

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

NAUKI O ZARZĄDZANIU I JAKOŚCI

DZIEDZINA NAUK SPOŁECZNYCH

Rozprawa doktorska

mgr inż. Sandra Serafin

Model zarządzania logistyką odpadów komunalnych na przykładzie
spalarni odpadów w Polsce.

Promotor

prof. nzw. dr hab. inż. Waldemar Izdebski

WARSZAWA 2024

Streszczenie

Tematem niniejszej pracy jest przedstawienie modelu zarządzania logistyką odpadów komunalnych w Polsce. Niniejsza praca posiada charakter teoretyczno-empiryczny.

Celem głównym podejmowanej analizy było przygotowanie autorskiego modelu zarządzania logistyką odpadów komunalnych w Polsce, który zostanie oparty na spalarni odpadów komunalnych.

Poza tym, przyjęte zostały dla potrzeb przedkładanej pracy następujące cele o charakterze szczegółowym:

- Przedstawienie miejsca spalarni odpadów komunalnych w całym systemie zarządzania logistyką odpadów komunalnych w Polsce.
- Analiza „dobrych praktyk” w zakresie wykorzystywania spalarni odpadów komunalnych w gospodarce odpadami komunalnymi w wybranych krajach europejskich.
- Zdiagnozowanie systemu logistycznego wybranej spalarni odpadów komunalnych w Polsce oraz usprawnienie jej w oparciu o rozwiązania technologiczne i organizacyjne zaczerpnięte ze spalarni odpadów komunalnych w krajach, gdzie doświadczenia z ich wykorzystywaniem są zdecydowanie większe niż w Polsce.

W nawiązaniu do przedstawionych celów badawczych przygotowana została również hipoteza badawcza. Hipoteza ta skupiała się na pytaniu czy skrócenie łańcucha logistycznego gospodarowania odpadami komunalnymi doprowadza do usprawnienia modelu zarządzania logistyką tego rodzaju odpadów? Dla podejmowanej pracy uznano za właściwą odpowiedź twierdzącą. Realizacja tej hipotezy badawczej pozwala na ustalenie zależności, które występują pomiędzy długością łańcuchów logistycznych a sprawnością działania całego systemu (procesu zarządzania). Warto zauważyć, że dotyczy to nie jedynie logistyki odpadów komunalnych, ale i również całego szeregu innych branż przewozowych. Dla potrzeb podejmowanych analiz postawione zostały również pytania dotyczące tego, czy skrócenie łańcucha dostaw wpływa na jego efektywność? Należy zauważyć, że na gruncie polskich przepisów prawa, o szczegółowej koncepcji zarządzania gospodarką komunalną na danym terenie odpowiada właściwa jednostka samorządu terytorialnego. To samorządowcy w najwyższym stopniu wpływają na to, w jaki sposób gospodarka ta będzie zorganizowana, w tym jak długie będą łańcuchy logistyczne. Przepisy prawne oraz decyzje podejmowane przez samorządowców posiadają bardzo duże znaczenie dla zarządzania łańcuchami dostaw odpadów komunalnych.

Wskazane wyżej cele badawcze zostały w pełni zrealizowane. Oparte to zostało na kilku metodach badawczych. Pierwszą z nich był krytyczny przegląd literatury przedmiotu. W tym zakresie wykorzystane były zarówno publikacje i źródła polskojęzyczne, jak również obcojęzyczne. Zastosowane tutaj zostały również rozmaite akty prawne, tak na poziomie krajowym, jak również europejskim. Wskazane wyżej cele badawcze zrealizowane zostały również w oparciu o metodę studium przypadku. Analizą tą objęta zostanie spalarnia odpadów komunalnych XYZ. Trzecią metodą badawczą, która pozwoli na zrealizowanie wyżej określonych metod badawczych jest z kolei model o charakterze usprawniający, który będzie odnosił się do spalarni odpadów komunalnych XYZ. W tym kontekście wcześniej przeanalizowana spalarnia odpadów XYZ pod kątem występujących w niej problemów w systemie logistyki odpadów komunalnych, poddana będzie usprawnieniu poprzez zaproponowanie czy też przedstawienie sposobu wdrożenia nowych rozwiązań technicznych oraz organizacyjnych.

W oparciu o przeprowadzoną analizę należy wskazać, że szeroko rozumiana logistyka we współczesnych zakładach, które zajmują się przetwarzaniem odpadów komunalnych jest bardzo istotnym obszarem, w ramach którego mogą podejmowane być działania, będą zmierzały do usprawnienia całościowej gospodarki komunalnych. Obecnie jest to determinowane nie tylko względami praktycznymi, ale i też przepisami prawa (przede wszystkim polityką klimatyczną Unii Europejskiej). W ramach niniejszej pracy wykazano również, że łańcuchy logistyczne wykorzystywane w procesie gospodarowania odpadami komunalnymi charakteryzują się istotnym poziomem skomplikowania. Na łańcuchy powyższe wpływają rozmaite uwarunkowania. Czynniki te mogą ograniczać bądź poprawiać parametry techniczne całego łańcucha. Kwestia ta w niniejszej pracy została przeanalizowana na przykładzie spalarni odpadów komunalnych XYZ. W ramach tej organizacji zaproponowane zostało podjęcie odpowiednich działań naprawczych, jakie miały doprowadzić do zwiększenia efektywności oraz sprawność przemieszczania odpadów komunalnych.

Duże znaczenie do wprowadzonych zmian usprawniających miał stały postęp technologiczny. Przykładowo na krajowym rynku spalarni odpadów komunalnych wdrażane są coraz to nowoczesne rozwiązania techniczne, które zapewniać mają wzrost efektywności działania opisywanych instalacji. Rozwiązania te bezpośrednio są wdrażane do nowo uruchamianych spalarni odpadów. Problemem jest modernizacja już istniejących instalacji. z takim właśnie przypadkiem miało się do czynienia w ramach przedkładanej pracy. Należy zaznaczyć w tym kontekście, że podjęcie się pełnej takiej modernizacji linii technologicznej

nie zawsze jest możliwe. Często należy poszukiwać jeszcze innych rozwiązań o charakterze usprawniającym.

Dużą rolę odgrywa również - jak to miało miejsce w analizowanej spalarni odpadów komunalnych XYZ - odpowiednie zorganizowanie pracy czy też przepływów ładunków w ramach danej instalacji. Tutaj pojawia się ogromne znaczenie logistyki gospodarowania odpadami komunalnymi. W ramach podejmowanej pracy wykazano, że dostęp nawet do najlepszych rozwiązań technicznych nie będzie spełniał zakładanych przed nim celów, jeżeli ich zastosowanie nie będzie we właściwy sposób zorganizowane. Odpowiednia organizacja spalarni odpadów komunalnych, a także zmiany usprawniające w tym zakresie (które zostały opisane w ramach części badawczej) w istotny sposób przekłada się na efektywność dokonywanych procesów. Będzie do tego dochodziło nawet wówczas, kiedy zastosowana technologia w spalarni odpadów komunalnych będzie należała do tych starszych generacyjnie. Bardzo dobrze widoczne jest to na płaszczyźnie zarządzania logistyką odpadów komunalnych. Kwestie powyższe zostały poruszone właśnie w przedkładanej pracy.

Summary

The topic of this thesis is to present a model for municipal waste logistics management in Poland. The present work has a theoretical and empirical character. The main objective of the analysis undertaken was to prepare an author's model of municipal waste logistics management in Poland, which will be based on a municipal waste incineration plant.

In addition to this, the following specific objectives have been adopted for the submitted work:

- Presentation of the place of municipal waste incineration plants in the overall municipal waste logistics management system in Poland.
- A review of 'good practice' in the use of municipal waste incinerators for municipal waste management in selected European countries.
- To diagnose the logistical system of a selected municipal waste incineration plant in Poland and to improve it based on technological and organisational solutions taken from municipal waste incineration plants in countries where experience with their use is far greater than in Poland.

The research objectives indicated above were fully met. This was based on several research methods. The first of these was a critical review of the literature on the subject. Both Polish and foreign language publications and sources were used in this respect. Various legal acts, both at national and European level, were also used. The above-mentioned research objectives were also realised using the case study method. This analysis will cover the XYZ municipal waste incineration plant. The third research method to realise the above-mentioned research methods is in turn an improvement project, which will refer to the XYZ municipal waste incineration plant. In this context, the XYZ municipal waste incineration plant, analysed earlier in terms of its problems in the municipal waste logistics system, will be improved by proposing or demonstrating how to implement new technical and organisational solutions.

On the basis of the analysis carried out, it should be pointed out that logistics, in the broad sense of the term, in modern municipal waste treatment plants is a very important area in which measures can be taken to improve the overall management of municipal waste. At present, this is determined not only by practical considerations, but also by legal regulations (primarily the European Union's climate policy). This thesis also shows that the logistics chains used in the municipal waste management process are characterised by a significant level of complexity. These chains are influenced by a variety of factors. These factors may limit or

improve the technical performance of the whole chain. This issue is analysed in this thesis using the example of the municipal waste incineration plant XYZ. It proposed appropriate corrective measures to improve the effectiveness and efficiency of municipal waste shipments.

Continuous technological progress has played a significant role in the improvements introduced. For example, in the domestic market for municipal waste incineration plants, more and more modern technical solutions are being implemented to ensure an increase in the efficiency of the plants described. These solutions are directly implemented in newly commissioned waste incineration plants. The problem is the modernisation of existing plants. This is precisely the case in the work presented here. It should be noted in this context that it is not always possible to undertake a full such modernisation of a process line. Often, other solutions of an improvement nature must be sought.

A major role is also played - as was the case at the municipal waste incineration plant XYZ analysed - by the proper organisation of the work or load flows within the plant. This is where the great importance of municipal waste management logistics comes into play. The work undertaken demonstrates that access to even the best technical solutions will not meet the objectives set before it if their use is not properly organised. The proper organisation of municipal waste incineration plants, as well as improvements in this area (which were described in the research part of the study), have a significant impact on the efficiency of the processes carried out. This will occur even if the technology used in a municipal waste incineration plant is one of the generationally older ones. This is very evident at the level of municipal waste logistics management. These issues are addressed in the submitted work.

Spis treści

Wstęp	10
Rozdział I. Systematyczny przegląd literatury	14
1. Systematyczny przegląd literatury	14
Rozdział II. Analiza systemów logistyki zwrotnej oraz problemów gospodarowania odpadami w trzech wybranych krajach ze szczególnym uwzględnieniem spalarni odpadów	33
2.1. Ocena systemu logistyki zwrotnej odpadów w Niemczech	33
2.1.1. Gospodarowanie odpadami w Niemczech	33
2.1.2. Problematyka spalarni odpadów w Niemczech	48
2.2. Ocena systemu logistyki zwrotnej odpadów w Hiszpanii	50
2.2.1. Gospodarowanie odpadami w Hiszpanii	50
2.2.2. Problematyka spalarni odpadów w Hiszpanii	60
2.3. Ocena systemu logistyki zwrotnej odpadów w Czechach	61
2.3.1. Gospodarowanie odpadami w Czechach	61
2.3.2. Problematyka spalarni odpadów w Czechach	62
2.4. Transfer technologii spalarni odpadów jako podstawowa metoda wdrożenia w Polsce sprawdzonych rozwiązań w zakresie zagospodarowania odpadów	65
Rozdział III. Aktualny system logistyki zwrotnej w Polsce	74
3.1. Definicja oraz klasyfikacja odpadów	74
3.2. Zarządzanie odpadami – struktura procesu i regulacje prawne	77
3.3. Metody unieszkodliwiania odpadów	83
3.4. Techniczne aspekty zarządzania odpadami komunalnymi w Polsce.	87
3.5. Zarządzanie systemem gospodarki odpadami komunalnymi jako obowiązek gminy. ...	106
3.6. Podstawowe zasady i nowe podejścia w gospodarce odpadami komunalnymi	108
3.7. Recykling – dobre praktyki	112
3.8. System logistyki zwrotnej w Polsce pod kątem stosowanych metod oraz ich efektywności	116

3.9. Sposoby zagospodarowania odpadów w Polsce, Europie i na świecie – analiza wybranych wskaźników	118
3.10. Identyfikacja miejsc problemowych	148
Rozdział IV. Spalarnie odpadów komunalnych jako opcjonalne rozwiązanie z gospodarcze odpadami w Polsce	156
4.1. Istota, podstawy prawne oraz procedury spalania odpadów w gospodarce komunalnej w Polsce i regulacje prawne	156
4.2. Rodzaje spalarni odpadów komunalnych.....	167
4.3. Przegląd spalarni odpadów komunalnych w Polsce.....	178
4.4. Analiza wybranego procesu technologicznego spalania odpadów komunalnych.....	187
Rozdział V. Założenia metodologiczne badania własnego.....	194
5.1 Problem badawczy	194
5.2 Cel pracy	196
5.3 Pytania badawcze	198
5.4 Hipotezy badań.....	199
5.5. Metodyka badawcza	201
Rozdział VI. Analiza czynników mających wpływ na funkcjonowania logistyki odpadów z wykorzystaniem spalarni śmieci, ich efektywności oraz propozycja możliwości usprawnień (optymalizacji)	212
6.1. Analiza możliwości usprawnienia działalności logistycznej prowadzonej przez badaną spalarnię odpadów INTEC	212
6.2. Podsumowanie analizy	225
6.3. Uwarunkowania do model zarządzania odpadami komunalnymi w spalarni odpadów	226
6.4. Założenia modelu zarządzania logistycznego odpadami komunalnymi na przykładzie spalarni odpadów XYZ	241
6.5. Opis modelu zarządzania logistycznego odpadami komunalnymi na przykładzie spalarni odpadów XYZ	250
6.6. Cele modelu i narzędzia ich realizacji.....	260

Rozdział VII. Model usprawnienia zarządzania logistycznego odpadami komunalnymi na przykładzie spalarni odpadów INTEC.....	264
7.1. Zespół projektowo-wdrożeniowy	264
7.2. Harmonogram i budżet zmian usprawniających	266
7.3. Ocena realizacji wdrożenia modelu	274
7.4. Możliwości usprawnienia modelu zarządzania logistyką odpadów komunalnych w Polsce z uwzględnieniem wybranej spalarni odpadów.....	275
7.5. Sztuczna inteligencja w systemach zarządzania spalarnią odpadów	281
Podsumowanie, wnioski, synteza badań.....	291
Bibliografia	296
Spis tabel	306
Spis rysunków	308
Spis wykresów.....	310

Wstęp

Aktualność literatury

Tematyka podejmowana w pracy dotyczy zarządzania logistyką odpadów komunalnych w Polsce. Jest to w praktyce jedno z poważniejszych wyzwań, które zostało postawione przez jednostkami samorządu terytorialnego, które to zgodnie z obowiązującymi przepisami prawa organizują gospodarkę komunalną, w tym odpadami, na podległym terenie. Wyzwanie to można opisywać na kilku poziomach. Przede wszystkim, logistyka odpadów komunalnych rodzi poważne koszty, które w praktyce są często dzielone między władze samorządowe a mieszkańców wytwarzających odpady. Od właściwego zarządzania tą logistyką może w istotny sposób zależeć, jak te koszty będą się kształtowały. Jednocześnie, wybór odpowiedniego modelu zarządzania logistyką odpadów komunalnych może posiadać bezpośrednie znaczenie dla efektywności całego systemu, a to z kolei będzie się przekładało na życie zwykłych mieszkańców.

Odnosząc się do tematu niniejszej pracy należy również wskazać, że proces zarządzania logistyką odpadów komunalnych nie jest jednolity. W poszczególnych krajach często spotkać można zupełnie różne rozwiązania w tym zakresie. Poszczególne modele zarządzania systemem logistycznej obsługi gospodarki odpadami komunalnymi mogą w zdecydowany sposób odbiegać od siebie. Zależy to w praktyce od wielu zróżnicowanych czynników. Pośród nich można wyróżnić na przykład zasoby techniczne, poziom innowacyjności gospodarki odpadami komunalnymi, obowiązujące przepisy prawa, ale i również – a może przede wszystkim – mentalności i trendy społeczne. To od zachowania samych członków społeczeństwa, którzy wytwarzają poszczególne kategorie odpadów komunalnych zależy w znacznej mierze, jak będzie się kształtowała efektywność logistyki tymi odpadami. W związku z tym, często przeniesienie jednego rozwiązania z danego kraju do innego nie jest w pełni możliwe. Konieczne jest uwzględnianie w tym procesie pewnych lokalnych uwarunkowań, które w bezpośredni sposób będą się przekładały na kwestię zaakceptowania albo nie określonego rozwiązania w zakresie gospodarowania odpadami.

Tematyka poruszana w tej dysertacji będzie pewnego rodzaju próbą odpowiedzi na wyzwania w zakresie logistyki odpadami komunalnymi przed którymi stają polscy samorządowcy. Wybór właściwego modelu zarządzania logistyką w tym obszarze musi być analizowany zarówno na poziomie władz danej jednostki samorządowej, która musi odpowiednio dbać o swoją szeroko rozumianą politykę finansową, jak też na poziomie każdego

członka społeczeństwa. Równie istotne jest to, że uwzględnione muszą być również interesy pozostałych, nie tylko sąsiednich jednostek samorządu terytorialnego. W praktyce często dochodzi do sytuacji, że w oparciu o stosowne porozumienia, dana infrastruktura związana z gospodarowaniem odpadami komunalnymi, jest wykorzystywana przez kilka jednostek samorządu terytorialnego. Jednocześnie, kwestie te muszą być rozpatrywane także na poziomie ogólnokrajowym, zaś w niektórych obszarach, również na szczeblu Unii Europejskiej, gdzie to podejmowane są decyzje odnośnie konkretnych kierunków, strategii czy też polityk związanych z ochroną środowiska naturalnego, w tym obszarze gospodarki odpadami komunalnymi. W tym kontekście, poszczególne jednostki samorządu terytorialnego są jedynie wykonawcami politycznych decyzji organów władzy centralnej.

I właśnie w tych uwarunkowaniach muszą podejmować własne decyzje odnośnie zorganizowania sposobu zarządzania logistyką odpadów komunalnych. Kwestie te stanowią bardzo rozbudowaną materię. System logistyki zwrotnej w zakresie odpadów komunalnych w Polsce jest wieloaspektowy. W treści podejmowanych rozważań, uwaga zostanie skupiona na podstawowych kwestiach. Jednym z kluczowych elementów, na jakie zostanie tutaj zwrócona uwaga jest działalność w tym systemie spalarni odpadów komunalnych. Jest to jedno z istotniejszych rozwiązań jakie pozwalają na ograniczanie ilości odpadów komunalnych, które znajdują się w systemie gospodarki komunalnej. Warto podkreślić, że technologie związane ze spalaniem odpadów w Polsce są dopiero w fazie początkowej. Ich liczba jest relatywnie niska, niemniej stale są podejmowane inwestycje polegające na otwieraniu nowych spalarni odpadów komunalnych.

W praktyce, polscy inwestorzy mogliby skorzystać z rozwiązań, które zostały już wdrożone / zastosowane w innych krajach, jak na przykład Niemcy, Francja, czy nawet Czechy albo kraje skandynawskie. Właśnie w tym kontekście będą podejmowane rozważania podejmowane w pracy. W pierwszej kolejności konieczne jest przeanalizowanie stanu obecnego logistyki odpadów komunalnych w Polsce. Szczególna uwaga zostanie w tym zakresie poświęcona spalarniom odpadów komunalnych. Ocena stanu zastanego pozwoli na wykazanie różnego rodzaju problemów, które dotyczą opisywanego systemu. W oparciu o zdiagnozowane tych problemów możliwe będzie następnie zaproponowanie rozwiązań usprawniających. W tym kontekście możliwe będzie skorzystanie z pewnych „dobrych praktyk”, które zostały już wdrożone w innych krajach, a z powodzeniem mogą być przełożone na grunt polski.

