieczyszczeń oraz o warunkach wyrzutu gazów i ich rozprzestrzeniania się (warunki meteorologiczne i topograficzne). Metoda obliczeń przygruntowych stężeń zanieczyszczeń gazowych, emitowanych ze źródeł punktowych (stosowana w krajowej praktyce) jest opisana w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 26 stycznia 2010 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu. Procedura tych obliczeń jest powszechnie stosowana w Polsce od 1981 r. (data wydania Wytycznych Ministerstwa Administracji, Gospodarki Terenami i Ochrony Środowiska). Podstawą obliczeń jest gaussowski model „smugi zanieczyszczeń”, kształtowanej przez wiatr i procesy dyfuzji.

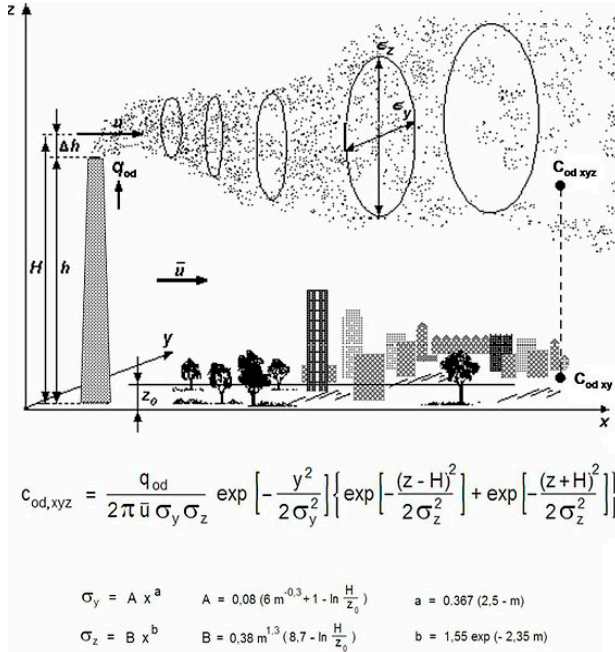
### Gaussowski „model smugi”

Smuga zanieczyszczeń jest obiektem trudnym do modelowania. Jej kształt zależy od wielu czynników topograficznych i meteorologicznych. Stosowany w krajowej praktyce model jest bardzo uproszczony – wykorzystuje różniczkowe równanie Pasquille’a, które opisuje zależność stężenia zanieczyszczeń w punkcie P(x,y,z) smugi ( $c_{od,xyz}$  [mg/m<sup>3</sup>] od:

- $q_{od}$  – wielkości emisji; [mg/s],
- $\bar{u}$  – średniej prędkości wiatru w warstwie powietrza od  $z = 0$  do  $z = H$ ; [m/s],
- $H$  – wysokości pozornego punktu emisji; [m],
- $m$  – wykładnika meteorologicznego,
- $z_0$  – parametru aerodynamicznej szorstkości powierzchni; [m],
- $\sigma_z$  i  $\sigma_y$  – współczynników dyfuzji atmosferycznej.

Zgodnie z przytoczonym rozporządzeniem wysokość pozornego punktu emisji (H) oblicza się jako sumę rzeczywistej wysokości komina (h) i tzw. „wyniesienia”

( $\Delta h$ ). Stopień wyniesienia gazów ponad komin zależy od ich ciepła właściwego i temperatury, prędkości na wylocie z komina i jego wylotowej średnicy oraz od prędkości wiatru na wysokości wylotu.



Rysunek 1. Gaussowski model smugi

Źródło: [http://pl.wikipedia.org/wiki/Modelowanie\\_dyspersji\\_odorant%C3%B3w](http://pl.wikipedia.org/wiki/Modelowanie_dyspersji_odorant%C3%B3w).

Parametr aerodynamicznej szorstkości podłoża jest statystyczną wielkością zależną od rodzaju pokrycia terenu (np. krzewy, drzewa, zabudowania). Wzrost szorstkości podłoża powoduje zwiększenie się turbulencji w przemieszczającej się masie powietrza i sprzyja rozpraszaniu zanieczyszczeń (większe współczynniki dyfuzji). W rozporządzeniu zamieszczono zestawienie szacunkowych wartości  $z_0$ , odniesionych do obszarów zagospodarowanych w różny sposób.

Wykładnik meteorologiczny ( $m$ ) określa tempo wzrostu prędkości wiatru z wysokością. Przyjmuje się, że spełniana jest zależność:

$$u_h = u_a (h / h_a)^m$$

gdzie:  $u_a, u_h$  – prędkość wiatru na wysokościach, odpowiednio:  $h_a$  i  $h$ .

Wyodrębniono sześć stanów równowagi atmosfery, którym przypisano następujące wartości wykładnika meteorologicznego:

- m = 0,080 stan 1; równowaga silnie chwiejna,
- m = 0,143 stan 2; równowaga chwiejna,
- m = 0,196 stan 3; równowaga lekko chwiejna,
- m = 0,270 stan 4; równowaga obojętna,
- m = 0,363 stan 5; równowaga lekko stała,
- m = 0,440 stan 6; równowaga stała.

Wyodrębniono też 11 klas prędkości wiatru:  $\bar{u} = 1, 2, 3, \dots, 11$  m/s (dla  $\bar{u} < 1$  lub  $> 11$  m/s zakłada się  $\bar{u} = 1$  lub 11 m/s).

## 5. Sposób obliczania stężeń zanieczyszczeń w powietrzu

Szczegółowe obliczenia stanu zanieczyszczeń powietrza przeprowadzono zgodnie z wymaganiami Rozporządzenia Ministra Środowiska z 26 stycznia 2010 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu określającego m.in. wartości odniesienia, wyrażone jako poziomy substancji w powietrzu oraz referencyjne metodyki modelowania poziomów substancji w powietrzu (Dz.U. z 2010 r., Nr 16, poz. 87). Modelowanie przeprowadzono jedynie dla instalacji termicznego przekształcania odpadów (pieców rusztowych). W celu wykonania modelowania wykorzystano program OPERAT FB, którym posługiwali się również autorzy raportu o oddziaływaniu na środowisko przedmiotowej instalacji.

## 6. Obliczanie stanu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego dla planowanego Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów w Krakowie (na podstawie danych projektowych)

Poniżej zamieszczono otrzymane wyniki modelowania.

**Tabela 3. Klasyfikacja grupy emitatorów na podstawie sumy stężeń maksymalnych**

| Nazwa zanieczyszczenia            | Suma stężeń max. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | Stęż. dopuszcz. D1 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | Obliczać stężenia w sieci receptorów | Ocena             |
|-----------------------------------|---|---|--------------------------------------|-------------------|
| pył PM-10                         | 1,623   | 280   | -                                    | Smm < 0.1*D1      |
| dwutlenek siarki                  | 16,23   | 350   | -                                    | Smm < 0.1*D1      |
| tlenki azotu jako NO <sub>2</sub> | 64,9  | 200   | TAK                                  | 0.1*D1 < Smm < D1 |
| tlenek węgla                      | 16,23   | 30000   | -                                    | Smm < 0.1*D1      |
| węgiel elementarny                | 1,623   | 150   | -                                    | Smm < 0.1*D1      |
| arsen                             | 0,00963                                       | 0,2   | -                                    | Smm < 0.1*D1      |
| fluor                             | 0,323   | 30  | -                                    | Smm < 0.1*D1      |



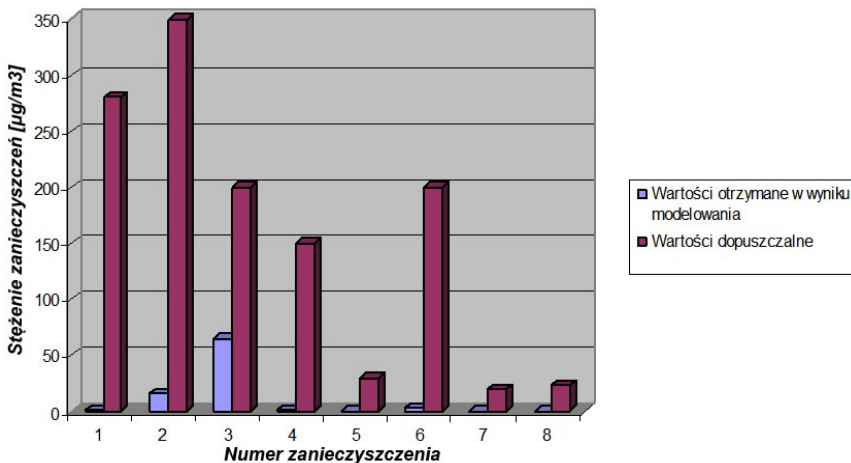
cd. tabeli 3

| Nazwa zanieczyszczenia | Suma stężeń max. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | Stęż. dopuszcz. D1 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | Obliczać stężenia w sieci receptorów | Ocena                      |
|------------------------|---|---|--------------------------------------|----------------------------|
| kadm                   | 0,00482                                       | 0,52  | -                                    | $S_{\text{mm}} < 0.1 * D1$ |
| chlorowodór            | 3,25  | 200   | -                                    | $S_{\text{mm}} < 0.1 * D1$ |
| mangan                 | 0,00963                                       | 9   | -                                    | $S_{\text{mm}} < 0.1 * D1$ |
| miedź                  | 0,00963                                       | 20  | -                                    | $S_{\text{mm}} < 0.1 * D1$ |
| nikiel                 | 0,00963                                       | 0,23  | -                                    | $S_{\text{mm}} < 0.1 * D1$ |
| ołów                   | 0,00963                                       | 5   | -                                    | $S_{\text{mm}} < 0.1 * D1$ |
| rtęć                   | 0,00722                                       | 0,7   | -                                    | $S_{\text{mm}} < 0.1 * D1$ |
| wanad                  | 0,00963                                       | 2,3   | -                                    | $S_{\text{mm}} < 0.1 * D1$ |
| chrom (VI)             | 0,00963                                       | 4,6   | -                                    | $S_{\text{mm}} < 0.1 * D1$ |
| antymon i jego związki | 0,00963                                       | 23  | -                                    | $S_{\text{mm}} < 0.1 * D1$ |
| kobalt                 | 0,00963                                       | 5   | -                                    | $S_{\text{mm}} < 0.1 * D1$ |
| tal                    | 0,00482                                       | 1   | -                                    | $S_{\text{mm}} < 0.1 * D1$ |

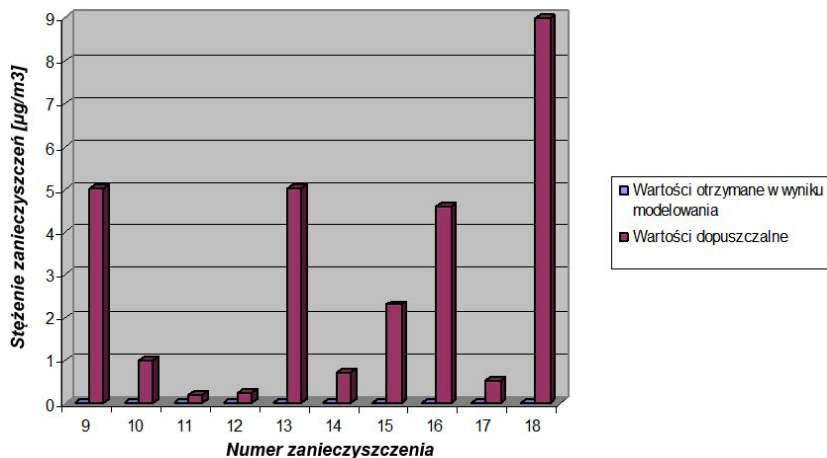
Otrzymane wyniki obliczeń stężeń maksymalnych i warunków ich występowania dla analizowanej instalacji wykazały, że stężenia maksymalne dla większości emitowanych zanieczyszczeń (poza  $\text{NO}_2$ ) spełniają warunek:

$$S_{\text{mm}} < 0.1 * D1$$

Poniżej przedstawiono zestawienie otrzymanych wartości również w formie graficznej:



Rysunek 2a. Stężenia zanieczyszczeń – dopuszczalne i otrzymane w wyniku obliczeń



Rysunek 2b. Stężenia zanieczyszczeń – dopuszczalne i otrzymane w wyniku obliczeń

Tabela 4. Legenda do powyższych rysunków z numerami zanieczyszczeń

|   |                                   |    |            |
|---|-----------------------------------|----|------------|
| 1 | pył PM-10                         | 10 | tal        |
| 2 | dwutlenek siarki                  | 11 | arsen      |
| 3 | tlenki azotu jako NO <sub>2</sub> | 12 | nikiel     |
| 4 | węgiel elementarny                | 13 | olów       |
| 5 | fluor                             | 14 | rtęć       |
| 6 | chlorowódór                       | 15 | wanad      |
| 7 | miedź                             | 16 | chrom (VI) |
| 8 | antymon i jego związki            | 17 | kadm       |
| 9 | kobalt                            | 18 | mangan     |

## 7. Obliczanie stanu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego dla planowanego Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów w Krakowie (dla założonych różnych parametrów wpływających na dyspersję zanieczyszczeń)

Poniżej przedstawiono wyniki obliczeń wpływu parametrów emisji na otrzymane wyniki.

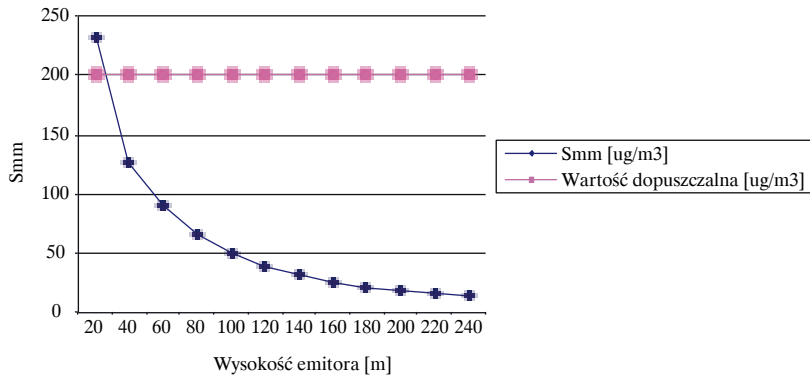
- Parametry emitora:
  - wysokość emitora,
  - średnica emitora,
  - prędkość wyrzutu spalin.

- Parametry topograficzne i meteorologiczne:

- Szorstkość terenu,
- Średnia temperatura otoczenia.

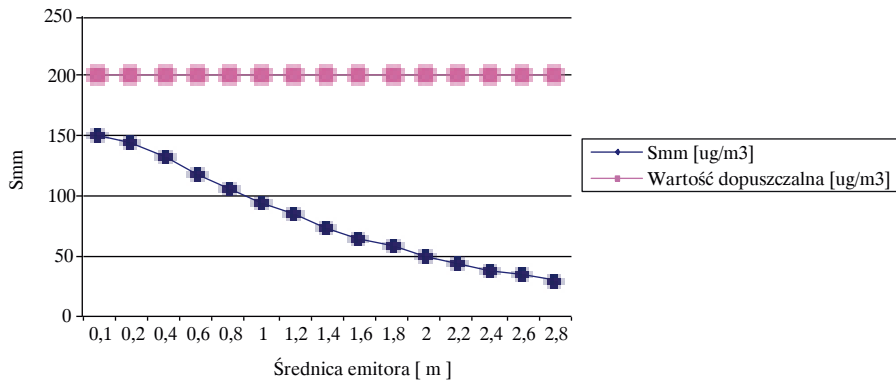
Otrzymane wyniki przedstawiono w formie graficznej (obliczenia wykonano dla  $\text{NO}_2$ ):

Wysokość emitora:



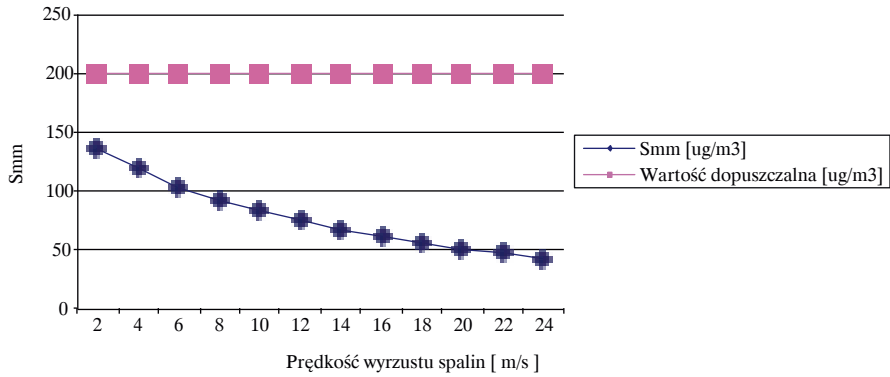
**Rysunek 3a. Stężenia zanieczyszczeń – dopuszczalne i otrzymane wyniki obliczeń w zależności od wysokości emitora**

Średnica emitora:



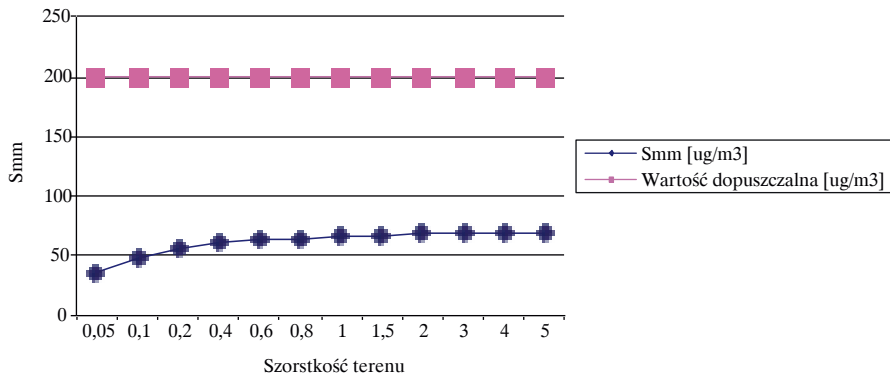
**Rysunek 3b. Stężenia zanieczyszczeń – dopuszczalne i otrzymane wyniki obliczeń w zależności od średnicy emitora**

Prędkość wyrzutu spalin z emitora:



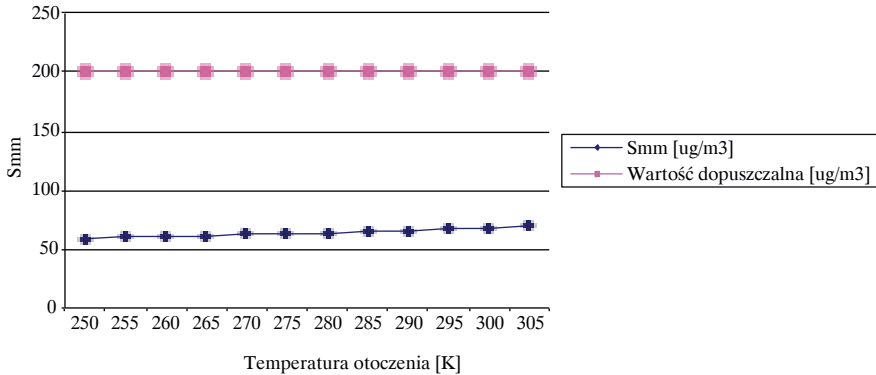
**Rysunek 3c. Stężenia zanieczyszczeń – dopuszczalne i otrzymane wyniki obliczeń w zależności od prędkości wyrzutu spalin**

Szorstkość terenu:



**Rysunek 3d. Stężenia zanieczyszczeń – dopuszczalne i otrzymane wyniki obliczeń w zależności od szorstkości terenu**

Średnia temperatura otoczenia:



**Rysunek 3e. Stężenia zanieczyszczeń – dopuszczalne i otrzymane w wyniku obliczeń w zależności od temperatury otoczenia**

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń należy stwierdzić, że znacznie większy wpływ na otrzymywane wyniki mają parametry emitora niż parametry topograficzne i meteorologiczne (dla wykorzystanej metodyki obliczeń).

## 8. Wpływ poszczególnych parametrów wykorzystanej metodyki modelowania poziomów substancji w powietrzu na otrzymane wartości emisji substancji

**Tabela 5a. Wartości emisji w zależności od zmiany danego parametru:**

| Wysokość emitora [m] | Smm [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | Średnica emitora [m] | Smm [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | Prędkość wyrzutu spalin [m/s] | Smm [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] |
|----------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| 20                   | 232,17                           | 0,1                  | 151,75                           | 2                             | 136,27                           |
| 40                   | 127,74                           | 0,2                  | 145,37                           | 4                             | 118,79                           |
| 60                   | 89,90                            | 0,4                  | 132,39                           | 6                             | 104,49                           |
| 80                   | 65,79                            | 0,6                  | 119,49                           | 8                             | 92,64                            |
| 100                  | 49,90                            | 0,8                  | 107,05                           | 10                            | 82,70                            |
| 120                  | 39,00                            | 1                    | 95,34                            | 12                            | 74,29                            |
| 140                  | 31,24                            | 1,2                  | 84,51                            | 14                            | 67,10                            |
| 160                  | 25,54                            | 1,4                  | 74,66                            | 16                            | 60,91                            |
| 180                  | 21,24                            | 1,6                  | 65,79                            | 18                            | 55,54                            |

cd. tabeli 5a

| Wysokość emitora [m] | Smm [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | Średnica emitora [m] | Smm [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | Prędkość wyrzutu spalin [m/s] | Smm [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] |
|----------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| 200                  | 17,93                            | 1,8                  | 57,88                            | 20                            | 50,85                            |
| 220                  | 15,46                            | 2                    | 50,89                            | 22                            | 46,74                            |
| 240                  | 13,54                            | 2,2                  | 44,37                            | 24                            | 43,10                            |
|                      |                                  | 2,4                  | 39,32                            |                               |                                  |
|                      |                                  | 2,6                  | 34,60                            |                               |                                  |
|                      |                                  | 2,8                  | 30,47                            |                               |                                  |

Tabela 5b. Wartości imisji w zależności od zmiany danego parametru:

| Szorstkość terenu | Smm [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | Temperatura otoczenia [K] | Smm [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] |
|-------------------|----------------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| 0,05              | 36,06                            | 250                       | 58,74                            |
| 0,1               | 48,54                            | 255                       | 59,56                            |
| 0,2               | 56,26                            | 260                       | 60,39                            |
| 0,4               | 61,37                            | 265                       | 61,25                            |
| 0,6               | 63,58                            | 270                       | 62,12                            |
| 0,8               | 64,89                            | 275                       | 63                               |
| 1                 | 65,79                            | 280                       | 63,91                            |
| 1,5               | 67,19                            | 285                       | 64,84                            |
| 2                 | 68,03                            | 290                       | 65,79                            |
| 3                 | 69,03                            | 295                       | 66,76                            |
| 4                 | 69,64                            | 300                       | 67,75                            |
| 5                 | 70,06                            | 305                       | 68,76                            |

Wykorzystanie otrzymanych danych w połączeniu z analizą ekonomiczną kosztów proponowanych rozwiązań pozwala na wybór optymalnego rozwiązania (dobór odpowiednich parametrów emitatorów). Na podstawie przeprowadzonych obliczeń można stwierdzić:

1. Wraz ze wzrostem wysokości i średnicy emitora lub prędkości wyrzutu spalin z emitora otrzymane wartości stężeń maksymalnych stają się coraz niższe.

2. Przekroczenie wartości dopuszczalnych w analizowanym przypadku następuje dopiero przy założeniu wysokości emitora poniżej ok. 30 metrów. Z kolei zwiększanie wysokości emitora powyżej 100 metrów w coraz mniejszym stopniu wpływa na otrzymywane wyniki (należy pamiętać, że koszt budowy komina z każdym następnym metrem znacząco wzrasta). Na podstawie analizy dołączonego wykresu zależności wartości obliczonych stężeń maksymalnych w powietrzu od wysokości

emitora można wysnuć wniosek, że założona wysokość kominów (80 metrów) jest wartością odpowiednią. Jednak w tym celu należy wykonać jeszcze bardziej szczegółową analizę uwzględniającą warunki meteorologiczne na danym obszarze, takie jak kierunek i siła wiatru oraz położenie najbliższej zabudowy.

3. Przy założonej przez projektantów wysokości kominów (80 metrów) nawet bardzo duże zmiany pozostałych parametrów nie powodują przekroczenia wartości dopuszczalnych.

4. Szczegółowe obliczanie współczynnika szorstkości terenu może wymagać poniesienia znacznych nakładów finansowych. W analizowanym przypadku należy stwierdzić, że nawet duże wahania powyższego parametru (od 0,2 – łąki i pastwiska do 5,0 – zabudowa wysoka w miastach powyżej 500 tys. mieszkańców) – mają stosunkowo niewielki wpływ na otrzymane wyniki, które dodatkowo są znacznie poniżej wartości dopuszczalnych. W związku z powyższym w omawianym przypadku można wyznaczać współczynnik szorstkości w sposób uproszczony lub, poprzez zaokrąglenie w górę, założyć jego maksymalną wartość (5,0).

5. Średnia temperatura otoczenia (w porównaniu do pozostałych parametrów) w sposób nieznaczny wpływa na otrzymane wyniki, które są dodatkowo znacznie poniżej wartości dopuszczalnych.

## Wnioski

1. Przeprowadzona analiza pozwala na stwierdzenie, że dla planowanej inwestycji polegającej na budowie Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów w Krakowie znacznie większy wpływ na otrzymane wyniki stężeń maksymalnych zanieczyszczeń w powietrzu mają parametry emitora (tj. wysokość, średnica, prędkość wylotu spalin) niż parametry topograficzne i meteorologiczne – przy wykorzystanej metodzie modelowania emisji zanieczyszczeń.

2. Zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju realizacja przedsięwzięcia powinna odbywać się z poszanowaniem zasad ochrony środowiska, jednocześnie dbając o zachowanie gospodarczych i społecznych potrzeby mieszkańców. Przy planowaniu każdej inwestycji niebagatelne znaczenie mają koszty wybranych rozwiązań projektowych. Przeprowadzanie szczegółowej analizy otrzymanych powyżej wyników oraz odniesienie do kosztów wybrania danych rozwiązań (w tym przypadku parametrów emitorów) pozwala na ich zoptymalizowanie.

3. Z uwagi na nieznaczny wpływ niektórych parametrów na otrzymane wyniki (szorstkość terenu) można w celu oszczędności czasu i niezbędnych nakładów finansowych związanych z przygotowaniem modelu terenu przyjąć pewne uproszczenia w zastosowanym modelu, polegające na przyjęciu wyższego współczynnika szorstkości.

4. Przy planowaniu inwestycji mogących znacząco oddziaływać na środowisko pomocne może być również wykorzystanie innych modeli referencyjnych (stosowa-

nych z powodzeniem w innych krajach UE, czy też w USA), które mogłyby stanowić uzupełnienie wobec metodyki modelowania poziomów substancji w powietrzu zawartej w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 26 stycznia 2010 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. z 2010 r., Nr 16, poz. 87).

## Literatura:

- [1] Brzozowska L., Brzozowski K., Drąg Ł., 2009, *Transport drogowy, a jakość powietrza atmosferycznego. Modelowanie komputerowe w mezoskali*, Wydawnictwo WKŁ, Warszawa.
- [2] Juda J., Chróściel S., 1974, *Ochrona powietrza atmosferycznego*, Wydawnictwo WNT, Warszawa.
- [3] Łobocki L., 2003, *Wskazówki metodyczne dotyczące modelowania matematycznego w systemie zarządzania jakością powietrza*, Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
- [4] Markiewicz M.T., 2004, *Podstawy modelowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- [5] Raport, 2009, Raport o oddziaływaniu przedsięwzięcia na środowisko dla przedsięwzięcia pt.: *Budowa Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów przy ul. Giedroycia w Krakowie*, UM Kraków, Kraków.
- [6] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 26 stycznia 2010 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. z 2010 r., Nr 16, poz. 87).
- [7] Zwoździak J., Zwoździak A., Szczurek A., 1998, *Meteorologia w ochronie atmosfery*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.



**mgr inż. Jacek Pietrzyk**

**inż. Aleksandra Edelmüller**

**inż. Tomasz Zmarzły**

**inż. Aneta Ziółek**

**inż. Aleksandra Bąk**

**inż. Magdalena Kołodziejczak**

**inż. Jakub Liszcz**

*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza*

*im. Stanisława Staszica w Krakowie*

## **Lokalne, ekologiczne gospodarowanie odpadami – czyli jak w przystępny sposób edukować ekologicznie?**

---

### **Streszczenie**

Celem publikacji jest ukazanie skutecznych metod edukacji i zwrócenie uwagi na najważniejsze treści ekologiczne, których przybliżenie powinno stanowić podstawową wiedzę społeczeństwa. Edukacja ekologiczna mylona jest często z kampaniami informacyjnymi, m.in. w zakresie prawidłowego sortowania odpadów. Definiując jednak edukację jako ciągły proces poznawania i doskonalenia, studenci Koła Naukowego Zarządzanie we współpracy z partnerami samorządowymi, pozarządowymi i przedstawicielem MŚP opracowali autorski program edukacyjny „Lokalne, Ekologiczne Gospodarowanie Odpadów”. Określono trzy etapy działania, skierowane do różnych grup odbiorców, realizujące odmienne cele, składające się w jedną, spójną misję. Projektowi przyświeca idea szerzenia wiedzy z zakresu hierarchii gospodarowania odpadami (zapobieganie powstawaniu odpadów, powtórne wykorzystanie, recykling, odzysk i ostatecznie składowanie pozostałości), a także wzbudzenia intuicyjnej potrzeby sortowania odpadów. Działania edukacyjne oparte zostały na sprawdzonych metodach zarządzania Lean Six Sigma, a także na technikach wypracowanych wraz z nabywaniem doświadczenia przez zespół projektowy. Niniejsza publikacja przybliży sposoby prowadzenia efektywnej edukacji ekologicznej opartej o budowę innych umiejętności kluczowych, takich jak zarządzanie projektami, organizowanie grupowych wydarzeń, prowadzenie szkoleń oraz wdrażanie metodologii Lean Management, a także przedstawia wnioski ze współpracy z młodzieżą szkolną.

### **Local, Ecological Management of Waste – How to Educate in an Proper Way?**

#### **Abstract**

When it is comes to proper sorting of waste, environmental education is often incorrectly understood and inaccurately compared with other informational campaigns. Defining education as a continuous process of getting and improving knowledge, students from students'

club called „Studenckie Koło Naukowe Zarządzanie” from AGH University of Science and Technology created a new Project „Local, ecological management of waste”. It was cooperated with local partners, NGOs and representatives of small enterprises. The Project is intended to spread knowledge of the hierarchy of waste management (prevention, reuse, recycling, energy recovery and final storage of waste) and also how to sort them properly. Educational activities were based on methods of Lean Six Sigma and also on the experiences of the Project team. This publication was written to show the ways of the effective environmental education and also to present conclusions of cooperation with school youth.

---

## 1. Idea ekologicznego edukowania

O istotności surowców wtórnych dla gospodarki może świadczyć fakt opisany przez W. Bartoszewskiego, nawiązujący do dziejów okupowanej Warszawy. Niedostarczenie wyznaczonej ilości surowców ówczasie groziło karą śmierci (Bartoszewski 2008). Skuteczność ekologiczna współczesnego systemu gospodarki odpadami zależy przede wszystkim od jego uczestników, którymi są mieszkańcy i przedsiębiorcy (Filipiak, Pietrzyk 2009). Dlatego kluczową rolę odgrywają informacja i edukacja, uwzględniające postęp technologiczny, zmiany prawne i organizacyjne. Powyższe hasła to znak, że nie można raz na zawsze przekazać wiążącej informacji o sposobach prawidłowego gospodarowania odpadami. W założeniach ogólnych nie zmienia się podejście zachęcające do zapobiegania wytwarzaniu odpadów. Jednak, gdy już one powstaną, ich sposób zbierania i zagospodarowania uzależniony będzie od wielu czynników. Stąd potrzeba ciągłego edukowania i informowania społeczeństwa. Informacja powinna spełniać następujące cechy (Pietrzyk et al. 2014):

- czytelność przekazu,
- dostępność i powszechność dla wszystkich grup społecznych,
- spójność ze stanem rzeczywistym (tzn. nie można informować mieszkańców o zbieraniu odpadów w pojemnikach, jeśli w gminie istnieje system workowy itp.).

Za informacje z zakresu gospodarki odpadami uznaje się (ibidem):

- terminy odbierania poszczególnych frakcji odpadów,
- terminarz funkcjonowania PSZOK,
- informacje o sposobach zbierania odpadów (kolorystyka worków/pojemników),
- wysokość stawek za odbieranie i zagospodarowanie odpadów,
- opis sankcji za niewłaściwe gospodarowanie odpadami,
- dane kontaktowe do podmiotów obsługujących system,
- inne informacje wynikające z uwarunkowań lokalnych.

Edukacja jest procesem bardziej złożonym, który od informacji różni się tym, iż nie wskazuje wyłącznie, jak ma być, a uczy dlaczego tak jest oraz dlaczego powinno lub nie powinno być inaczej. Edukację można zdefiniować jako proces ciągły, prowadzący do doskonałości (zob. Encyklopedia powszechna PWN). Uczestnicy systemu

powinni zrozumieć idee, a następnie korzystając z narzędzia, jakim jest informacja, umieć dostosować swoje działania do bieżącego systemu gospodarki odpadami w miejscu pracy, zamieszkania i odpoczynku.

Biorąc pod uwagę powyższe założenia, na potrzeby lokalnego systemu gospodarki odpadami, w każdej ze szkół na terenie gminy powinien być opracowany i prowadzony program edukacyjny obejmujący trzy trzyletnie okresy edukacyjne:

- przedszkolny,
- wczesnoszkolny (klasy 1-3),
- dla klas 5-7.

Od 4 do 6 godzin zajęć pozalekcyjnych i/lub tematyki wprowadzanej na lekcjach wychowawczych, przyrody itp., w cyklu jednego roku szkolnego, powinno odpowiednio utrwalić zasady właściwego gospodarowania surowcami i odpadami. Trzyletnie bloki mają za zadanie zapewnić ciągłość edukacji, m.in. poprzez realizację przez uczniów długoterminowych projektów badawczych i poznawczych. Spójność pomiędzy okresami edukacyjnymi pozwoli na wprowadzenie działań, takich jak np. sadzenie drzew (przedszkolak sadzi – absolwent szkoły podstawowej obserwuje, jak długo powstaje surowiec odnawialny, którego dotychczas mógł nie doceniać). Oparcie działań edukacyjnych na zajęciach w szkołach w dłuższej perspektywie spowoduje, że będzie to najlepszy kanał dystrybucji informacji. Ze względu na kompleksowość działań edukacyjnych gospodarka odpadami powinna być łączona z innymi kwestiami środowiskowymi, takimi jak energia, powietrze, woda i ścieki (Pietrzyk et al. 2014). Świadomi wartości środowiska mieszkańcy to także lepsze decyzje na przyszłość (niwelacja protestów społecznych przeciw innowacyjnym rozwiązaniom). Poniżej zaprezentowany został sposób tworzenia i ewoluowania projektu edukacyjnego połączonego z kampanią informacyjną pn. „Lokalne, Ekologiczne Gospodarowanie Odpadami”.

## **2. Zastosowanie metody DMAIC jako podstawy realizowania metodologii Lean Six Sigma w aspekcie edukacji ekologicznej**

Metoda DMAIC znajduje swoje zastosowanie głównie w działaniu ukierunkowanym na optymalizację procesów produkcyjnych w usługach, a także w sferze biurowej (<http://nf.pl/manager/modeldmaic-narzedziem-w-budowaniu-strategii-firmy,,14740,85>).

Odnosząc się jednak do ogólnych wytycznych oraz ram określających funkcjonowanie i przeznaczenie metody, można ją odpowiednio przekształcić, dostosowując jako narzędzie wspomagające realizację różnorodnych projektów, w tym m.in. w misji ekologicznej edukacji w ramach „Lokalnego, Ekologicznego Gospodarowania Odpadami”. DMAIC – jako podstawa realizowania metodologii Lean Six Sigma

(metodologii „szczupłego” zarządzania jakością procesów, projektów, a także innych działań, przy oparciu o wszelkie statystyczne, jak i analityczne metody pomiaru) – ma za zadanie umożliwić obiektywne spojrzenie na problem, a następnie analizę i weryfikację możliwych ścieżek doskonalenia, naprawy, jak również rozwoju działań. Poprzez zdefiniowanie celu, a także ustalenie planu działania możliwe jest więc nieustanne wdrażanie usprawnień w założonym programie ekoinnowacji, kształcenia wszystkich pokoleń oraz budowania świadomości w zakresie prawidłowej hierarchii gospodarki odpadami (Dz.U. z 2016 r., poz. 1987 ze zm.).

Metoda DMAIC posiada pięć członów, które odpowiadają kolejnym etapom przygotowań do realizacji projektu (Eckes 2016). Założeniem jej zastosowania na etapie tworzenia strategii projektu „Lokalne, Ekologiczne Gospodarowanie Odpadami” było zbadanie i ustalenie możliwie najbardziej efektywnego i poprawnego toku realizacji idei edukacji.

Projekt „Lokalne, Ekologiczne Gospodarowanie Odpadami” realizowany był przez Stowarzyszenie Rozwoju Gminy Zielonki, we współpracy ze Studenckim Kołem Naukowym Zarządzanie, a finansowany przez Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Krakowie oraz Powiat Krakowski. Partnerami projektu byli: Stowarzyszenie Korona Północnego Krakowa oraz Atmoterm S.A.

Opierając się na współpracy z wyżej wymienionymi instytucjami, zespół projektowy zrealizował poszczególne etapy w następujący sposób:

## **D – Define – Definiowanie**

W ramach pierwszego etapu konieczne było ustalenie celu projektu, a także problematyki, jakiej miał on dotyczyć. Potrzeba edukacji zarówno uczniów szkół podstawowych i gimnazjalnych, jak i dotarcie do grona lokalnej społeczności, w celu ukształtowania poprawnego i intuicyjnego ekologicznego działania, stała się fundamentem projektu. W specjalistycznej literaturze często spotyka się określenie „głosu klienta” ([http://www.manufacturingterms.com/Polish/Voice\\_of\\_the\\_customer.html](http://www.manufacturingterms.com/Polish/Voice_of_the_customer.html)), który również stanowił podstawę określenia celu mającego swoją konkretną, mierzalną specyfikację. W przypadku projektu „Lokalne, Ekologiczne Gospodarowanie Odpadami” tzw. głosem klienta była potrzeba odpowiedzi na pytania związane z planowanym ówczesnie wdrożeniem nowego Rozporządzenia Ministra Środowiska (Dz.U. z 2017 r., poz. 19), którego obowiązywanie zaplanowano na 1 lipca 2017 r. Celem stało się zatem szerzenie dostępnej już, ale niewyjaśnionej wiedzy z zakresu gospodarowania odpadami, ze szczególnym uwzględnieniem ich sortowania. Celem nadrzędnym stało się wskazanie lokalnych rozwiązań wynikających z okresów przejściowych zawartych w rozporządzeniu, które co do zasady ujednolicił system sortowania podstawowych odpadów komunalnych w Polsce. Realizując etap definiowania „Lokalnego EGO”, została również stworzona oferta precyzyjna, porządkująca, a także formalizująca wszelkie możliwe informacje odnośnie zało-

zonego programu przeprowadzanych warsztatów, ich formy oraz założonych rezultatów.

### **M – Measure – Dokonanie pomiarów**

W ramach etapu pomiarów ustalono kolejne składowe i ich oddziaływanie dla części warsztatowej projektu: wiek ucznia w stosunku do poziomu skomplikowania przekazywanych treści, liczba uczniów w docelowej grupie w stosunku do kompleksowości przekazywanych informacji, czas koncentracji uczniów na przekazywanych treściach oraz zaangażowanie i aktywność w praktycznej części warsztatów. Pomiar wymienionych składowych polegał na zebraniu subiektywnych opinii prowadzących warsztaty, a także na konsultacjach z nauczycielami obecnymi w trakcie pilotażowych zajęć.

### **A – Analize – Analiza**

Z punktu widzenia realizacji projektu, a także próby jego oparcia o metodologię Lean Six Sigma i DMAIC, etap analizy miał znaczenie kluczowe. To na jego podstawie możliwe było określenie planu realizacji projektu. Poprzez wspólne, zespołowe dyskusje odnośnie analizowanych zmiennych ustalono istotne dla projektu informacje, które stanowiły podstawę do prawidłowego prowadzenia warsztatów, szans na ich usprawnienie i prowadzenie prac rozwojowych, a także przygotowanie się do zrealizowania trzeciego etapu projektu, czyli zaprojektowania materiałów informacyjnych dla mieszkańców w formie ulotki.

W wyniku analizy ustalonych na etapie Measure składowych uznano, że czas przekazywanych treści o charakterze teoretycznym nie może przekroczyć więcej niż jedną godzinę lekcyjną. Budowanie koncentracji i zaangażowania uczniów musi wynikać z ciekawie i obrazowo przygotowanej prezentacji, zawierającej istotne, ale także niesztaampowe przykłady racjonalnego gospodarowania odpadami. Duża liczba pytań skierowanych do uczniów zwiększa ponadto szansę utrzymania ich uwagi na przekazywanych treściach. Poprzez rozdanie materiałów informacyjnych w formie możliwym do wklejenia do zeszytów zwiększone zostało prawdopodobieństwo ponownego zapoznania się z podstawami teoretycznymi, nawet po ukończeniu zajęć. Preferowane jest włączanie nauczycieli w tematykę zajęć, tak aby wykorzystali przekazane treści do realizacji swoich tematów. Kolejną koncepcją ustaloną na podstawie dokonanych pomiarów był plan przeprowadzenia drugiej części warsztatów. W ich trakcie umożliwiono uczniom praktyczne podejście do tematu. W ramach dwugodzinnej drugiej części zajęć do ich dyspozycji przekazane zostały instrukcje stanowiskowe trzech konstrukcji: zakładu termicznego przetwarzania odpadów, sortowni odpadów, kompostowni, a także niezbędne materiały do ich zbudowania: klocki LEGO DUPLO, zakrętki z butelek, słomki do picia napojów, zużyte baterie oraz makulatura. Posiadając wyżej wymienione materiały, zadaniem

konstruktorów było zbudowanie wspomnianych budowli z uwzględnieniem priorytetowego celu, jakim jest racjonalne wykorzystanie dostępnych surowców.

### **I – Improve – Doskonalenie**

Etap ten opierał się o możliwe wprowadzenie usprawnień, a także optymalizację istniejącego już i realizowanego na bieżąco procesu dydaktycznego, w oparciu o wnioski wyciągnięte na etapie analizy.

Aby projekt warsztatów miał możliwość ciągłego rozwoju, zmodernizowano wcześniejszą prezentację, wzbogacając ją o filmy prezentujące bezpośrednio pracę takich instalacji, jak zakład termicznego przetwarzania odpadów, czy też przedstawienie funkcjonowania sortowni odpadów. Zobrazowanie treści rzeczywistymi przykładami umożliwia zwiększenie zaangażowania uczniów do efektywnej pracy w praktycznej części zajęć. Ponadto, w ramach planu rozwoju prowadzonych warsztatów ustalono nową drogę, opartą o klocki LEGO Mindstorms, a także określono elementy programowania, których dokładne działania zostały opisane w dalszej części.

### **C – Control – Kontrolowanie**

Etap ten polega na weryfikowaniu realizowanych celów, pomiarów, a także zaimplementowanych usprawnień i ścieżek rozwoju. Zespół projektu „Lokalnego, Ekologicznego Gospodarowania Odpadami” postawił za cel przeprowadzanie wspólnych dyskusji po każdym warsztacie, a także w trakcie realizowania zbiórki klocków – jako elementu bieżącej kontroli procesu dydaktycznego.

## **3. Charakterystyka projektu**

Realizując poszczególne etapy metody DMAIC, zespół projektowy opracował trzy części projektu:

### **Zbiórka klocków**

Integralną częścią projektu „Lokalne, Ekologiczne Gospodarowanie Odpadami” było stworzenie elementu uwzględniającego udział osób zewnętrznych w edukacji ekologicznej. Przeprowadzenie zbiórki klocków zostało wyłonione jako najlepszy pomysł, który poprzez swoją unikatowość, jak i jednoczesną uniwersalność, miał największe szanse powodzenia w uzyskaniu rozgłosu i promocji projektu. Rodzaj zbieranych klocków był nieokreślony, a zasadniczym celem było szerzenie idei ponownego wykorzystania odpadów.

Docelowo klocki gromadzone przez realizatorów miały posłużyć do zbudowania modelu ukazującego przekrój poprzeczny złoża surowców mineralnych, np. węgla

kamiennego, który będzie wykorzystywany w trakcie kolejnych warsztatów skierowanych do uczniów.

Miejsca zbiórki znajdowały się w budynkach Akademii Górniczo-Hutniczej oraz w budynku Urzędu Marszałkowskiego Województwa Małopolskiego w Krakowie przy ulicy Raclawickiej 56. W miejscach tych umieszczone zostały specjalnie zaprojektowane plakaty zawierające dokładne instrukcje i informacje dotyczące akcji oraz przygotowane na ten cel kartonowe pudła (także z odzysku) posiadające logo projektu.

Czynnikiem motywującym do przekazania klocków była możliwość wygrania tabletu multimedialnego. Natomiast osoby chętne do podzielenia się klockami proszone były o umieszczenie w ich opakowaniach karteczki zawierającej dane kontaktowe, takie jak imię, nr telefonu i adres e-mail, które wykorzystane zostały jedynie dla celów kontaktu ze zwycięzcą. Udział w losowaniu był dobrowolny, a każdy uczestnik miał równe szanse, niezależnie od liczby przekazanych klocków. Zbiórka miała miejsce w maju i czerwcu 2017 r.

Cała akcja zakończyła się sukcesem. Udało się zebrać ok. 300 elementów klocków. Zakończeniem tego etapu projektu było przeprowadzone losowanie, które odbyło się pod kontrolą dwóch koordynatorów projektu oraz członka Zarządu Stowarzyszenia Rozwoju Gminy Zielonki.

### **Prowadzenie warsztatów**

Celem warsztatów było przekazanie wiedzy na temat gospodarki cyrkulacyjnej oraz sortowania odpadów w sposób klarowny i bezproblemowy do zapamiętania przez odbiorców. Za grupę docelową uznano uczniów szkół podstawowych klas 4-6 oraz gimnazjów klas 1-3, uwzględniając także zmiany w reformie szkolnictwa. Określono liczebność grupy docelowej na 20-25 uczestników. Warsztaty prowadzone były w formie dwóch spotkań, każde trwające dwie godziny lekcyjne (90 minut), z zachowaniem co najmniej tygodniowego odstępu między nimi. Obydwa warsztaty składały się z części teoretycznej i praktycznej, po to by zachęcić uczniów do aktywnego uczestnictwa w zajęciach oraz by w sposób efektywny przyswoili przekazywane treści.

Scenariusz warsztatów, jakie zrealizowano w roku szkolnym 2016/2017 przedstawiono poniżej:

Warsztat I rozpoczynało wzajemne zapoznanie się uczestników. Poprzez zmniejszenie dystansu między prowadzącymi a uczestnikami zwiększono szansę na lepsze przyswojenie wiedzy, a także utrzymanie pozytywnego nastawienia i motywacji do czynnego udziału w zajęciach. Wprowadzenie do tematyki warsztatów następowało poprzez zadawanie pytań odnośnie przedmiotów, a także czynności związanych z generowaniem odpadów, a mającymi miejsce w życiu codziennym uczniów. W części teoretycznej przybliżone zostały definicje gospodarki odpadami, wiadomości na



temat poszczególnych segmentów piramidy-hierarchii gospodarki odpadami, analiza sortowania odpadów (co gdzie należy wrzucać oraz czego nie należy wrzucać do poszczególnych pojemników). Część praktyczna polegała natomiast na skonstruowaniu omówionej wcześniej piramidy hierarchii gospodarki odpadami. Klasa dzielona była na pięć grup, a każda z nich otrzymywała instrukcje stanowiskowe przydzielonych segmentów piramidy, klocki, kartę hasła, kartkę, pisak, nożyczki oraz taśmę klejącą. Po zbudowaniu modułu, zgodnie z wytycznymi, grupa wybiera te hasła, które pasowały do przydzielonego elementu hierarchii. Następnie zadaniem uczniów było przepisanie ich na wyciętych fragmentach kartki i przyklejenie na segment zbudowany z klocków. Po zakończeniu pracy przedstawiciele każdej z grup wspólnie łączyli poszczególne fragmenty piramidy, opowiadając o danym module na forum klasy. Prowadzący na bieżąco sprawdzali razem z uczniami czy dobrze wykonali ćwiczenie i ewentualnie korygowali błędy oraz niejasności. Podsumowując przebieg zajęć, wspólnie z uczniami wyciągane były wnioski z procesu budowy piramidy. Celem było uświadomienie o możliwie maksymalnym wykorzystaniu otrzymanych surowców i ograniczeniu powstawania odpadów w trakcie budowy piramidy. Na koniec pierwszego warsztatu uczniowie dostawali kartę pracy dla całej klasy, na której przez kolejny tydzień mieli zapisywać ilości wytworzonych w klasie odpadów. Drugim zadaniem była indywidualna karta ucznia, w formie ankiety, do przeprowadzenia z trzema dowolnie wybranymi dorosłymi osobami.

Warsztat II rozpoczynał się od przypomnienia treści poprzednich zajęć. Uczniowie samodzielnie wymieniali wszystkie etapy hierarchii odpadami. Część teoretyczna drugiego spotkania zawierała krótkie wprowadzenie z wykorzystaniem zdjęć i opisów trzech instalacji (sortowni, spalarni odpadów, kompostowni). Nawiązując do teorii, część praktyczna polegała na zbudowaniu omówionych wcześniej instalacji. W tym celu uczniowie dzieleni byli na trzy grupy, otrzymując karty inspiracji, klocki, zużyte baterie, papier, zakrętki, rurki, gumki recepturki, taśmę i nożyczki. Do stworzenia instalacji musieli wykorzystać wszystkie otrzymane surowce. Po czasie przeznaczonym na budowę, omawiane zostawały wspólnie zasady funkcjonowania instalacji, a ostatnim elementem było podsumowanie całości wspólnych działań.

Podsumowując cel realizowanych warsztatów, scenariusz zakładał wzbudzenie świadomości uczniów, a także poinformowanie o potrzebie zapobiegania powstawaniu odpadów. Ponadto, istotnym punktem edukacji ekologicznej było poruszenie tematu selekcyjonowania odpadów u źródła ich powstawania (KPGO 2022).

### **Zaprojektowanie materiałów informacyjnych dla mieszkańców**

Trzecim etapem działań projektowych było opracowanie i wydanie materiałów informacyjnych dla mieszkańców w formie ulotki informującej o prawidłowym sposobie postępowania z odpadami w gospodarstwach domowych w myśl Rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie szczegółowego sposobu selektywnego zbierania



wybranych frakcji odpadów, które weszło w życie z 1 lipca 2017 r. (Dz.U. z 2017 r., poz. 19). Nowe rozporządzenie ujednocila system selektywnej zbiórki odpadów w całej Polsce, a także wskazuje, jakie frakcje odpadów i w jakich pojemnikach/workach powinny być zbierane do czasu ich odebrania przez odpowiednią jednostkę.

Wydanie ulotki zaplanowane zostało na rok szkolny 2017/2018, z celem poinformowania społeczeństwa o wprowadzanych zmianach. Zastosowane chwytliwe, tytułowe hasło „Czy wiesz, gdzie mnie wyrzucić?” będzie miało na celu zachęcić odbiorców do otworzenia i zapoznania się z jej treścią. Pomimo ujednocilenia gospodarki odpadami przez nowe rozporządzenie, każda gmina ma inny charakter, dlatego do projektu ulotki zastosowano podejście indywidualnie. Treści zostały opracowane na podstawie obowiązujących i projektowanych regulaminów utrzymania czystości i porządku w gminie.

#### **4. Diagnoza potrzeb edukacyjnych jako wnioski z realizacji projektu „Lokalne, Ekologiczne Gospodarowanie Odpadami”**

##### **Edukacja szkolna a świadomość ekologiczna społeczeństwa**

Tematyka związana z gospodarowaniem odpadami została uznana za przykład tego, jak duży wpływ może mieć edukacja wczesnoszkolna dzieci. Podczas zajęć praktycznych, w formie np. warsztatów, uczniowie poznają zagadnienia. Niektórym z nich fakty znane z lekcji przyrody lub biologii przedstawiono w całkowicie odmienny sposób. Liczne badania naukowe (Kotarba-Kańczugowska 2016) oraz obserwacje nauczycieli i pedagogów (Szymański 2000) dowodzą, że zajęcia prowadzone w sposób bardziej angażujący uczestników do przyswajania wiedzy oraz poznawania nowych zagadnień mają wielokrotnie większy wpływ na tempo uczenia się oraz zapamiętywania (<http://www.edunews.pl/nowoczesna-edukacja/innowacje-w-edukacji/393>). Ważnym aspektem w trakcie realizacji warsztatów było wykorzystanie możliwości połączenia zabawy z nauką dzięki m.in. zajęciom, podczas których uczestnicy musieli z otrzymanych odpadów stworzyć modele instalacji, takich jak sortownia, kompostownia czy spalarnia odpadów. Dzięki tego rodzaju aktywności dzieci, chcąc jak najlepiej odwzorować wznoszone konstrukcje, miały okazję do zapamiętania szczegółów technicznych oraz konstrukcyjnych budowli.

##### **Świadomość jako podstawa zmian**

Za kolejną ważną kwestię w edukacji młodzieży uznano wpływ wywierany na ich rodziny. W trakcie warsztatów uczniowie uświadamiali sobie, jak wiele błędów popełniają lub odwrotnie, że niektóre z codziennych czynności przyczyniają się do ochrony środowiska. Uczestnicy warsztatów poproszeni o wykonanie pracy domowej

wśród najbliższych, posiadając już wiedzę na temat podstaw ochrony środowiska, czy też gospodarki odpadami, stawali się motywatorami urzeczywistniania swoich działań.

### **Przykład idzie z góry**

Analizując tok prowadzonych warsztatów dla uczniów klas 4-6 szkół podstawowych oraz klas 1-3 gimnazjów dowiedziono, że poziom edukacji i świadomości ekologicznej był bardzo różny. Niejednokrotnie w trakcie realizacji warsztatów obserwowano odmienne i zaskakujące tendencje, np. gdy dzieci z klasy 4 posiadały znacznie bardziej rozwiniętą wiedzę o środowisku niż gimnazjaliści. Za przyczynę tego zjawiska uznano politykę regionalną kładącą nacisk na ochronę natury oraz prowadzone uświadamiające akcje.

### **Symulacja Sprawnego Systemu Sterowania Sortowaniem – jako droga usprawnienia projektu**

Wychodząc naprzeciw wspomnianemu uprzednio zjawisku popularności urządzeń mobilnych oraz wszechobecnej elektroniki, zespół projektowy postanowił udoskonalić program realizowanych warsztatów. W ramach projektu „Lokalne, Ekologiczne Gospodarowanie Odpadów” zaplanowano stworzenie jego modernizacji ujętej pod nazwą „5S – Symulacja Sprawnego Systemu Sterowania Sortowaniem”. W nowym scenariuszu założono, że uczestnicy, wykorzystując specjalnie skonstruowany z LEGO Technics pojazd, wyposażony w sensory barwy oraz „komputer pokładowy” wchodzący w skład zestawu LEGO Mindstorms, zaplanują system odbierania odpadów od poszczególnych gospodarstw w przygotowanym wcześniej uproszczonym planie miasta. Poszczególne budynki mieszkalne, jak i przedsiębiorstwa produkcyjne, restauracje oraz szkoły stanowić będą źródło generowanych odpadów. Wszystkie te obiekty przedstawione zostaną w uproszczonej formie kartonowych modeli wykonanych na bazie prostopadłościennych bloków. Oprócz tego, każdemu z miejsc przyporządkowane będą różnokolorowe pojemniki, wypełnione klockami LEGO oznaczającymi różne rodzaje wytworzonych odpadów. Ponadto pojazd, poruszając się wzdłuż wyznaczonej między budynkami czarnej linii wytyczonej na poziomej płaszczyźnie, wyposażony będzie w czujnik barw. Dzięki temu rozwiązaniu podczas przejazdu między budynkami na bieżąco będzie on analizował, czy wzdłuż drogi ustawione będą pojemniki z odpadami. Jeżeli dany zbiornik przeznaczony będzie do odebrania, pojazd zatrzyma się i przerzuci zawartość pojemnika do zbiornika umieszczonego na pojeździe. W przypadku, gdy dany pojemnik okaże się pusty uczniowie będą musieli umieścić przed nim przygotowany do tego celu czarny pionowy klocek LEGO, ponieważ pojazd zaprogramowany będzie w taki sposób, aby ominąć ten właśnie kolor. Głównym zadaniem uczestników symulacji będzie zatem wytyczenie, za pomocą wspomnianej poziomej czarnej linii pomię-

dzy budynkami, takiej trasy pojazdu, aby samochód odbierający odpady pokonał jak najkrótszą drogę w jak najkrótszym czasie, optymalizując tym samym proces transportowy. Dzięki uczestnictwie w zajęciach dzieci będą mogły pozyskać wiedzę i umiejętności nie tylko odnoszące się do zagadnień proekologicznych, takich jak utrwalenie znajomości kolorów poszczególnych pojemników na odpady czy system logistyczny ich odbioru, ale także rozwiną swoje umiejętności analityczne. Postawione im zadanie przyczyni się do rozwoju logicznego myślenia, które z pewnością będzie niezwykle wartościowe podczas dalszej edukacji, pracy i w życiu codziennym.

## 5. Strategia efektywnego nauczania

Przeprowadzone warsztaty miały na celu:

- przekazanie uczniom podstawowej wiedzy teoretycznej z zakresu gospodarki cyrkulacyjnej i segregowania odpadów,
- zaznajomienie uczestników z poszczególnymi segmentami hierarchii gospodarowania odpadami (zapobieganie powstawaniu odpadów, powtórne wykorzystanie, recykling, odzysk, składowanie odpadów),
- wzbudzenie intuicyjnej potrzeby segregowania odpadów, a przede wszystkim zapobieganie ich powstawania,
- naukę oszczędzania własnych zasobów, przedmiotów codziennego użytku, w celu redukcji powstawania odpadów,
- naukę współpracy w grupie, działania we wspólnym celu, wzajemnego ustalania priorytetów i przekazywania innym posiadanej wiedzy z zakresu gospodarki odpadami.

Podsumowując dotychczasowe działania związane z projektem, możliwe jest wyciągnięcie wniosków o dalszych planach rozwoju, zarówno „Lokalnego, Ekologicznego Gospodarowania Odpadami”, jak i innych projektów niosących misję edukacji ekologicznej. Rozwój opisywanego projektu odbywał się będzie nie tylko na płaszczyźnie urozmaicenia warsztatów nowymi technologiami, ale również w sferze edukacji, czyli odpowiedniej relacji wiedza-uczeń. Podczas pierwszych zajęć dokładnie analizowano predyspozycje klasy, celem dobrania najefektywniejszych metod pracy. Wnioski wyciągnięte z rozmów wyraźnie wskazują na usprawnienie poszczególnych działań.