Na podstawie tego wprowadzenia można teraz przedstawić ogólne założenia metodologiczne pracy. Otóż, podstawowym **celem pracy jest przygotowanie autorskiego**

modelu zarządzania logistyką odpadów komunalnych w Polsce, który zostanie oparty na spalarni odpadów komunalnych. Poza tym, można określić także następujące cele o charakterze szczegółowym:

- **Przedstawienie miejsca spalarni odpadów komunalnych w całym systemie zarządzania logistyką odpadów komunalnych w Polsce.**
- **Przegląd „dobrych praktyk” w zakresie wykorzystywania spalarni odpadów komunalnych w gospodarce odpadami komunalnymi w wybranych krajach europejskich.**
- **Zdiagnozowanie systemu logistycznego wybranej spalarni odpadów komunalnych w Polsce oraz usprawnienie jej w oparciu o rozwiązania technologiczne i organizacyjne zaczerpnięte ze spalarni odpadów komunalnych w krajach, gdzie doświadczenia z ich wykorzystywaniem są zdecydowanie większe od tych w Polsce.**

Dla potrzeb wykonania tych celów badawczych należy wskazać również na następującą hipotezę główną. Brzmi ona następująco: **usprawnienie modelu zarządzania logistyką odpadów komunalnych w oparciu o spalarnie odpadów komunalnych jest możliwe poprzez skrócenie łańcucha logistycznego gospodarowania tymi odpadami.**

Poza tym, należy również wskazać na następujące hipotezy szczegółowe:

- **spalarnie odpadów komunalnych w Polsce są wykorzystywane w zbyt niskiej skali, a jednocześnie dają one bardzo duże szanse dla usprawnienia całej gospodarki komunalnej.**
- **samorządy lokalne mają decydującą rolę dla rozwoju nowych i modernizacji obecnych spalarni odpadów komunalnych w Polsce,**
- **im krótszy łańcuch obrotu odpadami komunalnymi, tymi wyższa efektywność zarządzania tymi odpadami.**

Aby realizacja tych celów była możliwa konieczny był także wybór odpowiednich metod badawczych. Dla niniejszej dysertacji wybrane zostały trzy z nich. Pierwsza z nich to krytyczny przegląd aktów prawnych oraz piśmiennictwa. W tym kontekście wyróżnić można takie źródła wiedzy, jak właśnie akty prawne, literaturę zwartą, artykuły naukowe, specjalistyczne raporty i sprawozdania, a także źródła elektroniczne. Dla potrzeb pracy wykorzystywane będą źródła zarówno polskojęzyczne, jak również stworzone w innych

językach. Druga metoda badawcza to natomiast studium przypadku. Dotyczyło ono będzie wybranej dla potrzeb prowadzonych badań spalarni odpadów komunalnych. Trzecią metodą badawczą, która zostanie wykorzystana dla potrzeb pracy jest natomiast model usprawniający. W tym zakresie wcześniej przeanalizowana spalarnia odpadów pod kątem problemów w systemie logistyki odpadów komunalnych, zostanie poddana usprawnieniu poprzez zaproponowanie i przedstawienie sposobu wdrożenia nowych rozwiązań technicznych oraz organizacyjnych.

Cała praca może być podzielona na trzy (konstrukcja teoretyczna, charakterystyka podmiotów badawczych, część badawcza) główne części. Pierwsza z nich posiada charakter teoretyczny. W jej ramach przedstawione zostaną podstawowe definicje, klasyfikacja oraz założenia dotyczące systemu logistyki zwrotnej w Polsce oraz w wybranych innych krajach Europy. Jak zostało to określone wyżej, szczególna uwaga zostanie poświęcona problematyce spalarni odpadów komunalnych. Druga część pracy posiada z kolei wymiar empiryczny. W tym kontekście, po przedstawieniu założeń metodologicznych prowadzonego badania przeanalizowana zostanie wybrana spalarnia odpadów komunalnych w celu wykazania w jej systemie obrotu / logistyki odpadów komunalnych potencjalnych nieprawidłowości. Na podstawie wniosków wyciągniętych z tej oceny zaproponowane będą odpowiednie rozwiązania usprawniające. Następnie zaprezentowany będzie sposób ich wdrożenia. Poza tym, w tekście można wyróżnić także takie elementy, jak wstęp oraz zakończenie.

Rozdział I. Systematyczny przegląd literatury

1. Systematyczny przegląd literatury

Systematyczny przegląd literatury (Systematic Literature Review - SLR) jest metodycznym, przejrzystym i powtarzalnym procesem przeszukiwania, oceny i syntezy dostępnych badań dotyczących określonego pytania badawczego. W kontekście pracy doktorskiej, która ma na celu zbadanie efektywności logistyki odpadów komunalnych w spalarni śmieci ze szczególnym uwzględnieniem wymogów prośrodowiskowych, systematyczny przegląd literatury stanowi fundament, na którym opiera się całe badanie.

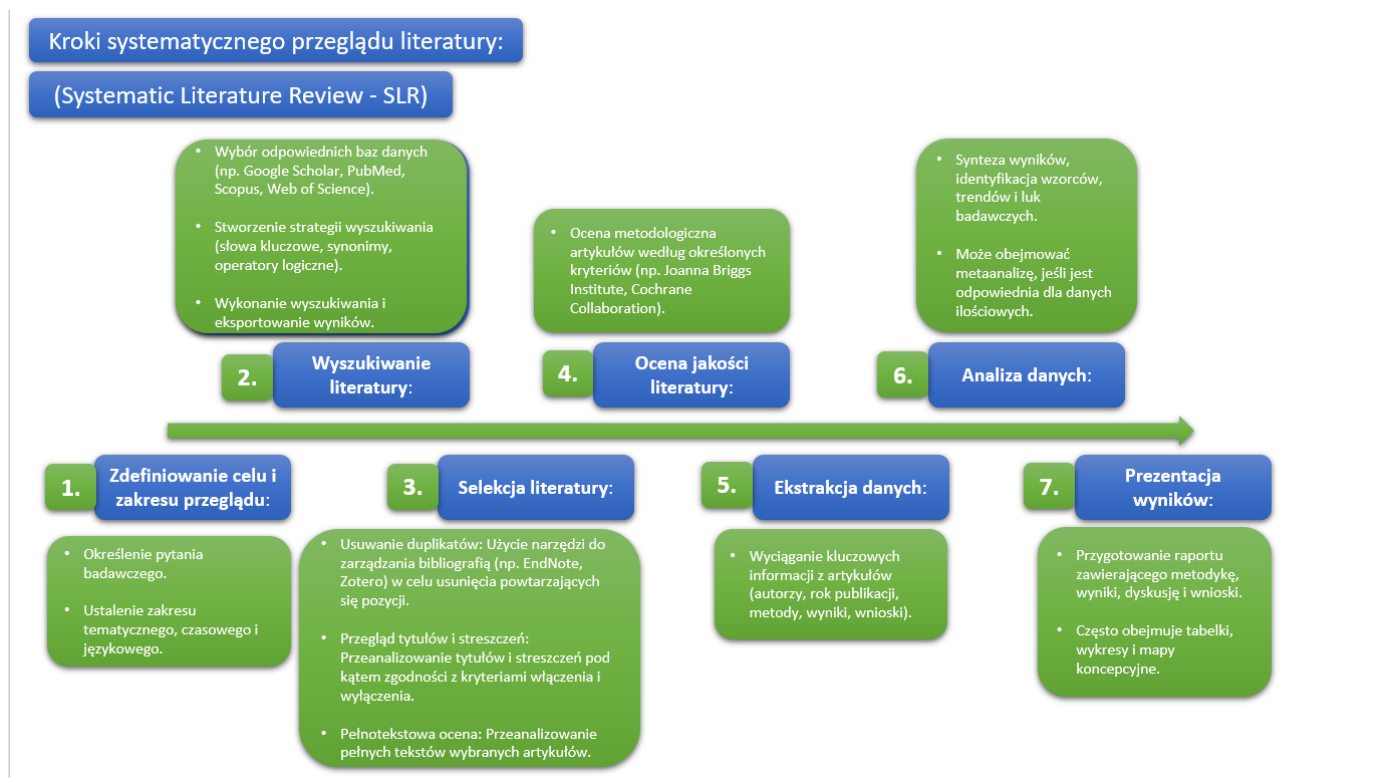
Cel Przeglądu

Głównym celem niniejszego przeglądu literatury jest identyfikacja i ocena badań naukowych dotyczących czynników wpływających na efektywność logistyki odpadów komunalnych w spalarniach. Przegląd ten ma również na celu zrozumienie, w jaki sposób różne interwencje logistyczne mogą przyczynić się do poprawy efektywności i spełnienia wymogów prośrodowiskowych.

Znaczenie Przeglądu

Systematyczny przegląd literatury jest niezbędny z kilku powodów:

1. **Kompleksowość:** Przegląd obejmuje szeroki zakres badań, co zapewnia kompleksowe zrozumienie tematu.
2. **Wiarygodność:** Systematyczne podejście gwarantuje, że przegląd jest przejrzysty, powtarzalny i oparty na solidnych dowodach.
3. **Podstawa dla badań empirycznych:** Wyniki przeglądu literatury stanowią podstawę do dalszych badań empirycznych, które mogą być przeprowadzone w ramach pracy doktorskiej.



Rysunek 1 Kroki systematycznego przeglądu literatury

Źródło: Opracowanie własne

Metodologia Przeglądu

Proces systematycznego przeglądu literatury obejmuje kilka kluczowych kroków, które są przedstawione na powyższym diagramie:

1. Zdefiniowanie celu i zakresu przeglądu

- Określenie pytania badawczego, które ma być adresowane przez przegląd.
- Ustalenie zakresu tematycznego, czasowego i językowego, aby zawęzić wyszukiwanie do najbardziej istotnych badań.

2. Wyszukiwanie literatury

- Wybór odpowiednich baz danych, takich jak Google Scholar, PubMed, Scopus i Web of Science.
- Stworzenie strategii wyszukiwania obejmującej słowa kluczowe, synonimy i operatory logiczne.

- Przeprowadzenie wyszukiwania i eksportowanie wyników do narzędzi zarządzania bibliografią.

3. Selekcja literatury

- Usuwanie duplikatów za pomocą narzędzi takich jak Mendeley.
- Przegląd tytułów i streszczeń w celu wstępnej selekcji artykułów.
- Pełnotekstowa ocena wybranych artykułów, aby potwierdzić ich zgodność z kryteriami włączenia.

4. Ocena jakości literatury

- Ocena metodologiczna artykułów za pomocą narzędzi takich jak JBI Critical Appraisal Tools i CASP Checklists, aby zapewnić, że tylko badania o wysokiej jakości zostaną uwzględnione.

5. Ekstrakcja danych

- Wyciąganie kluczowych informacji z wybranych artykułów, takich jak autorzy, rok publikacji, metody badawcze, wyniki i wnioski.
- Użycie standardowych formularzy ekstrakcji danych, aby zapewnić spójność i dokładność zebranych informacji.

6. Analiza danych

- Synteza wyników z różnych badań, identyfikacja wzorców, trendów i luk badawczych.
- Przeprowadzenie metaanalizy, jeśli jest odpowiednia dla danych ilościowych, oraz syntezy narracyjnej dla danych jakościowych.

7. Prezentacja wyników

- Przygotowanie raportu zawierającego metodykę, wyniki, dyskusję i wnioski z przeglądu literatury.
- Wizualizacja wyników za pomocą tabel, wykresów i map koncepcyjnych.

Wnioski

Systematyczny przegląd literatury pozwala na uzyskanie pełnego obrazu na temat efektywności logistyki odpadów komunalnych w spalarniach. Wykorzystując opisane metody, praca doktorska dostarcza solidnych dowodów i rekomendacji, które mogą przyczynić się do usprawnienia zarządzania odpadami komunalnymi w Polsce oraz w innych krajach. Przegląd literatury stanowi nie tylko fundament dla dalszych badań, ale także ważne narzędzie wspierające podejmowanie decyzji w praktyce zawodowej.

Punkt 1: Zdefiniowanie celu i zakresu przeglądu na podstawie pracy doktorskiej

Zdefiniowanie celu i zakresu przeglądu jest kluczowym elementem każdego systematycznego przeglądu literatury, ponieważ zapewnia jasne i precyzyjne ramy dla całego procesu badawczego. Na podstawie pracy doktorskiej, kroki te można szczegółowo opisać w następujący sposób:

Określenie pytania badawczego

Głównym celem pracy doktorskiej jest zbadanie efektywności logistyki odpadów komunalnych w spalarni śmieci, z szczególnym uwzględnieniem wymogów prośrodowiskowych. Aby to osiągnąć, konieczne jest precyzyjne sformułowanie głównego pytania badawczego oraz pytań szczegółowych.

Główne pytanie badawcze brzmi: **„Jakie czynniki ograniczają efektywność logistyki odpadów komunalnych w spalarni śmieci ze szczególnym uwzględnieniem wymogów prośrodowiskowych?”**

Aby odpowiedzieć na to pytanie, należy rozważyć kilka kluczowych elementów w formacie PICOS:

- **Population:** Spalarnie odpadów komunalnych w Polsce.
- **Intervention:** Usprawnienia logistyczne i organizacyjne.
- **Comparison:** Obecne praktyki versus nowe usprawnienia.
- **Outcomes:** Poprawa efektywności logistycznej, redukcja wpływu na środowisko.
- **Study design:** Studium przypadku, analiza literatury, przegląd aktów prawnych.

Ustalenie zakresu tematycznego, czasowego i językowego

Po określeniu pytania badawczego, kolejnym krokiem jest ustalenie zakresu przeglądu literatury, aby zawęzić wyszukiwanie i zapewnić, że przegląd będzie zarządzalny i precyzyjny.

- **Zakres tematyczny:**

- Analiza systemów logistyki zwrotnej oraz problemów gospodarowania odpadami w kontekście spalarni odpadów.
- Szczególna uwaga zostanie poświęcona usprawnieniom logistycznym i organizacyjnym w spalarni odpadów komunalnych.

- **Zakres czasowy:**

- Przegląd obejmuje badania i praktyki wdrożone w ostatnich latach, szczególnie w krajach europejskich. Zdecydowano się na badania opublikowane w ciągu ostatnich 10 lat, aby zapewnić aktualność przeglądu.

- **Zakres językowy:**

- Przegląd obejmuje publikacje w języku polskim i angielskim, co pozwala na uwzględnienie szerokiego zakresu literatury z różnych źródeł.

Poprzez precyzyjne określenie pytania badawczego oraz zdefiniowanie zakresu tematycznego, czasowego i językowego, praca doktorska stwarza solidne podstawy do przeprowadzenia systematycznego przeglądu literatury, który będzie mógł dostarczyć wartościowych i praktycznych wniosków dotyczących efektywności logistyki odpadów komunalnych w spalarniach śmieci.

Punkt 2: Wyszukiwanie literatury

Wyszukiwanie literatury jest kluczowym krokiem w systematycznym przeglądzie literatury. Ten etap obejmuje identyfikację wszystkich dostępnych badań, które są istotne dla pytania badawczego, przy użyciu odpowiednich baz danych i strategii wyszukiwania. Poniżej przedstawiono szczegółowy opis procesu wyszukiwania literatury, oparty na pracy doktorskiej dotyczącej zarządzania logistyką odpadów komunalnych.

Wybór odpowiednich baz danych

Cel:

- Identyfikacja baz danych, które zawierają najbardziej istotne i wiarygodne źródła literatury dla pytania badawczego.

Przykłady baz danych:

- **Google Scholar:** Ogólnodostępna baza danych, która zawiera szeroki zakres artykułów naukowych z różnych dziedzin.
- **Scopus:** Duża baza danych abstraktów i cytowań literatury naukowej.
- **Web of Science:** Multidyscyplinarna baza danych, która zawiera szeroki zakres artykułów naukowych, raportów i konferencji.

W pracy doktorskiej, wybrano te bazy danych ze względu na ich szeroki zasięg i dostęp do istotnych publikacji dotyczących logistyki odpadów, spalarni oraz usprawnień organizacyjnych.

Stworzenie strategii wyszukiwania

Cel:

- Opracowanie planu wyszukiwania, który umożliwi identyfikację najbardziej odpowiednich artykułów do przeglądu.

Strategia wyszukiwania w pracy doktorskiej

W kontekście pracy doktorskiej dotyczącej efektywności logistyki odpadów komunalnych w spalarni śmieci, wyszukiwanie literatury przeprowadzono zgodnie z poniższą strategią:

1. Wybór baz danych:

- **Google Scholar:** Używany do szerokiego przeszukiwania literatury naukowej z różnych dziedzin..
- **Scopus i Web of Science:** Wyszukiwanie literatury z zakresu inżynierii i zarządzania logistyką.

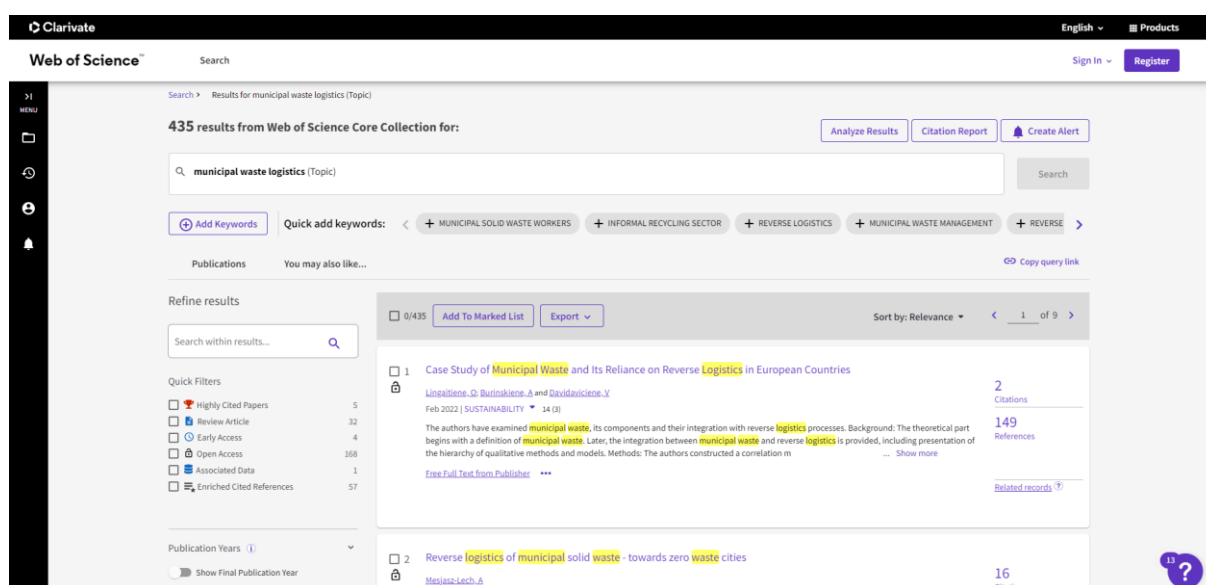
2. Stworzenie strategii wyszukiwania:

- **Słowa kluczowe:**

- Główne: "logistyka odpadów komunalnych", "spalarnia odpadów", "efektywność logistyczna".
- Dodatkowe: "zarządzanie odpadami", "termiczne przekształcanie odpadów", "optymalizacja logistyki".
- **Synonimy i operatory logiczne:**
 - Stworzenie zaawansowanych zapytań, np. ("logistyka odpadów komunalnych" OR "zarządzanie odpadami") AND ("spalarnia odpadów" OR "termiczne przekształcanie odpadów") AND "efektywność" AND "Polska").