Po pierwsze, wszelkie najistotniejsze informacje oraz podstawy teoretyczne powinny być poruszane na początku spotkania, kiedy uczniowie wykazują największe skupienie. Samo przekazywanie wiedzy nie może polegać na monologu prowadzącego – powinno zachęcać uczniów do aktywnego uczestnictwa, poprzez dzielenie się swoimi doświadczeniami bądź wątpliwościami. Kreatywność i inicjatywa biorących udział w zajęciach staną się kluczem do efektywnego nauczania.

Zadaniem realizatorów jest więc skonstruowanie przebiegu lekcji w taki sposób, aby stworzyć jak największą przestrzeń do podejmowania aktywności przez uczniów. Pomocne w tym będzie zredukowanie informacji zawartych w prezentacji multimedialnej i wykorzystanie ich do stworzenia zabawy edukacyjnej. Dzięki temu uczestnicy nie będą tylko słuchać, w których pojemnikach należy umieścić poszczególne odpady, ale sami zajmą się odpowiednim sortowaniem i organizacją systemu gospodarki odpadami. Przykłady różnych odpadów zapisane będą na kartkach, a zadaniem uczniów będzie dopasowanie ich do prawidłowego pojemnika (wraz z wyjaśnieniem swojego wyboru). W przypadku ewentualnego wydłużenia czasu trwania zajęć istnieje możliwość zastosowania rzeczywistych odpadów. Taka realizacja zadania umożliwi praktyczne przedstawienie oznaczeń informacyjnych znajdujących się na opakowaniach, które wskazują ścieżkę postępowania po zużyciu.

Rozwinięcie koncepcji programowania za pomocą LEGO Mindstorms posiada jednocześnie aspekt technologiczny (opisany powyżej) oraz aspekt edukacyjny. Kreatywność i działanie wzmacnia zapamiętywanie, dlatego za pomocą zabawy symulacją systemu sortowania dajemy dzieciom możliwość uzewnętrznienia swojej pomysłowości i zarazem stworzenia dobrych wspomnień z warsztatu.

Bardzo ważnym elementem projektu jest to, co po nim pozostanie. Niewątpliwie pomoc w tym może interesujące zadanie domowe, czyli omówiona wcześniej ankieta. Chcąc obudzić w uczniach poczucie istotności poruszanych tematów, należy tak przedstawić powierzane im zadanie, aby zmotywować ich do zaangażowania w jego wykonanie. Należy podkreślić, że uczestnicy biorą udział w ważnych badaniach, a zebrane przez nich dane posłużą do przeprowadzenia analiz dotyczących postępowania z odpadami w gminie. Postawienie ucznia w roli ankietera daje szansę na likwidację bariery pomiędzy ankieterem a ankietowanym.

Ostatnią innowacją jest zalecenie wklejenia otrzymanych materiałów dydaktycznych do zeszytów. Z pozoru prozaiczna czynność zapewni możliwość powrotu do zagadnień dotyczących gospodarowania odpadami, być może nawet z rodzicami. Umożliwia to także nauczycielom powrót do tematów omawianych na warsztatach.

## Literatura:

- [1] Bartoszewski W., 2008, *1859 dni Warszawy*, Wydawnictwo Znak, Kraków.
- [2] Eckes G., 2016, *Rewolucja Six Sigma*, MT Biznes, Warszawa.
- [3] Edukacja, 2006, *Edukacja w: Encyklopedia powszechna PWN*, PWN, Warszawa.
- [4] Filipiak A., Pietrzyk J., 2009, *Efektywna edukacja*, „Przegląd Komunalny” 9/2009 (216).
- [5] Internet 1. Model DMAIC narzędziem w budowaniu strategii firmy, <http://nf.pl/manager/model-dmaic-narzedziem-w-budowaniu-strategii-firmy,,14740,85> (dostęp: 4.09.2017).
- [6] Internet 2. Głos klienta, [http://www.manufacturingterms.com/Polish/Voice\\_of\\_the\\_customer.html](http://www.manufacturingterms.com/Polish/Voice_of_the_customer.html) (dostęp: 20.08.2017).

- [7] Internet 3. <http://www.edunews.pl/nowoczesna-edukacja/innowacje-w-edukacji/393> (dostęp: 9.09.2017).
- [8] Kotarba-Kańczugowska M., 2016, *Praca metodą projektu*, Ośrodek Rozwoju Edukacji, Warszawa.
- [9] KPGO 2022, uchwała nr 88 Rady Ministrów z dnia 1 lipca 2016 r. w sprawie Krajowego planu gospodarki odpadami 2022 (M.P. z 2016 r., poz. 784).
- [10] Pietrzyk J., Wiśniowska A., Wójcik K., 2014, *Edukacja, plan, realizacja, czyli jak z sukcesem planować gospodarkę odpadami w gminie*, „Logistyka” 4/2014.
- [11] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 grudnia 2016 r. w sprawie szczegółowego sposobu selektywnego zbierania wybranych frakcji odpadów (Dz.U. z 2017 r., poz. 19).
- [12] Szymański M.S., 2000, *O metodzie projektów. Z historii, teorii i praktyki pewnej metody kształcenia*, Żak. Wydawnictwo Akademickie, Warszawa.
- [13] Ustawa z 14 grudnia 2012 o odpadach (Dz.U. z 2016 r., poz. 1987 ze zm.).

## **Część III**

**Przykłady rozwiązań technicznych  
i organizacyjnych promujących GOZ  
i ograniczenia emisji**



# Ocena niskoemisyjności i efektywności energetycznej polskich miast

---

## Streszczenie

Działania na rzecz niskoemisyjności i efektywności energetycznej wpisują się w realizację celów strategii *Europa 2020*, a zarazem stanowią istotne wyzwanie rozwojowe polskich miast. Próbę dokonania ich oceny w przedmiotowym obszarze podjęto w *Raporcie o stanie polskich miast 2017. Niskoemisyjność i efektywność energetyczna*, opracowanym przy współpracy z firmą ATMOTERM S.A., w ramach cyklu raportów tematycznych Obserwatorium Polityki Miejskiej Instytutu Rozwoju Miast (OPM IRM). W niniejszym tekście przedstawiono najważniejsze wyniki, wnioski oraz rekomendacje dla administracji rządowej i samorządowej, wpływające z przeprowadzonej oceny. Dokonano jej w podziale na główne kategorie miast (ośrodki: metropolitalne, regionalne, subregionalne i lokalne). Do oceny wykorzystano m.in. dwa wybrane wskaźniki ilościowe, takie jak: emisja gazów cieplarnianych w ekwiwalencie CO<sub>2</sub> oraz zużycie energii finalnej, w przeliczeniu na 1 mieszkańca. Materiał badawczy do oceny stanowiły plany gospodarki niskoemisyjnej (PGN) miast. Analiza wskazuje, że ośrodki miejskie, a w szczególności duże aglomeracje, odgrywają kluczową rolę w procesie transformacji w kierunku gospodarki niskoemisyjnej.

## Evaluation of Low Carbon Economy and Energy Efficiency in Polish Cities

### Abstract

Low Carbon Economy and energy efficiency are the main objectives of the *Europa 2020* Strategy. These objectives were adopted for the national urban development policy for Polish cities. However, they do pose a significant challenge for some of the cities. ATMOTERM S.A. carried out an assessment of the policy on behalf of the Institute of Urban Development. The findings were summarized in *A report on the state of Polish cities in 2017. Low carbon economy and energy efficiency*. In the presented text the main findings, conclusions and recommendations for the central and local government administrations are presented. The findings were categorized in terms of a city and agglomeration size and type (i.e. metropolitan areas, regional, sub-regional and local). Greenhouse gas emissions in terms of equivalent CO<sub>2</sub> per capita and final energy consumption per capita were selected as two main indicators used in the assessment. The analysis was based on development plans for individual cities that adopted implementation of the Low Carbon Economy. The assessment shows that large agglomerations play an important role in the transformation of Polish cities towards the Low Carbon Economy.

---



## Wprowadzenie

Współczesny rozwój cywilizacyjny prowadzi do nieustannego zwiększania się zapotrzebowania na ograniczone zasoby naturalne, powodując jednocześnie degradację środowiska. W tym kontekście uwzględnienie potrzeb nie tylko obecnego, ale również przyszłych pokoleń wymaga podjęcia radykalnych działań na rzecz oszczędności i racjonalnego gospodarowania zasobami. Wyzwanie to zostało dostrzeżone przez Unię Europejską i ujęte w strategii na lata 2010–2020 *Europa 2020 – Strategia na rzecz inteligentnego i zrównoważonego rozwoju sprzyjającego włączeniu społecznemu* (KE 2010). W szczególności znalazło się ono w jednej z jej inicjatyw przewodnich – *Europa efektywnie korzystająca z zasobów* – ukierunkowanej na stworzenie ram strategicznych wspierających zmiany prowadzące do przejścia na gospodarkę niskoemisyjną i efektywniej korzystającą z zasobów.

Kluczową rolę w realizacji celów 20/20/20 strategii *Europa 2020* w zakresie klimatu i energii, tj. ograniczenia emisji gazów cieplarnianych o 20% w stosunku do poziomu emisji z 1990 r., zwiększenia udziału odnawialnych źródeł energii w całkowitym zużyciu energii do 20% (w przypadku Polski – 15%) oraz zwiększenia efektywności wykorzystania energii o 20%, przypisuje się władzom regionalnym i lokalnym.

Biorąc pod uwagę, że 68% populacji Unii Europejskiej mieszka na obszarach zurbanizowanych, których udział w ogólnym zużyciu energii pierwotnej wynosi ok. 70%, co stanowi 75% emisji gazów cieplarnianych (Smart Cities 2012), można mówić o szczególnym wyzwaniu w tym zakresie w przypadku miast.

Teza ta znalazła odzwierciedlenie w dokumencie *Krajowej Polityki Miejskiej 2023 [KPM]* (Ministerstwo Rozwoju 2015), gdzie podkreślono konieczność zapewnienia zrównoważonego rozwoju miast i ich obszarów funkcjonalnych. Wśród dziesięciu wątków tematycznych KPM, priorytetowych dla wyzwań rozwojowych polskich miast, wymienia się *niskoemisyjność i efektywność energetyczną*. Wsparcie realizacji miejskich strategii niskoemisyjnych (w zakresie transportu publicznego, efektywności energetycznej oraz poprawy jakości powietrza), w odniesieniu do dużych miast, zakłada się również w przyjętej w lutym 2017 r. *Strategii na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030 r.)*. Osiągnięcie tego celu planuje się poprzez lepszą koordynację działań prorozwojowych podejmowanych przez aglomeracje i ich obszary funkcjonalne. Aby we właściwy sposób były realizowane założenia formułowanych na poziomie miast strategii niskoemisyjnych, konieczne jest systematyczne monitorowanie i ocena postępów prowadzonych działań, w kontekście przyjętych celów. Cele te zostały określone na poziomie UE w ramach wspomnianego wcześniej pakietu klimatyczno-energetycznego 20/20/20 oraz kolejnego – na lata 2020–2030. Zakłada on ograniczenie emisji gazów cieplarnianych w UE o co najmniej 40% w stosunku do 1990 r., a także wzrost udziału energii z OZE

w całkowitym zużyciu energii na poziomie 27% oraz zwiększenie efektywności energetycznej o 27%.

Próbę dokonania oceny polskich miast pod kątem niskoemisyjności i efektywności energetycznej podjęto w *Raporcie o stanie polskich miast 2017. Niskoemisyjność i efektywność energetyczna*, opracowanym przy współpracy z firmą ATMOTERM S.A., w ramach cyklu raportów tematycznych OPM IRM. Poniżej przedstawiono wybrane wyniki, wnioski oraz rekomendacje dla administracji rządowej i samorządowej, wpływające z przeprowadzonej oceny.

## 1. Materiały i metody

Zasadniczy materiał do badań stanowiły plany gospodarki niskoemisyjnej opracowane przez miasta. Analizie poddano dokumenty PGN przygotowane dla 256 miast oraz nieliczne, sporządzone dla obszarów funkcjonalnych.

Podstawą opracowania planu jest wykonanie bazowej inwentaryzacji emisji gazów cieplarnianych (BEI, ang. *baseline emission inventory*), w rozumieniu *Poradnika. Jak opracować plan działań na rzecz zrównoważonej energii (SEAP)?* (Bertoldi et al. 2010), z obszaru JST. W planie tym wskazuje się cele i konkretne działania – do realizacji przez władze lokalne, niekiedy również podmioty prywatne – zmierzające do zmniejszenia emisji CO<sub>2</sub>, zwiększenia udziału energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych oraz zmniejszenia zużycia energii finalnej. Zakresem planu powinny być objęte te sektory gospodarki, w stosunku do których władze lokalne mają realny wpływ na realizację założonych przedsięwzięć.

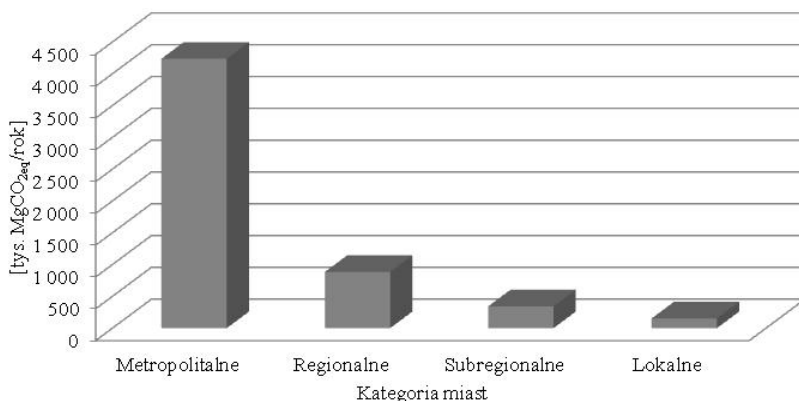
Na podstawie szczegółowej analizy danych zawartych w zgromadzonych planach gospodarki niskoemisyjnej dokonano oceny polskich miast pod względem niskoemisyjności i efektywności energetycznej. W szczególności wytypowano dwa podstawowe wskaźniki do porównań, takie jak: emisja gazów cieplarnianych w ekwiwalencie CO<sub>2</sub> (za ekwiwalent CO<sub>2</sub> przyjmuje się 1 Mg dwutlenku węgla lub ilość innego gazu cieplarnianego, np. CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, stanowiącą odpowiednik 1 Mg CO<sub>2</sub>, obliczoną z wykorzystaniem współczynników ocieplenia globalnego) oraz zużycie energii finalnej. Oba współczynniki przyjęto w przeliczeniu na jednego mieszkańca. Powyższe wskaźniki określono dla wybranej grupy 153 ośrodków miejskich, spełniających warunek odnośnie tego samego (2013) lub zbliżonego (2012, 2014) roku bazowej inwentaryzacji emisji CO<sub>2</sub>.

Na potrzeby oceny miasta zostały podzielone na kategorie – według klasyfikacji przedstawionej w *Koncepcji Przestrzennego Zagospodarowania Kraju 2030* (2011), zgodnie z którą wyróżnia się: ośrodki metropolitalne, pozostałe ośrodki wojewódzkie, ośrodki regionalne, subregionalne oraz lokalne. Z uwagi na małą liczebność zbioru danych dla pozostałych ośrodków wojewódzkich, a zarazem ich cechy wykazujące podobieństwo do ośrodków regionalnych, dokonano agregacji obu grup.

## 2. Wyniki badań

Uzyskane wyniki analiz wskazują, że samorządy wszystkich większych miast (metropolitalnych, pozostałych wojewódzkich, regionalnych oraz subregionalnych) opracowały dokumenty PGN, pomimo ich fakultatywnego charakteru. Wyraźnym bodźcem do podjęcia takich działań okazała się możliwość uzyskania dofinansowania na działania niskoemisyjne i poprawiające efektywność energetyczną z nowej perspektywy finansowej UE na lata 2014-2020, co w wielu przypadkach uzależniono od posiadania wspomnianego dokumentu. Wśród ośrodków lokalnych odsetek miast, dla których sporządzono PGN wynosi zaledwie 25-30%. Wydaje się, że brak tego dokumentu dla pozostałych miast może okazać się barierą w przechodzeniu na gospodarkę niskoemisyjną. PGN zostały opracowane także dla nielicznych miejskich obszarów funkcjonalnych (MOF), w tym najwięcej, bo 39% stanowią MOF ośrodków wojewódzkich.

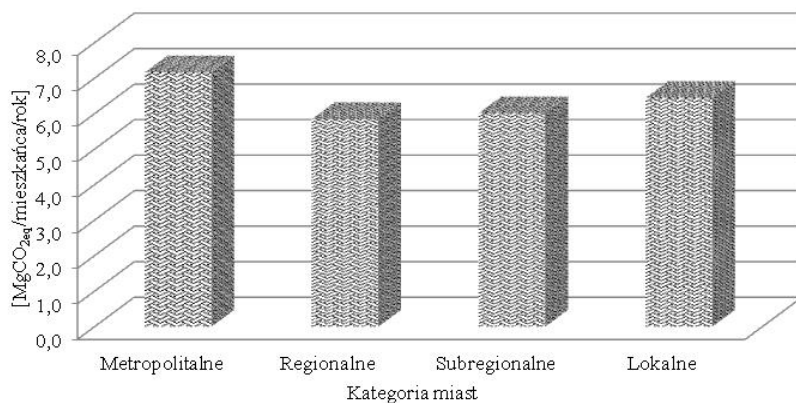
Obliczono, że średnia emisja gazów cieplarnianych z ośrodków metropolitalnych wynosi ok. 4,3 mln  $\text{MgCO}_{2\text{eq}}/\text{rok}$  i jest wyraźnie wyższa od średniej dla pozostałych kategorii miast. W porównaniu z ośrodkami lokalnymi różnica jest blisko 27-krotna, co przedstawiono na rysunku 1.



**Rysunek 1. Średnia emisja CO<sub>2eq</sub> w roku bazowym z poszczególnych kategorii miast**

Źródło: (Bartocha, Rackiewicz 2017).

Po przeliczeniu średniej emisji gazów cieplarnianych na jednego mieszkańca dominującą rolę również odgrywają ośrodki metropolitalne, co może wynikać z pełnionych przez nie funkcji centrów działalności gospodarczej, ale także zagęszczenia sieci komunikacyjnych, rozbudowanych systemów oświetlenia itd. Na kolejnych miejscach pod względem wielkości emisji CO<sub>2eq</sub>/mieszkańca znalazły się odpowiednio miasta o charakterze lokalnym, subregionalnym i regionalnym (zob. rys. 2).



**Rysunek 2. Średnia emisja CO<sub>2eq</sub> w przeliczeniu na jednego mieszkańca dla poszczególnych kategorii miast**

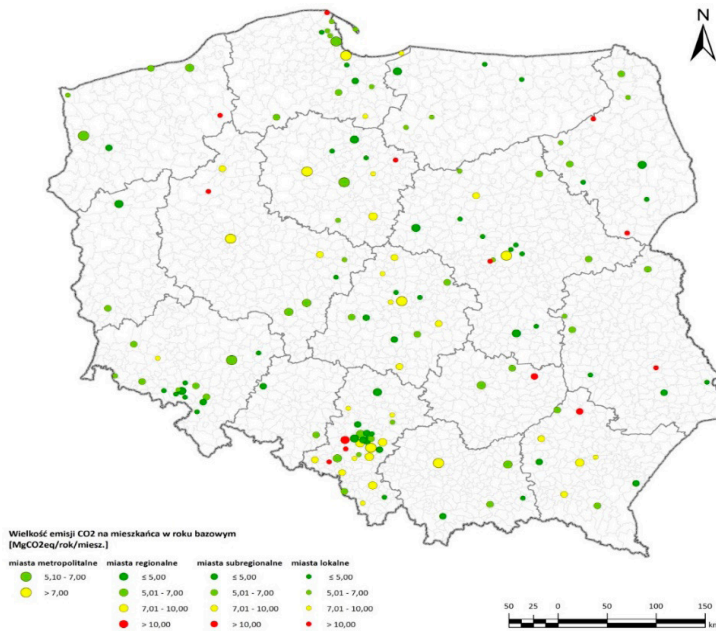
Źródło: (Bartocha, Rackiewicz 2017).

Na podstawie wykonanych ogólnych analiz trudno wskazać uzasadnienie dla przedstawionej hierarchii. Celowe jest prowadzenie dalszych szczegółowych badań, m.in. w zakresie analizy i porównania wielkości emisji gazów cieplarnianych z poszczególnych sektorów w przeliczeniu na jednego mieszkańca, zarówno w odniesieniu do badanych kategorii miast, jak i pojedynczych ośrodków. Należy przy tym pamiętać, że istotną rolę może odgrywać przyjęta metodyka szacowania emisji gazów cieplarnianych, a także dostępność i stopień szczegółowości danych przyjętych do obliczeń przez autorów planów.

W raporcie podjęto również próbę przestrzennego zobrazowania rozkładu wskaźnika emisji CO<sub>2eq</sub>/mieszkańca, której wyniki przedstawiono na rysunku 3.

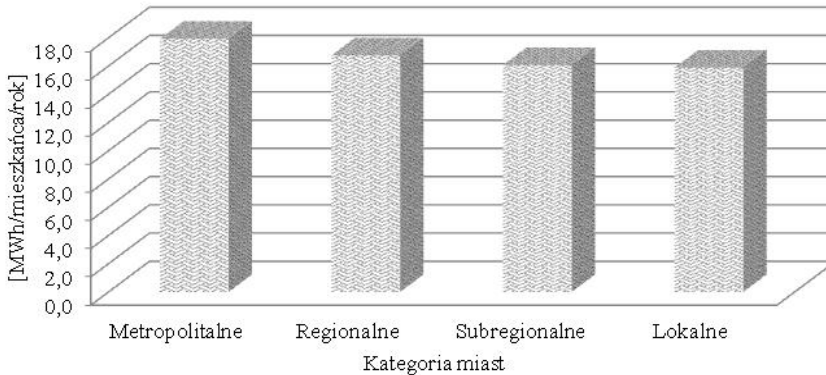
Można zauważyć, że w odniesieniu do ośrodków metropolitalnych, które jako odrębna kategoria cechują się najwyższą wartością wskaźnika emisji CO<sub>2eq</sub>/mieszkańca, przy porównaniach na poziomie miast okazuje się, iż żadna z dużych aglomeracji miejskich nie osiąga wartości wskaźnika ponad 10 Mg CO<sub>2eq</sub>/mieszkańca. Pojawia się natomiast w przypadku miast z pozostałych kategorii, a w szczególności w ośrodkach lokalnych. Niestety zbyt mała liczebność zbioru danych uniemożliwia dokonanie porównania w ujęciu regionalnym.

Wielkość emisji gazów cieplarnianych jest ściśle powiązana z wielkością zużycia energii finalnej. Średnie zużycie energii finalnej na jednego mieszkańca dla analizowanych kategorii miast przedstawiono na rysunku 4.



**Rysunek 3. Rozkład przestrzenny średniej emisji CO<sub>2</sub>eq w przeliczeniu na jednego mieszkańca dla poszczególnych kategorii miast**

Źródło: (Bartocha, Rackiewicz 2017).



**Rysunek 4. Średnie zużycie energii finalnej w przeliczeniu na jednego mieszkańca dla poszczególnych kategorii miast**

Źródło: (Bartocha, Rackiewicz 2017).

Podobnie jak w przypadku wskaźnika emisji gazów cieplarnianych, największym zużyciem energii finalnej na jednego mieszkańca cechują się ośrodki metropolitalne,

a w dalszej kolejności: regionalne, subregionalne i lokalne. Wyraźnie widać, że zależność ta jest odmienna od prezentowanej dla wskaźnika emisji gazów cieplarnianych.

Obliczono, że wśród sektorów o największym udziale w emisji gazów cieplarnianych oraz zużyciu energii finalnej z obszarów miast znajdują się budownictwo (budynki użyteczności publicznej oraz mieszkalne) – średni udział na poziomie 41% w emisji oraz 39% w zużyciu energii finalnej, a także transport – odpowiedzialny za ok. 25% emisji gazów cieplarnianych i 34% zużycia energii finalnej. Są to zarazem sektory cechujące się największym potencjałem w zakresie redukcji. Wyniki analiz pokazują, że jeśli zostaną przeprowadzone niezbędne działania, wynikające z PGN, możliwe ograniczenie emisji gazów cieplarnianych do 2020 r., w sektorze budownictwa, na tle pozostałych sektorów, wyniesie ok. 32% (w tym blisko 26% przypada na budynki mieszkalne), a prognozowana redukcja zużycia energii finalnej – ok. 27%. W sektorze transportu będzie to odpowiednio 12% i ok. 25%.

Wśród planowanych do realizacji w ramach PGN przedsięwzięć w sektorze budownictwa znajdują się modernizacje źródeł ciepła i energii, w tym: wymiana niskosprawnych (węglowych) źródeł ciepła na źródła wysokosprawne, o obniżonej emisyjności, substytucja paliw (na bardziej ekologiczne), podłączenia do miejskich sieci ciepłowniczych, termomodernizacja budynków, wymiana oświetlenia na bardziej nowoczesne i energooszczędne (również urządzeń gospodarstwa domowego), montaż instalacji OZE oraz kompleksowe modernizacje energetyczne.

W sektorze transportu podstawowe działania określone w PGN dotyczą zmian w sieci transportu miejskiego, które polegają na budowie nowych dróg i węzłów przesiadkowych, a także budowie i przebudowie linii tramwajowych oraz ciągów pieszych i rowerowych. Związane są również z wymianą taboru komunikacji miejskiej na niskoemisyjny, w tym z napędem elektrycznym lub hybrydowym, oraz wdrażaniem zintegrowanych systemów zarządzania ruchem (ITS), promocją transportu zbiorowego.

Oceniono, że największe redukcje emisji gazów cieplarnianych oraz zużycia energii finalnej zaplanowały miasta metropolitalne – do 2020 r. średnio o ok. 700 tys. MgCO<sub>2eq</sub>/rok i blisko 1,3 mln MWh/rok. Dla porównania, redukcje założone przez miasta lokalne wynoszą niecałe 20 tys. MgCO<sub>2eq</sub>/rok i ok. 42 tys. MWh/rok.

Związane z realizacją powyższych założeń średnie szacunkowe koszty dla miasta metropolitalnego wynoszą ponad 4 mld zł, a w przypadku ośrodka lokalnego stanowią blisko 165 mln zł.

## Wnioski i rekomendacje

Opracowany *Raport o stanie polskich miast 2017. Niskoemisyjność i efektywność energetyczna* stanowi pierwszą w skali kraju próbę oceny polskich miast pod kątem niskoemisyjności i efektywności energetycznej.



Z oceny tej wynika, że wszystkie aglomeracje i większe miasta w Polsce (powyżej 50 tys. mieszkańców) opracowały indywidualne plany przechodzenia w kierunku gospodarki niskoemisyjnej (PGN), w których ujęto konkretne cele i linię postępowania działań w zakresie redukcji emisji gazów cieplarnianych, efektywności energetycznej oraz wykorzystania odnawialnych źródeł energii. Warto podkreślić, że realizacja zaprojektowanych w ramach planów działań to proces ciągły, zaplanowany na wiele lat.

U podstaw decyzji wielu samorządów o przystąpieniu do opracowania PGN znalazła się możliwość uzyskania dofinansowania z funduszy europejskich na lata 2014-2020, m.in. w ramach Celu Tematycznego nr 4 *Wspieranie przejścia na gospodarkę niskoemisyjną we wszystkich sektorach*. Nie powinno to jednak być głównym wyznacznikiem dla podejmowanych przez miasta działań w tym obszarze, ale wiązać się ze świadomym zamiarem realizowania przyjętej polityki.

Sektorami, które najbardziej przyczyniają się do emisji gazów cieplarnianych, a jednocześnie znajdują się pod bezpośrednim lub pośrednim wpływem samorządów są budownictwo (budynki użyteczności publicznej zajmowane przez władze samorządowe i jednostki im podległe oraz budynki mieszkalne, komunalne), a także transport.

W skali kraju największy potencjał w zakresie redukcji emisji gazów cieplarnianych oraz zużycia energii finalnej wykazują duże aglomeracje miejskie. Wsparcie ich w tym procesie wpisuje się w założenia *Strategii na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju* (2017).

Niezwykle istotne w procesie przechodzenia na gospodarkę niskoemisyjną jest bieżące monitorowanie przez samorządy osiąganych efektów, co wymaga prowadzenia bazy danych zawierającej szczegółowe informacje nt. gospodarowania energią i surowcami na obszarze JST oraz jej aktualizowania. Do tego celu mogą być wykorzystywane dostępne na rynku narzędzia.

Podstawowe rekomendacje dla administracji rządowej dotyczą przyjęcia przez nią roli koordynatora procesu transformacji do gospodarki niskoemisyjnej, w szczególności dużych aglomeracji miejskich, ale również małych ośrodków lokalnych poprzez m.in.: odpowiednie kształtowanie polityki gospodarczej i społecznej państwa, tworzenie ram prawnych i finansowych dla realizacji przedsięwzięć zaprojektowanych w ramach planów gospodarki niskoemisyjnej, ale także dostarczanie wiedzy w zakresie przedmiotowego zagadnienia dzięki podejmowaniu działań edukacyjno-promocyjnych i informacyjnych.