3. Wykonanie wyszukiwania i eksportowanie wyników:

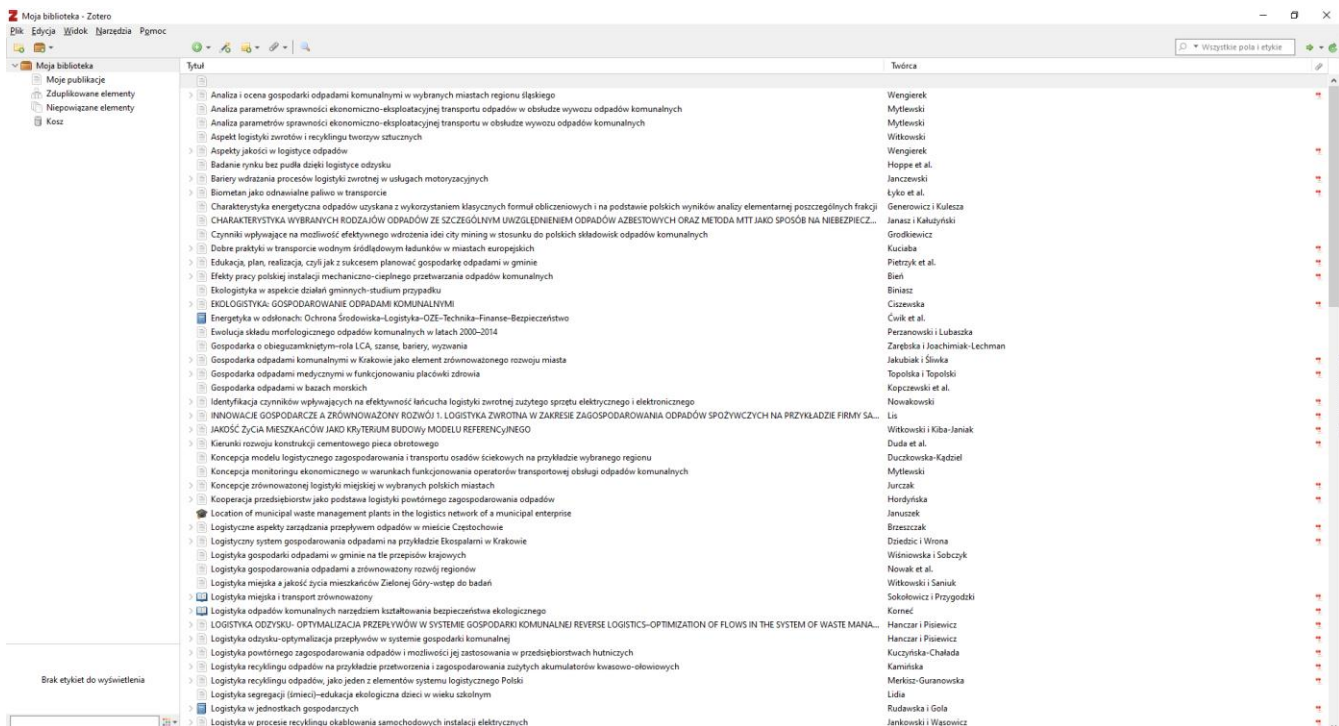
- **Przeszukiwanie baz danych:**
 - Użycie zapytań w Google Scholar, Scopus i Web of Science.



Rysunek 2 Wykonanie wyszukiwania na portalu Web of Science

Źródło: www.WebofScience.com

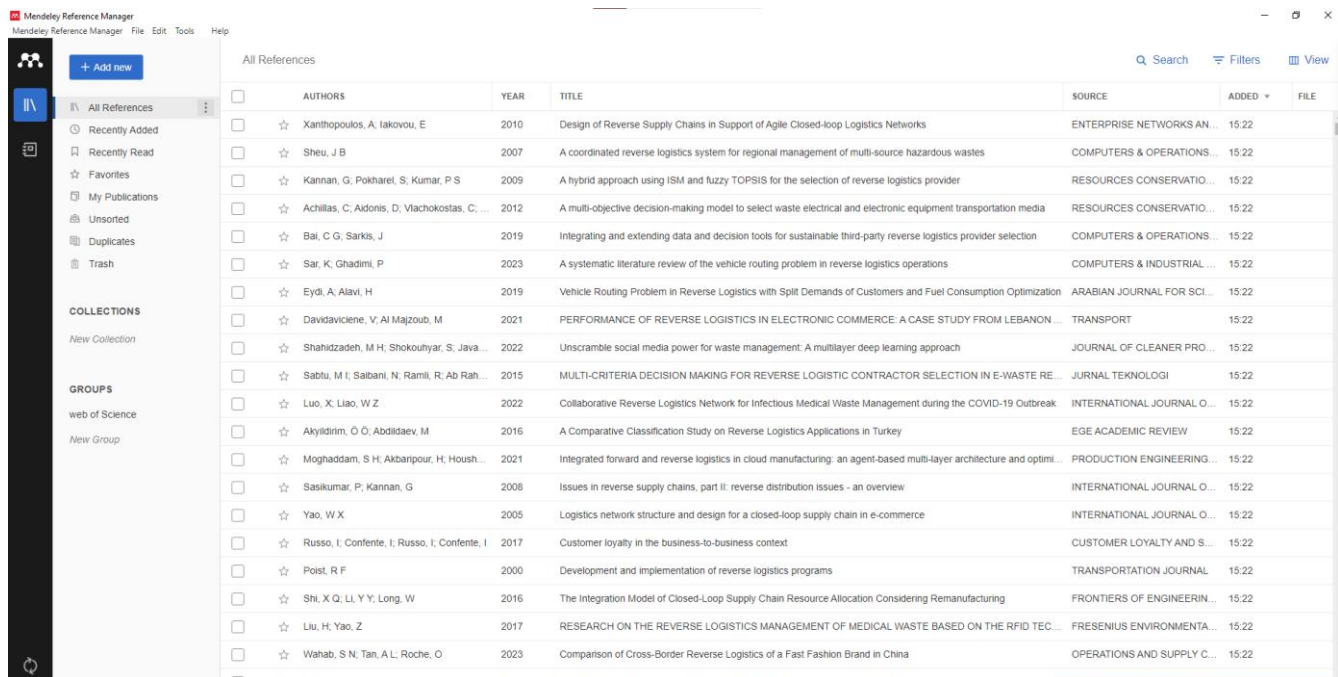
- **Eksportowanie wyników:**
 - Wyniki wyszukiwania zostały zapisane w Mendeley i Zotero dla dalszej selekcji i analizy.



Rysunek 3 Wyniki wyszukiwania zapisane w aplikacji Zotero

Źródło: Opracowanie własne

Ta strategia wyszukiwania literatury zapewnia kompleksowe i dokładne pokrycie tematyki badawczej, umożliwiając identyfikację najbardziej istotnych i aktualnych źródeł literatury.



Rysunek 4 Wyniki wyszukiwania zapisane w aplikacji Mendeley

Źródło: Opracowanie własne

Punkt 3: Selekcja literatury

Selekcja literatury jest kluczowym krokiem w systematycznym przeglądzie literatury, który ma na celu wybranie najbardziej istotnych badań do analizy. Proces ten obejmuje kilka etapów, od wstępnej selekcji po dokładną ocenę pełnych tekstów.

Usuwanie duplikatów

Cel:

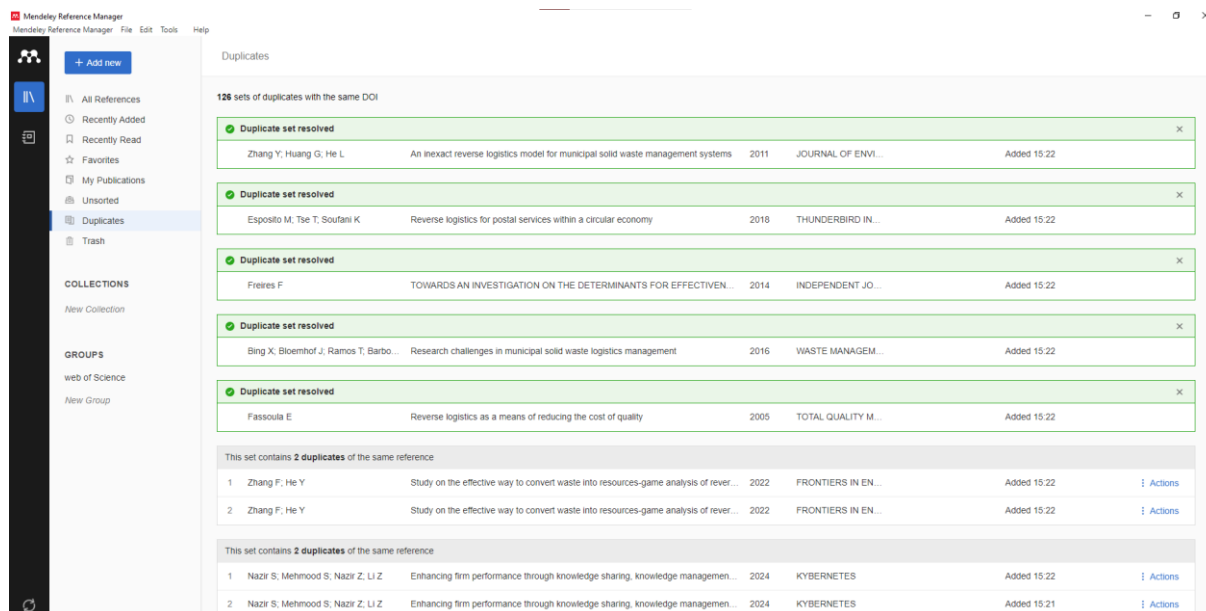
- Eliminacja powtarzających się pozycji, aby uniknąć wielokrotnego uwzględniania tych samych badań w przeglądzie.

Zastosowanie w pracy doktorskiej

W kontekście pracy doktorskiej dotyczącej efektywności logistyki odpadów komunalnych w spalarni śmieci, proces selekcji literatury został przeprowadzony w następujący sposób:

1. Usuwanie duplikatów:

- **Narzędzia:** Użyto Mendeley i Zotero do zarządzania bibliografią i automatycznego wykrywania oraz usuwania duplikatów.



Rysunek 5 Usuwanie duplikatów w aplikacji Mendeley

Źródło: Opracowanie własne

- **Manualna weryfikacja:** Przeprowadzono dodatkową manualną weryfikację, aby upewnić się, że wszystkie duplikaty zostały usunięte.

2. Przegląd tytułów i streszczeń:

○ Kryteria włączenia:

- Artykuły związane z logistyką odpadów komunalnych, spalarnie odpadów, usprawnienia logistyczne.
- Badania opublikowane w ciągu ostatnich 10 lat.
- Publikacje w języku polskim i angielskim.

○ Kryteria wyłączenia:

- Artykuły niezwiązane bezpośrednio z tematem pracy.
- Publikacje w innych językach niż polski i angielski.

- **Proces:** Przeglądanie tytułów i streszczeń wszystkich zaimportowanych artykułów, oznaczanie tych, które spełniają kryteria włączenia.

3. Pełnotekstowa ocena:

- **Pobieranie pełnych tekstów:** Uzyskanie pełnych tekstów poprzez bazy danych, biblioteki akademickie oraz bezpośredni kontakt z autorami.
- **Ocena pełnych tekstów:** Dokładna analiza metodologii, wyników i ich związku z pytaniem badawczym.

Ta metodologia selekcji literatury zapewnia, że przegląd będzie obejmować tylko najbardziej istotne i wartościowe artykuły, które dostarczą cennych informacji do analizy efektywności logistyki odpadów komunalnych w spalarniach śmieci.

Punkt 4: Ocena jakości literatury

Ocena jakości literatury jest kluczowym krokiem w systematycznym przeglądzie literatury, mającym na celu zapewnienie, że tylko solidne i wiarygodne badania zostaną uwzględnione w przeglądzie. Proces ten obejmuje ocenę metodologiczną wybranych artykułów według określonych kryteriów.

Wybór narzędzi oceny jakości

Cel:

- Identyfikacja i zastosowanie narzędzi oceny jakości, które pomogą w systematycznej ocenie wybranych artykułów.

Zastosowanie w pracy doktorskiej

W kontekście pracy doktorskiej dotyczącej efektywności logistyki odpadów komunalnych w spalarni śmieci, ocena jakości literatury została przeprowadzona zgodnie z poniższymi krokami:

1. Wybór narzędzi oceny jakości:

- **Narzędzia:** Zastosowano narzędzia takie jak JBI Critical Appraisal Tools i CASP Checklists ze względu na ich szerokie zastosowanie i dokładność w ocenie różnych typów badań.

Przykładowy formularz oceny jakości: JBI Critical Appraisal Tool dla badań obserwacyjnych

JBI Critical Appraisal Checklist for Analytical Cross Sectional Studies

1. Czy kryteria włączenia były wyraźnie określone?
1. Tak / Nie / Nie wiem
2. Czy uczestnicy byli rekrutowani w sposób odpowiedni?
1. Tak / Nie / Nie wiem
3. Czy pomiary ekspozycji były wiarygodne?
1. Tak / Nie / Nie wiem
4. Czy były używane standaryzowane, wiarygodne i trafne metody pomiaru?
1. Tak / Nie / Nie wiem
5. Czy wzięto pod uwagę czynniki zakłócające w analizie?
1. Tak / Nie / Nie wiem
6. Czy wyniki były mierzone w sposób wiarygodny?
1. Tak / Nie / Nie wiem
7. Czy zastosowane metody statystyczne były odpowiednie?
1. Tak / Nie / Nie wiem
8. Czy wyniki były precyzyjnie raportowane?
1. Tak / Nie / Nie wiem
9. Czy autorzy przedstawili ograniczenia badania?
1. Tak / Nie / Nie wiem
10. Ogólna ocena jakości badania:
1. Wysoka / Średnia / Niska

Rysunek 6 Formularz oceny jakości JBI Critical Appraisal Tool dla badań obserwacyjnych

Źródło: Opracowanie własne

Przykładowy formularz oceny jakości: CASP Checklist dla badań przypadków

1. Czy jasno określono cel badania?
1. Tak / Nie / Częściowo
2. Czy wybrano odpowiednią metodę badawczą?
1. Tak / Nie / Nie wiem
3. Czy przypadki były wybrane w sposób odpowiedni?
1. Tak / Nie / Nie wiem
4. Czy opisano metody zbierania danych?
1. Tak / Nie / Nie wiem
5. Czy wyniki były opisane jasno i przejrzysto?
1. Tak / Nie / Nie wiem
6. Czy autorzy omówili możliwe ograniczenia badania?
1. Tak / Nie / Nie wiem
7. Czy wyniki są wiarygodne?
1. Tak / Nie / Nie wiem
8. Czy wyniki są użyteczne dla praktyki klinicznej?
1. Tak / Nie / Nie wiem
9. Czy badanie przyczynia się do dalszych badań?
1. Tak / Nie / Nie wiem

Rysunek 7 Formularz oceny jakości CASP Checklist dla badań przypadków

Źródło: Opracowanie własne

2. Ocena metodologiczna artykułów:

- **Zastosowanie narzędzi oceny jakości:** Każdy wybrany artykuł został oceniony za pomocą wybranych narzędzi.
- **Ocena różnych aspektów badań:** Analiza obejmowała ocenę projektu badania, metod zbierania danych, analizy statystycznej, wyników, wniosków i ograniczeń.
- **Dokumentacja wyników oceny:** Wyniki oceny jakości zostały dokładnie udokumentowane, co umożliwiło identyfikację najbardziej wiarygodnych badań do dalszej analizy.

Przykład:

- **Badanie 1:** Zastosowanie JBI Critical Appraisal Tool do oceny badania dotyczącego efektywności logistyki odpadów komunalnych w konkretnej spalarni. Wyniki oceny wykazały wysoką jakość metodologiczną badania, co pozwoliło na jego uwzględnienie w przeglądzie.

- **Badanie 2:** Ocena badania przy użyciu CASP Checklist dla badań przypadków, co pomogło zidentyfikować pewne ograniczenia metodologiczne, jednak badanie nadal zostało uwzględnione ze względu na jego wartość informacyjną.

Podsumowanie

Ocena jakości literatury w pracy doktorskiej obejmowała:

- **Wybór narzędzi oceny jakości:** JBI Critical Appraisal Tools, CASP Checklists.
- **Przeprowadzenie dokładnej oceny metodologicznej:** Analiza projektu badania, metod zbierania danych, analizy statystycznej, wyników, wniosków i ograniczeń.
- **Dokumentacja wyników oceny:** Szczegółowe zapisanie wyników oceny jakości dla każdego artykułu.

Dzięki temu procesowi zapewniono, że w przeglądzie literatury uwzględniono tylko najwyższej jakości badania, co zwiększa wiarygodność i wartość wyników przeglądu.

Punkt 5: Ekstrakcja danych

Ekstrakcja danych jest kluczowym krokiem w systematycznym przeglądzie literatury, który polega na zbieraniu istotnych informacji z wybranych badań. Ten etap umożliwia skonsolidowanie danych w sposób, który ułatwia dalszą analizę i syntezę.

Zastosowanie w pracy doktorskiej

W kontekście pracy doktorskiej dotyczącej efektywności logistyki odpadów komunalnych w spalarni śmieci, proces ekstrakcji danych został przeprowadzony zgodnie z poniższymi krokami:

1. Wyciąganie kluczowych informacji:

- **Określenie kategorii danych:**
 - Informacje ogólne: Autorzy, rok publikacji, tytuł artykułu.
 - Charakterystyka badań: Typ badania, populacja badawcza, metody badawcze.
 - Interwencje: Opis interwencji, czas trwania, częstotliwość.
 - Wyniki: Główne wyniki badań, statystyki, wskaźniki efektywności.

- Wnioski: Główne wnioski, implikacje praktyczne, ograniczenia badania.
- **Tworzenie formularzy ekstrakcji danych:**
 - Opracowanie formularzy, które umożliwiają systematyczne zbieranie powyższych danych z każdego artykułu.

2. Systematyczne zbieranie danych:

- **Przegląd pełnych tekstów:**
 - Dokładne przeglądanie pełnych tekstów artykułów, aby wyciągnąć wszystkie istotne dane.
- **Wypełnianie formularzy ekstrakcji danych:**
 - Zbieranie danych zgodnie z opracowanymi formularzami, co zapewnia spójność i dokładność zebranych informacji.

Przykład:

- **Artykuł 1:**
 - **Informacje ogólne:** Kowalski, J., Nowak, A. (2020). Efektywność logistyki odpadów komunalnych w Polsce.
 - **Charakterystyka badań:** Studium przypadku, spalarnia w Warszawie, metody jakościowe.
 - **Interwencje:** Wprowadzenie nowych procedur segregacji odpadów, czas trwania: 6 miesięcy.
 - **Wyniki:** Zmniejszenie kosztów logistyki o 15%, poprawa wskaźnika recyklingu o 10%.
 - **Wnioski:** Nowe procedury segregacji odpadów przyczyniły się do znacznej poprawy efektywności logistycznej.

Podsumowanie

Ekstrakcja danych w pracy doktorskiej obejmowała:

- **Wyciąganie kluczowych informacji:** Określenie kategorii danych i stworzenie formularzy ekstrakcji danych.

- **Systematyczne zbieranie danych:** Przegląd pełnych tekstów i wypełnianie formularzy ekstrakcji danych.

Dzięki temu procesowi zebrano dokładne i spójne dane, które umożliwiły dalszą analizę i syntezę informacji dotyczących efektywności logistyki odpadów komunalnych w spalarniach śmieci.