Niezbędne jest zaprojektowanie i zbudowanie na poziomie krajowym bazy wiedzy, zawierającej m.in.: szczegółowe wytyczne w zakresie inwentaryzacji zużycia energii finalnej oraz wykorzystania OZE przez miasta, jednoznacznie precyzujące poziom szczegółowości danych oraz sposób ich agregacji, a także informacje dotyczące systemu monitorowania realizacji PGN (opartego o wspólne dla wszystkich

miast wskaźniki monitorowania). Przekazywane przez samorządy dane z systemu monitorowania powinny być gromadzone i analizowane na poziomie krajowym, służąc tym samym do oceny efektów prowadzonych działań (w kontekście przyjętych celów) oraz projektowania i wdrażania niezbędnych zmian.

Uzupełnieniem dla tych danych powinna być krajowa statystyka. W związku z powyższym rekomenduje się także jej rozszerzenie w zakresie wybranych wskaźników, które są obecnie dostępne jedynie np. dla poziomu kraju/województwa. Szczególnie ważnym wskaźnikiem, który powinien być włączony do statystyki publicznej, jest *zużycie energii przez budynki publiczne na rok [kWh/m<sup>2</sup>]*.

Zgodnie z rekomendacjami zawartymi w raporcie administracja samorządowa powinna pełnić rolę promotora działań na rzecz niskoemisyjności i efektywności energetycznej poprzez popularyzację nowatorskich rozwiązań. Sektor publiczny musi być w tym względzie wzorem do naśladowania. Każdy ośrodek miejski winien określić własną ścieżkę dochodzenia do gospodarki niskoemisyjnej, dobierając przy tym odpowiednie instrumenty rozwoju. Warto zwrócić uwagę, że zaangażowanie obywateli w proces tworzenia strategii niskoemisyjnych stanowi podstawę do późniejszego, aktywnego ich udziału we wdrażaniu.

Szczegółowa metodyka obliczania zaproponowanych w raporcie wskaźników porównawczych do oceny polskich miast pod względem niskoemisyjności i efektywności energetycznej (czyli emisja CO<sub>2eq</sub> na jednego mieszkańca oraz zużycie energii finalnej na jednego mieszkańca) powinna być przedmiotem dalszych prac mających na celu poprawę jakości i wiarygodności uzyskiwanych danych. Ponadto, jako zasadne wskazuje się uzupełnienie przedmiotowego zestawu wskaźników o nowe, a w szczególności o wskaźnik *zużycia energii przez budynki publiczne na rok [kWh/m<sup>2</sup>]*, co pozwoli na lepsze zobrazowanie sytuacji w badanym obszarze.

## Literatura:

- [1] Bartocha A., Rackiewicz I. (red.), 2017, *Raport o stanie polskich miast 2017. Niskoemisyjność i efektywność energetyczna*, Obserwatorium Polityki Miejskiej IRM, [http://obserwatorium.miasta.pl/wp-content/uploads/2017/08/Raport\\_Niskoemisyjność\\_i\\_efektywność\\_energetyczna\\_obserwatorium\\_OPM\\_IRM\\_Bartocha\\_Rackiewicz.pdf](http://obserwatorium.miasta.pl/wp-content/uploads/2017/08/Raport_Niskoemisyjność_i_efektywność_energetyczna_obserwatorium_OPM_IRM_Bartocha_Rackiewicz.pdf) (dostęp: 3.09.2017).
- [2] Bertoldi et al., 2010, *Guidebook How to develop a Sustainable Energy Action Plan (SEAP)*, JRC Scientific and Technical Reports, Publications Office of the European Union, Luxembourg. <http://publications.jrc.ec.europa.eu> (dostęp: 6.04.2016); wersja polska: *Poradnik. Jak opracować plan działań na rzecz zrównoważonej energii (SEAP)?*, 2012, tłum. Stowarzyszenie Gmin Polska Sieć „Energie Cités”. <http://pnec.org.p> (dostęp: 6.04.2016).
- [3] KE 2010: Komunikat Komisji Europejskiej KOM(2010) 2020. *Europa 2020 – Strategia na rzecz inteligentnego i zrównoważonego rozwoju sprzyjającego włączeniu społecznemu*.



Bruksela. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=celex:52010DC2020> (dostęp: 3.09.2017).

- [4] KE 2012: *Smart Cities and Communities Communication*, Brussels. [http://europa.eu/rapid/press-release\\_MEMO-12-538\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-12-538_en.htm) (dostęp: 3.09.2017).
- [5] Koncepcja Przestrzennego Zagospodarowania Kraju 2030, Załącznik do uchwały nr 239 Rady Ministrów z dnia 13 grudnia 2011 r. (poz. 252).
- [6] Ministerstwo Rozwoju 2015: *Krajowa Polityka Miejska 2023*, [https://www.mr.gov.pl/media/11579/Krajowa\\_Polityka\\_Miejska\\_2023.pdf](https://www.mr.gov.pl/media/11579/Krajowa_Polityka_Miejska_2023.pdf) (dostęp: 3.09.2017).

## Odnawialne źródła energii na terenie Polski

---

### **Streszczenie**

Celem pracy jest przedstawienie najważniejszych aspektów dotyczących odnawialnych źródeł energii. Najważniejszą kwestią, którą poruszę jest tematyka odnosząca się do energii słonecznej, energii wodnej, wiatru oraz biomasy. Są one naturalnymi zasobami, które pomimo stałego zużycia powstają na nowo, ponieważ procesy ich wytwarzania są nieszkodliwe i niewyczerpywalne. W dzisiejszych czasach ciężko wyobrazić sobie życie bez elektryczności, której zużycie wciąż wzrasta. Kłopotliwe staje się zapewnienie energii, dostarczanych przez środowisko w postaci naturalnych zasobów nieprzetworzonych paliw, takich jak drewno, węgiel czy gaz ziemny. Odnawialne źródła energii są różnorodne pod względem pochodzenia, dlatego wymagają odpowiednich systemów do przetwarzania energii na energię użytkową. Źródła energii odnawialnych mają swoje zalety, ale także wady, wynikające z warunków eksploatacyjnych oraz wpływu na środowisko, powodujące ograniczenia przy zastosowaniu ich na większą skalę. Najważniejszą zaletą jest fakt, że jest to energia tania i bezpieczna dla środowiska. Stosując naturalne zasoby przyczyniamy się do zmniejszenia emisji zanieczyszczeń powietrza, redukcji efektu cieplarnianego, a także zminimalizowania ilości odpadów. Głównym argumentem potwierdzającym konieczność stosowania zielonej energii jest to, że ogranicza ona liczbę zachorowań oraz wpływa korzystnie na jakość życia.

### **Renewable Energy Sources in Poland**

#### **Abstract**

The purpose of this work is to present the most important aspects of renewable energy sources. The fundamental issue that is discussed is the area related to solar, hydropower, wind and biomass. These are natural resources that, despite constant wear and tear, are re-created because their manufacturing processes are harmless and not exhaustive. Nowadays, it is hard to imagine life without electricity which consumption is constantly increasing. It has become problematic to provide energy brought by the environment in the form of natural resources of untreated fuels such as wood, coal or natural gas. Renewable energy sources vary in their origin and therefore require appropriate systems for energy conversion. Renewable energy sources have their advantages, but also disadvantages, resulting from operating conditions and environmental impacts, limiting their use on a larger scale. The most important advantage is that this kind of energy is cheap and environmentally safe. By using natural resources, we contribute to reduction of air pollutant emissions and greenhouse gases, and minimizing waste. The main argument for the need for green energy is that it reduces the number of illnesses and has a positive effect on quality of life.

---

## Wprowadzenie

Odnawialne źródła energii są naturalnymi zasobami, które ze względu na stałe zużywanie powstają na nowo, gdyż przebieg ich wytwarzania trwa dość krótko. Procesy te, choć zachodzą z niewielką sprawnością, zapewniają nieprzerwaną produkcję odnawialnych źródeł energii. Do naturalnych zasobów możemy zaliczyć wszystkie żywe składniki przyrody. Takimi źródłami są m.in. fale morskie, promieniowanie słoneczne, opady, biomasa, a także wiatr. W dzisiejszych czasach bardzo trudno wyobrazić sobie życie bez użytkowania energii elektrycznej. Energia była, jest i będzie potrzebna ludziom w ich życiu. Może być wykorzystywana na różne sposoby, jednak przede wszystkim potrzebna jest do produkcji przemysłowej, ogrzewania domów, a także oświetlenia oraz ogrzewania. Początkowo tej formy energii dostarczało nam środowisko w postaci zasobów naturalnych, jak np. drewna, ropy naftowej, węgla brunatnego, kamiennego czy gazu. Jednak stale rosnący wzrost zapotrzebowania na energię, kurczenie się zasobów kopalnianych oraz względy ekologiczne i ekonomiczne stawiają nowe zadania i wyzwania w tej dziedzinie wielu ludziom. W ostatnich latach dąży się do opracowania efektywnych metod pozyskiwania prądu ze źródeł odnawialnych, takich jak: woda, naturalne ciepło Ziemi czy Słońca. Wiele zalet tych źródeł coraz bardziej przyciąga nowych użytkowników (Jabłoński, Wnuk 2009).

Rozwój cywilizacji wiąże się z dużym wzrostem zużycia energii. Towarzyszy temu ulepszenie metod przekształcenia energii na energię cieplną, mechaniczną oraz elektryczną. Ważnym problemem wynikającym ze stosowanych technologii przetwarzania energii jest, oprócz wyczerpywania się zasobów paliw konwencjonalnych, duży i rosnący poziom zanieczyszczenia środowiska. Taki efekt objawia się przede wszystkim w postaci kwaśnych deszczy, dziury ozonowej, substratów promieniotwórczych, efektu cieplarnianego oraz smogu. Są to najbardziej niekorzystne dla środowiska efekty, będące przyczyną powstania zanieczyszczenia przyrody oraz powodujące pogorszenie się jej stanu. To postępujące skażenie środowiska przyczynia się do wzrostu zachorowań, a także wzrostu zaburzeń genetycznych u ludzi. Dochodzi także do powstania znacznych szkód w zakresie fauny i flory oraz wzmożonej korozji konstrukcji żelazobetonowych. Zanieczyszczenie środowiska to najważniejsze przeciwwskazanie do stosowania paliw konwencjonalnych (Ciechanowicz 1997; Jakimcio 2005; Klugmann-Radziemska, Klugmann 2002).

## 1. Cel pracy

Niniejszy tekst ma na celu przedstawienie oraz omówienie najważniejszych występujących w Polsce odnawialnych źródeł energii, które w dzisiejszych czasach odgrywają istotną rolę w życiu każdego człowieka.

## 2. Energia wodna

Woda jest jedną z najpospolitszych ciekłych substancji na całym świecie, która pokrywa ok. 71% powierzchni naszego globu. Jest źródłem odnawialnym dzięki naturalnemu obiegowi wody w przyrodzie, zwanemu cyklem hydrologicznym. Energia wodna (hydroenergia) magazynowana jest w zbiornikach wodnych, jak i obejmuje cieciki płynące. Obejmuje ona energię mórz i oceanów oraz energię wód śródlądowych.

Energia wodna jest jedynym z coraz częściej wykorzystywanych naturalnych źródeł energii, ponieważ opiera się ona na mechanicznym płynięciu wody. W dzisiejszych czasach energia wodna jest używana do wytworzenia energii elektrycznej. Wykorzystywana jest także w celu napędzania maszyn, a zwłaszcza do napędzania młynów, tartaków, kuźni oraz innych zakładów przemysłowych. Aby prawidłowo wykorzystać energię wodną, buduje się elektrownie wodne usytuowane w pobliżu wodospadów lub dolin. Działanie takiej elektrowni jest dość proste, ponieważ woda, która płynie z wyżej położonych terenów przepuszczana jest przez turbiny wodne. W trakcie przepływu woda wprawia łopatki turbiny w ruch obrotowy, powodując ruch generatora, który wytwarza prąd elektryczny. Uzyskana energia elektryczna jest doprowadzana do odbiorców za pośrednictwem wysokonapięciowej linii przesyłowej. Pobieranie tej energii jest dość korzystne, zarówno ze względu na ekologiczny stan środowiska, jak i charakter ekonomiczny. Dostarcza bowiem ekologicznie czystej energii i reguluje stosunki wodne, zwiększając retencję wód powierzchniowych, polepszając warunki uprawy roślin oraz warunki zaopatrzenia ludności i przemysłu w wodę. Pierwszymi urządzeniami wykorzystującymi energię płynącej wody były koła wodne, służące do nawadniania pól lub też jako siła napędowa w młynach. Strumień wody obracał koło łopatkowe, zanurzone częściowo w korycie rzeki i umieszczone na osi, zamieniając energię wody na energię mechaniczną. Hydroenergetyka morska cechuje się dużą kapitałochłonnością i wymogami odpowiedniego doboru miejsca pod inwestycję elektrowni wodnej (Soliński 1999, ENIS Spółka Jawna.: Poziom nasłonecznienia w Polsce, Strefy energetyczne wiatru w Polsce: [www.biomasa.org/index.php?d=artykul&kat=40&art=35](http://www.biomasa.org/index.php?d=artykul&kat=40&art=35)).

### Najważniejsze elektrownie wodne w Polsce

**Tabela 1. Zestawienie polskich elektrowni wodnych według mocy zainstalowanej**

| Rodzaj elektrowni | Nazwa elektrowni | Moc zainstalowana w MW |
|-------------------|------------------|------------------------|
| szczytowo-pompowa | Żarnowiec        | 680                    |
| szczytowo-pompowa | Porąbka-Żar      | 500                    |
| szczytowo-pompowa | Żydowo           | 150                    |
| przepływowa       | Włocławek        | 160                    |
| szczytowo-pompowa | Dychów           | 80                     |
| przepływowa       | Rożnów           | 50                     |

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Lewandowski 2006).

### Zalety i wady elektrowni wodnych

Energetyka wodna, inaczej hydroenergetyka, oparta jest na wykorzystaniu energii wód śródlądowych o znacznym natężeniu przepływu oraz dużym spadzie, mierzonym różnicą poziomów wody górnej i dolnej, uwzględniając straty przepływu. Elektrownie wodne posiadają także inne zadania, np. zabezpieczenie przeciwpowodziowe oraz regulacja przepływu ze względu na żeglugę (Klugmann-Radziemska, Klugmann 2002).

Do zalet hydroenergetyki możemy zaliczyć:

- niskie koszty eksploatacji,
- brak zanieczyszczeń środowiska naturalnego,
- możliwość magazynowania wody w zbiornikach,
- generowanie energii elektrycznej w sposób ciągły,
- zwiększona sprawność działania,
- możliwość rozwoju sportów wodnych.

Użytkowanie właśnie energii tego typu jest bardzo korzystne, zarówno ze względu na ekologiczny, jak i ekonomiczny charakter środowiska. Dostarcza ona czystej oraz oczyszczonej energii i reguluje stosunki wodne, zwiększając retencję wód powierzchniowych, polepszając warunki uprawy gleby, w tym roślin, oraz warunki zaopatrzenia ludności i przemysłu w wodę (Puchowski 2001).

Natomiast do wad hydroenergetyki możemy zaliczyć:

- wysokie koszty inwestycyjne,
- zmianę struktury biologicznej w rzekach,
- zmiany klimatyczne,
- zamulanie, zapychanie zbiorników,
- problemy z przemieszczeniem ludności zamieszkującej teren przeznaczony pod budowę,
- ingerencję w środowisko.

Istotną wadą jest to, że w razie awarii elektrowni bardzo narażone jest środowisko, ponieważ prowadzi ona do skażenia gleby, a także zanieczyszcza przyrodę. Jest także doskonałym celem ataków terrorystycznych (Lewandowski 2006, Michałowski 1973).

## 3. Energia słoneczna

Pozyskiwanie energii, jaką daje nam Słońce, w postaci promieni słonecznych, w ostatnich latach nabrało szybkości. Technologia ta opiera się na wykorzystaniu energii cieplnej do produkcji energii elektrycznej lub do celów grzewczych. Pomoc ze strony państwa w postaci dofinansowań oraz zmniejszenie kosztów związanych z zakupem i montażem instalacji wpłynęły na zwiększenie zainteresowania i inwestowanie w tego typu rozwiązania. Najważniejszym czynnikiem wpływającym na

ilość uzyskanej energii jest ilość promieni słonecznych padających na nasze panele fotowoltaiczne czy kolektory słoneczne.

Możemy więc uznać, że wykorzystanie energii słonecznej przynosi wiele korzyści, w tym:

- oszczędność energii związaną z uzyskiwaniem ciepłej wody użytkowej, dzięki kolektorom słonecznym, w okresie letnim sięga 100% naszego zapotrzebowania,

- oszczędności związane z inwestycją w system fotowoltaiczny przynoszą po pewnym czasie wymierne korzyści finansowe oraz zwiększają bezpieczeństwo energetyczne, które m.in. z powodu złego stanu systemu elektroenergetycznego nie jest zapewnione, czego dowodem są liczne przerwy w dostawach energii,

- niezależność energetyczną oraz obniżenie naszego rachunku za energię elektryczną, związane ze sprzedażą nadwyżki energii oraz obniżeniem rachunku z tytułu użytkowania źródeł odnawialnych,

- korzystając z odnawialnych źródeł energii chronimy nasz klimat; rosnąca popularność jej zastosowań w firmach oraz domach mieszkalnych daje nadzieję na poprawę naszego naturalnego otoczenia; energia słoneczna jest jednym z najbardziej przyjaznych źródeł energii dla środowiska,

- nieograniczony dostęp – systemy fotowoltaiczne wykorzystują wszechobecne promieniowanie słoneczne, a na Ziemi występują praktycznie nieograniczone zasoby materiałów stosowanych w modułach PV,

- zapotrzebowanie na elektryczność w ciągu doby jest zmienne; najwięcej prądu potrzebujemy w godzinach porannych czy po południu i wieczorem; zależne jest to od naszego dziennego rytmu życia; cena energii różni się zatem w zależności od zapotrzebowania i często ponosimy dodatkowe koszty z tym związane,

- bezobsługowość – prawidłowo zaprojektowane instalacje fotowoltaiczne nie wymagają praktycznie żadnych nakładów pracy podczas eksploatacji oraz są w stanie pracować z wysoką wydajnością przez wiele lat (Klugmann-Radziemska, Klugmann 2002, Portal edukacji ekologicznej.: [www.zielonaenergia.eco.pl](http://www.zielonaenergia.eco.pl)).

Wykorzystanie promieni słonecznych przynosi wiele korzyści, jednak nie możemy nie wspomnieć o licznych wadach tego systemu, do których należą:

- wysoka cena instalacji zarówno kolektorów, jak i paneli fotowoltaicznych, przez co nie każdy może sobie pozwolić na ich instalację, pomimo tego, że w ogólnym rozrachunku przynosi ona oszczędności,

- wydajność baterii słonecznych jest nadal dość niska i oscyluje w granicach 15-20%,

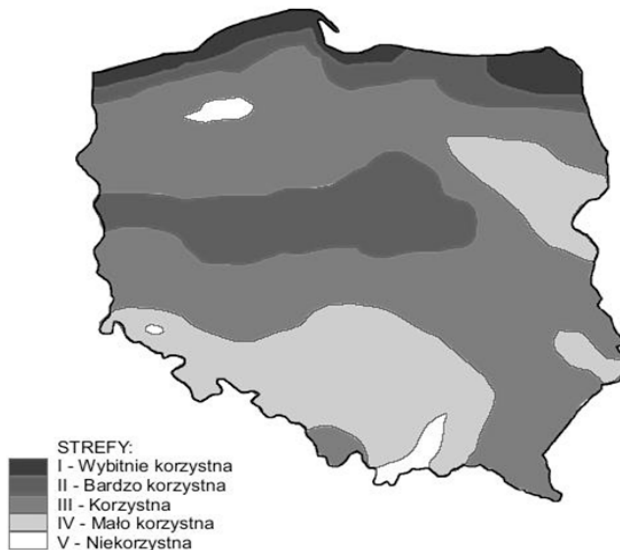
- produkcja modułów jest bardzo energochłonna oraz w jakimś stopniu zanieczyszcza środowisko, jednak porównując ją do wytwarzania energii w elektrowniach węglowych, nie ma wątpliwości, że wartość ta jest znikoma,

- zależność od promieniowania słonecznego – zarówno w skali dziennej, jak i rocznej wartość promieniowania nie jest stała; wpływ mają także trudne do przewidzenia warunki atmosferyczne oraz poziom zanieczyszczenia powietrza,
- awaria instalacji może przysporzyć dodatkowych kosztów (Ciechanowicz 1997, Kowalik 1994).

#### 4. Energia wiatru

Energia wiatrowa w Polsce charakteryzuje się dużą dynamiką wzrostu. Jest rozwijającym się sektorem odnawialnych źródeł energii. Wprowadzanie jej w naszym kraju w coraz szerszym zakresie, w latach 1990-1997, spowodowane było w dużej mierze przymusem ograniczenia produkcji i emisji do atmosfery dwutlenku węgla oraz różnych innych szkodliwych dla środowiska związków chemicznych. Wykorzystanie energii wiatru do produkcji elektrycznej zwiększało się rocznie o 26%. Według badań 1/3 terytorium Polski posiada korzystne warunki wiatrowe do zainstalowania elektrowni. Powierzchnia kraju spełniająca ten warunek została oszacowana na ok. 60000 km<sup>2</sup>, ale tylko 3000 km<sup>2</sup> może być przeznaczona na siłownie wiatrowe i farmy wiatrowe.

#### STREFY ENERGETYCZNE WIATRU W POLSCE



Rysunek 1. Strefy energetyczne wiatru w Polsce

Źródło: (Soliński 1999).

Elektrownie wiatrowe mogą być pojedynczymi obiektami lub mogą tworzyć zespoły, czyli farmy wiatrowe. Większe turbiny wiatraków, zmniejszające się koszty oraz ulepszone i unowocześnione technologie napędzają rozwój elektrowni wiatrowych. Rozwój sektorów związanych z produkcją elektrowni wiatrowych działa stymulująco na poprawę przemysłu oraz umożliwia tworzenie nowych miejsc pracy (Klugmann-Radziemska, Klugmann 2002).

Energia wiatru jest niestety niestabilna, występowanie wiatru zależy od regionu geograficznego, pory roku, czy też dnia oraz wysokości. Wiatraki ustawione wyżej dają korzystniejsze efekty pracy generatorów. Korzyści dla gospodarki wynikające z tego źródła energii są duże, ale należy także pamiętać o niebezpieczeństwach z nią związanych, o czym świadczą różne kataklizmy na świecie. Postęp nauki i techniki niesie ze sobą nowe możliwości przetwarzania energii wiatru ze zwiększoną precyzją i opłacalnością (Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej: Poziom usłonecznienia w Polsce: [www.imgw.pl](http://www.imgw.pl)).

Na wybór lokalizacji farmy wiatrowej, poza warunkami wiatrowymi, mają wpływ takie czynniki, jak:

- ocena terenu, ukształtowanie terenu,
- odległość od zabudowań – nie bliżej niż 500 m od turbiny o mocy 2MW,
- poziom emitowanego hałasu nie może przekroczyć 40 dB,
- właściwe rozplanowanie turbin (odległość między nimi średnio 400 m), ustawione na dominującym kierunku wiatru,
- czynniki ekonomiczne, bliskość drogi, możliwość podłączenia do sieci energetycznej,
- współdziałanie z lokalną społecznością.

### **Korzyści ze stosowania energii wiatrowych**

Energie wiatrowe mają wiele zalet, do których można zaliczyć to, że:

- wiatr to energia odnawialna, nigdy się nie wyczerpie,
- w przeciwieństwie do konwencjonalnych źródeł energii nie zanieczyszczają środowiska naturalnego,
- możliwość stosowania małych siłowni wiatrowych do produkcji prądu na terenach, gdzie nie dociera prąd sieciowy,
- eksploatacja turbin wiatrowych jest tańsza niż koszty energii elektrycznej pochodzącej z paliw kopalnych.

Energetyka wiatrowa, pod względem nakładów inwestycyjnych, jest konkurencyjna wobec innych technologii, przy zastosowaniu których produkuje się energię elektryczną ze źródeł odnawialnych. Odnacza się też niższymi kosztami eksploatacyjnymi. Wykorzystanie wiatraków jest opłacalne, ponieważ prędkość wiatru w miejscach odosobnionych obniża się nawet do 3 m/s (Solarpraxis AG, Berlin, Germany: Struktura półprzewodnika).



## 5. Biomasa jako odnawialne źródło energii

Biomasa jest najstarszym oraz najbardziej rozpowszechnionym źródłem energii. Bioenergia pochodzi m.in.: ze słomy, odpadów drzewa, odpadów rolniczych, roślin oraz odpadów przemysłowych i komunalnych. Podstawowymi składnikami biomasy są węglowodany, skrobia oraz lignina. Węglowodany oraz skrobia stanowią pożywienie dla zwierząt i ludzi oraz mają swoje zastosowanie przy produkcji etanolu. Produktem ubocznym przetwarzania na ciepło energii chemicznej, która mieści się w biomasie, jest dwutlenek węgla. Biomasa może być w formie stałej, płynnej lub gazowej. Biomasa służy wytworzeniu energii, zatem można ją nazywać biopaliwem. Wykorzystanie biomasy pozwala spożytkować odpady oraz zagospodarować nieużytki. W Polsce na potrzeby biomasy uprawiane są rośliny szybko rosnące, są to m.in.: róża wielokwiatowa, wierzba wiciowa, topinambur oraz trawy wieloletnie. Spalanie biomasy jest korzystniejsze dla środowiska, gdyż zawiera ona mniej szkodliwych pierwiastków w porównaniu do paliw kopalnianych (Lewandowski 2013; Wichowski 1996).

### Podsumowanie

Odnawialne źródła energii odgrywają bardzo ważną rolę w życiu codziennym, ponieważ są naturalnymi zasobami energii, które powstają na nowo. Człowiek nauczył się wykorzystywać te źródła by przekształcać je w energię. Energia odnawialna jest energią tanią, przyjazną człowiekowi i środowisku. Jest przyszłością świata, ponieważ naukowcy przypuszczają, że złoża ropy naftowej przy dotychczasowym wydobywaniu wyczerpią się w przeciągu 30 lat, a złoża gazu ziemnego za 100 lat. Odnawialne źródła są dostępne za darmo (energia słońca, wiatru, biogazu) lub po niewielkich kosztach (słoma, drewno).

Rozwojowi odnawialnych źródeł energii sprzyja konieczność ochrony środowiska, które zostało częściowo zniszczone przez energię. OZE są potrzebne, ponieważ coraz szybciej wyczerpują się konwencjonalne źródła, takie jak węgiel, gaz oraz ropa naftowa. Elektrownie wiatrowe, podobnie jak instalacje biogazu, a także małe elektrownie wodne, mają wspólną cechę. Jest to potrzeba skutecznego planowania produkcji energii elektrycznej w trybie dobowo-godzinowym, który obowiązuje w rozliczeniach pomiędzy spółkami dystrybucyjnymi, wytwórcami systemowymi oraz operatorem systemu przesyłowego (Jabłoński, Wnuk 2009; Jakimcio 2005).

W Polsce w latach 2010–2016 wytwarzanie odnawialnych źródeł energii wzrosło. Poniższa tabela przedstawia ilość wytwarzanych rodzajów instalacji zielonej energii (zob. tab. 2):

**Tabela 2. Ilość energii elektrycznej wytworzonej z OZE w latach 2010-2016**

| Rodzaj instalacji OZE  | Ilość [MWh]<br>Okres wytwarzania energii elektrycznej |                                      |                                      |                                      |
|--|---|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
|  | 2010  | 2012                                 | 2014                                 | 2016                                 |
| Instalacje wykorzystujące biogaz   | 363 – liczba instalacji 595,743 MWh                   | 530-liczba instalacji 524,345 MWh    | 803-liczba instalacji 435,552 MWh    | 604-liczba instalacji 951,610 MWh    |
| Instalacje wykorzystujące biomasę  | 635-liczba instalacji 634,844 MWh                     | 2 208-liczba instalacji 508,115 MWh  | 4 615-liczba instalacji 077,438 MWh  | 2 556-liczba instalacji 214,113 MWh  |
| Instalacje wykorzystujące energię słoneczną  | 1,672 MWh   | 1-liczba instalacji 177,532 MWh      | 4-liczba instalacji 514,874 MWh      | 39-liczba instalacji 041,830 MWh     |
| Instalacje wykorzystujące energię wiatru   | 1 823-liczba instalacji 297,061 MWh                   | 4 612-liczba instalacji 893,792 MWh  | 7 640-liczba instalacji 802,091 MWh  | 6 911-liczba instalacji 156,616 MWh  |
| Instalacje wykorzystujące energię wodną  | 2 922-liczba instalacji 051,638 MWh                   | 2 031-liczba instalacji 724,612 MWh  | 2 181-liczba instalacji 135,795 MWh  | 446-liczba instalacji 267,935 MWh    |
| Instalacje wykorzystujące technologię współspalania biomasy, biopłynów, biogazu lub biogazu rolniczego z innymi paliwami | 5 243-liczba instalacji 251,417 MWh                   | 6 865-liczba instalacji 925,528 MWh  | 4 462-liczba instalacji 167,696 MWh  | 605-liczba instalacji 321,620 MWh    |
| Łącznie  | 10 987-liczba instalacji 832,375 MWh                  | 16 250-liczba instalacji 753,924 MWh | 19 707-liczba instalacji 133,446 MWh | 11 162-liczba instalacji 953,724 MWh |

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Jabłoński, Wnuk 2009).