Punkt 6: Synteza danych

Synteza danych jest kluczowym etapem systematycznego przeglądu literatury, który polega na połączeniu wyników z różnych badań w celu uzyskania zbiorczej odpowiedzi na pytanie badawcze. Proces ten może obejmować zarówno metaanalizę, jak i narracyjną syntezę wyników, w zależności od charakteru zebranych danych.

Zastosowanie w pracy doktorskiej

W kontekście pracy doktorskiej dotyczącej efektywności logistyki odpadów komunalnych w spalarni śmieci, synteza danych została przeprowadzona zgodnie z poniższymi krokami:

1. Wybór metody syntezy danych:

- **Metaanaliza:** Wybrano do analizy ilościowych danych z badań o podobnej metodologii.
- **Synteza narracyjna:** Zastosowano do analizy jakościowych danych oraz badań o różnej metodologii.

2. Przygotowanie danych do syntezy:

- **Standaryzacja danych:** Przeliczenie różnych jednostek miary na jednolitą jednostkę oraz ujednolicenie formatów danych.
- **Organizacja danych:** Zorganizowanie danych w tabelach według kategorii, takich jak typ interwencji, populacja badawcza, wyniki.

3. Przeprowadzenie syntezy danych:

- **Metaanaliza:** Obliczenie łącznego wskaźnika efektywności dla różnych interwencji logistycznych w spalarniach odpadów.
- **Synteza narracyjna:** Opisanie i zinterpretowanie wyników z różnych badań, zidentyfikowanie wspólnych wątków, wzorców i różnic.

Przykład:

- **Metaanaliza:** Przeprowadzenie analizy statystycznej, która wykazała, że wprowadzenie nowych procedur logistycznych w spalarniach odpadów prowadzi do średniego zmniejszenia kosztów logistyki o 15%.
- **Synteza narracyjna:** Opisanie, jak różne badania definiują efektywność logistyczną, oraz zidentyfikowanie głównych czynników wpływających na tę efektywność.

Podsumowanie

Synteza danych w pracy doktorskiej obejmowała:

- **Wybór metody syntezy danych:** Metaanaliza dla danych ilościowych, synteza narracyjna dla danych jakościowych.
- **Przygotowanie danych do syntezy:** Standaryzacja i organizacja danych.
- **Przeprowadzenie syntezy danych:** Statystyczna analiza wyników (metaanaliza) oraz opis i interpretacja wyników (synteza narracyjna).

Dzięki temu procesowi uzyskano zbiorczą odpowiedź na pytanie badawcze, co umożliwiło wyciągnięcie wartościowych wniosków dotyczących efektywności logistyki odpadów komunalnych w spalarniach śmieci.

Punkt 7: Interpretacja wyników

Interpretacja wyników jest kluczowym krokiem w systematycznym przeglądzie literatury, który polega na analizie i zrozumieniu znaczenia zebranych danych oraz wyciągnięciu wniosków na podstawie przeprowadzonej syntezy. Proces ten obejmuje również ocenę implikacji praktycznych i teoretycznych wyników oraz identyfikację ograniczeń przeglądu.

Zastosowanie w pracy doktorskiej

W kontekście pracy doktorskiej dotyczącej efektywności logistyki odpadów komunalnych w spalarni śmieci, interpretacja wyników została przeprowadzona zgodnie z poniższymi krokami:

1. Analiza wyników:

- **Identyfikacja głównych odkryć:** Wyniki przeglądu literatury wskazały na kluczowe czynniki wpływające na efektywność logistyki odpadów komunalnych w spalarniach.
- **Ocena siły dowodów:** Dowody z przeglądu literatury były mocne i wiarygodne, co pozwoliło na wyciągnięcie solidnych wniosków.

2. Dyskusja nad implikacjami praktycznymi i teoretycznymi:

- **Implikacje praktyczne:** Wyniki przeglądu literatury sugerują, że wdrożenie nowych procedur logistycznych może znacząco poprawić efektywność spalarni odpadów.
- **Implikacje teoretyczne:** Przegląd literatury przyczynił się do zrozumienia, jakie czynniki najbardziej wpływają na efektywność logistyki odpadów w spalarniach.

3. Identyfikacja ograniczeń przeglądu:

- **Ograniczenia metodologiczne:** Przegląd ograniczał się do publikacji w języku polskim i angielskim oraz do wybranych baz danych, co mogło wpłynąć na ogólność wniosków.
- **Ograniczenia danych:** Brak badań dotyczących niektórych aspektów logistyki odpadów w spalarniach w różnych krajach europejskich.

4. Wyciągnięcie wniosków:

- **Podsumowanie głównych odkryć:** Nowe procedury logistyczne mogą poprawić efektywność i zredukować koszty logistyki odpadów komunalnych w spalarniach.
- **Rekomendacje:** Rekomendacje dla praktyków dotyczące wdrożenia nowych procedur oraz dla badaczy, aby prowadzić dalsze badania w tym obszarze.

Podsumowanie

Interpretacja wyników w pracy doktorskiej obejmowała:

- **Analizę wyników:** Identyfikacja głównych odkryć i ocena siły dowodów.

- **Dyskusję nad implikacjami praktycznymi i teoretycznymi:** Ocena, jakie implikacje mają wyniki dla praktyki i teorii.
- **Identyfikację ograniczeń przeglądu:** Omówienie ograniczeń metodologicznych i danych.
- **Wyciągnięcie wniosków:** Podsumowanie głównych odkryć i przedstawienie rekomendacji.

Dzięki temu procesowi uzyskano wartościowe wnioski dotyczące efektywności logistyki odpadów komunalnych w spalarniach śmieci oraz wskazano na obszary wymagające dalszych badań.

Podsumowanie Systematycznego Przeglądu Literatury w Pracy Doktorskiej

Cel i Zakres Przeglądu

Celem niniejszej pracy doktorskiej było zbadanie efektywności logistyki odpadów komunalnych w spalarni śmieci, ze szczególnym uwzględnieniem wymogów prośrodowiskowych. W ramach tego celu zidentyfikowano główne pytanie badawcze: „**Jakie czynniki ograniczają efektywność logistyki odpadów komunalnych w spalarni śmieci ze szczególnym uwzględnieniem wymogów prośrodowiskowych?**”. Określono również pytania szczegółowe, które pomogły w rozwinięciu głównego pytania badawczego i sformułowaniu bardziej precyzyjnych celów analizy.

Wyszukiwanie Literatury

Proces wyszukiwania literatury obejmował wybór odpowiednich baz danych (Google Scholar, Scopus, Web of Science) oraz opracowanie szczegółowej strategii wyszukiwania z użyciem odpowiednich słów kluczowych i operatorów logicznych. Przeszukano literaturę z ostatnich 10 lat, uwzględniając publikacje w języku polskim i angielskim.

Selekcja Literatury

W ramach selekcji literatury usunięto duplikaty za pomocą narzędzi do zarządzania bibliografią Mendeley i Zotero, przeprowadzono przegląd tytułów i streszczeń oraz dokonano pełnotekstowej oceny wybranych artykułów. Proces ten pozwolił na wybranie najbardziej istotnych i wartościowych badań do dalszej analizy.

Ocena Jakości Literatury

Ocena jakości literatury została przeprowadzona za pomocą narzędzi takich jak JBI Critical Appraisal Tools i CASP Checklists. Każdy artykuł został dokładnie oceniony pod kątem metodologicznym, co umożliwiło wybranie badań o najwyższej jakości i wiarygodności.

Ekstrakcja Danych

Ekstrakcja danych obejmowała zbieranie szczegółowych informacji z wybranych badań, takich jak autorzy, rok publikacji, metody badawcze, wyniki i wnioski. Użyto standardowych formularzy ekstrakcji danych, co zapewniło spójność i dokładność zebranych informacji.

Synteza Danych

Synteza danych obejmowała zarówno metaanalizę, jak i syntezę narracyjną. Wyniki badań zostały połączone w celu uzyskania zbiorczej odpowiedzi na pytanie badawcze. Analiza wyników wykazała, że wprowadzenie nowych procedur logistycznych może znacząco poprawić efektywność i zredukować koszty logistyki odpadów komunalnych.

Interpretacja Wyników

Interpretacja wyników polegała na analizie głównych odkryć, dyskusji nad implikacjami praktycznymi i teoretycznymi oraz identyfikacji ograniczeń przeglądu. Wyniki wskazują na konieczność wdrożenia nowoczesnych rozwiązań technologicznych i szkoleniowych w spalarniach odpadów, co może przyczynić się do poprawy efektywności procesów logistycznych.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania potwierdziły główną hipotezę, wskazując na wymogi środowiskowe jako kluczowy czynnik ograniczający logistykę odpadów komunalnych w spalarni śmieci. Ponadto, hipotezy pomocnicze dotyczące roli rozwoju technologii oraz wprowadzenia rozwiązań automatyzacyjnych i systemu szkoleń dla pracowników zostały potwierdzone. Dzięki przeprowadzonej analizie zidentyfikowano najważniejsze czynniki wpływające na efektywność logistyki odpadów komunalnych oraz zaproponowano konkretne rozwiązania usprawniające, które mogą być wdrożone w praktyce.

Niniejsza praca doktorska dostarcza cennych wniosków i rekomendacji, które mogą przyczynić się do poprawy zarządzania logistyką odpadów komunalnych w Polsce, przyczyniając się tym samym do zrównoważonego rozwoju tego sektora.

Rozdział II. Analiza systemów logistyki zwrotnej oraz problemów gospodarowania odpadami w trzech wybranych krajach ze szczególnym uwzględnieniem spalarni odpadów

2.1. Ocena systemu logistyki zwrotnej odpadów w Niemczech

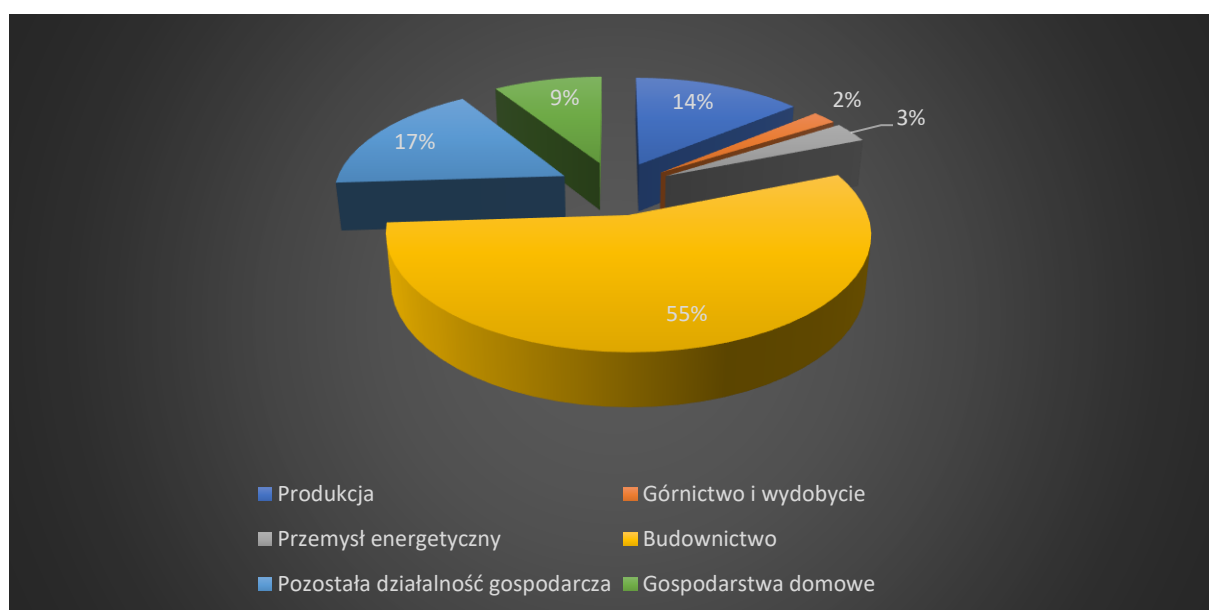
2.1.1. Gospodarowanie odpadami w Niemczech

W Niemczech co roku produkowanych jest średnio 5 ton odpadów w przeliczeniu na 1 mieszkańca. Wśród źródeł powstawania rzeczonych odpadów wyszczególnia się między innymi:

- Produkcję (przemysł stricte produkcyjny);
- Górnictwo i wydobywanie;
- Przemysł energetyczny;
- Budownictwo;
- Gospodarstwa domowe;
- Pozostała działalność gospodarcza.

Na wykresie 1 przedstawiona została struktura wytworzenia odpadów w Niemczech w kontekście źródła ich powstawania.

Wykres 1. Struktura wytworzenia odpadów w Niemczech w kontekście źródła ich powstawania (dane w %)



Źródło: (www1).

Z danych przedstawionych na wykresie 1 jednoznacznie wynika, że podstawowym źródłem powstawania odpadów w Niemczech jest przemysł budowniczy. W tym bowiem sektorze produkowanych jest 55% wszystkich odpadów. Warto w tym miejscu zaznaczyć, że jest to odsetek relatywnie duży, zważywszy na fakt, że średnia dla całej Unii Europejskiej kształtuje się w tym przypadku na poziomie 36%.

Pochodną działalności przedsiębiorstw produkcyjnych w Niemczech jest 14% wszystkich odpadów. W tym zakresie Niemcy ponownie przewyższają średnią dla Unii Europejskiej, która osiąga poziom 10%.

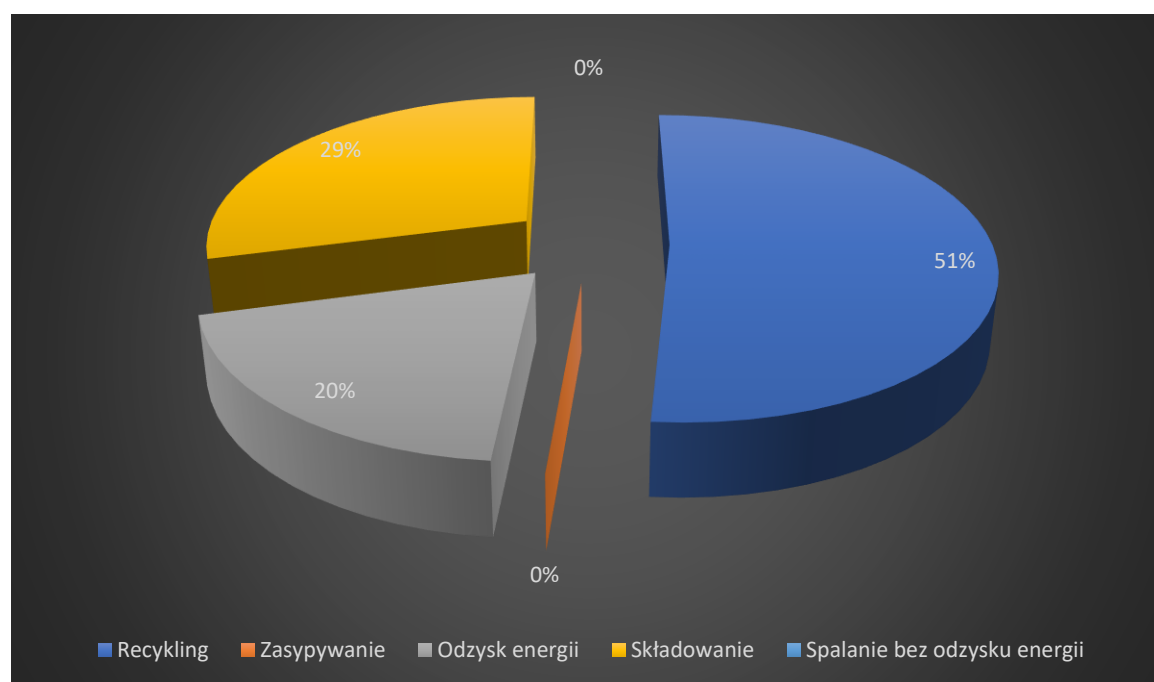
Relatywnie niewielki odsetek odpadów produkowany jest w ramach funkcjonowania takich gałęzi jak:

- Przemysł energetyczny – 3% wszystkich odpadów produkowanych w Niemczech;
- Górnictwo i wydobywanie – 2% wszystkich odpadów produkowanych w Niemczech.

Istotny podkreślenia jest w tym miejscu fakt, że gospodarstwa domowe, zgodnie z danymi zaprezentowanymi na wykresie, odpowiadają za produkcję 9% odpadów.

Na wykresie 2 przedstawiono strukturę zagospodarowania odpadów komunalnych w Niemczech.

Wykres 2. *Struktura zagospodarowania odpadów komunalnych w Niemczech*



Źródło: (www1).

Z danych przedstawionych na wykresie 2 jednoznacznie wynika, że w Niemczech aż 51,4% odpadów poddawanych jest procesowi recyklingu. Jest to odsetek istotnie wysoki, zważywszy na fakt, że średnia dla Unii Europejskiej w tym przypadku kształtuje się na poziomie 37,8%. Podobnie sytuacja wygląda w odniesieniu do odzysku energii. W Niemczech ten sposób zagospodarowania wykorzystywany jest w odniesieniu do 19,5% odpadów, podczas gdy w Unii Europejskiej średnio 5,6% odpadów wykorzystywanych jest w zakresie odzysku energii.

Wysokie wskaźniki recyklingu i odzysku energii w sposób bezpośredni przekładają się na niski odsetek składowania odpadów komunalnych, który kształtuje się na poziomie 29,1% odpadów (średnia dla Unii Europejskiej to 45,7%).

Konkludując informacje przedstawione w niniejszym rozdziale zauważyć należy, że w Niemczech produkowanych jest relatywnie dużo odpadów. Większość z nich jednak poddawana jest procesom recyklingu. Ilość w ten sposób zagospodarowanych odpadów w znacznym stopniu przekracza średnią dla całej Unii Europejskiej, co pozwala relatywnie dobrze ocenić proces zagospodarowania odpadów u naszych zachodnich sąsiadów.

Swego rodzaju wyznacznikiem działań w zakresie gospodarkami odpadami komunalnymi w Niemczech jest „Strategie i koncepcje komunalnej gospodarki odpadów”. Zgodnie z treścią wspomnianej strategii, w zakresie komunalnej gospodarki odpadów dąży się do realizacji następujących celów:

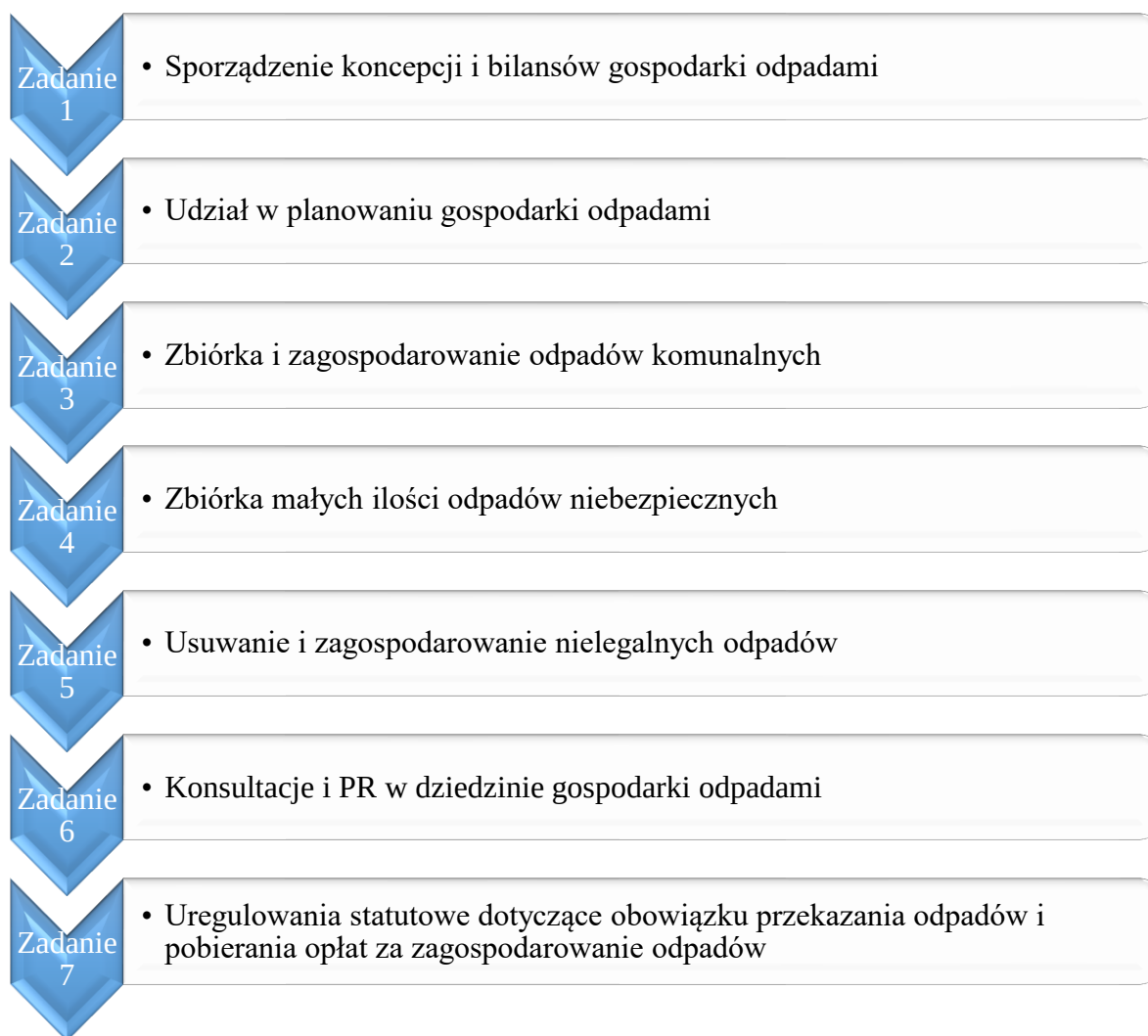
- zapewnienie zbiórki odpadów komunalnych na terenie całego kraju;
- wypełnienie stricte ustawowych obowiązków w odniesieniu do wszystkich zebranych odpadów;
- optymalizacja kosztów zagospodarowania odpadów;
- utworzenie oraz eksploatacja obiektów gospodarki odpadami zgodnie z aktualnym stanem techniki.

Osiągnięcie wyszczególnionych powyżej celów implikuje konieczność realizacji szeregu zadań, zarówno na poziomie krajowym jak również na poziomie gminnym.



Rysunek 8. Zadania kraju w kontekście gospodarki odpadami komunalnymi

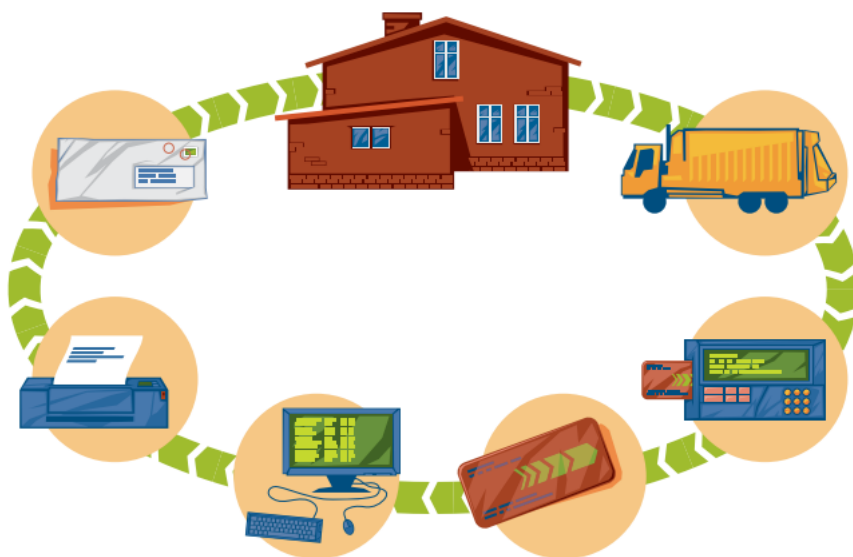
Źródło: opracowanie własne na podstawie (www2).



Rysunek 9. Zadania gmin w kontekście gospodarki odpadami komunalnymi

Źródło: opracowanie własne na podstawie (www2).

Jednym z nadrzędnych rozwiązań w kontekście gospodarowania odpadami komunalnymi, które w ostatnim czasie znalazły zastosowanie w Niemczech (na razie w wybranych jedynie miejscowościach) jest system znakowania pojemników.



Rysunek 10. Schemat cyklu znakowania pojemników

Źródło: (www3)

Pełen cykl odbioru odpadów w przypadku znakowania pojemników obejmuje 6 podstawowych etapów.

Etap 1 – pojemniki przeznaczone do zbiórki śmieci są wyposażane w identyfikator. Gromadzi on dane potrzebne do identyfikacji kontenera. Zazwyczaj na jedną osobę obciążaną kosztami zbiórki przypada jeden identyfikator.

Etap 2 – dane identyfikacyjne są odczytywane podczas (lub przed/po) opróżniania kontenera. Jeżeli miały miejsce jakieś manipulacje (niezarejestrowane pojemniki, użytkownicy odmawiający zapłaty), zostają zgłoszone. Dane zostają następnie przekazane do pojazdu do zbiórki i wywozu śmieci. Istnieje również możliwość sprawdzenia wagi lub wysokości, do której w pojemniku sięgają odpady za pomocą czujników zainstalowanych w pojeździe; dane te są również przekazywane do pojazdu. Oprogramowanie znajdujące się w pojeździe dodaje do otrzymanych danych datę i godzinę, potem tworzy raport uwzględniający wszystkie te informacje i przechowuje go na karcie RAM.

Etap 3 – bloki danych są bezpiecznie przekazywane do oprogramowania biurowego. Transfer jest możliwy nawet po utracie danych dzięki tworzeniu kopii zapasowej.

Etap 4 – przekazane dane są powiązane z bazą danych zawierającą listę wszystkich zarejestrowanych kontenerów i osób korzystających z usługi. Tworzony jest indywidualny rejestr usług otrzymanych przez danego użytkownika.

Etap 5 – wystawiany jest rachunek o kwocie zależnej od ilości usług z których skorzystał dany użytkownik.

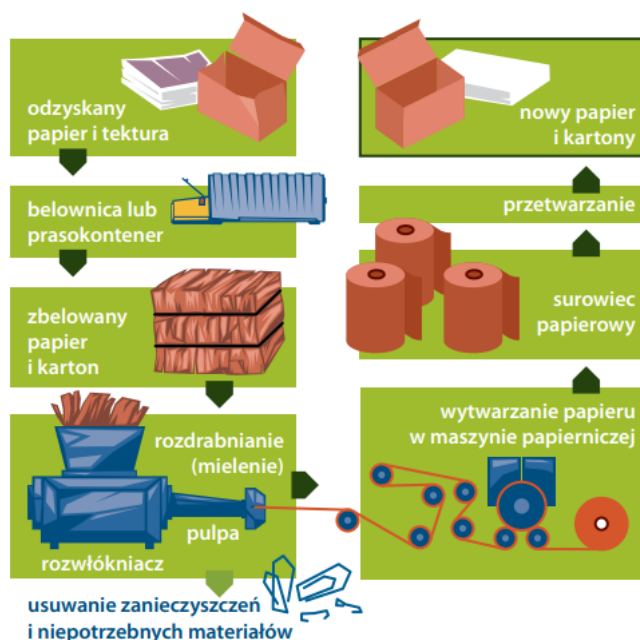
Etap 6 – rachunek wysyłany jest właścicielowi/użytkownikowi opróżnionego pojemnika na odpady.

Wskazane w tym miejscu rozwiązanie generuje szereg korzyści, wśród których na szczególną uwagę zasługują między innymi:

- dostarczane usługi zbiórki oraz wywozu odpadów są w sposób bezpośredni powiązane z określonym pojemnikiem, a co za tym idzie możliwe jest nie tylko wygenerowanie indywidualnego rachunku (który de facto w tej sytuacji jest odzwierciedleniem idei „zanieczyszczający płaci”), ale również zidentyfikowanie osób, które wystawiają śmieci nielegalnie;
- usługi zbiórki oraz wywozu odpadów stają się bardziej przejrzyste i łatwiejsze do rozplanowania.

Sposób postępowania z odpadami zebranymi w ramach selektywnej zbiórki

Jednym z rodzajów odpadów, z których możliwe jest uzyskanie surowca jest makulatura. Schemat procesu odzysku w tym przypadku przedstawiono na rysunku 11.



Rysunek 11. Schemat uzyskiwania surowca z makulatury

Źródło: (www3).

Istotnym podkreślenia jest w tym miejscu, że aby uzyskać surowiec z makulatury o wysokiej jakości, powinna być ona zbierana selektywnie u źródła w ten sposób, by unikać kontaktu makulatury z innymi odpadami mokrymi, tłustymi oraz bioodpadami kuchennymi. Najprostszym sposobem jest zbieranie razem papieru opakowaniowego oraz graficznego. Gromadzenie osobno papieru opakowaniowego i graficznego nie jest jeszcze rozpowszechnione, chociaż jest to najlepszy sposób na uzyskanie wysokiej ceny ze sprzedaży makulatury i zapewnia jej wysoką jakość.

W przypadku recyklingu odpadów papierowych w praktyce zastosowanie znajdują trzy rodzaje technologii:

- podstawowa;
- zaawansowana;
- wysokiej klasy.

Każda z wymienionych powyżej technologii posiada zarówno swoje zalety jak również wady, których zakres w sposób syntetyczny przedstawiony został w tabeli 1.

Tabela 1. Zalety i wady technologii recyklingu papieru stosowanych w Niemczech

Technologia	Zalety	Wady
Podstawowa	• wysoka elastyczność; • niezawodność; • wymaga niskich nakładów kapitałowych; • prostota.	• Stosunkowo niski przerób; • Duże nakłady pracy ludzkiej (potrzebna liczna kadra).
Zaawansowana	• Elastyczność; • Niższe zapotrzebowanie na pracę ludzką w stosunku do technologii podstawowej; • Przerób większy aniżeli ma to miejsce w przypadku technologii podstawowej;	• Większe ryzyko awaryjności; • Konieczność zatrudnienia osób o odpowiednich kwalifikacjach.

	• Zmechanizowane sortowanie wstępne.	
Wysokiej klasy	• Niskie zapotrzebowanie na ponowne przetwarzanie w pielni; • Wysoki przerób; • Proces zautomatyzowany.	• Wymaga dostaw z dużego obszaru; • Kosztowna; • Wymaga wysoko-wykwalifikowanej kadry.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (www3).

Na zakończenie warto nadmienić również, że złożoność procesu recyklingu papieru również uwarunkowana jest zastosowaną technologią. Proces najmniej skomplikowany w swej strukturze charakteryzuje technologię podstawową, w ramach której na działania konieczne składają się:

- Mechaniczne usuwanie frakcji drobnej;
- Ręczne sortowanie makulatury na różne gatunki papieru.

Technologia zaawansowana z kolei obejmuje trzy etapy, w ramach których wyszczególnia się:

- Mechaniczne usuwanie frakcji drobnej;
- Sortowanie makulatury na karton i papier gazetowy;
- Ręczne sortowanie makulatury na różne gatunki papieru.

Najbardziej złożonym procesem recyklingu papieru jest recykling przy wykorzystaniu technologii wysokiej klasy, która w Niemczech stosowana jest w Kolonii. W tym przypadku realizacji wymagają takie działania jak:

- Wstępne usuwanie kartonu;
- Przesiewanie;
- Rozdrabnianie;
- Separowanie (balistyczne i cyklonowe);
- Filtrowanie;
- Zagęszczanie;
- Spulchnianie.

Również odpady szklane mogą z powodzeniem zostać procesom przetworzenia (rysunek 12).



Rysunek 12. Schemat przetwarzania odpadów szklanych w Niemczech

Źródło: (www3).

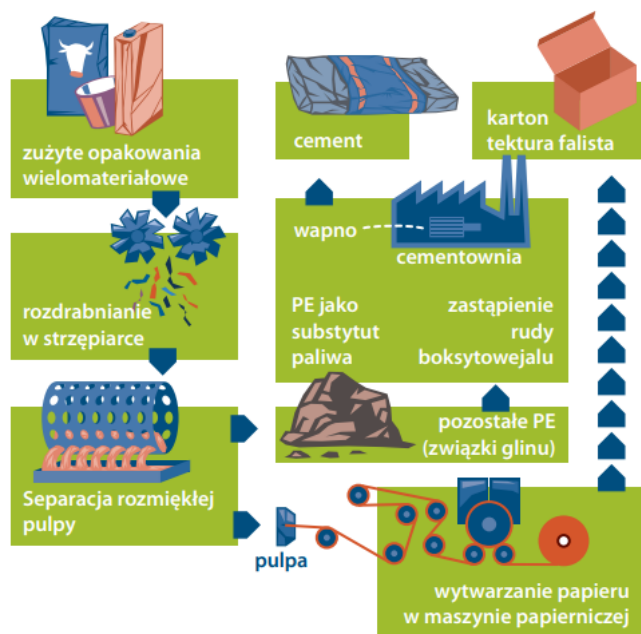
Aby ułatwić otrzymanie wysokiej jakości produktu z recyklingu, szkło pochodzące z odpadów domowych powinno być segregowane według jego barwy. Powszechnie stosowany jest podział barw na: zielony, brązowy oraz biały. Dla każdego z tych kolorów wymagane jest zapewnienie oddzielnego kontenera. Jeżeli stosowany jest prosty recykling oraz wymagania jakościowe są niższe istnieje możliwość zbierania wszystkich barw szkła w jednym kontenerze. Szkło nie opakowaniowe nie powinno być mieszane ze stłuczką butelkową czy słoikową na skutek innego składu chemicznego szkła. Inne niż opakowaniowe rodzaje szkła (np. szkło hartowane, albo płaskie szkło okienne) nie powinny być wrzucane do „dzwonów” do zbiórki szkła, mogą być one segregowane w inny sposób, na przykład poprzez dostarczanie ich jako odpadów wielkogabarytowych w centrach recyklingu.

Schemat recyklingu odpadów z tworzyw sztucznych oraz opakowań wielomateriałowych z kolei przedstawiono na rysunkach 13 oraz 14.



Rysunek 13. Schemat recyklingu odpadów z tworzyw sztucznych

Źródło: (www3)



Rysunek 14. Recykling opakowań wielomateriałowych w Niemczech

Źródło: (www3).

Lekkie materiały po opakowaniach pochodzące z gospodarstw domowych są zbierane zwykle w postaci wymieszanej. W zależności od sytuacji na rynku oraz możliwości i dostępności sortowni, frakcja lekka dzielona jest na następujące grupy:

- opakowania z blachy żelaznej;
- opakowania aluminiowe;
- opakowania wielomateriałowe (kartoniki tetrapack);
- kompozyty z papieru i tektury;
- kolorowe folie z tworzyw sztucznych;
- folie białe;
- inne folie;
- opakowania po napojach z tworzyw sztucznych;
- wyroby wielkogabarytowe z tworzyw sztucznych;
- mieszane tworzywa sztuczne;
- pozostałe metale;
- inne materiały niepodlegające sortowaniu

Istotnym w tym miejscu podkreślenia jest fakt, że instalacje do odzysku odpadów lub ich unieszkodliwiania w Niemczech niejednokrotnie oddalone są znacznie od miejsc zbiórki odpadów. W takich sytuacjach odpady te muszą zostać dotransportowane. W związku jednak z tym, że z ekonomicznego i organizacyjnego punktu widzenia transport odpadów przy wykorzystaniu pojedynczych „śmieciarek” byłby niemożliwy i nieopłacalny, na terenie kraju funkcjonują stacje przeładunkowe, na terenie których realizowany jest proces przeładunku na środki transportu dalekobieżnego. Niektóre z tych stacji dodatkowo łączą proces przeładunku z kompresją odpadów.

Stacje przeładunkowe, z uwagi na zakres oraz specyfikę realizowanych procesów, zobligowane są posiadać odpowiednie zaplecze techniczne. Na zakres podstawowych elementów wyposażenia składają się między innymi:

- śmieciarki, które zbierają odpady oraz pojazdy dalekobieżne, odbierające ten ładunek, w tym między innymi pojazdy z wymiennymi kontenerami lub z nadwoziem stałym;
- prasa do kompresji odpadów.

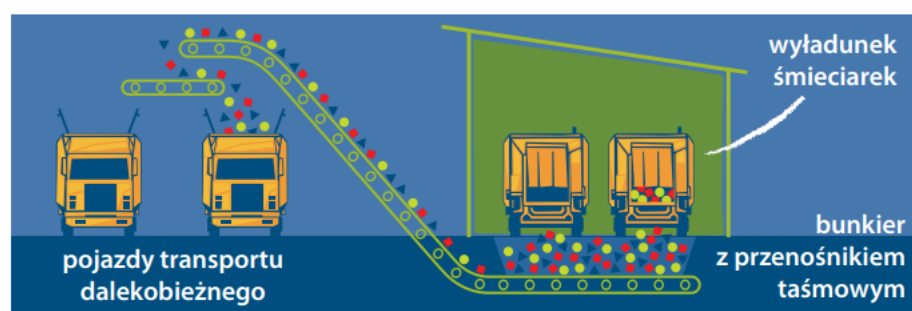
Przeładunek odpadów w praktyce realizowany może być w oparciu o zróżnicowane schematy postępowania. Najprostszy, to przeładunek bezpośredni (rysunek 15).



Rysunek 15. *Przeładowanie odpadów ze śmieciarki bezpośrednio na pojazd transportu dalekobieżnego*

Źródło: (www3).

W procesie przeładunku zastosowanie znajdują również taśmowe środki transportu (rysunek 16).



Rysunek 16. *Przeładowanie odpadów ze śmieciarki na pojazd transportu dalekobieżnego przy wykorzystaniu taśmociągu*

Źródło: (www3).