Podsumowując powyższą tabelę, można stwierdzić, że zapotrzebowanie na instalacje odnawialnych źródeł energii z biegiem czasu rośnie. Liczba instalacji słonecznych w porównaniu do 2010 r. oraz 2016 r. bardzo wzrosła, bowiem energię tę łatwiej wykorzystywać, np. poprzez solary słoneczne. Natomiast użycie energii wodnej w 2016 r. zmalało. Energia wiatrowa oraz biomasa są także wykorzystywane w większym stopniu niż w 2010 r. Spowodowane jest to tym, że wyczerpują się konwencjonalne źródła. Nowe technologie oraz rozwój pozwalają na korzystanie z zasobów naturalnych. Z uwagi na ograniczenia źródeł energii, z których zwykliśmy korzystać, coraz większe zainteresowania budzi energia odnawialna. Głównymi przyczynami poszukiwania alternatywnych źródeł jest bardzo szybko regenerująca się ilość, którą można pozyskiwać z natury. Jest to m.in. energia wiatrowa, wodna

i słoneczna. W wielu miejscach na świecie szeroko wykorzystywana jest również energia geotermalna oraz pływy morskie. Ich szkodliwość dla przyrody jest zerowa, w przeciwieństwie do zanieczyszczania środowiska, jakie ma miejsce podczas spalania węgla lub ropy naftowej. Do nieodnawialnych bądź wolno odtwarzających się źródeł energii należy również gaz ziemny i uran. By korzystać z alternatywnych źródeł energii, konieczne są duże inwestycje. Wiąże się to z budową odpowiednich elektrowni. Obiekty takie nie zawsze są mile widziane przez mieszkańców. Powodują one hałas, więc jeśli są źle zlokalizowane, to prędzej czy później zarząd elektrowni spotka się ze sprzeciwem lokalnych władz i okolicznych mieszkańców. Obiekty takie nie pozostają bez wpływu na środowisko. Szczególnie cierpią ptaki, które często giną uderzając o łopatki wiatraków. Bywa więc tak, że elektrownie wiatrowe, jeśli zostaną źle zaplanowane, po kilku latach są likwidowane. Sytuacje takie niestety nie należą do rzadkości.

Przeprowadzone symulacje dowiodły, że wybrane przez polskie władze rozwiązania rynkowe, mające zwiększyć ekonomiczną atrakcyjność wytwarzanej energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych, są mało skuteczne i nie gwarantują inwestorowi zwrotu poniesionych kosztów podczas eksploatacji systemu. Spowodowane jest to niską ceną zakupu „zielonej energii” przez przedsiębiorstwa energetyczne oraz niezadowalającą ceną sprzedaży zielonych certyfikatów. Dodatkowo mała elastyczność produkcji energii z użyciem promieniowania słonecznego czy energii wiatru uniemożliwia oparcie zaspokajania potrzeb energetycznych wyłącznie za pomocą technologii wykorzystujących te pierwotne źródła. Dlatego nadal potrzebne jest przyłączenie do sieci energetycznej lub instalacja systemu magazynującego energię, np. baterii.

### Literatura:

- [1] Ciechanowicz W., 1997, *Energia, środowisko i ekonomia*, Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa.
- [2] Jabłoński W., Wnuk J., 2009, *Zarządzanie odnawialnymi źródłami energii*, Wyd. Oficyna Wydawnicza „Humanitas”, Sosnowiec.
- [3] Jakimcio T.R., 2005, *Możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł energii*, Wyd. Lubelski Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Końskowoli, Rejowiec.
- [4] Klugmann-Radziemska E., Klugmann E., 2002, *Systemy słonecznego ogrzewania i zasilania elektrycznego budynków*, Wyd. Ekonomia i Środowisko, Białystok.
- [5] Kowalik P., 1994, *Potencjalne możliwości energetycznego wykorzystania biomasy w Polsce*, „Gospodarka Paliwami i Energią” nr 3.
- [6] Lewandowski W.M., Ryms M., 2013, *Biopaliwa Proekologiczne odnawialne źródła energii*, Wyd. WNT, Warszawa.

- [7] Lewandowski W.M., 2006, *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- [8] Michałowski S. et al., 1973, *Energetyka wodna*, Wyd. WNT, Warszawa.
- [9] Puchowski B.K., 2001, *Rola małych elektrowni wodnych w środowisku przyrodniczym, gospodarczym i społecznym Polski*, Materiały Konferencyjne. Odnawialne źródła energii u progu XXI w., Warszawa.
- [10] Soliński I., 1999, *Aspekty energetyczne i ekonomiczne wykorzystania energii wiatrowej*, Wyd. Instytutu GSMiE PAN, Kraków.
- [11] Wichowski R., 1996, *Biomasa jako podstawowe źródło energii odnawialnej. Wymiana ciepła i odnawialne źródła energii*, Świnoujście.

**Strony internetowe:**

[www.zielonaenergia.eco.pl](http://www.zielonaenergia.eco.pl)  
[www.enis-pv.com](http://www.enis-pv.com)  
[www.imgw.pl](http://www.imgw.pl)  
[www.biomasa.org](http://www.biomasa.org)

**mgr inż. Agnieszka Marczevska**

*Zakład Technologii Szkła*

*Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie*

*Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych*

**mgr inż. Anna Balon-Wróbel**

*Zakład Technologii Szkła*

*Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie*

*Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych*

## Nowoczesne niskoemisyjne szkła powłokowe do zastosowań w budownictwie energooszczędnym

---

### Streszczenie

Obecne przeszklenia budowlane, w których stosuje się nowoczesne niskoemisyjne szkło powłokowe, pozwalają na uzyskanie korzyści związanych ze stratami ciepła. Emisyjność jako właściwość pozwalająca na ocenę możliwości izolacyjnych oraz kontrolę warunków termicznych (energooszczędności) jest miarą zdolności szkła do ochrony przed przenikaniem drogą przewodzenia długofalowej części widma – promieniowania cieplnego, w stronę otoczenia o niższej temperaturze. W pracy scharakteryzowano wybrane powłoki niskoemisyjne stosowane w budownictwie energooszczędnym oraz przedstawiono właściwości świetlne i energetyczne. Szczególnie uwzględniono emisyjność jako właściwość determinującą wartość współczynnika przenikania ciepła U, a tym samym kształtującą odpowiednią izolacyjność cieplną.

### Modern Low-emissivity Glass Coating Applications in Energy Saving Architecture

#### Abstract

Existing building glazing in which modern low-emissive coating glass is used allows for gaining benefits of heat loss. Emissivity, as a property for evaluating insulation possibilities and controlling thermal conditions (energy efficiency), is a measure of the ability of glass to protect it from penetrating the long-term spectrum – radiation to the environment at lower temperatures. Selected low-emissivity coatings used in energy-efficient buildings have been characterized in this work, as well as light and energy properties. Emissivity has been considered in particular as a determinant of the value of the heat transfer coefficient U, thus forming the appropriate thermal insulation.

---

## Wprowadzenie

Oczekiwania wobec producentów szkła płaskiego ze strony projektantów budynków o szerokim zakresie zastosowań – od pasywnych domów jednorodzinnych do

budynków użyteczności publicznej czy biurowców – a także projektantów ogrodów zimowych wciąż rosną. Poprawa efektywności przeciwsłonecznej i izolacyjności termicznej szyb stosowanych w budownictwie staje się koniecznością. Jednym ze sposobów zmiany właściwości szkieł budowlanych jest powierzchniowa obróbka szkła poprzez nanoszenie cienkich warstw materiałów o różnym składzie chemicznym i własnościach. Nowoczesne oszklenia budowlane wymagają zastosowania cienkowarstwowych powłok o wielu wyspecjalizowanych funkcjach. Wiedza w tym zakresie jest wciąż poszerzana o nowe wyniki badań i prac doświadczalnych (Boostania 2016). Dynamiczny rozwój technik produkcji i przetwórstwa szkła oraz wiedzy w zakresie nanotechnologii umożliwił dostęp do szerokiej gamy asortymentowej szkieł z powłokami dla różnorodnych zastosowań w budowlanych oszkleniach wielkopowierzchniowych. W przypadku budynków, których fasady są wykonane w części lub nawet w całości ze szkła niezbędne jest zastosowanie szkieł energooszczędnych, jednocześnie stanowiących ochronę przed promieniowaniem słonecznym. Powłoki antyrefleksyjne pozwalają natomiast na ograniczenie odbicia światła szkła i dzięki temu na wzrost jego przepuszczalności (Nielsen et al. 2014; Yuan et al. 2015; Helsch et al. 2012). Szczególną rolę pełni szkło niskoemisyjne, łączące funkcje kontroli energii promieniowania słonecznego i promieniowania z zakresu dalekiej podczerwieni (Fortes et al. 2013). Obecność powłoki niskoemisyjnej nadaje oszkleniom funkcję bariery chroniącej przed przegrzaniem z powodu bezpośredniego promieniowania słonecznego, jak i utratą ciepła w wyniku jego emisji do otoczenia o niższej temperaturze. Nanoszone warstwy niskoemisyjne powodują uzyskanie właściwości energooszczędnych. Nakładanie powłok niskoemisyjnych na powierzchnie szkła w procesie produkcyjnym odbywa się z zastosowaniem metody magnetronowej. Metoda ta polega na rozpylaniu, w warunkach próżniowych poza linią formowania szkła („off-line”), składników powłoki na uformowane i oczyszczone wcześniej tafle szkła.

W celu skorygowania charakterystyk optycznych (najczęściej zwiększenia transmisji w zakresie widzialnym) i/lub zabezpieczenia przed uszkodzeniami mechanicznymi w oszkleniach budowlanych stosuje się zwykle układy wielowarstwowe (Quan et al. 2017; Ruihua et al. 2016; Tolke et al. 2008; Zhao et al. 2008). Powłoki nakładane na powierzchnię szkła projektowane są w sposób umożliwiający zarówno wykorzystanie właściwości energooszczędnych niskoemisyjnych, jak i biernego wykorzystania energii słonecznej. W celu określenia, jaka część energii słonecznej zostanie przepuszczona, zatrzymana i odbita oraz w celu wyznaczenia odpowiednich charakterystyk, które mogą służyć jako podstawa obliczeń dotyczących oświetlenia, nagrzewania i ochładzania pomieszczeń, przeprowadza się badania spektrofotometryczne. Wyniki uzyskane z badań spektrofotometrycznych przedstawiają bardzo dokładnie właściwości oszkleń przeznaczonych dla budownictwa. Dzięki tym badaniom, możliwe jest uzyskanie podstawowych parametrów energetycznych i świetlnych określonych przez wartości przepuszczalności, odbicia

i absorpcji promieniowania słonecznego przez przeszkłone ściany. Zgodnie z normą PN-EN 410: 2011 – „Szkło w budownictwie. Określenie świetlnych i słonecznych właściwości oszklenia” podstawą do scharakteryzowania oszklenia jest określenie głównych parametrów, którymi są widmowa przepuszczalność  $t_V$  i widmowe odbicie  $r_V$  w zakresie długości fal od 300 nm do 2500 nm, oraz całkowita przepuszczalność energii promieniowania słonecznego (współczynnik słoneczny)  $g$ . Na szczególną uwagę zasługuje współczynnik  $g$  (*solar factor*), który jest stosunkiem całkowitej przepuszczalności energii do padającej energii słonecznej. Energia całkowita to suma energii przenikającej do wnętrza bezpośrednio i energii oddanej przez szkło do wnętrza, w następstwie jego nagrzania przez absorpcję energii. Wielkość tego współczynnika określa to, jaka część promieniowania słonecznego padającego na szkło jest całkowicie przez nie przepuszczana bezpośrednio, jak również pośrednio w wyniku absorpcji z następnym wtórnym przekazaniem w postaci energii cieplnej w kierunku wnętrza. W praktyce wielkość tego współczynnika oznacza, że w cieplejszych klimatach preferowane będą szkła o niskich współczynnikach  $g$ , tj. o obniżonej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego. Natomiast w warunkach klimatycznych charakteryzujących się niższymi temperaturami i/lub dużymi różnicami temperatur bardziej przydatne będą oszklenia cechujące się wyższymi wartościami współczynnika  $g$  (Moretti et al. 2015; Singh et al. 2008; Xaman et al. 2016).

Kontrola warunków termicznych (energooszczędność) dotyczy właściwości izolacyjnych i oznacza zdolność szkła do ochrony przed przenikaniem drogą przewodzenia długofalowej części widma – promieniowania cieplnego – do otoczenia o niższej temperaturze. Miarą izolacyjności cieplnej szkieł i oszkleń jest wartość współczynnika przenikania ciepła  $U$  [ $W/m^2K$ ]. Współczynnik ten określa ilość ciepła przepływającego w ustalonych warunkach w jednostce czasu przez jednostkę powierzchni szkła powlekanego na jeden stopień różnicy temperatur między otoczeniem wewnętrznym i zewnętrznym. Metody określania wartości współczynnika  $U$  podają normy PN-EN 673: 2011 „Szkło w budownictwie. Określenie współczynnika przenikania ciepła (wartość  $U$ ). Metoda obliczeniowa” i PN-EN 674 2011 „Szkło w budownictwie. Określenie współczynnika przenikania ciepła  $U$ . Metoda osłoniętej płyty grzejnej”. W celu wyznaczenia wartości współczynnika  $U$  niezbędna jest znajomość emisyjności szkła powlekanego na podstawie pomiarów spektralnych dla zakresów długości fal promieniowania 5,0 – 55  $\mu m$  (5000 – 55 000nm). Zgodnie z normą PN-EN 12898: 2004 „Szkło w budownictwie. Określenie emisyjności” emisyjność to stosunek energii wyemitowanej przez określoną powierzchnię w określonej temperaturze do energii doskonałego emitera (ciało czarne o normalnej skorygowanej emisyjności  $=1,0$ ) w tej samej temperaturze. Emisyjność jest więc właściwością powierzchni. Jeśli dwie powierzchnie znajdują się blisko siebie i mają różne temperatury, wymieniają ciepło poprzez promieniowanie, w zależności od poziomu emisyjności. Emisyjność normalna ( $\epsilon_n$ ) określa zdolności emisyjne

powierzchni powlekanej szkła, mierzonej w kierunku prostopadłym, do powierzchni w stosunku do zdolności emisyjnej ciała doskonale czarnego. Natomiast emisyjność skorygowana ( $\epsilon$ ) jest stosowana do opisu różnych typów wymiany ciepła ze znacznym przybliżeniem. Dla niepowlekanego szkła boro-krzemianowego przyjmuje się emisyjność  $e = 0,837$ , natomiast dla szkieł z powłokami o niskiej emisyjności parametr ten może być znacznie niższy. Efektem działania powłoki niskoemisyjnej na szkło jest odbijanie długofalowego promieniowania cieplnego emitowanego przez urządzenia grzejne, oświetlenia itp. z powrotem do budynku. Przezroczysta powłoka nadal pozwala na przedostawanie się krótkofalowego promieniowania słonecznego. Energia ta jest pochłaniana przez wnętrze budynku i wypromieniowana do pomieszczeń w postaci promieniowania długofalowego, które z kolei, próbując wydostać się z budynku, odbijane jest przez powłokę z powrotem do wnętrza. Najmniejsze wartości emisyjności i jednocześnie największe wartości współczynników odbicia w podczerwieni wykazują metale o wysokiej przewodności elektrycznej, a zwłaszcza metale szlachetne. Dlatego też w przypadku szkieł niskoemisyjnych przeznaczonych dla budownictwa powszechnie stosuje się powłoki na bazie srebra, które niską emisyjność łączą z neutralną barwą (Miyazaki et al. 1994; Shirakawa et al. 2016; Tian et al. 2011). Stosowanie powłok niskoemisyjnych na powierzchni szkła stwarza nie tylko możliwości modyfikacji i sterowania przepuszczalnością i odbiciem światła oraz energią słoneczną, ale przede wszystkim nadania oszkleniom funkcji energooszczędnych.

Obecnie szkło powłokowe stosuje się najczęściej w oszkleniach budowlanych – jako szkła składowe szyb zespolonych. Drugim szkłem składowym może być szkło warstwowe, ze względu na szczególne właściwości. Takie szkło, po rozbiciu, uniemożliwia przedostanie się do wnętrza pomieszczenia osób trzecich. Może także stanowić czasową zaporę przy próbie włamania. W przypadku rozbicia tafle szkła pozostają wciąż przyklejone do folii, co minimalizuje ryzyko zranienia użytkownika odłamkami szkła. Ponadto, zwiększają one znacząco izolacyjność dźwiękową przegrody w porównaniu ze szkłem monolitycznym o tej samej grubości. Wielowarstwowe szyby laminowane mogą chronić przed ostrzałem z broni palnej oraz falą detonacyjną. Ich zaletą jest także to, że ograniczają przenikanie promieniowania UV, co zapobiega szybkiemu blaknięciu kolorów ścian i mebli w pomieszczeniach.

W tekście przedstawiono wyniki badań składu chemicznego i grubości wybranych wielofunkcyjnych energooszczędnych powłok stosowanych obecnie w oszkleniach budowlanych. W pracy dokonano również analizy wpływu właściwości świetlnych i energetycznych szkieł niskoemisyjnych w zestawieniu ze szkłem laminowanym na efekty praktyczne związane z użytkowaniem oszkleń, zwłaszcza wielkopowierzchniowych, ze szczególnych uwzględnieniem ich roli energooszczędnej.



## 1. Część doświadczalna

### Metodyka badań

Celem badań było określenie możliwości modyfikacji właściwości szkła poprzez nakładanie na powierzchnię niskoemisyjnych nanowarstw dla osiągnięcia założonych parametrów świetlnych i energetycznych oraz przedstawienie ich wpływu na izolacyjność termiczną oszklenia. Do badań wykorzystano próbki dwóch typów szkła powłokowego z grupy szkieł niskoemisyjnych i energooszczędnych dostarczone przez producenta szkła płaskiego oraz szkła laminowanego.

Badania przeprowadzone w ramach pracy obejmowały identyfikację, metodą mikroskopii scanningowej, wybranej powłoki, poprzez przedstawienie składu chemicznego powierzchni szkła powłokowego oraz grubości warstwy. Ponadto, dla badanych szkieł powłokowych oraz szkła warstwowego wyznaczono podstawowe parametry optyczne i energetyczne. Badania SEM/EDS wykonano przy zastosowaniu elektronowego mikroskopu skaningowego JEOL JSM 5400, sprzężonego z mikroanalitytorem rentgenowskim LINK ISIS (Oxford Instruments). Kąt wychwytywania przez detektor promieniowania rozproszonego wynosił 180. Metodą EDS wyznaczano skład pierwiastkowy (w %) w losowo wybranych mikroobszarach. Granica wykrywalności metody EDS wynosi 0,1% dla pierwiastków ciężkich i 0,5% dla pierwiastków lekkich.

Badania spektrofotometryczne przeprowadzono wykorzystując spektrofotometr V 770 z kulą całkującą ILN-925/150 mm firmy Jasco. Zgodnie z normą PN-EN 410:2011 wyznaczono następujące parametry świetlne:

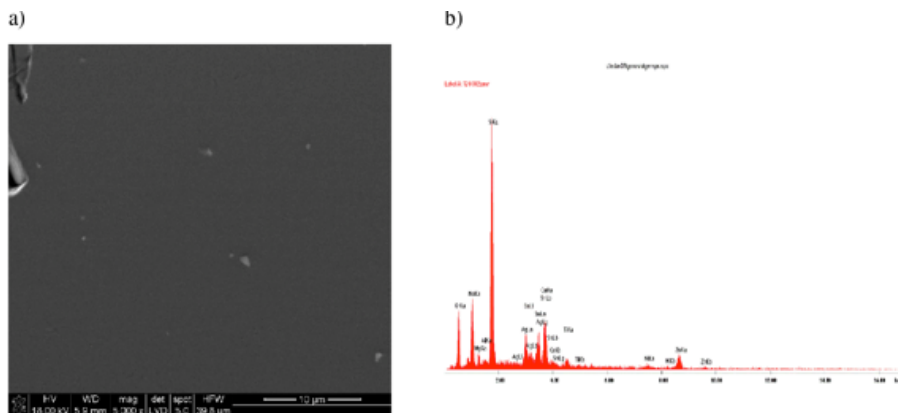
- przepuszczalność i odbicie światła,
- bezpośrednią przepuszczalność i odbicie promieniowania słonecznego,
- współczynnik wtórnego przekazywania ciepła do wewnątrz,
- całkowitą przepuszczalność energii promieniowania słonecznego (*solar factor*),
- przepuszczalność promieniowania UV,
- współczynnik zacienienia oraz ogólny wskaźnik oddawania barw.

Emisyjność szkła wyznaczono zgodnie z normami PN-EN 12898:2004 oraz PN-EN 673: 2011, przy użyciu spektrometru FT/IR 6600 firmy Jasco, z zastosowaniem przystawki odbiciowej. Obliczenia współczynników przenikania ciepła U wykonano przy użyciu programu obliczeniowego opracowanego na podstawie normy PN-EN 673: 2011.

### Identyfikacja wybranej powłoki – skład chemiczny szkła powłokowego oraz grubość warstwy

Wyniki badań w postaci fotografii elektrono-mikroskopowych oraz średnich analiz pierwiastkowych powierzchni przykładowego szkła powłokowego o funkcjach energooszczędnych przedstawiono na rysunkach 1 i 2 oraz w tabeli 1. Przeprowadzona analiza chemiczna powierzchni niskoemisyjnego szkła powłokowego wykazała obecność: O,

Si, Na, Mg, Al. i Ca, stanowiących podstawowe składniki przede wszystkim podłoża szklanego, oraz Zn (od 8,19 % at. do 8,27 % at.), Ag (od 2,87 % at. do 3,05 % at.), Sn (od 3,49 % at. do 3,87 % at.), Ni (od 1,54 % at. do 1,58 % at.) i Ti (od 1,18 % at. do 1,22 % at.) tworzące nanopowłokę na powierzchni szkła. Z uwagi na specyfikę metody badań i duży wpływ wyboru miejsca wykonywania analizy podane wartości zawartości pierwiastków należy traktować jedynie szacunkowo. Pozwala to jednak na identyfikację podstawowego składu chemicznego badanej powierzchni szkła powłokowego.



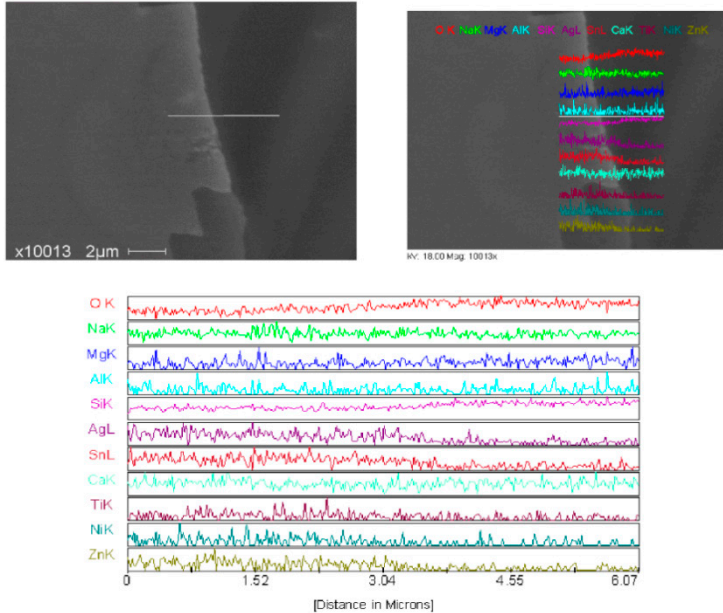
**Rysunek 1. Wyniki SEM/EDS powierzchni próbki szkła powłokowego a) mikrofotografia SEM z powierzchni powłoki (pow. 5000x), b) EDS dla mikroobszaru 1**

Źródło: Opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych badań.

**Tabela 1. Wyniki średniej analizy pierwiastkowej wykonane dla dwóch wybranych mikroobszarów**

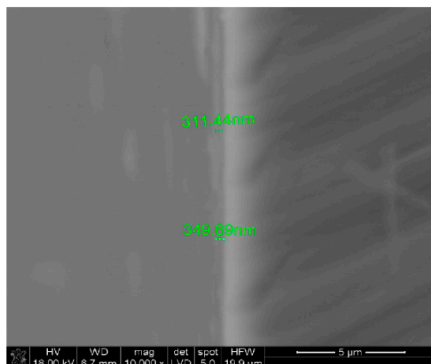
| Pierwiastek | Mikroobszar 1<br>analiza średnia | Mikroobszar 2<br>analiza średnia |
|-------------|----------------------------------|----------------------------------|
|             | % at.                            | % at.                            |
| O           | 30,17                            | 31,69                            |
| Na          | 13,96                            | 14,02                            |
| Mg          | 2,32                             | 1,58                             |
| Al          | 0,68                             | 0,44                             |
| Si          | 30,97                            | 30,49                            |
| Ag          | 2,87                             | 3,05                             |
| Sn          | 3,49                             | 3,87                             |
| Ca          | 4,51                             | 3,89                             |
| Ti          | 1,22                             | 1,18                             |
| Ni          | 1,54                             | 1,58                             |
| Zn          | 8,27                             | 8,19                             |

Rysunek 2 przedstawia zmiany składu pierwiastkowego na przekroju szkła, z uwzględnieniem warstwy powierzchniowej. Wyraźnie obserwuje się wzrost zawartości pierwiastków, takich jak Ag, Sn, Ti, Ni i Zn w obszarze powłoki.



**Rysunek 2. Wyniki SEM/EDS powierzchni próbki przykładowego szkła z powłoką niskoemisyjną – zmiany składu pierwiastkowego na przekroju szkła, z uwzględnieniem warstwy powierzchniowej**

Źródło: Opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych badań.



**Rysunek 3. Mikrofotografia SEM przedstawiająca grubość powłoki przykładowego szkła niskoemisyjnego o funkcjach energooszczędnych (pow. 10 000 x)**

Źródło: Opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych badań.

Grubość powłoki określono przy powiększeniu 10 000 x i przedstawiono na rysunku 3. Stwierdzono, że grubość cienkiej warstwy kształtowała się na poziomie ok. 350 nm.

### Parametry optyczne i energetyczne szkieł powłokowych

Badania przeprowadzone w ramach pracy obejmowały wyznaczenie:

- współczynników emisyjności normalnej  $\epsilon_n$  i skorygowanej  $\epsilon$  wybranych nisko-emisyjnych szkieł powłokowych o grubości 8 mm,
- świetlnych i słonecznych właściwości pojedynczych niskoemisyjnych szkieł powłokowych, oraz szyb zespolonych wykonanych z ich zastosowaniem,
- współczynników przenikania ciepła “U” metodą obliczeniową szyb zespolonych – obliczenia wykonano dla zawartości argonu w przestrzeni międzyszybowej wynoszącej 90%.

Wartości współczynników emisyjności szkła nr 1 wyniosły odpowiednio:

- współczynnik emisyjności normalnej  $\epsilon_n = 0,008 \pm 0,001$ ,
- współczynnik emisyjności skorygowanej  $\epsilon = 0,010 \pm 0,001$ ,

a szkła nr 2:

- współczynnik emisyjności normalnej  $\epsilon_n = 0,017 \pm 0,001$ ,
- współczynnik emisyjności skorygowanej  $\epsilon = 0,021 \pm 0,001$ .

**Tabela 2. Światłne i słoneczne właściwości niskoemisyjnego szkła powłokowego nr 1 (emisyjność skorygowana  $e = 0,010$ , powłoka na pozycji 2)**

| Właściwość   |             | Nr próbek |       |       |                   |
|--|-------------|-----------|-------|-------|-------------------|
|  |             | 1/1       | 1/2   | 1/3   | Wartość średnia   |
| Przepuszczalność światła   | $\tau_v$    | 0,772     | 0,772 | 0,773 | $0,772 \pm 0,002$ |
| Odbicie światła  | $\rho_v$    | 0,077     | 0,078 | 0,078 | $0,078 \pm 0,000$ |
| Bezpośrednia przepuszczalność promieniowania słonecznego                               | $\tau_e$    | 0,407     | 0,408 | 0,407 | $0,407 \pm 0,001$ |
| Bezpośrednie odbicie promieniowania słonecznego  | $\rho_e$    | 0,305     | 0,302 | 0,305 | $0,304 \pm 0,001$ |
| Bezpośrednia absorpcja promieniowania słonecznego                                      | $\alpha_e$  | 0,289     | 0,290 | 0,288 | $0,289 \pm 0,001$ |
| Współczynnik wtórnego przekazywania ciepła do wewnątrz                                 | $q_i$       | 0,038     | 0,038 | 0,038 | $0,038 \pm 0,000$ |
| Całkowita przepuszczalność energii promieniowania słonecznego (współczynnik słoneczny) | $g$         | 0,444     | 0,446 | 0,444 | $0,445 \pm 0,001$ |
| Przepuszczalność promieniowania UV   | $\tau_{UV}$ | 0,223     | 0,227 | 0,223 | $0,224 \pm 0,000$ |
| Współczynnik zacinienia  | SC          | 0,510     | 0,510 | 0,510 | $0,510 \pm 0,001$ |
| Ogólny wskaźnik oddawania barw   | $R_a$       | 95        | 95    | 95    | $95 \pm 0,19$     |

Badania spektrofotometryczne wykonano dla poszczególnych szkieł składowych szyby zespolonej, a następnie obliczono wartości świetlnych i słonecznych właściwości dla szyb zespolonych o budowie: szkło powłokowe 8 mm z powłoką / 16 mm Argon /szkło warstwowe 55.2 (powłoka na pozycji 2). Wyniki badań właściwości spektrofotometrycznych próbek szkieł z powłoką w sytuacji, kiedy światło pada bezpośrednio na powłokę (powłoka na poz. 1) przedstawiono w tabelach 2 i 3. Wykonano po trzy pomiary dla każdego typu szkła i w tabelach podano wartości średnie z wyznaczoną niepewnością pomiaru. Wyniki badań świetlnych i słonecznych właściwości szyb zespolonych przedstawiono w tabelach 4 i 5.

**Tabela 3. Świetlne i słoneczne właściwości niskoemisyjnego szkła powłokowego nr 2 (emisyjność skorygowana  $e = 0,021$ , powłoka na pozycji 2)**

| Właściwość   |             | Nr próbek |       |       |                   |
|--|-------------|-----------|-------|-------|-------------------|
|  |             | 2/1       | 2/2   | 2/3   | Wartość średnia   |
| Przepuszczalność światła   | $\tau_v$    | 0,665     | 0,664 | 0,664 | $0,664 \pm 0,001$ |
| Odbicie światła  | $\rho_v$    | 0,130     | 0,128 | 0,130 | $0,129 \pm 0,000$ |
| Bezpośrednia przepuszczalność promieniowania słonecznego                               | $\tau_e$    | 0,343     | 0,344 | 0,344 | $0,344 \pm 0,001$ |
| Bezpośrednie odbicie promieniowania słonecznego  | $\rho_e$    | 0,298     | 0,298 | 0,298 | $0,298 \pm 0,001$ |
| Bezpośrednia absorpcja promieniowania słonecznego                                      | $\alpha_e$  | 0,359     | 0,358 | 0,358 | $0,358 \pm 0,001$ |
| Współczynnik wtórnego przekazywania ciepła do wewnątrz                                 | $q_i$       | 0,046     | 0,046 | 0,046 | $0,046 \pm 0,000$ |
| Całkowita przepuszczalność energii promieniowania słonecznego (współczynnik słoneczny) | $g$         | 0,390     | 0,390 | 0,390 | $0,390 \pm 0,001$ |
| Przepuszczalność promieniowania UV   | $\tau_{UV}$ | 0,267     | 0,274 | 0,274 | $0,272 \pm 0,000$ |
| Współczynnik zacinienia  | SC          | 0,450     | 0,450 | 0,450 | $0,450 \pm 0,001$ |
| Ogólny wskaźnik oddawania barw   | $R_a$       | 91        | 90    | 90    | $90 \pm 0,18$     |

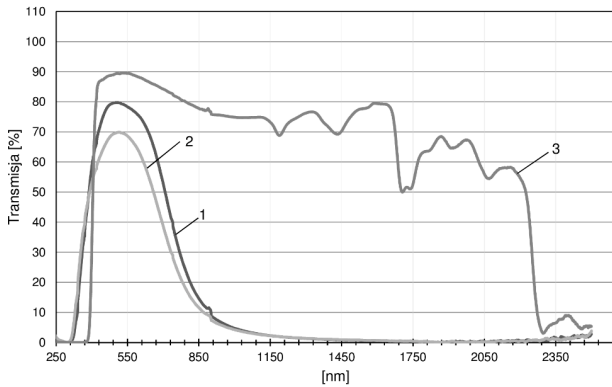
Podana niepewność (bez uwzględnienia etapu pobierania próbek) jest niepewnością rozszerzoną, przy współczynniku rozszerzenia  $k=2$  na poziomie ufności 95 %, wynoszącą  $\pm 0,2$  % wyniku. Na rysunkach 4, 5 i 6 pokazano charakterystyki optyczne szkieł z powłokami oraz szkła laminowanego. W przypadku szkieł powłokowych przedstawiono krzywe transmisji w sytuacji, kiedy światło pada bezpośrednio na powłokę (powłoka na poz. 1), oraz krzywe odbicia w sytuacji, kiedy światło pada bezpośrednio na powłokę oraz na powierzchnię przeciwną.

**Tabela 4. Światlne i słoneczne właściwości szyby zespolonej o budowie: szkło powłokowe nr 1 o grubości 8 mm z powłoką / 16 mm Argon /szkło warstwowe 55.2 (powłoka na pozycji 2)**

| Właściwość   |             | Nr próbek szyby zespolonej |       |       |                 |
|--|-------------|----------------------------|-------|-------|-----------------|
|  |             | 1/1                        | 1/2   | 1/3   | Wartość średnia |
| Przepuszczalność światła   | $\tau_v$    | 0,675                      | 0,673 | 0,675 | 0,674 ± 0,001   |
| Odbicie światła  | $\rho_v$    | 0,138                      | 0,138 | 0,139 | 0,138 ± 0,000   |
| Bezpośrednia przepuszczalność promieniowania słonecznego                               | $\tau_e$    | 0,335                      | 0,335 | 0,335 | 0,335 ± 0,001   |
| Bezpośrednie odbicie promieniowania słonecznego  | $\rho_e$    | 0,327                      | 0,327 | 0,327 | 0,327 ± 0,001   |
| Bezpośrednia absorpcja promieniowania słonecznego                                      | $\alpha_e$  | 0,338                      | 0,338 | 0,339 | 0,338 ± 0,001   |
| Współczynnik wtórnego przekazywania ciepła do wewnątrz                                 | $q_i$       | 0,041                      | 0,041 | 0,041 | 0,041 ± 0,000   |
| Całkowita przepuszczalność energii promieniowania słonecznego (współczynnik słoneczny) | $g$         | 0,375                      | 0,376 | 0,376 | 0,376 ± 0,001   |
| Przepuszczalność promieniowania UV   | $\tau_{UV}$ | 0,000                      | 0,000 | 0,000 | 0,000 ± 0,000   |
| Współczynnik zacienienia   | SC          | 0,430                      | 0,430 | 0,430 | 0,430 ± 0,001   |
| Ogólny wskaźnik oddawania barw   | $R_a$       | 94                         | 94    | 94    | 94 ± 0,19       |

**Tabela 5. Światlne i słoneczne właściwości szyby zespolonej o budowie: szkło powłokowe nr 2 o grubości 8 mm z powłoką / 16 mm Argon /szkło warstwowe 55.2 (powłoka na pozycji 2)**

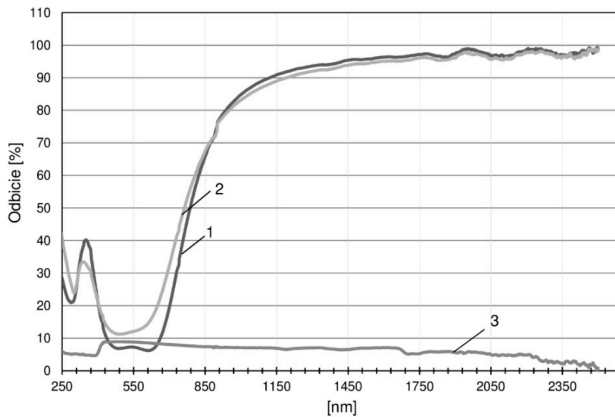
| Właściwość<br>2/1  |             | Nr próbek szyby zespolonej |       |                 |               |
|--|-------------|----------------------------|-------|-----------------|---------------|
|  |             | 2/2                        | 2/3   | Wartość średnia |               |
| Przepuszczalność światła   | $\tau_v$    | 0,625                      | 0,624 | 0,624           | 0,624 ± 0,001 |
| Odbicie światła  | $\rho_v$    | 0,172                      | 0,172 | 0,174           | 0,173 ± 0,000 |
| Bezpośrednia przepuszczalność promieniowania słonecznego                               | $\tau_e$    | 0,297                      | 0,297 | 0,297           | 0,297 ± 0,001 |
| Bezpośrednie odbicie promieniowania słonecznego  | $\rho_e$    | 0,308                      | 0,308 | 0,308           | 0,308 ± 0,001 |
| Bezpośrednia absorpcja promieniowania słonecznego                                      | $\alpha_e$  | 0,395                      | 0,394 | 0,395           | 0,395 ± 0,001 |
| Współczynnik wtórnego przekazywania ciepła do wewnątrz                                 | $q_i$       | 0,042                      | 0,042 | 0,042           | 0,042 ± 0,000 |
| Całkowita przepuszczalność energii promieniowania słonecznego (współczynnik słoneczny) | $g$         | 0,339                      | 0,339 | 0,339           | 0,339 ± 0,001 |
| Przepuszczalność promieniowania UV   | $\tau_{UV}$ | 0,000                      | 0,000 | 0,000           | 0,000 ± 0,000 |
| Współczynnik zacienienia   | SC          | 0,390                      | 0,390 | 0,390           | 0,390 ± 0,001 |
| Ogólny wskaźnik oddawania barw   | $R_a$       | 90                         | 91    | 90              | 90 ± 0,19     |



Objaśnienia: 1 – krzywa odbicia szkła z powłoką niskoemisyjną nr 1 w sytuacji, kiedy światło pada bezpośrednio na powłokę (powłoka na poz. 1), 2 – krzywa odbicia szkła z powłoką niskoemisyjną nr 2 w sytuacji, kiedy światło pada bezpośrednio na powłokę (powłoka na poz. 1), 3 – krzywa odbicia szkła warstwowego.

**Rysunek 4. Charakterystyki optyczne szkieł**

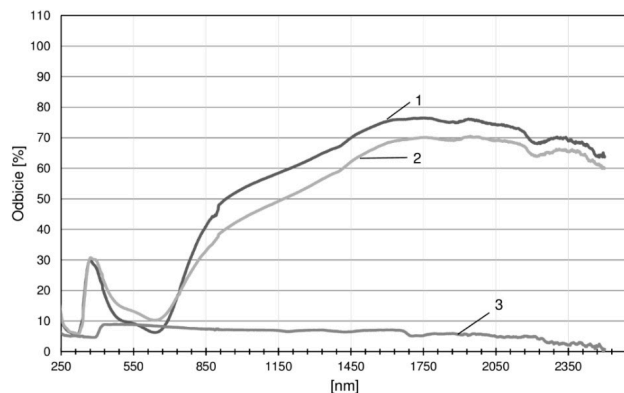
Źródło: Opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych badań.



Objaśnienia: 1 – krzywa odbicia szkła z powłoką niskoemisyjną nr 1 w sytuacji, kiedy światło pada na powierzchnię przeciwną do powierzchni z powłoką (powłoka na poz. 2), 2 – krzywa odbicia szkła z powłoką niskoemisyjną nr 2 w sytuacji, kiedy światło pada na powierzchnię przeciwną do powierzchni z powłoką (powłoka na poz. 2), 3 – krzywa odbicia szkła warstwowego.

**Rysunek 5. Charakterystyki optyczne szkieł**

Źródło: Opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych badań.



**Rysunek 6. Charakterystyki optyczne szkła**

Źródło: Opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych badań.

Biorąc pod uwagę stopień wypełnienia przestrzeni międzyszybowej argonem w badanych szybach zespolonych (90%) i emisyjność skorygowaną szkła powłokowych będących elementem składowym badanego zespolenia, uzyskano wartość współczynnika przenikania ciepła:

- dla zespolenia o budowie: szkło powłokowe nr 1 o grubości 8 mm / 16 mm argon R/szkło warstwowe 55.2 (powłoka na pozycji 2) wynosi  $U = 1,0 \pm 0,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,
- dla zespolenia o budowie: szkło powłokowe nr 2 o grubości 8 mm / 16 mm argon R/szkło warstwowe 55.2 (powłoka na pozycji 2) wynosi  $U = 1,1 \pm 0,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Szklą powlekane łączące właściwości przeciwsłoneczne i energooszczędne wykazują szczególnie zróżnicowanie parametrów spektrofotometrycznych. Cechą charakterystyczną powłok przeciwsłonecznych jest stosunkowo wysoka przepuszczalność w zakresie widzialnym (380 – 780 nm) i wzrost odbicia w zakresie podczerwieni (780-2500 nm). Analizując widma transmisji badanych niskoemisyjnych szkieł powłokowych stwierdzono, że przepuszczalność światła kształtowała się na poziomie od 66,4 % (szkło nr 2 – tab. 3) do 77,2 % (szkło nr 1 – tab. 2). Natomiast parametr ten, w przypadku szkła laminowanego, osiągnął wartość na poziomie 80% (rys. 1). Wysoki poziom transmisji światła pozwala na wykorzystanie naturalnego światła dziennego i tworzenie przestrzeni podnoszących komfort przebywania wewnątrz budynku. Krzywe transmisji szkieł z powłokami charakteryzowały się spadkiem przepuszczalności światła w zakresie powyżej 780 nm. Badane szkła niskoemisyjne z powłokami na bazie Zn, Ag, Sn, Ni i Ti (szkła nr 1 i 2) wykazały podwyższoną zdolności odbicia promieniowania w zakresie podczerwieni 780 nm – 2500 nm (rys. 5 i 6). Odbicie tych szkieł (rys. 5 i 6) w funkcji długości fali kształtowały się na zbliżonym poziomie, w przeciwieństwie do odbicia szkła warstwowego poniżej 10%. Kiedy światło pada bezpośrednio powłokę niskoemisyjną (powłoka na poz. 1),



odbicie w tym zakresie osiągało nawet 100% (rys. 5) i było znacznie wyższe w porównaniu z sytuacją, kiedy światło padało od strony przeciwnej (powłoka na poz. 2). Wówczas kształtowało się ono na poziomie od 70 % do 75% (rys. 6). Badane szkła charakteryzowały się wyraźnym wzrostem odbicia w zakresie promieniowania ultrafioletowego do wartości ok. 30% (tab. 2 i 3, rys. 5 i 6). Umieszczenie niskoemisyjnych szkieł w pakiecie szybowym ze szkłem warstwowym 55.2 spowodowało natomiast obniżenie tego parametru do zera. Właściwość ta stanowi zaletę, ponieważ przy długotrwałej ekspozycji promieniowanie ultrafioletowe może prowadzić do degradacji materiałów organicznych.

Badane szkła niskoemisyjne charakteryzowały się stosunkowo niskim współczynnikiem całkowitej przepuszczalności energii słonecznej, tj. na poziomie 40% (zob. tab. 2 i 3). Połączenie ich ze szkłem laminowanym w szybie zespolonej powoduje uzyskanie jeszcze niższych wartości tego parametru (zob. tab. 4 i 5). Dzięki temu, ich zastosowanie w budownictwie zapewnia korzystną izolacyjność termiczną, umożliwiając poprawę bilansu energetycznego budynku i jednocześnie wysoki poziom ochrony przeciwsłonecznej. Niska wartość przepuszczalności energii promieniowania słonecznego zapobiega przegrzaniu wnętrza, jednocześnie zmniejszając wydatki na klimatyzację zwłaszcza latem. Przeszklenia wielkopowierzchniowe muszą spełniać nie tylko szczególne wymagania w zakresie izolacyjności termicznej i akustycznej, ochrony przeciwsłonecznej i bezpieczeństwa użytkownika, ale także estetyki. Zróżnicowany wygląd szkieł powlekanych pozwala wzbogacać estetykę fasad budynków. Barwę tego rodzaju szkieł określa się w świetle przechodzącym. Zmianę barw przedmiotów widocznych przez szkło określa wskaźnik oddawania barw Ra, którego maksymalna wartość wynosi 100. W zależności od wymagań dotyczących właściwego postrzegania barw. Przykładowo, w budownictwie mieszkaniowym w klimacie umiarkowanym i w chłodniejszych strefach klimatycznych wskaźnik oddawania barw dla szkieł powlekanych powinien być jak najwyższy. Barwy widziane przez badane szkła niskoemisyjne o wskaźnikach Ra wynoszących powyżej 90 (tab. 2-5) nie są zmienione w znaczący sposób. Neutralna barwa i jednocześnie wysoka przepuszczalność światła pozwala na optymalne wykorzystanie światła dziennego i, dzięki temu, na oszczędność energii związanej z oświetleniem.

Oszklenie budynku z zastosowaniem szyb zespolonych o budowie: niskoemisyjne szkło powłokowe o grubości 8 mm / 16 mm argon /szkło warstwowo 55.2 (*powłoka na pozycji 2*) wpływa na jego właściwości energooszczędne, o czym świadczy niski współczynnik przenikania ciepła  $U$  wynoszący od  $1,0 \pm 0,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  do  $1,1 \pm 0,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

## Podsumowanie

Do szklanych elewacji efektywnych energetycznie nowoczesnych budynków stosowane są przede wszystkim wysokotransparentne szkła przeciwsłoneczne. Zastosowa-

nie nanowarstw niskoemisyjnych na powierzchni szkła pozwala na modyfikację jego właściwości – w celu osiągnięcia założonych właściwości świetlnych i energetycznych. Jeśli takie szkła zostaną wykorzystane do produkcji szyb zespolonych, a następnie zamontowane w budynkach, w istotny sposób wpłyną na ich izolacyjność termiczną. Badane i charakteryzowane w niniejszym tekście wyroby wybrano jako reprezentatywne dla grupy o podobnych funkcjach i produkowanych przez różnych producentów. Szczególnie ważną rolę w uzyskaniu funkcji energooszczędnych, przeciwśrołecnych i samoczyszczących analizowanych szkieł odgrywa obecność nanocząstek srebra i tytanu. Badane szkła z powłokami niskoemisyjnymi charakteryzowały się wysoką zdolnością odbijania promieniowania ciepłego z zakresu dalekiej podczerwieni. Celem zastosowania tego rodzaju szkieł w budownictwie, zwykle w szybach zespolonych lub innych elementach elewacyjnych, jest zmniejszanie strat ciepła z budynku do otoczenia, a także ochrona pomieszczeń przed przegrzaniem spowodowanym nadmiernym promieniowaniem słonecznym. Właściwości cieplne szyb zespolonych zależą przede wszystkim od emisyjności szkieł składowych oraz obecności medium gazowego w przestrzeni międzyszybowej. Odpowiednio niska emisyjność związana z obecnością powłoki na badanych szklach, wynosząca 0,010 i 0,021, znacząco obniżyła współczynnik przenikania ciepła. Badane niskoemisyjne szkła powłokowe o grubości 8 mm w połączeniu ze szkłem warstwowym 55.2 (*powłoka na pozycji 2*) wpłynęły w istotny sposób na właściwości energooszczędne oszklenia i pozwoliły uzyskać niski współczynnik przenikania ciepła  $U$ , wynoszący od  $1,0 \pm 0,0$  W/m<sup>2</sup>K do  $1,1 \pm 0,0$  W/m<sup>2</sup>K. Wykonane badania pozwoliły na realizację założonych celów niniejszej pracy – dotyczących zarówno możliwości modyfikacji właściwości szkła, poprzez nakładanie na powierzchnię niskoemisyjnych nanowarstw dla osiągnięcia określonych parametrów świetlnych i energetycznych, jak i przedstawienia ich wpływu na izolacyjność termiczną oszklenia. Stwierdzono, że dzięki modyfikacji powierzchni szkła możliwe jest uzyskanie energooszczędnych fasad całoszkłanych. Wciąż rozwijane badania w zakresie modyfikacji składu chemicznego, jak też procesu nakładania wielowarstwowych powłok umożliwiły ich szczególną przydatność w oszkleniach budowlanych. Badania wpływu szkieł powłokowych na właściwości świetlne i energetyczne oszkleń w kombinacjach z różnymi rodzajami szkieł są przedmiotem dalszych prac naukowych.

## Literatura:

- [1] Boostania H., Modirroustab S., 2016, *Review of Nanocoatings for Building Application International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction*, "Procedia Engineering" 145.
- [2] Fortes L.M., Gonçalves M.C., Almeida R.M., Castro Y., Durán A., 2013, *Nanostructured glass coatings for solar control with photocatalytic properties*, "Journal of Non-Crystalline Solids" 377.

- [3] Helsch G., Deubener J., 2012, *Compatibility of antireflective coatings on glass for solar applications with photocatalytic properties*, "Solar Energy" 86.
- [4] Miyazaki M., Ando E., 1994, *Durability improvement of Ag-based low-emissivity coatings*, "Journal of Non-Crystalline Solids" 178.
- [5] Moretti E., Belloni E., 2015, *Evaluation of energy, thermal, and daylighting performance of solar control films for a case study in moderate climate*, "Build. Environ." 94.
- [6] Nielsen K. H., Orzol D. K., Koynov S., Carney S. , Hultstein E., Wondraczek L., 2014, *Large area, low cost anti-reflective coating for solar glasses*, "Solar Energy Materials & Solar Cells" 128.
- [7] Quan Y.Y., Zhang L.Z., 2017, *Experimental investigation of the anti-dust effect of transparent hydrophobic coatings applied for solar cell covering glass*, "Solar Energy Materials & Solar Cells" 160.
- [8] Ruihua Y., Liu J., Lin L., Qu Y., Zheng W., Lai F., 2016, *Optical properties and thermal stability of colored solar selective absorbing coatings with double-layer antireflection coatings*, "Solar Energy" 125.
- [9] Shirakawa M. A., John V. M., Mocelin A., Zilles R., Toma S. H., Araki K., Toma H. E., Thomaz A. C., Gaylarde Ch. C, 2016, *Effect of silver nanoparticle and TiO<sub>2</sub> coatings on biofilm formation on four types of modern glass*, "International Biodeterioration & Biodegradation" 108.
- [10] Singh M.C., Garg S.N., Jha R., 2008, *Different glazing systems and their impact on human thermal comfort-Indian scenario*, "Build. Environ." 43.
- [11] Tian B., Shao Z., Ma Y., Zhang J., Chen F., 2011, *Improving the visible light photocatalytic activity of mesoporous TiO<sub>2</sub> via the synergic effects of B doping and Ag loading*, "Journal of Non-Crystalline Solids" 72.
- [12] Tolke T., Heft A., Pfuch A., 2008, *Photocatalytically active multi-layer systems with enhanced transmission*, "Thin Solid Films" 516.
- [13] Xamán J., Jiménez-Xamán C., Álvarez G., Zavala-Guillén I., Hernández-Pérez I., Aguilar J.O., 2016, *Thermal performance of a double pane window with a solar control coating for warm climate of Mexico*, "Applied Thermal Engineering" 106.
- [14] Yuan Y., Chen Y., Chen W.L., Hong R.J., *Preparation, durability and thermostability of hydrophobic antireflective coatings for solar glass covers*, "Solar Energy" 118.
- [15] Zhao X., Zhao Q., Yu J., Liu B., 2008, *Development of multifunctional photoactive self-cleaning glasses*, "Journal of Non-Crystalline Solids" 354 (12).

## **Przegląd wybranych zanieczyszczeń powietrza w 2016 r. na terenie Bielska-Białej oraz ich wpływ na organizm człowieka**

---

### **Streszczenie**

Zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego to powietrze, którego skład chemiczny w sposób ujemny wpływa na stan zdrowia ludzi, zwierząt i inne elementy środowiska (woda, gleba). Oddziałuje ono negatywnie na stan zdrowia organizmu człowieka, a w konsekwencji jest przyczyną powstawania wielu chorób układu oddechowego, krwionośnego i chorób nowotworowych. Dzieci, a także osoby starsze, m.in. ze względu na obniżoną odporność organizmu, są najbardziej zagrożone występowaniem tych chorób (KPOP 2015). Ocenia się, że w Polsce każdego roku odnotowuje się 45 000 zgonów spowodowanych zanieczyszczeniem powietrza atmosferycznego. W skali ogólnosiwiatowej liczba ta wynosi ok. 7 mln (WPO 2015, KPOP 2015). Źródłami emisji metali ciężkich są głównie zakłady przemysłowe, spalanie węgla w domowych piecach, elektrownie i elektrociepłownie oraz transport (Kalinowska et al. 2013) W celu poprawy stanu sanitarnego powietrza atmosferycznego na terenie miasta Bielsko-Biała i innych obszarów o wysokim stopniu urbanizacji należy przede wszystkim ograniczyć źródła niskiej emisji, czyli emisję szkodliwych pyłów i gazów pochodzących z niskich emitorów, do których zalicza się kominy np. domów jednorodzinnych lub kamienic. Duża liczba kominów o niewielkiej wysokości powoduje, że wprowadzane do środowiska zanieczyszczenia są bardzo uciążliwe, z uwagi na ich gromadzenie się w miejscu powstawania. Efekty nadmiernej niskiej emisji są najbardziej odczuwalne w okresie zimowym, w pełni sezonu grzewczego. Tworzenie się zastoisk zimnego powietrza, częste inwersje temperatury, większa liczba dni z przymrozkiem i mrozem, cisze atmosferyczne i słabe wiatry sprzyjają rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń. Ograniczenie niskiej emisji można osiągnąć m.in. poprzez: likwidację indywidualnego źródła ciepła i podłączenie budynku do miejskiej sieci ciepłowniczej, wymianę kotła centralnego ogrzewania i instalacji centralnego ogrzewania, docieplenie ścian budynku, wymianę okien oraz zastosowanie alternatywnych źródeł ciepła (kolektorów słonecznych, pomp ciepła). Poza tym zakłady przemysłowe powinny dążyć do zastępowania starych technologii nowymi, czyli mniej uciążliwymi dla środowiska. Dążenie do obniżenia wartości poziomów zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego jest konieczne ze względu na dobro populacji zamieszkującej dany teren. Za cele pracy przyjęto ocenę poziomu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego tlenkiem azotu, pyłu zawieszzonego PM<sub>2,5</sub> i PM<sub>10</sub>, dwutlenku siarki, benzenu oraz benzopirenu w 2016 r. na terenie Bielska-Białej oraz próbę wykazania ich negatywnego wpływu na organizm człowieka.

## **Overview of Selected Air Pollutants in 2016 in the City of Bielsko-Biala and Their Impact on Human Body**

### **Abstract**

Chemical composition of polluted atmospheric air has a negative impact on human health as well as animals, water and soil. In effect it causes respiratory system disease, blood system disease and cancers. Children and elderly people are among the most endangered as their immune system is weak (KPOP 2005). It is estimated that every year in Poland 45000 people die as a result of polluted air. On a global scale the number rises to 7 million people (WPO 2015, KPOP 2015). The main contributors to the air pollution are factories, power stations, coal-burning central heating systems and transport (Kalinowska et al. 2013). In order to improve the quality of the air in Bielsko-Biala and other urbanized regions it is necessary to reduce sources of low emission of dust and gases coming from low emitters such as chimneys in apartments and family houses. A large number of low chimneys make the pollution very tedious as the pollution accumulates where it was created. The low emission effect is the worst at winter heating season. The temperature inversion, frosty days and lack of wind create unfavourable pollution spread conditions. The reduction of the low emission can be achieved by: connecting house to the district heating system, upgrading boiler and central heating system, insulating house, double glaze windows, alternative heating sources such as solar panels and heat pumps. Industrial plants shall seek to replace old technologies with new ones, more environmental friendly. Endeavour to reduce air pollution is necessary for wellbeing of the population living in the area. The aim of this elaboration is to present concentration of chemical elements and particles such as: nitrogen oxide, suspended dust PM10 and PM2.5, sulphur dioxide, benzene, benzo(a)pyrene, and to prove their negative impact on human body.

---

## **Wprowadzenie**

Zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego następuje wskutek wprowadzenia do niego substancji stałych, ciekłych lub gazowych w ilościach, które mogą oddziaływać szkodliwie na organizm człowieka, zwierzęcia, rośliny, wodę i powodować inne szkody w środowisku naturalnym. O jakości powietrza na danym obszarze decyduje zawartość różnych substancji, których koncentracja jest wyższa od warunków naturalnych. Poziomy stężenie zanieczyszczeń w powietrzu wynikają bezpośrednio z wielkości emisji zanieczyszczeń do atmosfery oraz warunków meteorologicznych. Decydujące znaczenie ma także wpływ zanieczyszczeń napływowych (transgranicznych) z obszarów sąsiednich. Na terenie Bielska-Białej, ale także całego województwa śląskiego, głównym źródłem zanieczyszczenia powietrza jest emisja antropogeniczna związana ze źródłami powierzchniowymi, punktowymi oraz liniowymi (transport drogowy). Na ul. Kossak-Szczuckiej w Bielsku-Białej (południowo-zachodnia część miasta) znajduje się stacja dokonująca pomiaru manualnego oraz automatycznego. Druga stacja znajduje się na ul. Sterniczej.

Jednym z priorytetów rozwoju gospodarki energetycznej przyjaznej środowisku jest ograniczenie ilości zanieczyszczeń wprowadzanych do otoczenia w postaci tzw. niskiej emisji. Są to toksyczne składniki spalin wydobywających się z emitorów usytuowanych na wysokości poniżej 40 m n.p.t (kominów kotłowni indywidualnych, pieców grzewczych, palenisk domowych, układów wydechowych pojazdów drogowych). Niska emisja jest szczególnie niebezpieczna w przypadku niedostatecznego wyniesienia spalin i wystąpienia niekorzystnych warunków meteorologicznych prowadzących do lokalnej akumulacji składników toksycznych w postaci smogu. Zazwyczaj sytuacje takie występują w okresie grzewczym na obszarach, gdzie dominują paleniska opalane węglem. Oprócz zanieczyszczeń emitowanych w procesach spalania paliw związanych głównie z gęstością zaludnienia i strukturą techniczną lokalnego sektora ogrzewnictwa, na intensywność akumulacji niebezpiecznych substancji mają wpływ również warunki meteorologiczne (prędkość i zmienność wiatrów, pionowy gradient temperatur), ukształtowanie i forma terenu oraz uzyskiwane wyniesienia spalin.

Problem wysokich stężeń zanieczyszczeń w bezpośrednim otoczeniu skupisk ludzkich w przypadku elektrowni i elektrociepłowni jest w części rozwiązywany poprzez budowę i wykorzystywanie wysokich kominów. W przypadku niskiej emisji, gdy wysokość emitorów jest relatywnie niska, czynniki meteorologiczne i topograficzne mają dominujący wpływ na powstawanie lokalnych obszarów zwiększonych stężeń związków toksycznych.