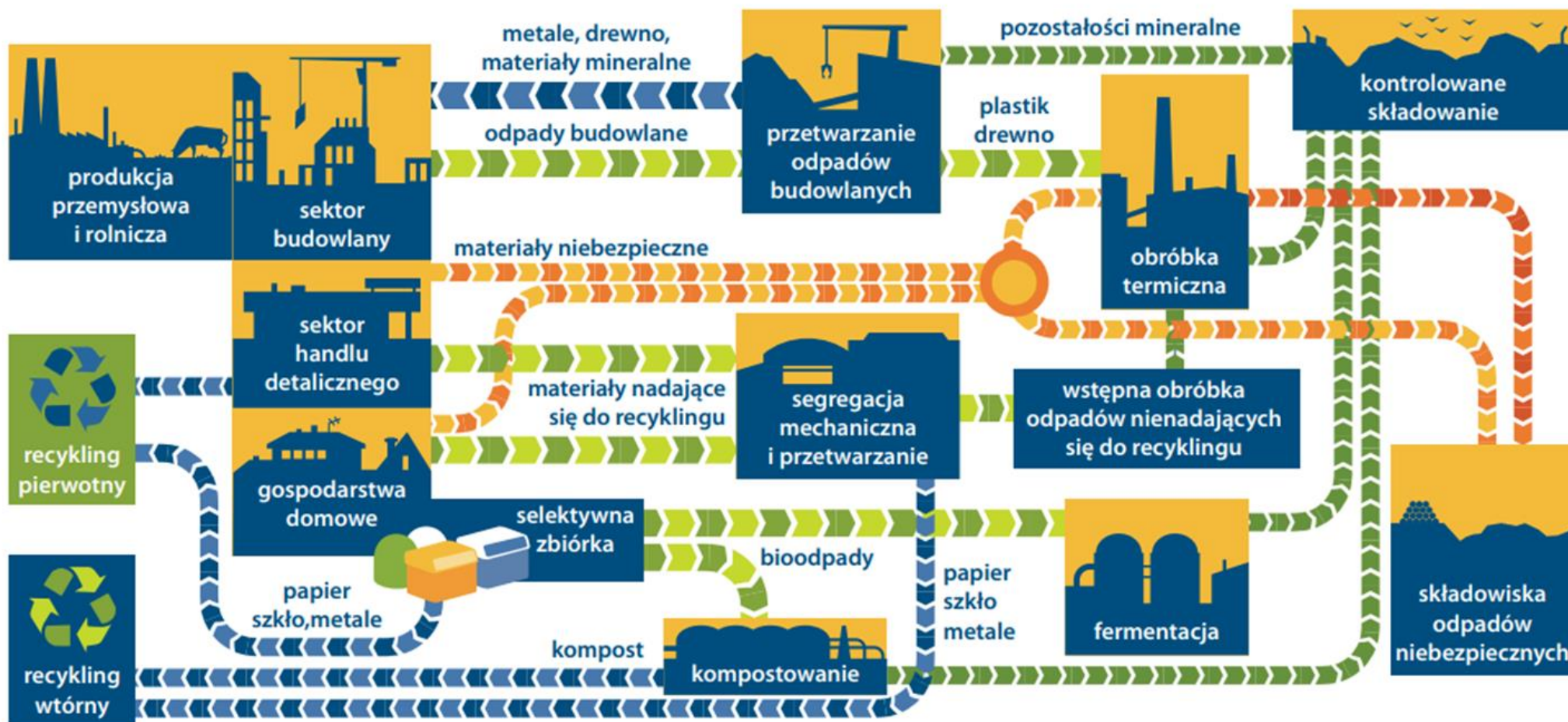
Jak już wspomniano uprzednio, proces przeładunku odpadów w stacjach przeładunkowych może zostać połączony z ich kompresją (rysunek 17).



Rysunek 17.Przeładunek odpadów wraz z ich kompresją (przeładunek pośredni)

Źródło: (www3).

Na zakończenie nadmienić należy, że wszystkie działania podejmowane przez naszych zachodnich sąsiadów w ramach gospodarki odpadami komunalnymi, ukierunkowane są na ukształtowanie idealnych warunków gospodarki odpadami (rysunek 18).



Rysunek 18. Schemat optymalizacji gospodarki odpadami w idealnych warunkach

Źródło:(www4).

2.1.2. Problematyka spalarni odpadów w Niemczech

Wszystkie eksploatowane w Niemczech zakłady termicznego przekształcania odpadów spełniają wymogi europejskiej dyrektywy w sprawie emisji przemysłowych (2010/75/WE). Spalanie odpadów z gospodarstw domowych i innych odpadów komunalnych w Niemczech posiada długą tradycję. W tym celu funkcjonuje ponad 100 spalarni odpadów komunalnych (MVA) o rocznej przepustowości wynoszącej ponad 27 milionów ton. Wszystkie istniejące spalarnie odpadów wykorzystują powstałą energię jako energię elektryczną, parę technologiczną i/lub wykorzystuje się je dla potrzeb ciepłownictwa. Ogólna efektywność energetyczna wynosi średnio około 50 procent. Eksperci podkreślają jednak, że gdyby poszczególne lokalizacje elektrowni były ze sobą lepiej połączone, istniejące elektrownie mogłyby emitować znacznie więcej energii w postaci pary, na przykład dla potrzeb ciepłownictwa. Większość instalacji opartych na tak zwanym mokrym oczyszczaniu spalin funkcjonuje bez konieczności zużywania ścieków. Z reguły powstały popiół z rusztu jest wykorzystywany do budowy dróg i ścieżek. Ponadto, metale żelazne i nieżelazne są odzyskiwane z popiołów paleniskowych i poddawane recyklingowi (www5).

Oprócz współspalania w istniejących już spalarniach przemysłowych w Niemczech działa obecnie około 30 elektrowni na tak zwane paliwa zastępcze. Ich roczna zdolność produkcyjna wynosi około 4,7 milionów ton. Powyższe instalacje są specjalnie zaprojektowane do wykorzystania paliw alternatywnych, czyli do wykorzystywania średnio albo wysokokalorycznych przetworzonych odpadów. Elektrownie typu RDF są zlokalizowane oraz połączone z innymi zakładami przemysłowymi. Zaopatrują te zakłady przemysłowe w ciepło procesowe lub energię elektryczną, zastępując w ten sposób konieczne w innych przypadkach wytwarzanie ciepła i energii elektrycznej ze standardowych paliw (na przykład węgla, ropy naftowej oraz gazu) (www5).

Cechą zdecydowanej większości spalarni odpadów w Niemczech jest fakt, że są one zarządzane w ramach porozumień kilku sąsiadujących ze sobą jednostek samorządowych. Poszczególne samorządy decydują się na współpracę, aby razem budować instalacje spalarni odpadów, aby dzięki nim utylizować stosowne śmieci pochodzące właśnie z tego obszaru geograficznego. Innym elementem charakteryzującym system spalarni odpadów komunalnych na terenie Niemiec jest bardzo duża przejrzystość. Należy zauważyć, że w kraju tym działa około 100 spalarni odpadów komunalnych, często położonych w bezpośredniej bliskości dużych osiedli i mimo tego, ewentualne protesty lokalnej ludności są znikome. Wynika to z tego, że podczas ich funkcjonowania, prezentowane są na bieżące specjalistyczne raporty, które

przekazują zainteresowanym jakie rodzaje zanieczyszczeń, a także w jakiej ilości są wytwarzane i wypuszczane do atmosfery z poszczególnych spalarni. W praktyce, każda osoba mieszkająca nieopodal takich spalarni ma możliwość wejścia na jej teren i uzyskania informacji odnośnie tego, jak funkcjonuje dana instalacja. Dzięki takiej dużej przejrzystości działalności, istnienie spalarni odpadów komunalnych w niemieckim społeczeństwie jest powszechnie akceptowalne.

Pośród wielu zakładów termicznego przekształcania odpadów komunalnych jedną z najbardziej efektywnych jest ta położona w Monachium. Zakład ten jest przedstawiony na rysunku 19.



Rysunek 19. Spalarnia odpadów komunalnych w Monachium

Źródło: (www6)

Powyższa niemiecka metropolia cechuje się relatywnie niskim – jak na standardy europejskie – wskaźnikiem ilości tworzonych przez lokalnych mieszkańców odpadów. Zgodnie z danymi za 2019 rok, ilość śmieci przypadających na każdego mieszkańca to około 460 kilogramów rocznie. Około 44 procent powyższej masy poddawane jest recyklingowi, około 49 procent jest spalana, następnie około 6 procent podlega kompostowaniu, a jedynie 1 procent odpadów jest deponowanych na tradycyjnych składowiskach. W bezpośredni sposób przekłada się to na możliwości jakie posiada monachijski zakład termicznego przetwarzania odpadów, czyli Müllheizkraftwerk – München Nord. Zakład ten jest w stanie spalać 2029 ton wkladu w ciągu każdego dnia. Jeżeli przeliczy się to na wielkości roczne to opisywana spalarnia jest w stanie przetworzyć około 700 tysięcy ton odpadów komunalnych. Zakład ten działa jako

elektrociepłownia, która ze spalanych odpadów komunalnych produkuje ciepło, jakie zaopatruje Monachium. Ciepło to jest wykorzystywane między innymi do podgrzewania wody dostarczanej do jego mieszkańców. Spalarnia ta charakteryzuje się także bardzo wysokim wskaźnikiem konwersji energii – na poziomie 0,41 MWh energii elektrycznej, a także 2,57 MWh ciepła jakie pochodzi z jednej tony zutylizowanych odpadów komunalnych (www7).

2.2. Ocena systemu logistyki zwrotnej odpadów w Hiszpanii

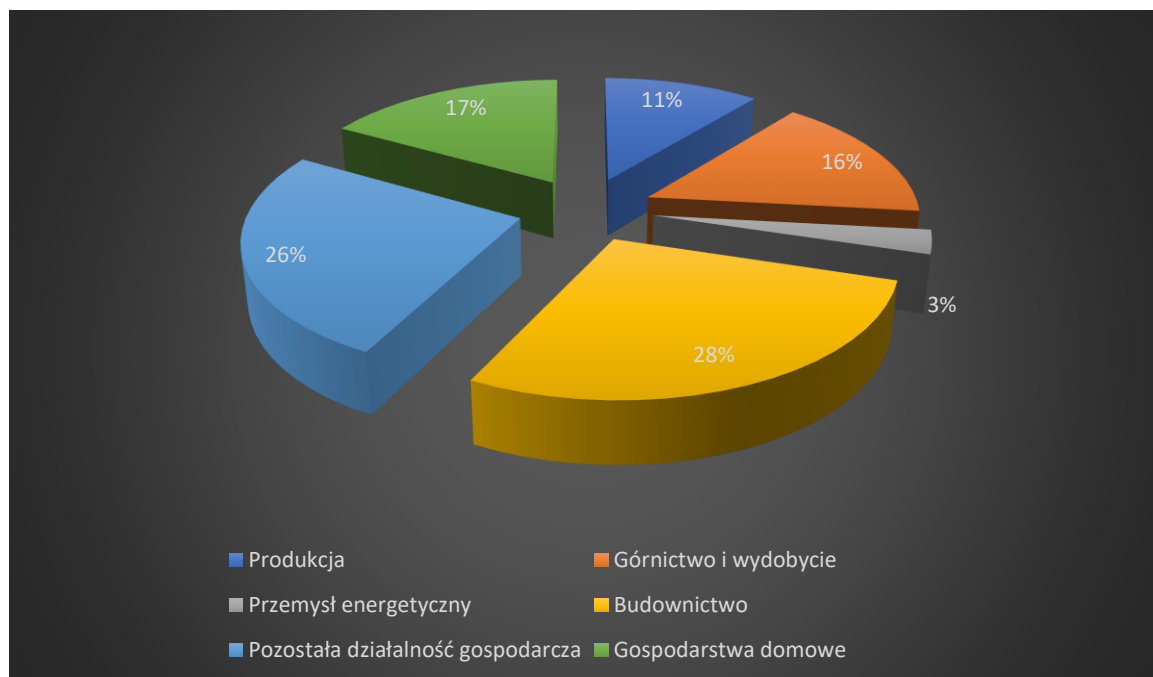
2.2.1. Gospodarowanie odpadami w Hiszpanii

W Hiszpanii, podobnie jak w Niemczech, odpady produkowane są w głównej mierze w takich sektorach jak:

- Produkcja;
- Górnictwo i wydobywanie;
- Przemysł energetyczny;
- Gospodarstwa domowe;
- Budownictwo;
- Pozostała działalność gospodarcza.

Struktura powstawania odpadów w sposób uwzględniający źródła ich pochodzenia w Hiszpanii przedstawiona została na wykresie 3.

Wykres 3. Struktura powstawania odpadów w Hiszpanii wg źródeł ich pochodzenia (dane w %)



Źródło: Opracowanie własne na podstawie: (www8).

Z danych przedstawionych na wykresie 3 jednoznacznie wynika, że w Hiszpanii najwięcej odpadów wytwarzanych jest w ramach funkcjonowania przedsiębiorstw stricte budowlanych. Odsetek generowanych w tym obszarze odpadów kształtuje się na poziomie 28% (dla porównania, w Niemczech w tym obszarze wytwarzanych jest 55% odpadów, natomiast w Unii Europejskiej 36% odpadów).

Pozostała działalność gospodarcza (nie uwzględniona na wykresie) w Hiszpanii odpowiada za generowanie 26% odpadów, podczas gdy średnia dla UE kształtuje się na w tym zakresie na poziomie 16%.

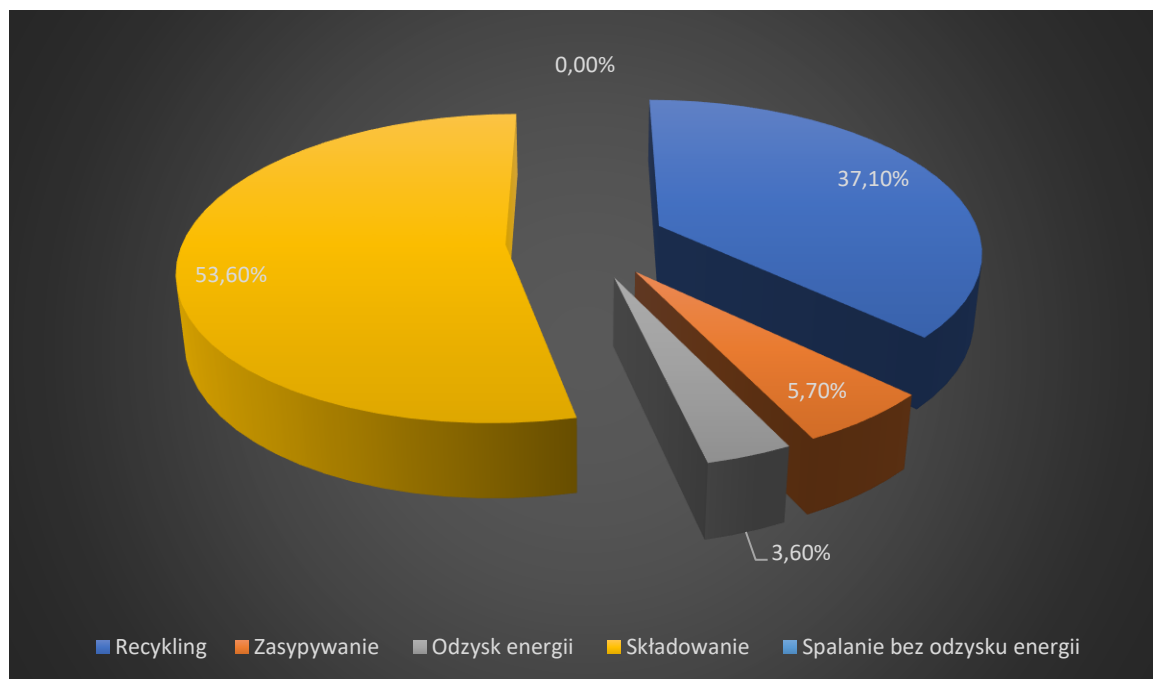
Szczególną uwagę w przedmiotowym przypadku zwrócić należy na ilość odpadów wytwarzanych przez gospodarstwa domowe. W Hiszpanii wspomniane gospodarstwa odpowiadają za wytwarzanie 17% odpadów (w Niemczech ilość odpadów wytwarzanych przez gospodarstwa domowe kształtowała się na poziomie 9%, a w Unii Europejskiej na poziomie 8%).

Wśród metod zagospodarowania odpadów w Hiszpanii zastosowanie znajdują (wykres 4):

- Recykling;
- Zasypywanie;

- Odzysk energii;
- Składowanie;
- Spalanie bez odzysku.

Wykres 4. *Struktura zagospodarowania odpadów komunalnych w Hiszpanii (dane w %)*



Źródło: Opracowanie własne na podstawie (www8).

W Hiszpanii największy odsetek odpadów podlega procesom składowania. Recykling stosowany jest zaledwie w odniesieniu do 37,1% odpadów.

Fundamentem zarządzania gospodarką odpadami komunalnymi w Hiszpanii (oprócz stricte unijnych przepisów) jest Hiszpańska strategia gospodarki o obiegu zamkniętym. We wspomnianej strategii sformułowano zarówno cel nadrzędny jak również cele szczegółowe, jakie Hiszpania planuje osiągnąć w perspektywie do 2030 roku.

Cel strategiczny w tym przypadku zakłada podniesienie wydajności materiałowej o 30% względem danych z roku 2015.

Na zakres celów szczegółowych składają się natomiast:

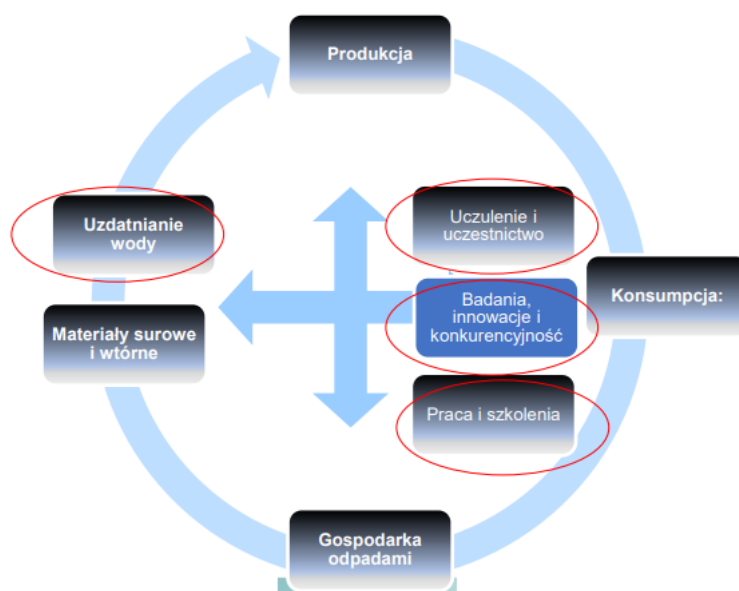
- Promocja badań i innowacji w sektorach publicznym i prywatnym, a w szczególności warunków współpracy publiczno-prywatnej, jako napędu przemian w kierunku wydajnego i trwałego społecznie modelu gospodarki o obiegu zamkniętym, umożliwiającej rozwój i transfer wiedzy, oraz przyjęcie technologii przełamujących dominujący model linearny;

- Konsolidacja polityki zatrudnienia sprzyjającej sprawiedliwemu i solidarnemu przejściu do gospodarki o obiegu zamkniętym, określenie nowych źródeł zatrudnienia i stworzenie im możliwości;
- Promocja wskaźników oddziaływania społecznego i środowiskowego na podstawie działalności podmiotów gospodarczych, pozwalających na ocenę ich działania szerszą niż korzyści ekonomiczne i jako konsekwencji ich przystąpienia do gospodarki o obiegu zamkniętym;
- Promocja użycia wspólnych wskaźników, dostępnych i przejrzystych, które będą informować o wdrożeniu gospodarki o obiegu zamkniętym;
- Uświadamianie społeczeństwa, że konieczne jest porzucenie gospodarki linearnej na rzecz cyrkulacyjnej, promowanie przejrzystości procesów, świadomości i uczulenia obywateli;
- Umożliwienie i promowanie tworzenia właściwych kanałów pozwalających na wymianę informacji i koordynację z administracją publiczną, środowiskiem naukowo-technicznym oraz przedstawicielami grup gospodarczych i społecznych, dla wprowadzenia synergii sprzyjającej zmianom;
- Promocja odpowiedzialnego modelu konsumpcji, opartego na przejrzystości informacji na temat cech produktów i usług, ich trwałości i wydajności energetycznej, przez użycie takich środków, jak eko-oznaczenia;
- Promocja innowacyjnych form zrównoważonej konsumpcji , obejmującej trwałe produkty i usługi, jak również cyfrową infrastrukturę i usługi;
- Sformułowanie wytycznych, które rozwijają innowacje i globalną wydajność procesu technologicznego, przez zastosowanie środków takich, jak systemy gospodarki środowiskowej;
- Sprzyjanie skutecznemu zastosowaniu zasady hierarchizacji odpadów , zapobieganie ich powstawaniu i promocja powtórnego wykorzystania, rozwój recyklingu, użycie energii z odpadów nie nadających się do recyklingu i śledzenie ich obiegu. Wszystko to wpływa na ograniczenie składowania odpadów w środowisku i, w konsekwencji, zmniejsza spływ odpadów do mórz;
- Stworzyć warunki, by można było przedłużyć funkcjonowanie na rynku gospodarczej wartości produktów, materiałów i zasobów i zminimalizować liczbę odpadów. Wzmacniać analizę cyklu życiowego produktów, wprowadzać kryteria ekoprojektowania, które obniży udział substancji szkodliwych w produkcji, ułatwi

naprawianie produktów i ich powtórne użycie, przedłużyć okres eksploatacji i umożliwić odzysk po zakończeniu tejże;

- Ochrona środowiska lądowego i morskiego i jego bioróżnorodności poprzez:
 - ✓ zapewnienie zdrowia ludzi dzięki ograniczeniu zużycia nieodnawialnych surowców naturalnych,
 - ✓ powtórne wprowadzenie do cyklu produkcji materiałów odpadowych jako surowców wtórnych, c
 - ✓ umożliwienie przejścia od linearnego do zamkniętego modelu produkcji w 2030 roku, co ma się przyczynić do osiągnięcia trwałości.