W Polsce powietrze w wielu skupiskach ludzkich należy do najgorszych na obszarze Unii Europejskiej. Szczególną uwagę zwraca się na pyły zawieszone (PM<sub>2,5</sub> i PM<sub>10</sub>), węglowodory aromatyczne, dioksyny, furany oraz metale ciężkie. Raporty Światowej Organizacji Zdrowia wykazują, iż spośród 50 najbardziej zanieczyszczonych miast Unii Europejskiej aż 33 zlokalizowane są w Polsce, a 7 znajduje się w pierwszej dziesiątce. Pośrednio z powodu niskiej emisji w Polsce każdego roku umiera ok. 45 000 osób (Cholewiński et al. 2016). Dla gospodarki o obiegu zamkniętym decydujące znaczenie ma proces projektowania produktów pod kątem ich ponownego wykorzystania, naprawy lub przerobienia.

Gospodarka o obiegu zamkniętym stwarza dużą możliwość ograniczenia negatywnego wpływu działań człowieka na środowisko poprzez zmniejszenie ilości pozyskiwanych zasobów, ilości wytwarzanych odpadów i zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery.

Komisja Europejska przyjęła 2 grudnia 2015 r. pakiet, który poświęcony jest gospodarce w obiegu zamkniętym. Zawiera on istotne projekty legislacyjne zmieniające niektóre dyrektywy odpadowe. Jego celem jest stymulacja transformacji gospodarki europejskiej w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym, która wzmocni konkurencyjność UE w skali światowej. Poza tym pakiet wspomaga zrównoważony wzrost gospodarczy oraz stworzy nowe miejsca pracy. Pakiet zawiera plan działań

dla gospodarki o obiegu zamkniętym, w którym ochrona zdrowia jest głównym elementem napędowym nowej unijnej polityki ochrony środowiska i ma decydujące znaczenie w gospodarce w obiegu zamkniętym.

W 2013 r. Komisja Europejska przyjęła pakiet „Czyste Powietrze”. Głównym jego celem jest zmniejszenie rocznej liczby zgonów związanych z zanieczyszczeniem powietrza o ponad połowę (do ok. 200 000) do 2030 r. Głównym instrumentem dla osiągnięcia tego celu jest zrewidowana Dyrektywa dotycząca krajowych poziomów emisji, ustanawiająca maksymalne poziomy emisji określonych substancji zanieczyszczających powietrze i mających najpoważniejsze negatywne skutki dla zdrowia w skali UE.

## 1. Cel pracy. Materiały i metody

Za cele pracy przyjęto ocenę poziomu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego tlenków azotu, pyłu zawieszonego PM<sub>2,5</sub> i PM<sub>10</sub>, dwutlenku siarki, benzenu oraz benzopirenu w 2016 r. na terenie Bielska-Białej oraz próbę wykazania ich negatywnego wpływu na organizm człowieka.

W tekście uwzględniono dane, które otrzymano z Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Katowicach, Delegatura w Bielsku-Białej. Dalszym etapem było sporządzenie odpowiednich wykresów, które przedstawiają stężenia pierwiastków i związków chemicznych w powietrzu w poszczególnych miesiącach w 2016 r.

Metoda pomiarowa stężeń tlenków azotu oparta jest na zjawisku chemiluminescencji, czyli emisji energii w postaci światła w wyniku reakcji chemicznej. Związek ten, w fazie gazowej, wchodzi w reakcję z ozonem, wytwarzając wzbudzoną niestabilną cząsteczkę dwutlenku azotu.

Metoda pomiaru stężeń dwutlenku siarki oparta jest na zjawisku fluorescencji w ultrafiolecie. Cząsteczki dwutlenku siarki wzbudzone są do nietrwałych energetycznie form emitujących energię w postaci światła o długości 240-420 nm. Istotne jest również usunięcie z badanej próbki powietrza węglowodorów, zwłaszcza aromatycznych.

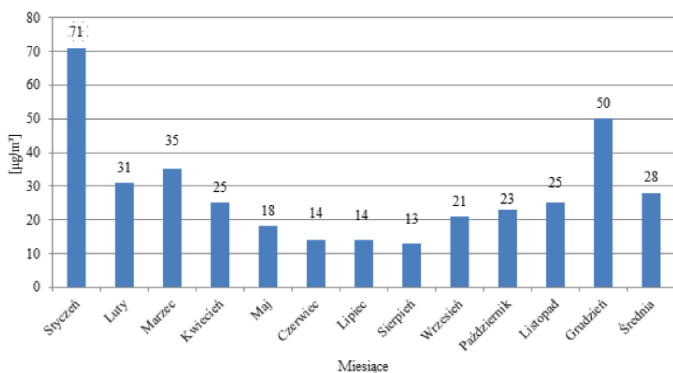
Metoda pomiaru stężeń benzenu polega na pobieraniu próbek powietrza przy użyciu próbników pasywnych, następnie desorpcji pochłoniętych par dwusiarczkiem węgla i analizie ilościowej metodą chromatografii gazowej. Oznaczenia ilościowe wykonywane są metodą wzorca wewnętrznego – oktanu i butylu.

Metoda pomiarów pyłu zawieszonego polega na użyciu poborników pyłowych, czyli specjalnych urządzeń, do których zasysane jest powietrze atmosferyczne. Montowane są jednorazowe filtry, ważone przed założeniem do pobornika. Po 14 dniach, czyli po dobowej ekspozycji każdego filtra, wszystkie są wyjmowane, przewożone do laboratorium oraz ważone po raz drugi – jako filtry po tzw. ekspozycji. Z różnic mas przed i po ekspozycji filtra wyliczane są stężenia pyłów.



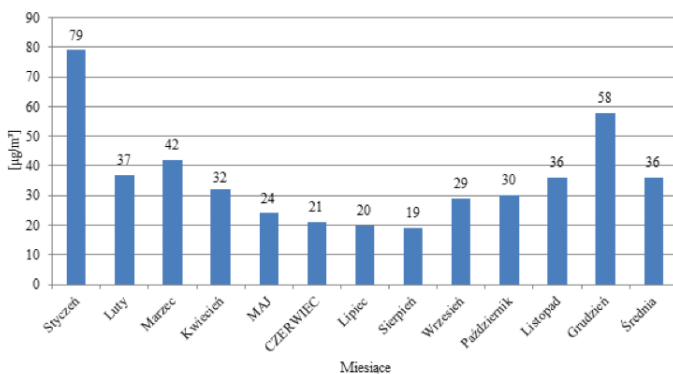
## 2. Analiza wyników

Średnioroczne dopuszczalne stężenie pyłu zawieszonego PM<sub>2,5</sub>, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu ze względu na ochronę zdrowia ludzi, powinno wynosić do 20 µg/m<sup>3</sup> (do osiągnięcia do 1 stycznia 2020 r.) lub 25 µg/m<sup>3</sup> (do 1 stycznia 2015 r.). Na terenie Bielska-Białej wynosiło ono 28 µg/m<sup>3</sup> (rys. 1). Najwyższe miesięczne stężenie odnotowano w styczniu (71 µg/m<sup>3</sup>), marcu (35 µg/m<sup>3</sup>) oraz w grudniu (50 µg/m<sup>3</sup>).



**Rysunek 1. Roczne stężenie pyłu zawieszonego PM<sub>2,5</sub> na terenie Bielska-Białej w poszczególnych miesiącach 2016 r.**

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (WIOŚ 2016).



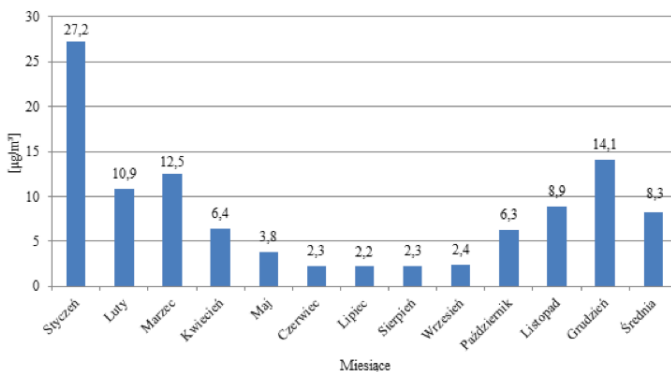
**Rysunek 2. Roczne stężenie pyłu zawieszonego PM<sub>10</sub> na terenie Bielska-Białej w poszczególnych miesiącach 2016 r.**

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (WIOŚ 2016).



Średnioroczne dopuszczalne stężenie pyłu zawieszonego PM<sub>10</sub> według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu ze względu na ochronę zdrowia ludzi nie powinno przekraczać 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . W 2016 r. na terenie Bielska-Białej jego średnioroczne stężenie wynosiło 36  $\mu\text{g}$  (rys. 2) i stężenie to wzrosło o 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  w porównaniu do 2015 r. Najwyższą miesięczną średnią odnotowano w styczniu (79  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), marcu (42  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) oraz grudniu (58  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Dopuszczalna częstość 24-godzinne przekraczania poziomu dopuszczalnego pyłu zawieszonego PM<sub>10</sub> w roku kalendarzowym wynosi 35 razy. W 2016 r. na terenie miasta liczba takich dni wynosiła 57. Najwyższe 24 godzinne stężenia odnotowano 4 stycznia (247  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 5 stycznia (207  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) oraz 20 grudnia (193  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Pyły zawieszone PM<sub>2,5</sub> i PM<sub>10</sub> to mikropyły o średnicy 2,5 oraz 10  $\mu\text{g}$ , które powstają w wyniku transportu samochodowego, emisji z palenisk domowych, przemysłu grzewczego, używania kominków. Są to jedne z najgroźniejszych zanieczyszczeń dla zdrowia i życia człowieka. Stanowią mieszaninę cząstek fazy stałej i ciekłej, które mogą mieć różny skład i wielkość (Moździerz et al. 2010). Frakcja pyłu PM<sub>10</sub> powstaje przede wszystkim w wyniku poruszania się pojazdów po nieutwardzonych nawierzchniach, ich kruszenia, rozdrabniania oraz tzw. pylenia wtórnego. Frakcja pyłu zawieszonego PM<sub>2,5</sub> powstaje głównie podczas spalania paliw w silnikach samochodowych, zakładach przemysłowych, paleniskach domowych oraz elektrociepłowniach (Radziszewska et al. 2015). W dużych miastach spaliny samochodowe są przyczyną występowania nawet 90% pyłowych zanieczyszczeń powietrza (Ścibor et al. 2015). Pyły zawieszone są przyczyną powstawania astmy oskrzelowej (Pac et al. 2013, Ścibor et al. 2015). Poza tym wywołują w organizmie zapalenia płuc, przewlekłą obturacyjną chorobę płuc oraz zawały serca (Bakera et al. 2015).

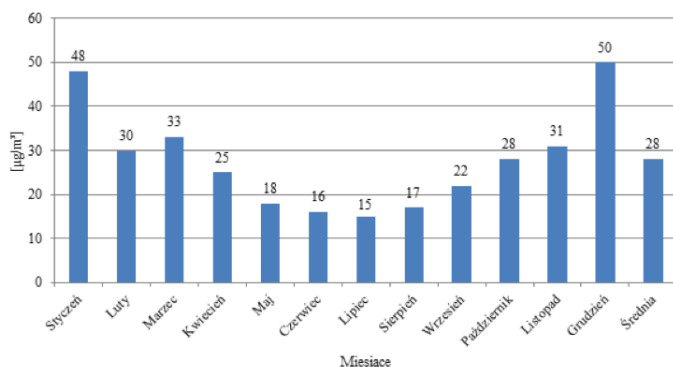


**Rysunek 3. Roczne stężenie dwutlenku siarki na terenie Bielska-Białej w poszczególnych miesiącach 2016 r.**

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (WIOŚ 2016).

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu ze względu na ochronę roślin, średnioroczne dopuszczalne stężenie dwutlenku siarki powinno wynosić do  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Jego średnioroczne stężenie na terenie miasta Bielska-Białej wynosiło  $8,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (rys. 3), a najwyższe stężenie odnotowano w styczniu ( $27,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), w grudniu ( $14,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) oraz w marcu ( $12,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). W porównaniu z 2015 r. roczne stężenie pyłu zawieszono PM10 zmalało o  $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Dwutlenek siarki to gaz rozpuszczalny w wodzie, bezbarwny, o duszącej woni. Do organizmu dostaje się poprzez układ oddechowy i skórę. Ma zastosowanie jako środek dezynfekujący i grzybobójczy, w przemyśle włókienniczym i chłodniczym oraz jako środek konserwujący. Przyczynami jego występowania w środowisku, poza przyczynami naturalnymi, są spalanie węgla, przemysł wulkanizacyjny oraz wytapienie żeliwa. Dwutlenek siarki przyczynia się do powstawania w organizmie człowieka astmy oskrzelowej i nadciśnienia tętniczego, a także podrażnia błony śluzowe oczu (Kroczyńska-Bednarek 2008).

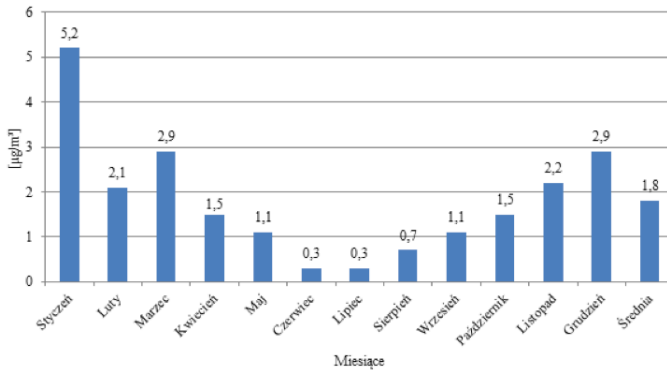


**Rysunek 4. Roczne stężenie tlenków azotu na terenie Bielska-Białej w poszczególnych miesiącach 2016 r.**

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (WIOŚ 2016).

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu ze względu na ochronę roślin, średnioroczne dopuszczalne stężenie tlenków azotu nie powinno przekraczać  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . W 2016 r. na terenie omawianego miasta stężenie to wynosiło  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (rys. 4). Najwyższe średnie miesięczne odnotowano w grudniu ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) i styczniu ( $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Tlenki azotu są resorbowane w centralnym (ośrodkowym) układzie nerwowym i w znaczny sposób przyczyniają się do obniżenia odporności organizmu. Wiążą one hemoglobinę we krwi nawet o kilka rzędów intensywniej niż tlenek węgla. Poza tym, związki te negatywnie wpływają na procesy vegetacyjne roślin, przyspieszają

korozję metali, a w górnych warstwach atmosfery rozkładają ozon stratosferyczny (Cholewiński et al. 2016).



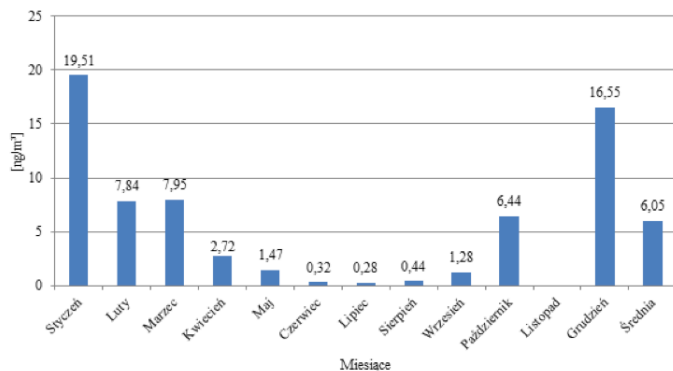
**Rysunek 5. Roczne stężenie benzenu na terenie Bielska-Białej w poszczególnych miesiącach 2016 r.**

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (WIOŚ 2016).

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu ze względu na ochronę roślin, średnioroczne dopuszczalne stężenie benzenu nie powinno przekraczać  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . W 2016 r. stężenie to wynosiło  $1,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (rys. 5) i, w porównaniu do 2015 r., nie zmieniło swojej wartości. Najwyższe miesięczne stężenia odnotowano w styczniu ( $5,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), marcu i grudniu ( $2,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Benzen aromatyczny jest łatwo absorbowany przez organizm człowieka i przedostaje się do niego poprzez układ pokarmowy, oddechowy oraz przez skórę. Powoduje on uszkodzenie szpiku kostnego, jest przyczyną powstawania anemii, białaczki, aberracji chromosomowych. Związek ten działa również toksycznie dla rozwijającego się płodu. Jego obecność w środowisku jest wynikiem wybuchów wulkanów, pożarów, wydobywania i przetwarzania ropy naftowej. Benzen znalazł zastosowanie w produkcji barwników, detergentów i tworzyw sztucznych. Jego pary opadają wraz z deszczem i śniegiem, a następnie, przenikając do gleby, zanieczyszczają ją oraz wodę wraz z bakteriami (Jędra et al. 2010).

Według rozporządzenia Ministra Środowiska z 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu ze względu na ochronę zdrowia ludzi, średnioroczne dopuszczalne stężenie benzopirenu powinno wynosić do  $1 \text{ ng}/\text{m}^3$ . W 2016 r. jego średnioroczne stężenie na terenie Bielska-Białej wynosiło  $6,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (rys. 6) i w porównaniu do 2015 r. wzrosło o  $1,05 \text{ ng}/\text{m}^3$ . Najwyższe średnie stężenie odnotowano w styczniu ( $19,50 \text{ ng}/\text{m}^3$ ) oraz w grudniu ( $16,55 \text{ ng}/\text{m}^3$ ).



**Rysunek 6. Roczne stężenie benzopirenu na terenie Bielska-Białej w poszczególnych miesiącach 2016 r.**

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (WIOŚ 2016).

Benzo(a)piren to główny przedstawiciel węglowodorów aromatycznych (WWA), które zaliczane są do tzw. trwałych związków organicznych. Do grupy tych związków (oprócz opisywanego) zaliczyć możemy: antracen, benzo(a)antracen, chryzen, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, dibenzo(ah)antracen, benzo(ghi)perylene oraz indeno(123)piren (Brzeźnicki et al. 2009). Związek ten jest składnikiem dymu tytoniowego i przyczynia się do powstawania chorób nowotworowych, uszkadza płód, działa cytotoksycznie, teratogennie, immunotoksycznie i genotoksycznie (Moździerz et al. 2013; Moździerz et al. 2011; Moździerz et al. 2010; Brzeźnicki et al. 2009; Starek et al. 2009; Moździerz et al. 2010; Radziszewska et al. 2015; Pac et al. 2008). Benzopiren powoduje spadek i pogarsza jakość produkowanych przez mężczyzn plemników i ich zdolność do zapłodnienia komórki jajowej. Żeńskie komórki rozrodcze są natomiast narażone na diploidalność chromosomów.

Związek ten magazynowany jest w nerkach, wątrobie, tkance tłuszczowej i w płucach. Poza tym powoduje upośledzenie funkcji szpiku kostnego, śledziony, grasicy i węzłów chłonnych. Przyczynia się również do spadku liczby limfocytów i granulocytów kwasochłonnych. Wielopierścieniowe związki organiczne powstają ze spalania paliw kopalnych i materiałów organicznych, są efektem palenisk domowych, motoryzacji, pożarów lasów oraz erupcji wulkanów. Wysokie stężenie benzopirenu spotykane jest głównie na terenach zurbanizowanych oraz uprzemysłowionych (Moździerz et al. 2011).

## Podsumowanie

Podstawowym celem monitoringu jakości powietrza jest dostarczanie informacji na potrzeby wykonania ocen jakości powietrza na danym obszarze. Roczne oceny

jakości powietrza dokonywane są corocznie za rok poprzedni. Ich celem jest stwierdzenie przekroczeń dopuszczalnych i docelowych poziomów substancji w powietrzu oraz poziomów celu długoterminowego.

Przeprowadzona analiza wykazała, że w 2016 r. na terenie Bielska-Białej nastąpiło pięciokrotne przekroczenie normy benzopirenu. Najwyższe stężenia odnotowano w sezonie grzewczym.

W celu poprawy stanu sanitarnego powietrza atmosferycznego na terenie Bielska-Białej i innych obszarów o wysokim stopniu urbanizacji należy przede wszystkim ograniczyć źródła niskiej emisji, czyli emisję szkodliwych pyłów i gazów pochodzących z niskich emitorów, do których zalicza się kominy z np. domów jednorodzinnych lub kamienic. Duża liczba kominów o niewielkiej wysokości powoduje, że wprowadzane do środowiska zanieczyszczenia są bardzo uciążliwe, z uwagi na ich gromadzenie się w miejscu powstawania. Efekty nadmiernej niskiej emisji są najbardziej odczuwalne w okresie zimowym, w sezonie grzewczym. Tworzenie się zastoisk zimnego powietrza, częste inwersje temperatury, większa liczba dni z przymrozkami i mrozem, cisze atmosferyczne i słabe wiatry sprzyjają rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń.

Ograniczenie niskiej emisji można osiągnąć m.in. poprzez: likwidację indywidualnego źródła ciepła i podłączenie budynku do miejskiej sieci ciepłowniczej, wymianę kotła centralnego ogrzewania i instalacji centralnego ogrzewania, docieplenie ścian budynku, wymianę okien oraz zastosowanie alternatywnych źródeł ciepła (kolektorów słonecznych, pomp ciepła). Poza tym zakłady przemysłowe powinny dążyć do zastępowania starych technologii nowymi, czyli mniej uciążliwymi dla środowiska. Dążenie do obniżenia wartości poziomów zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego jest konieczne ze względu na dobro populacji zamieszkującej dany obszar.

## Literatura:

- [1] Bakera B., Gawrońska H., 2015, *Zanieczyszczenia powietrza w pomieszczeniach*, „Kosmos” 64 (1).
- [2] Cholewiński M., Kamiński M., Pospolita W., 2016, *Zagrożenia dla zdrowia i życia człowieka wynikające ze stosowania wybranych paliw w indywidualnych instalacjach grzewczych*, „Kosmos” 65 (4).
- [3] Brzeźnicki S., Boczarowska M., Gromiec Jan P., 2009, *Najwyższe dopuszczalne stężenia wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA). Obecny stan prawny i propozycje zmian*, „Med. Pr.” 60 (3).
- [4] Kalinowska E., Muszyński K., Dalman J., Duma J., Dwernicka-Rosa A., Jałyńska A., Polek A., Stefańska-Scott U., 2013, *Aktualizacja programu ochrony środowiska w mieście Bielsku-Białej do roku 2016 z perspektywą na lata 2017-2020*, Bielsko-Biała.

- [5] Jędra M., Starski A., 2010, *Benzen w żywności i środowisku człowieka*, Roczn. Państw. Zakł. Hig. 61 (1).
- [6] Krajowy Program Ochrony Powietrza Do Roku 2020 (z perspektywą do 2030). Ochrona powietrza, 2015, Ministerstwo Środowiska. Departament Ochrony Powietrza, Warszawa.
- [7] Kroczyńska-Bednarek J., 2008, *Wpływ czynników środowiskowych na rozwój i przebieg astmy oskrzelowej*, „Terapia” 16 (10).
- [8] Moździerz A., Juszko-Piekut M., Stojko J., 2010, *Zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi a stan zdrowia populacji*, „Ann. Acad. Med. Siles.” 64 (1/2).
- [9] Moździerz A., Juszko-Piekut M., Stojko J., 2011, *Analiza poziomów stężeń B[a]P w powietrzu atmosferycznym miast Górnego Śląska w latach 1983-2005*, „Med. Śr.” 14 (2).
- [10] Moździerz M., Świetlik R., 2013, *Ocena ryzyka nowotworowego związanego z narażeniem inhalacyjnym na benzo(a)piren w wybranych miastach Polski*, „Med. Śr.” 16 (2).
- [11] Pac A., Jacek R., Sochacka-Tatara E., Spengler John D., Camman David E., Perera Frederica P., Jędrychowski W., 2008, *Zanieczyszczenie powietrza pyłem drobnym (PM2.5) oraz benzo(a)pirenem w Krakowie*, „Med. Śr.” 11 (2).
- [12] Radziszewska A., Karczmarek-Borowska B., Grądalska-Lampart M., Filip Agata A., 2015, *Epidemiologia, profilaktyka i czynniki ryzyka zachorowania na raka płuca*, „Pol. Merkuriusz Lek.” 38 (224).
- [13] Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz.U z 2012 r., poz. 1031).
- [14] Starek A., Podolak I., 2009, *Rakotwórcze działanie dymu tytoniowego*, Roczn. Państw. Zakł. Hig. 60 (4).
- [15] Ścibor M., Balcerzak B., Czernecka Ż., Malinowska-Cieślik M., 2015, *Ocena jakości życia pacjentów z astmą oskrzelową mieszkających w Krakowie w strefach różniących się stężeniem pyłu zawieszonego w powietrzu (PM10)*, „Med. Śr.” 18 (1).
- [16] Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Katowicach, 2015, *Działania samorządów na rzecz ochrony powietrza i ograniczenia emisji zanieczyszczeń*. Katowice.
- [17] [www.gios.gov.pl/pl/aktualnosci/315-jak-sie-mierzy-pyl-zawieszony-w-powietrzu](http://www.gios.gov.pl/pl/aktualnosci/315-jak-sie-mierzy-pyl-zawieszony-w-powietrzu) stan 29.12.2016.

**mgr inż. Kazimierz Kudlik**  
*Sądeckie Wodociągi Sp. z o.o.*

**mgr inż. Ewa Wysowska**  
*Sądeckie Wodociągi Sp. z o.o.*

# Przedsięwzięcia na drodze do gospodarki o obiegu zamkniętym w przedsiębiorstwie wodociągowo-kanalizacyjnym

---

## Streszczenie

W grudniu 2015 r. Komisja Europejska przedstawiła pakiet dotyczący budowania gospodarki o obiegu zamkniętym (tzw. *circular economy*), a w czerwcu 2016 r. Minister Rozwoju RP wydał Zarządzenie w sprawie powołania Zespołu do spraw Gospodarki o Obiegu Zamkniętym. Głównymi filarami gospodarki o obiegu zamkniętym są: wydajne zarządzanie materiałami, zmniejszenie ilości substancji toksycznych, efektywność energetyczna oraz bodźce ekonomiczne. Warto zatem przyrzeć się, na jakim etapie rozwoju technicznego i technologicznego znajduje się nasza gospodarka w odniesieniu do podjętych działań politycznych, zarówno w Polsce, jak i w Europie. Celem publikacji jest przedstawienie wdrożeń technologicznych zastosowanych w przedsiębiorstwie wodociągowo-kanalizacyjnym wpisujących się w działania zmierzające do gospodarki o obiegu zamkniętym na przykładzie Spółki „Sądeckie Wodociągi” w Nowym Sączu. Dotyczy to w szczególności działań energooszczędnych i zastępujących w części pobieraną energię elektryczną z krajowej sieci energetycznej energią odnawialną pozyskiwaną z wykorzystaniem procesów technologicznych zachodzących w oczyszczalni ścieków. Ponadto, prowadzi do zmniejszenia zużycia paliw do celów grzewczych ciepłem pozyskiwanym w procesie technologicznym zachodzącym w oczyszczalni ścieków i zakładzie uzdatniania wody.

## Establishment on Closed Economy in a Water and Sanitary Enterprise

### Abstract

In December 2015, the European Commission presented a circular economy package, and in June 2016, the Minister of Development of the Republic of Poland issued the Decree on the Establishment of Circular Economy Team. The key pillars of circular economy are: efficient material management, reduction of toxic substances, energy efficiency and economic incentives. Thus, it is worthwhile to look at the stage of technical and technological development of our economy in the context of political actions taken in Poland and in Europe. The aim of the text is to present technological implementations applied in the water supply and sewerage enterprises, which are part of the activities aimed at the circular economy on the example of “Sądeckie Wodociągi” in Nowy Sącz (Nowy Sącz Waterworks). This applies in particular to energy efficiency measures and replacing the electricity generated from the national power grid with the renewable energy generated by the technological processes taking

place in the waste water treatment plant. In addition, it reduces the fuel consumption for heating purposes with the heat generated by the technological process taking place in the wastewater treatment plant and water treatment plant.

---

## Wprowadzenie

Przyczyną rosnącego zainteresowania terminem „gospodarka o obiegu zamkniętym” (*circular economy*) jest nie tylko spełnienie wymagań prawnych zaproponowanych 2 grudnia 2015 r. przez Komisję Europejską (KE) w ramach komunikatu pt. „Zamknięcie obiegu – plan działania UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym”, ale raczej świadome rozumienie samej idei gospodarki o obiegu zamkniętym w otaczającej nas rzeczywistości wzrostu cen surowców, pogarszania się stanu środowiska czy planowanej awaryjności produktów oraz dużej ilości opakowań i odpadów (Bachorz 2017).

W 1972 r. Klub Rzymski opublikował raport „Granice wzrostu” w którym ostrzegano, że dalsza kumulacja wyczerpywania się zasobów i zanieczyszczenie środowiska – w ciągu kolejnych stu lat – może doprowadzić do załamania globalnej gospodarki. Powodem tego jest szybko rosnący „ślad środowiskowy” (*LCA – life cycle assessment*) jako następstwo przyspieszenia konsumpcji i wydobycia od połowy XX w. (Pienkowski, Kośmicki 2016). W obliczu wzrostu globalnej klasy średniej, istnieje wysokie prawdopodobieństwo dalszego pogorszenia się tych trendów.

Tradycyjny linearny model produkcji i konsumpcji, w którym produkowane z surowców dobra są sprzedawane, używane, a następnie wyrzucane jako odpady, doprowadził do krytycznej sytuacji, w której na odtworzenie surowców pobieranych w ciągu roku ze środowiska (*LCA – life cycle assessment*) Ziemia potrzebuje blisko półtora roku. Do polityków i przedsiębiorców coraz częściej dociera świadomość, że liniowe systemy wykorzystania zasobów narażają społeczeństwo i producentów na poważne ryzyko związane z ograniczaniem dostępu do zasobów oraz stanowią zagrożenie dla dobrobytu ludności i dobrostanu środowiska poprzez zwiększające się ilości odpadów i skażeń. Taki stan prowadzi do zwiększenia śladu środowiskowego, szczególnie mieszkańców krajów wysoko rozwiniętych, gdzie *LCA* jest o wiele większy od tego w krajach rozwijających się. Długotrwałe i dynamiczne funkcjonowanie modelu linearnego prowadzi do strat ekonomicznych i strukturalnych, powiększającego się ryzyka cenowego wynikającego z niestabilności cen surowców, ryzyka niedoboru dostaw zmniejszających się zasobów naturalnych, a nade wszystko do degradacji systemów naturalnych. U schyłku XX w. w wielu krajach pojawiają się tendencje w prawodawstwie oraz zwiększa się grono zwolenników powstania nowego modelu gospodarczego i wprowadzania kompleksowych zmian w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym. W idealnym stanie rzeczy gospodarka nie powinna ujemnie oddziaływać na żyzność gleby i bioróżnorodność, nie zmniejszać zapasów



zasobów i nie prowadzić do zatrucia ziemi, wody i powietrza (Wijkman, Skånberg 2017).

Pierwotnie, w działalności praktycznej i politycznej pojawiła się koncepcja gospodarki bezodpadowej (*zero waste*) powiązana obecnie z wieloma innymi pojęciami i koncepcjami gospodarki odpadami, takimi jak: koncepcja czystej produkcji (*cleaner economy*), gospodarki niskoemisyjnej (*low emission economy*), biogospodarki (*bio-economy*), gospodarki o obiegu zamkniętym (*circular economy*), a także z pojęciem zrównoważonego rozwoju (*sustainable development*) (Pienkowski, Kośmicki 2016).

Jako strategia gospodarki bezodpadowej, w dokumentach Komisji Europejskiej przedstawiana jest koncepcja gospodarki o obiegu zamkniętym – określana jako „zamykanie pętli” cyklu życia produktu, poprzez zwiększenie recyklingu i ponownego wykorzystania oraz dostarczenie korzyści zarówno dla środowiska, jak i gospodarki. Gospodarka o obiegu zamkniętym jest odtwarzalna i odnawialna, a jej celem jest stałe utrzymywanie najwyższej wartości i użyteczności produktów, komponentów i materiałów w oddzielnych cyklach: biologicznym i technicznym. Działania takie prowadzą do uniezależnienia rozwoju gospodarczego od konsumpcji ograniczonych zasobów naturalnych.

W wyniku działań Komisji Europejskiej 29 czerwca 2016 r. Minister Rozwoju RP wydał Zarządzenie w sprawie powołania Zespołu do spraw Gospodarki o Obiegu Zamkniętym, a 21 grudnia 2016 r. opublikowano konspekt do prac Zespołu ds. Gospodarki o Obiegu Zamkniętym pt. „Mapa drogowa transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym”. Dokument ten identyfikuje działania na rzecz zwiększenia wydajności wykorzystywania zasobów i ograniczenia powstawania odpadów oraz proponuje kompleksowe działania służące przejściu od gospodarki linearnej do gospodarki o obiegu zamkniętym.

Jednym z elementów polskiej gospodarki, który wymaga dostosowania do gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ), jest źródło zasilającej ją energii. Przyjmuje się, że powinno ono być odnawialne, ponieważ finalnym celem GOZ jest uniezależnienie rozwoju gospodarki od wykorzystywania zasobów nieodnawialnych – i to zarówno w zakresie produkcji dóbr, jak i wytwarzania energii (Bachorz 2017). W ostatnich latach widocznie zaznacza się wzrost zainteresowania społecznego racjonalnym wykorzystywaniem energii oraz dążeniem do poszukiwania nowych rozwiązań sprzyjających środowisku, do których należy zaliczyć m.in. wykorzystanie alternatywnych źródeł energii, ograniczenie energochłonności oraz zastosowanie obiegu zamkniętych w procesach technologicznych (Dudek et al. 2015).

Celem publikacji jest przedstawienie wdrożeń technologicznych zastosowanych w przedsiębiorstwie wodociągowo-kanalizacyjnym, wpisujących się w działania zmierzające do gospodarki o obiegu zamkniętym, na przykładzie Spółki „Sądeckie Wodociągi” w Nowym Sączu. Spółka z o.o. „Sądeckie Wodociągi” z siedzibą w Nowym Sączu zajmuje się ujmowaniem, uzdatnianiem i dystrybucją wody oraz

odbiozem, przesyłem i oczyszczaniem ścieków z aglomeracji Nowego Sącza. Terytorialny zasięg działalności przedsiębiorstwa obejmuje: miasta Nowy Sącz i Stary Sącz, gminy: Stary Sącz, Nawojowa, Kamionka Wielka i Korzenna oraz fragmenty obszarów gmin ościennych.

## 1. Proekologiczna gospodarka wodno-ściekowa

W ostatnim dziesięcioleciu (2007-2017) Spółka „Sądeckie Wodociągi” sukcesywnie wdraża działania proekologiczne przejawiające się przede wszystkim w:

- prowadzeniu aktywności gospodarczej z ograniczeniem do niezbędnego minimum ingerencji w naturalne środowisko przyrodnicze,
- zrównoważonym gospodarowaniu i ochronie zasobów wody przez redukcję strat w procesie ujmowania, dystrybucji i przesyłu,
- wysokiej redukcji zanieczyszczeń w ściekach, wykorzystaniu i zagospodarowaniu odpadów oraz minimalizacji odpadów resztkowych,
- ograniczeniu emisji gazów cieplarnianych poprzez zastępowanie tradycyjnych nośników energii do celów technologicznych energią odnawialną własnej produkcji,
- ograniczaniu zużycia energii, dzięki stosowaniu wysokosprawnych urządzeń i technologii energooszczędnych.

### **Optymalizacja wykorzystania zasobów naturalnych**

W państwach UE wzrasta świadomość konsekwencji i zagrożeń wynikających z niewłaściwego korzystania z ekosystemów wodnych. Procedury optymalizacji procesów technologicznych w kontekście wykorzystania wody w szczególności wymusza zasada „zanieczyszczający płaci” (Bondaruk, Kwapuliński 2007). Wymierny efekt ekonomiczny stanowi bodziec do zmian rozwiązań technologii, w celu ochrony środowiska.

Jednym z najważniejszych celów środowiskowych analizowanego przedsiębiorstwa jest minimalizacja strat i optymalizacja zużycia wody poprzez:

- zminimalizowanie zużycia wody do celów technologicznych, dzięki zastosowaniu samopłuczających filtrów pospiesznych DynaSand z odzyskiem znacznej ilości wód popłucznych w trzech eksploatowanych stacjach uzdatniania wody,
- stały monitoring i centralne sterowanie urządzeniami systemu wodociągowego,
- dynamiczną kontrolę ciśnienia w wydzielonych strefach zasilania sieci wodociągowej,
- zastosowanie automatycznych hydraulicznych regulatorów ciśnienia przesyłanej wody pitnej,
- zastosowanie wysokosprawnego sprzętu diagnostycznego do lokalizacji awarii sieci przesyłowej i sprawne wykonywanie prac naprawczych,
- bieżącą wymianę awaryjnych odcinków sieci i renowacje magistrali przesyłowych,
- optymalizację ciśnienia w magistralach dosyłowych.

### **Optymalizacja wykorzystania energii elektrycznej**

Równie ważnym działaniem ekologicznym jest ograniczenie zużycia energii elektrycznej. Działania w tym zakresie realizowane są poprzez wprowadzanie wysokosprawnych i energooszczędnych urządzeń w eksploatowanych stacjach uzdatniania wody i oczyszczalniach ścieków oraz obiektach infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej. Utrzymanie wymaganego ciśnienia w sieci wodociągowej oraz odbiór ścieków w zróżnicowanym wysokościowo i rozległym terenie wymagają stosowania licznych urządzeń zasilanych energią elektryczną (hydroforni, pompowni, tłoczni). Znacznej ilości energii elektrycznej wymagają urządzenia w stacjach uzdatniania wody i oczyszczalniach ścieków. W celu zoptymalizowania zużycia energii elektrycznej przez system wodociągowy i kanalizacyjny przedsiębiorstwo zastosowało energooszczędne urządzenia zaopatrzone w automatyczne regulatory prędkości oraz wielostopniowe zestawy pompowe i automatyczne regulatory ciśnienia.

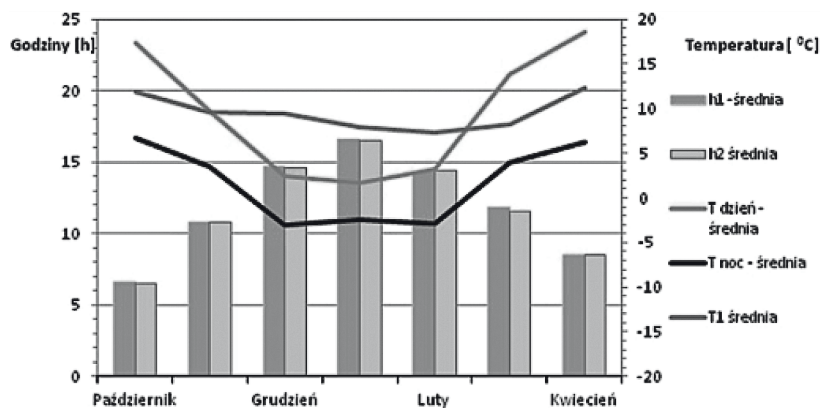
## **2. Ciepło pozyskane z układu technologicznego**

Zakład Uzdatniania Wody (ZUW) w Starym Sączu położony jest w prawobrzeżnej części doliny rzeki Dunajec. Obiekt wykorzystuje wody powierzchniowe ujmowane z rzeki oraz wody podziemne czwartorzędowego poziomu wodonośnego. Wysokosprawny nowoczesny układ technologiczny uzdatniania wody obejmuje: koagulację, filtrację w pospiesznych otwartych samopłuczających filtrach piaskowych, ozonowanie, filtrację na filtrach ze złożem węgla aktywnego oraz dezynfekcję lampami UV i chlorem gazowym. Zastosowane rozwiązania technologiczne pozwalają na pełną automatyzację procesu uzdatniania i badania jakości wody.

W ciągu technologicznym zastosowano szereg rozwiązań mających na celu ograniczenie zużycia energii, wody oraz emisji do środowiska. Zaslужującym na szczególną uwagę i wpisującym się w zintegrowane rozwiązania energooszczędne rozwiązaniem są pompy ciepła (Kanaga 2009). Na terenie Zakładu Uzdatniania Wody w Starym Sączu od sezonu grzewczego 2014/2015 zastosowano pompę ciepła o mocy nominalnej 109,3kW. W tym przypadku pompa ciepła odbiera ciepło z tzw. dolnego źródła ciepła, którym jest przepływająca w układzie technologicznym uzdatniania woda i, poprzez zmiany parametrów termodynamicznych czynnika obiegowego, przekazuje pozyskane ciepło do wewnętrznej instalacji grzewczej (Janowski 2017). Instalacja z pompą ciepła pracuje jako układ biwalentny, który współdziała z istniejącym kotłem olejowym. W czasie okresów cechujących się niskimi temperaturami dolnego źródła ciepła (zmienna temperatura ujmowanej i uzdatnianej wody) zastosowany układ technologiczny posiada możliwość regulacji pracy pomp obiegowych. Zwiększenie wydajności pomp jest możliwe dzięki zmianie częstotliwości prędkości obrotowej silników pomp, poprzez zastosowanie sterownika pompy. Sterownik ste-

ruje także pracą pieca olejowego, który wykorzystywany jest tylko w okresie znacznych spadków temperatury powietrza zewnętrznego.

Praca pompy ciepła jest w pełni zautomatyzowana. Czas pracy urządzeń wykazuje zróżnicowanie miesięczne oraz dobowe w czasie sezonu grzewczego. Zmienność ta wynika ze zróżnicowania temperaturowego wody w układzie technologicznym oraz zapotrzebowania ciepła ogrzewanych obiektów (rys. 1).



Objaśnienia: h1 – średnia dobowa wartość godzin pracy sprężarki nr 1, h2 – średnia dobowa praca sprężarki nr 2, T dzień – średnia dzienna temperatura, T noc – średnia nocna temperatura, T1 – średnia temperatura dolnego źródła.

**Rysunek 1. Analiza sezonowa pracy pompy ciepła w czasie sezonu grzewczego 2014/2015**

Źródło: (Trzajna 2014).

Analizę ekonomiczną opłacalności zastosowanego rozwiązania wykonano w oparciu o podstawowe założenia tzw. dyskontowego okresu zwrotu nakładów. W tym celu porównano koszty poniesione w czasie wykonania inwestycji do kosztów energii cieplnej uzyskiwanej dzięki zastosowanej pompie ciepła. Do analiz wzięto pod uwagę dwa pełne sezony grzewcze pracy pompy ciepła, tj. 2014/2015 oraz 2016/2017 (zob. tab. 1).

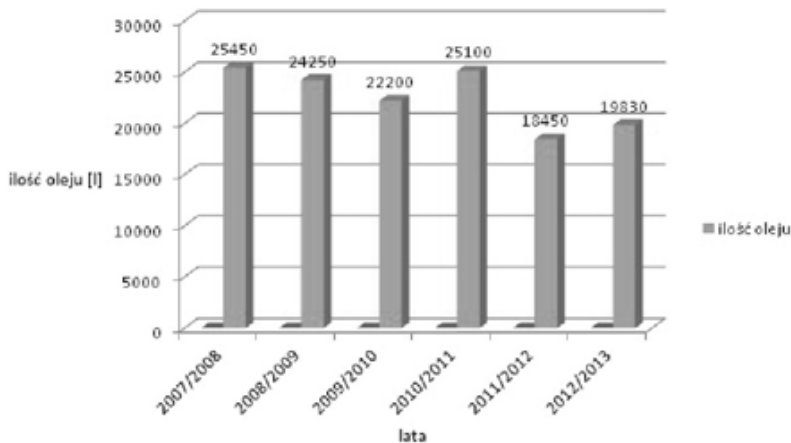
**Tabela 1. Koszty ogrzewania ZUW w Starym Sączu po zastosowaniu pompy ciepła**

| Koszty ogrzewania oraz uzyskania c.w.u. ZUW w Starym Sączu |                          |                          |                       |          |               |                    |                       |
|--|--------------------------|--------------------------|-----------------------|----------|---------------|--------------------|-----------------------|
| Sezon grzewczy   | Praca sprężarki nr 1 [h] | Praca sprężarki nr 2 [h] | Suma godzin pracy [h] | Moc [kW] | Energia [kWh] | Koszt energii [zł] | Koszt ogrzewania [zł] |
| 2014/2015  | 1260                     | 1260                     | 2520                  | 25       | 63000         | 0,3                | 18900                 |
| 2016/2017  | 1990                     | 2046                     | 4036                  | 25       | 100900        | 0,3                | 30270                 |

Źródło: Materiały własne ZUW Stary Sącz.

Przedstawione powyżej analizy kosztowe eksploatacji urządzenia wykazały, że średni koszt ogrzewania obiektów ZUW wynosi ok. 22 tys. zł. za sezon grzewczy. W związku z tym, że średni koszt ogrzewania w latach ubiegłych, z użyciem oleju opałowego, wynosił ok. 80 tys. zł, a koszt inwestycyjny pompy ciepła to ok. 300 tys. zł, uzyskane oszczędności wynoszą ok. 58 tys. zł, co daje zwrot nakładów inwestycyjnych po ok. 6 latach eksploatacji, a więc stosunkowo w krótkim czasie od zainwestowania.

Uzyskane wielkości kosztowe porównano z bilansem ekonomicznym ogrzewania ZUW przed zastosowaniem pompy ciepła. W tym celu oceniono wielkości zużytego oleju opałowego w poprzednich sezonach grzewczych. Wyniki zamieszczono na rysunku 2.



**Rysunek 2. Zużycie oleju opałowego w ZUW Stary Sącz w latach 2007–2013**

Źródło: (Trzajna 2014).

Wyniki potwierdziły ekonomiczne uzasadnienie zastosowanego rozwiązania. Korzyści osiągnięte z zastosowania instalacji pompy ciepła w ZUW w Starym Sączu, dały Spółce podstawy do wdrożenia tożsamej technologii uzyskiwania ciepła w kolejnym ZUW w Świniarsku, gdzie trwają prace przygotowawcze do zastosowania wskazanego rozwiązania.

### 3. Ciepło i energia elektryczna z układu technologicznego

Oczyszczalnia ścieków komunalnych w Nowym Sączu została oddana do eksploatacji w 1996 r. Oczyszczone ścieki odprowadzane są do rzeki Dunajec w ilości maksymalnej 42 200 m<sup>3</sup>/d. Oczyszczalnię zlecono do wykonania w systemie „zapro-

jektuj i wybuduj” w wyniku przetargu nieograniczonego szwedzkiej firmie PURAC i obejmowała:

- w części ściekowej: pompownię I<sup>o</sup>, kraty mechaniczne, piaskowniki, osadniki wstępne, pompownia II<sup>o</sup>, reaktory biologiczne, osadniki wtórne,
- w części osadowej: zbiornik hydrolizy, zagęszczacz grawitacyjny osadu wstępnego, zagęszczacz mechaniczny osadu nadmiernego, komora WKF, wirówki,
- w części zagospodarowania biogazu: zbiornik biogazu, kocioł grzewczy zasilany biogazem, pochodnia do spalania nadmiaru biogazu.

W projekcie podstawowym założono potrzebę rozbudowy oczyszczalni w przyszłości i przewidziano rezerwę terenu pod budowę trzeciego ciągu do oczyszczania ścieków.

W 2005 r. rozbudowano oczyszczalnię o następujące elementy: w linii obróbki osadów ściekowych wybudowano drugą komorę fermentacji o pojemności 3125 m<sup>3</sup> z wymiennikiem ciepła; w instalacji zagospodarowania biogazu wybudowano: nowy zbiornik biogazu o pojemności 1040 m<sup>3</sup>, odsiarczalnię biogazu, drugą kotłownię wyposażoną w kocioł o mocy 285 kW oraz kogenerator biogazowy o mocy elektrycznej 345 kW i mocy cieplnej 541 kW. Modernizacja pozwoliła na pełną stabilizację osadu wstępnego i nadmiernego. W chwili obecnej całkowita ilość osadów powstających na oczyszczalni ścieków w Nowym Sączu jest poddawana fermentacji. W wyniku fermentacji osadów powstaje biogaz, który wykorzystywany jest do produkcji energii elektrycznej i cieplnej.

**Tabela 2. Stopień redukcji zanieczyszczeń w oczyszczalni ścieków w Nowym Sączu**

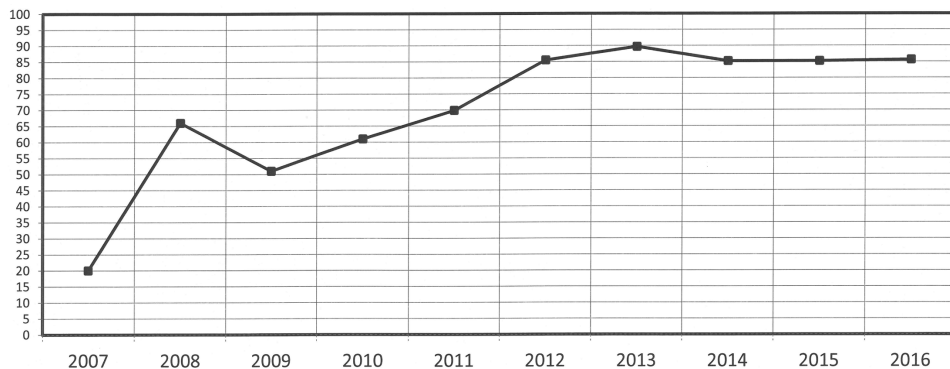
| Badany parametr  | Średnia redukcja zanieczyszczeń w roku |         |         |
|------------------|--|---------|---------|
|                  | 2013 r.                                | 2014 r. | 2015 r. |
| BZT5             | 98,9%                                  | 98,9%   | 98,9%   |
| ChZT             | 96,3%                                  | 94,8%   | 96,4%   |
| Zawiesiny ogólne | 98,1%                                  | 97,8%   | 98,3%   |
| Azot ogólny      | 85,8%                                  | 85,3%   | 88,0%   |
| Azot amonowy     | 98,9%                                  | 99,1%   | 98,7%   |
| Fosfor ogólny    | 95,3%                                  | 95,3%   | 95,1%   |
| Ekstrakt eterowy | 91,4%                                  | 91,7%   | 91,0%   |

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych archiwalnych z oczyszczalni ścieków w Nowym Sączu.

W procesie technologicznym oczyszczania ścieków komunalnych w oczyszczalni ścieków w Nowym Sączu następuje wysoka redukcja zanieczyszczeń (zob. tab. 2).

Wytrączony ze ścieków osad poddawany jest przeróbce poprzez fermentację i odwodnienie, a następnie zostaje unieszkodliwiony w kompostowni. W procesie przeróbki osadu powstaje biogaz wykorzystywany w procesie spalania i kogeneracji, stanowiąc źródło ciepła i energii elektrycznej. Wyprodukowana energia elektryczna

zaspokajają potrzeby oczyszczalni w ok. 85% całkowitego zapotrzebowania wszystkich urządzeń technologicznych (rys. 3), a wyprodukowane ciepło zaspokaja całkowicie wszystkie potrzeby oczyszczalni ścieków (technologiczne i ogrzewania obiektów).



**Rysunek 3. Procentowy udział energii z kogeneracji w całkowitym zapotrzebowaniu na energię elektryczną oczyszczalni ścieków w Nowym Sączu w latach 2007-2016**

Źródło: Opracowanie własne na podstawie archiwalnych danych z oczyszczalni.

## Podsumowanie

Wielokierunkowe proekologiczne działania Spółki „Sądeckie Wodociągi” zostały dostrzeżone i docenione na płaszczyźnie ogólnopolskiej. Za wielokierunkową działalność proekologiczną przedsiębiorstwo zostało uhonorowane tytułem JAKOŚĆ ROKU@2016 w kategorii: ekologia oraz wyróżnieniem MODERNIZACJA ROKU 2016.

Proekologiczne działania Spółki skutkują:

- wydajnym zarządzaniem materiałami,
- poprawą efektywności energetycznej,
- zagospodarowaniem odpadów, poprzez zastosowanie ich jako surowiec do produkcji energii cieplnej, energii elektrycznej i do produkcji kompostu,
- ograniczeniem ilości odpadów reszkowych,
- zmniejszeniem emisji dwutlenku węgla do atmosfery.

Przywołane powyżej przykłady racjonalnego zarządzania materiałami i wysokiej efektywności energetycznej w działalności Spółki „Sądeckie Wodociągi” w istotny sposób przyczyniają się do zmniejszenia presji na środowisko oraz zapewnienia bezpieczeństwa surowcowego i energetycznego, co ma kluczowe znaczenie w gospodarce o obiegu zamkniętym.

## Wnioski

Opracowanie przedstawia szereg wdrożeń technologicznych zastosowanych w przedsiębiorstwie wodociągowo-kanalizacyjnym – jako przykład dobrych praktyk, których wprowadzenie przez inne firmy tej branży doprowadzi polską gospodarkę bliżej ekonomicznego modelu GOZ. Autorzy tekstu będą nadal obserwować działania dotyczące optymalizacji procesów technologicznych systemu wodociągowo-kanalizacyjnego Spółki „Sądeckie Wodociągi”, analizować wyniki badań i wskazywać możliwe kierunki rozwoju oraz publikować swoje spostrzeżenia w kolejnych opracowaniach dotyczących GOZ w Polsce.

Spółka „Sądeckie Wodociągi” wdrożyła szereg nowoczesnych i energooszczędnych rozwiązań technologicznych, wpisujących się w politykę gospodarki o obiegu zamkniętym:

- ograniczyła zużycie konwencjonalnych paliw, redukując jednocześnie emisje gazów cieplarnianych, poprzez renowację sieci wod.-kan. i wprowadzanie do stosowania wysokosprawnych systemów zarządzania i sterowania hydraulicznego sieci wodociągowej,

- ograniczyła zużycie energii elektrycznej z krajowej sieci dystrybucyjnej, poprzez wprowadzanie wysokosprawnych urządzeń energooszczędnych oraz produkując własną ekologiczną energię elektryczną z ubocznego produktu technologicznego ciągu przeróbki osadów z oczyszczonych ścieków oczyszczalni, jakim jest biogaz,

- ograniczyła emisje gazów cieplarnianych poprzez zastosowanie alternatywnych źródeł energii cieplnej pozyskiwanej w procesie produkcji do celów powstania i ogrzewania obiektów własnych ujęcia wody i oczyszczalni ścieków,

- stosując nowoczesne technologie odwadniania, przeróbki i wykorzystania osadów, ograniczona została ilość odpadów składowanych na składowisku odpadów komunalnych.

## Literatura:

- [1] Bachorz M., 2017, *Polska droga do gospodarki o obiegu zamkniętym*, Europejskie Biuro Ochrony Środowiska <http://www.igoz.org> (dostęp: 29.08.2017).
- [2] Bondaruk J., Kwapiuliński J., 2007, *Zasady rozwoju zrównoważonego w działalności zakładów przemysłowych w zakresie obiektów wodno-ściekowych*, „Problemy Ekologii” vol. 11, nr 5.
- [3] Dudek P., Jonkisz J., Kochowski E., Majdak P., Oboza K., 2015, *Urządzenia kogeneracyjne zasilane biogazem i pompy ciepła. Doświadczenia użytkownika w utrzymaniu sprawności technicznej i eksploatacyjnej instalacji*, „Napędy i Sterowanie” 1.



- [4] Janowski M., 2017, *Wytwarzanie ciepła w układach konwencjonalnych oraz w różnego typu pompach ciepła, jako antropogeniczne obciążenie środowiska*, „Gaz, Woda i Technika Sanitarna” 4.
- [5] Karmowski Z., Rynkowski P., 2010, *Analiza techniczno-ekonomiczna wykorzystania pomp ciepła na przykładzie wybranego obiektu*, „Budownictwo i Inżynieria Środowiska” 1.
- [6] Knaga J., 2009, *Efektywność sprężarkowej pompy ciepła powietrze-woda po modernizacji układu kierowniczego dolnego źródła ciepła*, „Inżyniera Rolnicza” 6 (115).
- [7] Trzajna W., 2014, *Modyfikacja systemu ogrzewania budynków z wykorzystaniem skojarzonego systemu – pompy ciepła i układu fotowoltaiki*, praca dyplomowa, PWSZ, Nowy Sącz,
- [8] Pieńkowski D., Kośmicki E., 2016, *Funkcja produkcji gospodarki zamkniętego obiegu*, „Ekonomia i Środowisko” 2.
- [9] Wijkman A., Skånberg K., 2017, *Korzyści społeczne z gospodarki o obiegu zamkniętym*, Klub Rzymski, <http://www.igoz.org> (dostęp: 29.08.2017).

Przedstawione w monografii rozwiązania są odpowiedzią na współczesne wyzwania technologiczne w kontekście dynamicznego rozwoju miast inteligentnych (SMART Cities) w zakresie zrównoważonego zarządzania infrastrukturą komunalną w metropoliach, w tym gospodarowania zasobami, w aspekcie zwiększania efektywności wykorzystania zasobów, przy jednoczesnym ograniczeniu wpływu na wszystkie komponenty środowiska. Podjęta tematyka z całą pewnością mieści się w nurcie współczesnych badań związanych z zastosowaniem zaawansowanych technologii, w tym metod komputerowego modelowania w priorytetowych obszarach technologicznych, wyznaczając nowe kierunki rozwoju w zarządzaniu infrastrukturą komunalną w metropoliach. Z uwagi na zdecydowanie interdyscyplinarny charakter prezentowanych wyników prac, mieszczących się w takich kluczowych obszarach, jak gospodarka odpadami, gospodarka energetyczna, niskoemisyjna, należy uznać, że proponowane rozwiązania będą miały znaczący wpływ na dynamiczny rozwój wielu dyscyplin naukowych, m.in. inżynierii środowiska i energetyki.

*dr hab. inż. Krzysztof Gaska, Politechnika Śląska*

Wiek XX oraz początek obecnego stulecia to okres bardzo istotnego przyspieszenia światowej gospodarki zarówno w sferze konsumpcji, jak i eksploatacji zasobów naturalnych. Dynamika zmian w modelu konsumpcji współczesnych społeczeństw budzi wiele obaw, przede wszystkim z powodu zanieczyszczenia środowiska, braku świadomości i zachowań proekologicznych oraz zasad etycznej konsumpcji. Nie jest więc zaskoczeniem zwiększone zainteresowanie polityków, decydentów, środowisk naukowych skalą wdrożeń modelu gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ). Szczególnie cenne są doświadczenia podmiotów gospodarczych w zakresie ograniczenia zanieczyszczenia powietrza, wdrożone testowo rozwiązania zwiększające efektywność gospodarowania surowcami, zasobami wodnymi, energią i odpadami w aglomeracjach miejskich. Niniejsza monografia jest platformą wymiany doświadczeń oraz poszukiwania nowych rozwiązań makro- i mikroekonomicznych w celu przyspieszenia przejścia polskiej gospodarki w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym. Przedstawione opracowania są dowodem, że proces przejścia gospodarki w kierunku GOZ wymaga współpracy ekspertów reprezentujących różne dyscypliny naukowe.

*dr hab. Joanna Żyra, Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki*

ISBN 978-83-89410-38-2



Dofinansowano ze środków  
Narodowego Funduszu  
Ochrony Środowiska  
i Gospodarki Wodnej