Na rysunku 20 przedstawiono schemat obiegu odpadów komunalnych w Hiszpanii zgodny z założeniami omawianej strategii.



Rysunek 20. Hiszpańska strategia gospodarki o obiegu zamkniętym

Źródło: (www9).

Podmioty zaangażowane w realizację celów hiszpańskiej strategii gospodarki o obiegu zamkniętym:

- Grupa Ministerialna gospodarki o obiegu zamkniętym;
- Grupa Robocza z Regionami i FEMP;
- Ministerstwo Spraw Wewnętrznych;
- Ministerstwo pracy, migracji i ubezpieczeń społecznych;

- Ministerstwo Rolnictwa, Rybołówstwa i Żywności;
- Ministerstwo Zdrowia, Konsumentów i Opieki Społecznej;
- Ministerstwo Finansów;
- Ministerstwo Nauki, Innowacji i Szkolnictwa Wyższego;
- Ministerstwo Rozwoju;
- Ministerstwo Przemysłu, Handlu i Turystyki;
- Ministerstwo Środowiska;
- Ministerstwo Edukacji i Szkolnictwa Zawodowego;
- Urząd Prezesa Rady Ministrów.

Omawiając istotę gospodarki odpadami komunalnymi w Hiszpanii bez wątpienia wspomnieć należy, że jednym z bardziej innowacyjnych rozwiązań wdrożonych w tym kraju jest system pneumatycznej zbiórki odpadów. Systemy takie zlokalizowane są obecnie w sumie w 38 miejscach w całym kraju.

Pneumatyczny system zbiórki oraz wywozu odpadów w Hiszpanii znajduje zastosowanie głównie w miejscach gęsto zabudowanych. Ponadto swoją rolę i pokładane w nim nadzieje spełnia również:

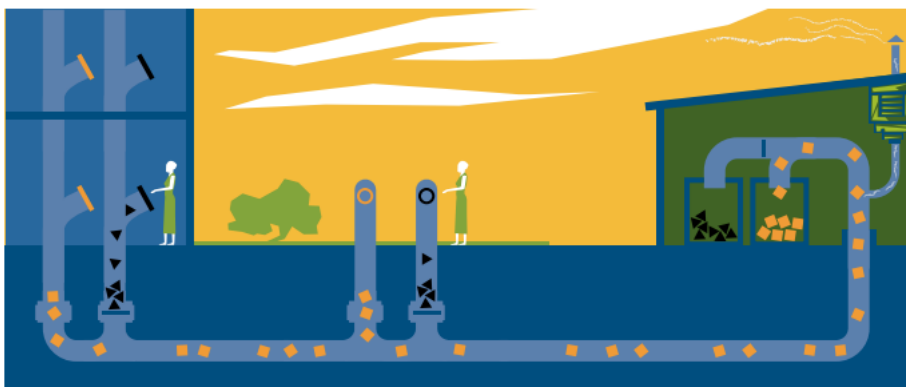
- W miejscach, gdzie konieczna jest stała zbiórka oraz wywóz odpadów (lotniska, duże budynki biurowe, szpitale);
- W miejscach, gdzie kładzie się duży nacisk na walory estetyczne otoczenia.

Pneumatyczny system zbiórki oraz wywozu odpadów można zastosować do zbiórki następujących frakcji odpadów:

- Odpady zmieszane;
- Papier, karton;
- Szkło;
- Opakowaniowa frakcja lekka;
- Bioodpady.

Pneumatyczny system zbiórki i wywozu odpadów w praktyce funkcjonowania występuje w dwóch podstawowych formach:

- Stacjonarny system pneumatycznej zbiórki odpadów, w ramach którego śmieci są wpychane pod ciśnieniem do kontenera rolkowego (rysunek 14);
- System mobilny, w przypadku którego pojazdy przystosowane do zbiórki zasysają odpady z bunkra przejściowego (rysunek 21).



Rysunek 21. Schemat działania stacjonarnego systemu pneumatycznej zbiórki odpadów

Źródło: (www8).



Rysunek 22. Schemat działania mobilnego systemu pneumatycznej zbiórki odpadów

Źródło: (www8).

System transportu odpadów w systemach pneumatycznych nie jest jedynym aspektem, który odróżnia to rozwiązanie od rozwiązań stricte tradycyjnych. Konieczne jest bowiem również zamontowanie odpowiednich punktów zrzutu, które zlokalizowane mogą być zarówno wewnątrz budynków jak również na zewnątrz (rysunek 23).



Rysunek 23. Punkty zrzutu (zewnętrzne) dedykowane pneumatycznym systemom zbiórki transportu

Źródło: (materiały własne).

Na zakończenie, jak już wspomniano uprzednio, wdrożenie pneumatycznego systemu zbiórki i transportu odpadów komunalnych stanowi o konieczności zastosowania odpowiedniego do tego rozwiązania pojazdu (rysunek 24).



Rysunek 24. Pojazd do próżniowej zbiórki odpadów

Źródło: (materiały własne).

Istotnym podkreślenia jest również fakt, że obok stricte nowoczesnych rozwiązań, w Hiszpanii zastosowanie znajdują również rozwiązania tradycyjne, przy czym, w przeciwieństwie do Polski, w tym kraju kładzie się duży nacisk na ich stosowanie. Mowa tu o pojemnikach, koszach i kontenerach na odpady segregowane, które w Hiszpanii znajdują się nie tylko na terenie przedsiębiorstw i gospodarstw domowych, ale również w przestrzeni publicznej.



Rysunek 25. Pojemniki na odpady segregowane w Hiszpanii

Źródło: (www10).

Pojemniki na odpady segregowane w Hiszpanii mają taką samą kolorystykę jak w Polsce, co ułatwia segregację odpadów potencjalnym turystom. Najczęściej ulokowane są one w osi jezdni a ich ilość i rozmieszczenie umożliwiają korzystanie z jednego punktu zbiórki odpadów kilku gospodarstwom. Takie rozwiązanie w znacznym stopniu upraszcza również proces odbioru odpadów przez wyspecjalizowane firmy. Zamiast (jak ma to miejsce de facto w Polsce) odbierać tysiące małych pojemników na śmieci od każdego jednego gospodarstwa domowego i przedsiębiorstwa, firma odbiera „zbiorcze” duże pojemniki. Jest to również o tyle ważne i efektywne rozwiązanie, że również przechodnie, którzy w trakcie spaceru chcieli by wyrzucić jakiś odpad (np. butelka po napoju), mogą go wyrzucić do dedykowanego pojemnika. W Polsce takiej możliwości nie ma. Jeśli już nawet w mieście są rozmieszczone miejskie kosze na śmieci, to są to kosze nie przystosowane do segregacji, a co za tym idzie skutecznie zwiększa się ilość odpadów zmieszanych.



Rysunek 26. Kosze na odpady segregowane rozmieszczone na jednej z plaż Hiszpanii

Źródło: (www10).

Problemy ze zbiorem odpadów w Hiszpanii (www10):

- niedostateczna koordynacja pomiędzy trzema poziomami administracji;
- brak przeniesienia zadań na instytucje lokalne;
- brak opracowanych i wdrożonych instrumentów egzekucji;
- brak instrumentów stricte narodowych, takich jak między innymi:
 - ✓ podatek od składowania odpadów;
 - ✓ podatek od spalania odpadów;
- brak synchronizacji obowiązków segregacji w regionach i instytucjach lokalnych.

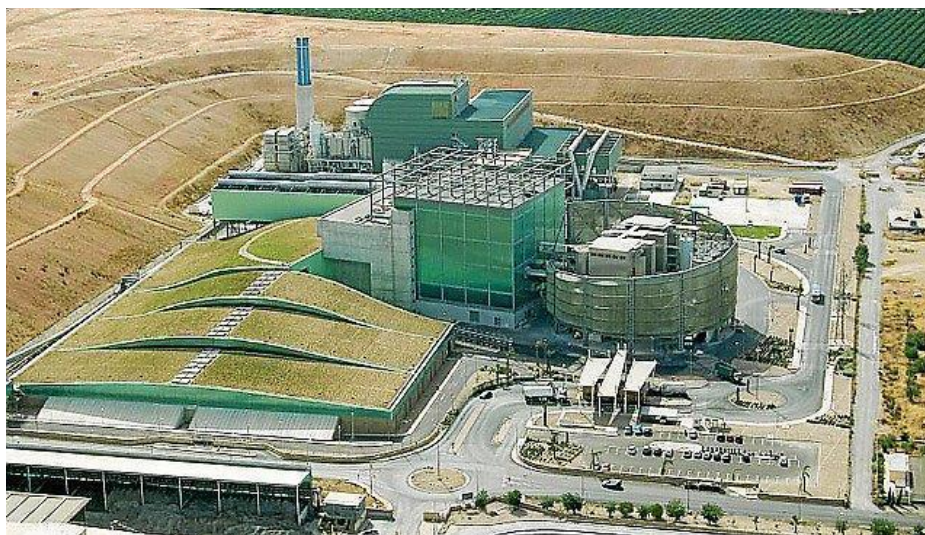
Potencjalne kierunki usprawnień (www10):

- nałożenie na społeczeństwo obowiązku segregowania bioodpadów;
- konieczność opracowywania corocznego raportu przez Ministerstwo Środowiska, którego to raportu produktem będzie analiza wykonania zadań przez Regiony;
- obowiązkowe wskaźniki odpadów dla gospodarstw domowych;

- wprowadzenie jednorodnego podatku od usuwania odpadów;
- opracowanie wiążących celów dla instytucji lokalnych (w tym również określenie potencjalnych sankcji za ich niewykonanie);
- wprowadzenie systemu pomocy technicznej Ministerstwa Środowiska dla instytucji lokalnych w celu usprawnienia gospodarki komunalnej.

2.2.2. Problematyka spalarni odpadów w Hiszpanii

Jeden z bardziej interesujących przykładów termicznego zagospodarowania odpadów komunalnych (spalarni) obserwowany jest na położonej bezpośrednio u wybrzeży Hiszpanii wyspie Majorce. Sam fakt, że ma się tutaj do czynienia z wyspą, a w związku z tym z terenem zupełnie odseparowanym od kontynentu, skutkuje pewnymi utrudnieniami. Co jednak interesujące, powyższa jedynie pozorna komplikacja w istotny sposób determinuje równocześnie konieczność rozwijania takich technologii, które umożliwiają unieszkodliwianie odpadów komunalnych bezpośrednio na tej wyspie. Powyższą alternatywą okazała się właśnie budowa spalarni odpadów komunalnych (to jest zakładu termicznego przekształcania tych odpadów) (www6). Instalacja ta jest przedstawiona na kolejnym rysunku 27.



Rysunek 27. Spalarnia odpadów komunalnych na Majorce

Źródło: (www6).

Mowa tutaj o elektrociepłowni Son Reus, która położona jest w miejscowości Palma de Mallorca. Zakład ten w skuteczny sposób redukuje masę odpadów, które są składowane na wyspie – aż o 92 procent – generując równocześnie ilość energii elektrycznej, która to pozwala

na zaspokajanie potrzeb energetycznych zarówno Majorki, jak również dodatkowo Minorki na poziomie 4,7 procent. Powyższy zakład w każdym roku utylizuje około 200 tysięcy ton odpadów komunalnych, a ponadto 6 tysięcy ton osadów ściekowych, 3 tysięcy ton odpadów sanitarnych, a także około 150 tysięcy ton alternatywnego paliwa typu RDF. Omawiana elektrociepłownia złożona jest z czterech bloków – dwa najstarsze modele cechują się wydajnością na poziomie 18,75 ton odpadów na godzinę, z kolei dwa nowe modele bloków – 27 ton w czasie godziny (www12).

2.3. Ocena systemu logistyki zwrotnej odpadów w Czechach

2.3.1. Gospodarowanie odpadami w Czechach

W Republice Czeskiej, wszelkie kwestie związane z opakowaniami i unieszkodliwianiem odpadów opakowaniowych reguluje Ustawa o opakowaniach 477/2001 (Zakon 477/2001 Sbirky o Obalech).

Ustawa o opakowaniach zobowiązuje wszystkich przedsiębiorców wprowadzających odpady opakowaniowe do obrotu na terytorium Republiki Czeskiej do zapewnienia odbioru materiałów opakowaniowych. Obowiązują limity dotyczące zarówno ilości jak i sprzedaży. Przedsiębiorcami wprowadzającymi odpady opakowaniowe do obrotu są, między innymi, producenci, przedsiębiorcy prowadzący sprzedaż detaliczną (w tym za pośrednictwem internetu) lub podmioty butelkujące z siedzibą w Republice Czeskiej. Aby podlegać powyższemu obowiązkowi, spółki zagraniczne, importujące produkty do Republiki Czeskiej i prowadzące ich sprzedaż bezpośrednio na rzecz użytkowników końcowych, muszą posiadać co najmniej oddział lub placówkę handlową w Republice Czeskiej bądź nadany czeski numer identyfikacji podatkowej. Jednakże, spółki prowadzące działalność w sektorze B2B oraz wprowadzające towary do obrotu na terytorium Republiki Czeskiej jako pierwsi przedsiębiorcy wprowadzający opakowania do obrotu, również podlegają takiemu obowiązkowi.

W Republice Czeskiej obowiązuje wymóg odbioru wszystkich odpadów wytworzonych w kraju, niezależnie od tego, czy są to opakowania z gospodarstw domowych czy opakowania przemysłowe, a także niezależnie od ich składu materiałowego.

Przedsiębiorcy wprowadzający opakowania do obrotu na terytorium Republiki Czeskiej, objęci powyższym obowiązkiem, mogą utworzyć prywatny system zwrotu opakowań bądź przystąpić do istniejącego, monopolistycznego systemu EKO-KOM. Interesem prowadzi

działalność w Republice Czeskiej, jednakże nie obsługuje prywatnego systemu zbiórki odpadów.

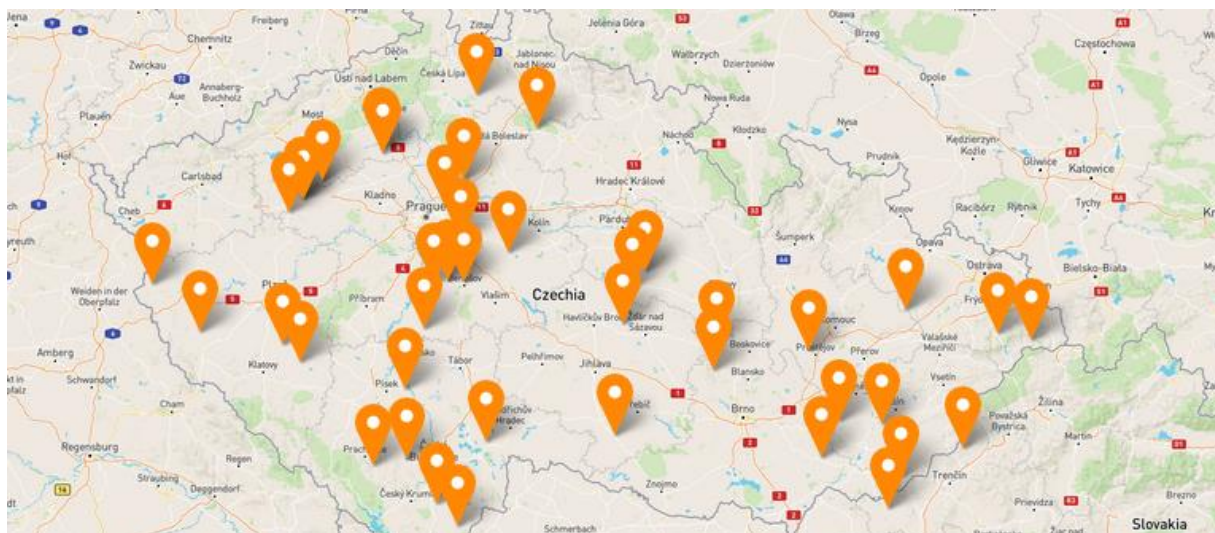
Nie obowiązuje wymóg licencjonowania z mocą wsteczną. Istnieje jednak możliwość przeniesienia odpowiedzialności za odbiór odpadów opakowaniowych w ramach łańcucha wartości – na podstawie umowy, zazwyczaj w zależności od wielkości i zdolności negocjacyjnych spółki (dotyczy to również spółek zagranicznych).

Niestosowanie się do powyższych przepisów skutkuje nałożeniem kar pieniężnych o różnej wysokości, w zależności od wagi naruszenia.

2.3.2. Problematyka spalarni odpadów w Czechach

Obecnie na terenie Czech działa około czterdziestu obiektów, które wykorzystują odpady komunalne w celach energetycznych (zarówno w kontekście energii elektrycznej, jak i energii cieplnej). Spalanie odpadów komunalnych pozwala na wytwarzanie energii cieplnej, która jest wykorzystywana albo do ogrzewania budynków (centralne zaopatrzenie w ciepło w miastach), albo jest źródłem do produkcji pary, a następnie energii elektrycznej. Spalanie odpadów komunalnych w Czechach nie jest jeszcze szczególnie rozległe. W kraju tym spalanych jest co miesiąc około 77 tysięcy ton odpadów, co stanowi jedynie ułamek całkowitej produkcji odpadów. Jednakże w przyszłości spodziewana jest rozbudowa obecnych spalarni i tworzenie nowych. Obecnie w Czechach działa kilka dużych spalarni, jak na przykład w Pradze, Brnie czy też w Libercu. Pierwsza spalarnia została zbudowana w Brnie już w 1905 roku. Z drugiej strony, jednak z najnowszych spalarni, znajduje się w Chotíkovie koło Pilzna (www12).

Lokalizacje spalarni odpadów na terenie Czech są przedstawione na rysunku 28.



Rysunek 28. Lokalizacja spalarni odpadów w Czechach

Źródło: www13.

Kilka z czeskich spalarni zostanie dokładniej omówiona. Spalarnia w Brnie (obecnie nazywana jako SAKO Brno, a.s.), budowana była w latach 1984-1989. Całkowita pojemność starej spalarni wynosiła 240 tysięcy ton odpadów komunalnych rocznie, lecz nigdy nie został w pełni wykorzystany. Na początku XXI wieku spalarnię poddano gruntownej przebudowie. Zbudowano wówczas dwie zupełnie nowe linie spalania odpadów, zwiększając tym samym wydajność spalarni SAKO do poziomu 248 tysięcy ton odpadów komunalnych rocznie. W ramach projektu wybudowana została zupełnie nową skraplarnia pary ekstrakcyjnej. Budynek ten został wyposażony również w tym kontekście w turbinę o mocy 22,7 MW, która to umożliwia pracę spalarni z optymalną wydajnością nawet w okresach przy minimalnym zużyciu ciepła. Po odbudowie spalarnia pracuje nieprzerwanie od jesieni 2011 roku (www14).

Pierwsze prace projektowe przy budowie nowej spalarni do unieszkodliwiania stałych odpadów komunalnych w Pradze rozpoczęto jeszcze pod koniec lat 70 XX wieku. W 1987 roku prace projektowe zostały ukończone, zaś we wrześniu 1988 roku rozpoczęto właściwą budowę. Po wielu perypetiach – jak oficjalna nazwana wskazuje – „Urządzenia do energetycznego wykorzystania odpadów” ZEVO Malešice zostały wprowadzone do eksploatacji jesienią 1998 roku. Spalarnia przeszła gruntowną modernizację na początku XXI wieku. Przebudowa ta podejmowana była w zakresie oczyszczania spalin oraz budowy jednostki kogeneracyjnej. Uruchomiono turbinę o mocy 17,6 MW, która została oddana do użytku w 2010 roku. Suma przepustowość wynosi 330 tysięcy ton odpadów komunalnych stałych rocznie. Kolejna nowoczesna spalarnia odpadów komunalnych została uruchomiona w Czechach na terenie Liberca. Jej budowę rozpoczęto w 1997 roku, zaś w 2000 roku spalarnię oddano do stałej

eksploatacji. Obiekt ten został zaprojektowany na przepustowość 96 tysięcy ton odpadów rocznie. W spalarni zainstalowany jest sprzęt do produkcji energii elektrycznej o mocy zainstalowanej 4,5 MW (www14).

Potencjał czeskich spalarni odpadów komunalnych za ostatnie dekady jest przedstawiony w poniższej tabeli 2.

Tabela 2. Potencjał czeskich spalarni odpadów komunalnych

Rok	Spotřeba odpadu	Energie v palivu	Hrubá výroba elektriny	Hrubá výroba tepla	Dodávka tepla
	tuny	GJ	MWh	GJ	GJ
1989	44 685	446 850	0	285 032	236 670
1990	65 550	655 500	0	351 373	291 755
1991	57 710	577 100	0	351 913	292 204
1992	82 200	822 000	0	535 129	444 333
1993	101 800	1 018 000	0	756 809	628 401
1994	156 425	1 564 250	0	1 089 957	905 023
1995	163 115	1 631 150	0	1 118 266	928 529
1996	171 000	1 710 000	0	1 231 627	1 022 656
1997	174 127	1 741 270	0	1 141 683	947 973
1998	244 535	2 332 468	452	1 783 081	1 548 523
1999	284 646	2 686 041	1 232	2 378 529	2 081 616
2000	333 572	3 189 771	12 983	2 754 663	2 413 923
2001	382 025	3 700 991	14 316	2 955 598	2 279 454
2002	403 178	3 908 360	16 346	3 187 952	2 503 830
2003	407 820	4 059 704	16 063	3 274 656	2 521 426
2004	409 288	4 231 096	16 800	3 266 590	2 500 987
2005	388 303	3 957 253	17 767	3 136 075	2 434 011
2006	391 930	3 779 298	18 825	3 175 902	2 505 165
2007	391 620	4 157 201	20 009	3 188 318	2 566 791
2008	376 381	4 051 875	19 495	3 115 170	2 489 048
2009	360 399	3 744 411	18 237	2 764 583	2 296 097
2010	469 003	4 390 850	59 522	2 969 446	1 687 330
2011	613 082	5 642 990	152 601	3 501 330	2 265 848
2012	634 280	5 935 567	147 275	3 620 098	2 438 121
2013	637 627	5 911 966	143 244	3 756 871	2 442 814
2014	642 806	5 888 350	150 419	3 910 289	2 570 160
2015	631 908	5 698 857	148 395	3 946 942	2 527 042
2016	666 018	6 110 656	168 404	4 054 383	2 637 490
2017	702 831	6 603 774	196 041	4 172 055	2 707 054
2018	668 258	6 281 000	172 017	4 202 523	2 651 383

Źródło: (www15).

2.4. Transfer technologii spalarni odpadów jako podstawowa metoda wdrożenia w Polsce sprawdzonych rozwiązań w zakresie zagospodarowania odpadów

Na początku tego rozdziału warto zaznaczyć, że technologie omawiane w dalszej części obejmują bardzo szerokie spektrum, porównywalne z zakresem innowacji. Taka sytuacja wynika z pewnych niejasności terminologicznych związanych z pojęciem technologii. Zazwyczaj technologia jest postrzegana w wąskim sensie, koncentrując się głównie na innowacjach technicznych i informatycznych. Jednak w kontekście szeroko rozumianego transferu technologii należy również uwzględnić aspekty takie jak nowa wiedza, umiejętności czy rozwiązania.

W literaturze dotyczącej tego zagadnienia istnieje ogromna liczba definicji innowacji. Ich różnorodność podkreślał P. F. Drucker, który zauważył, że „Nie udało nam się jeszcze stworzyć teorii innowacji. Wiemy jednak wystarczająco dużo, aby zidentyfikować systematyczne sposoby poszukiwania okazji do innowacji oraz oceny ich potencjalnego sukcesu lub ryzyka niepowodzenia. Mamy już odpowiednią wiedzę, aby w przybliżeniu sformułować praktykę innowacji.” (Drucker, 1992, s. 40 – 45).

Innowacje można podzielić na dwa podstawowe rodzaje:

- **Innowacje produktowe** odnoszą się do modyfikacji wyrobów oraz procesów produkcyjnych. Polegają one na udoskonaleniu już istniejących produktów lub na wprowadzeniu nowych pozycji do oferty przedsiębiorstwa. Nowy produkt technologiczny to taki, który wyróżnia się nowymi cechami lub przeznaczeniem w porównaniu do wcześniej produkowanych. Innowacje te mogą wynikać z wykorzystania nowych technologii, łączenia istniejących rozwiązań w innowacyjny sposób lub z zastosowania nowej wiedzy. Wdrożenie innowacji produktowej ma miejsce, gdy nowy produkt zostaje wprowadzony na rynek. Pojęcie produktu obejmuje zarówno towary, jak i usługi, zgodnie z ujęciem marketingowym..
- **Innowacje procesowe** (technologiczne) obejmują zmiany w metodach produkcji stosowanych przez firmę oraz w sposobach dostarczania produktów do klientów. Mogą one polegać na modyfikacjach urządzeń, organizacji produkcji lub łączeniu obu tych aspektów, a także na wykorzystaniu nowej wiedzy. Celem tych zmian może być produkcja lub dostarczenie nowych lub ulepszonych produktów, które nie byłyby

możliwe przy użyciu tradycyjnych metod, jak również zwiększenie efektywności produkcji istniejących wyrobów.

Transfer technologii to proces wymiany wiedzy technologicznej i organizacyjnej, odbywający się na określonych warunkach. W procesie tym uczestniczą dwie strony: dawca technologii oraz jej nabywca. Istnieje kilka rodzajów transferu technologii, które można podzielić na:

Transfer komercyjny – gdzie technologia jest sprzedawana za opłatą.

Transfer niekomercyjny – gdzie technologia jest udostępniana bezpłatnie, np. poprzez ogólnodostępne źródła informacji.

Dodatkowo, transfer technologii można podzielić na:

1. Handlowy transfer technologii:

- Inwestycje bezpośrednie,
- Licencje,
- Know-how,
- Obrót maszynami.

2. Niehandlowy transfer technologii:

- Przepływy informacji w ramach międzynarodowych firm,
- Wystawy i targi,
- Konferencje,
- Publikacje w czasopismach fachowych oraz książkach,
- Bezpłatne licencje i patenty,
- Migracje ludności, zwłaszcza w celach edukacyjnych (Kowalski, 2010)

W literaturze naukowej zagadnienia związane z wyzwaniem w komercjalizacji wiedzy i transferze technologii często opisuje się jako bariery. Bariery te można podzielić na cztery podstawowe kategorie:

- 1. Bariery strukturalne**
- 2. Bariery systemowe**
- 3. Bariery kulturowo-świadomościowe**
- 4. Bariery kompetencyjne (Rudawska, 2020)**

Bariery strukturalne wywodzą się zarówno z sektora gospodarki, jak i z obszaru badań oraz rozwoju. To zwykle najbardziej złożona grupa barier, do których należą między innymi:

- Brak opracowania skutecznych strategii i polityk,

- Niedostateczny rozwój regionalnych centrów wzrostu,
- Nadmierne ograniczenia w działalności instytucji wspierających przedsiębiorczość. (Rudawska, 2020)

Bariery systemowe obejmują takie kwestie, jak:

- Zbyt skomplikowany system prawny,
- Nadmiernie rozbudowane przepisy,
- Brak ustawodawstwa dostosowanego do współczesnych potrzeb gospodarki i wyzwań, które mogłyby pobudzać innowacje w sektorze badawczym i gospodarczym,
- Nieprzygotowanie administracji (zarówno na szczeblu centralnym, jak i regionalnym) do obsługi unijnych procedur konkursowych,
- Niedostateczna znajomość unijnych zasad udzielania pomocy publicznej wśród pracowników ośrodków innowacyjnych i w administracji publicznej,
- Biurokratyzacja procesu innowacji, która skutecznie zniechęca przedsiębiorstwa do wdrażania nowoczesnych technologii,
- Brak spójnej polityki w zakresie innowacji,
- Niewystarczające motywowanie do działań innowacyjnych,
- Brak efektywnej współpracy i wymiany informacji między centralnymi i regionalnymi organami władzy w zakresie polityki innowacyjnej,
- Wewnętrzne bariery w instytucjach akademickich, które mogą utrudniać lub nawet uniemożliwiać podejmowanie działań badawczych,
- Niejasne zasady oceny pracowników naukowych,
- niespójne przepisy dotyczące finansowania badań naukowych,
- Rygorystyczne wymagania przetargowe dotyczące zakupu aparatury badawczej,
- Brak systemowego podejścia do tworzenia różnorodnych instrumentów wspierających innowacyjność i przedsiębiorczość,
- Rozbudowana biurokracja w instytucjach akademickich, co utrudnia wdrażanie nowych rozwiązań organizacyjnych. (Rudawska, 2020)

Bariery świadomościowo-kulturowe wynikają z błędnych przekonań przedsiębiorców i uczelni na temat swojej działalności oraz preferowanych postaw. Występuje niechęć do podejmowania ryzyka związanego z komercjalizacją wiedzy i transferem technologii, co dodatkowo jest potęgowane przez niski poziom zaufania społecznego oraz brak rzeczywistego partnerstwa między sektorem naukowym a gospodarczym. Taki stan rzeczy sprzyja

powstawaniu barier, które utrudniają współpracę między tymi sektorami. W praktyce obserwuje się, że brak zaufania społecznego często powstrzymuje przedsiębiorców przed podejmowaniem działań proinnowacyjnych, nawet gdy są one oferowane bezpłatnie. (Rudawska, 2020)

Przenoszenie technologii do sektora małych i średnich przedsiębiorstw (MSP) jest zależne od wielu różnorodnych czynników, które można zgrupować w trzy podstawowe kategorie.

Pierwsza kategoria obejmuje elementy, które napędzają innowacje. Są to między innymi:

- liczba doktorów na 1000 osób w wieku 25–34 lat,
- procent osób z wyższym wykształceniem w grupie wiekowej 30–34 lata,
- odsetek młodych dorosłych (20–24 lata), którzy ukończyli co najmniej szkołę średnią,
- liczba międzynarodowych publikacji naukowych przypadających na milion mieszkańców,
- udział publikacji naukowych, które znajdują się wśród 10% najczęściej cytowanych w kraju,
- liczba doktorantów spoza Unii Europejskiej w porównaniu z ogólną liczbą doktorantów,
- udział wydatków publicznych na badania i rozwój (B+R) w PKB,
- udział kapitału ryzyka w PKB.

Druga kategoria dotyczy wskaźników bezpośrednio związanych z działalnością przedsiębiorstw, takich jak:

- nakłady firm na badania i rozwój jako procent PKB,
- wydatki przedsiębiorstw na innowacje (poza B+R) w stosunku do ich całkowitych obrotów,
- procent małych i średnich przedsiębiorstw prowadzących innowacyjne działania,
- procent innowacyjnych MSP współpracujących z innymi organizacjami,
- liczba publikacji powstałych w ramach współpracy publiczno-prywatnej na milion mieszkańców,
- liczba zgłoszeń patentowych na bilion PKB,
- liczba zgłoszeń patentowych związanych z głównymi wyzwaniami społecznymi na bilion PKB,
- liczba zarejestrowanych znaków towarowych na bilion PKB,
- liczba wzorów użytkowych przypadających na bilion PKB.

Trzecia kategoria skupia się na ogólnych wynikach, które obejmują:

- odsetek MSP wprowadzających innowacje w produktach i usługach w stosunku do ogólnej liczby MSP,
- procent MSP wdrażających innowacje marketingowe i organizacyjne,
- liczba firm szybko rozwijających się dzięki innowacjom,
- udział osób zatrudnionych w sektorach opartych na wiedzy w całkowitej liczbie pracowników w przemyśle i usługach,
- udział eksportu produktów średnio-zaawansowanych technologicznie i zaawansowanych technologicznie w całkowitym eksporcie,
- procent eksportu produktów z sektora usług opartych na wiedzy w całkowitym eksporcie,
- udział sprzedaży nowych lub ulepszonych produktów na rynku i wśród przedsiębiorstw w całkowitej sprzedaży,
- udział dochodów z licencji oraz patentów z zagranicy w PKB.

Dane dotyczące tych wskaźników dla Niemiec zostały zestawione w tabeli 3.

Tabela 3. Wyniki Niemiec na tle średniej dla 27 krajów Unii Europejskiej w rankingu *Innovation Union Scoreboard*

Wskaźnik	Wynik dla Niemiec	Wynik dla UE - 27
liczba absolwentów posiadających stopień doktora na 1000 mieszkańców w wieku 25 – 34 lat	2,6	1,5
udział osób z wykształceniem wyższym w grupie wiekowej 30 – 34 lata (w %)	29,8	33,6
udział osób w grupie wiekowej 20 – 24 lata, które ukończyły edukację co najmniej na poziomie szkoły średniej (w %)	74,4	79
liczba międzynarodowych publikacji naukowych na 1 mln mieszkańców	668	301
udział publikacji naukowych znajdujących się w grupie 10% najczęściej cytowanych publikacji w ogólnej liczbie publikacji naukowych kraju	11,41	10,73

odsetek doktorantów spoza UE w ogólnej liczbie doktorantów	Brak danych	19,19
udział wydatków publicznych na B+R w PKB (w %)	0,92	0,76
kapitał ryzyka jako % PKB	0,051	0,095
nakłady przedsiębiorstw na B+R jako % PKB	1,9	1,23
nakłady przedsiębiorstw na działalność innowacyjną (z wyłączeniem B+R) jako % obrotów	0,88	0,71
odsetek MSP prowadzących własną działalność innowacyjną	46,03	30,31
odsetek innowacyjnych MSP współpracujących z innymi firmami/instytucjami	8,95	11,16
liczba publiczno – prywatnych publikacji na 1mln mieszkańców	49,5	36,2
liczba zgłoszeń patentowych na bln PKB w obszarach najważniejszych wyzwań społecznych	1	0,64
liczba znaków towarowych na bln PKB	7,64	5,59
liczba wzorów użytkowych na bln PKB	7,9	4,77
przedsiębiorstwa wprowadzające innowacje produktowe i usługowe jako % ogólnej liczby MSP	53,61	34,18
przedsiębiorstwa wprowadzające innowacje marketingowe i organizacyjne jako % ogólnej liczby MSP	62,63	39,09
szybko rosnące innowacje przedsiębiorstwa	Brak danych	Brak danych
udział zatrudnionych osób w sektorach wiedzy chłonnych w liczbie osób zatrudnionych w przemyśle i usługach (w %)	15,3	13,5
udział eksportu wyrobów średnio-wysokiej i wysokiej techniki w eksporcie ogółem (w %)	63,18	48,23
udział eksportu wyrobów z wiedzy chłonnych sektorów w eksporcie ogółem (w %)	57,63	48,13

udział sprzedaży nowych lub zmodernizowanych wyrobów dla rynku oraz dla przedsiębiorstw w sprzedaży przedsiębiorstw ogółem (w %)	17,38	13,26
udział licencji oraz dochodów z patentów z zagranicy w % PKB	0,44	0,51

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (www16)(GUS).

Porównując wskaźniki zaprezentowane w tabeli 3, można zauważyć, że ich wartości w większości przypadków są zbliżone do średnich wyników dla krajów UE-27. Warto również podkreślić, że w niektórych przypadkach Niemcy osiągnęły wyniki przewyższające tę średnią. W przeciwieństwie do tego, Polska nie może pochwalić się tak dobrymi rezultatami. Tabela 4 przedstawia zestawienie wskaźników Polski i Niemiec, z którego wynika, że Polska osiągnęła zdecydowanie niższe wyniki w obszarze transferu technologii w porównaniu do Niemiec.

Tabela 4. Wyniki Polski na tle wyników Niemiec w rankingu Innovation Union Scoreboard

Wskaźnik	Wynik dla Niemiec	Wyniki dla Polski
liczba absolwentów posiadających stopień doktora na 1000 mieszkańców w wieku 25 – 34 lat	2,6	0,8
udział osób z wykształceniem wyższym w grupie wiekowej 30 – 34 lata (w %)	29,8	35,3
udział osób w grupie wiekowej 20 – 24 lata, które ukończyły edukację co najmniej na poziomie szkoły średniej (w %)	74,4	91,1
liczba międzynarodowych publikacji naukowych na 1 mln mieszkańców	668	198
udział publikacji naukowych znajdujących się w grupie 10% najczęściej cytowanych publikacji w ogólnej liczbie publikacji naukowych kraju	11,41	3,68
odsetek doktorantów spoza UE w ogólnej liczbie doktorantów	Brak danych	1,98

udział wydatków publicznych na B+R w PKB (w %)	0,92	0,2
kapitał ryzyka jako % PKB	0,051	1,25
nakłady przedsiębiorstw na B+R jako % PKB	1,9	0,2
nakłady przedsiębiorstw na działalność innowacyjną (z wyłączeniem B+R) jako % obrotów	0,88	1,25
odsetek MSP prowadzących własną działalność innowacyjną	46,03	13,76
odsetek innowacyjnych MSP współpracujących z innymi firmami/instytucjami	8,95	6,4
liczba publiczno – prywatnych publikacji na 1mln mieszkańców	49,5	2,5
liczba zgłoszeń patentowych na bln PKB w obszarach najważniejszych wyzwań społecznych	1	0,06
liczba znaków towarowych na bln PKB	7,64	2,95
liczba wzorów użytkowych na bln PKB	7,9	4,4
przedsiębiorstwa wprowadzające innowacje produktowe i usługowe jako % ogólnej liczby MSP	53,61	17,55
przedsiębiorstwa wprowadzające innowacje marketingowe i organizacyjne jako % ogólnej liczby MSP	62,63	18,65
szybko rosnące innowacje przedsiębiorstwa	Brak danych	Brak danych
udział zatrudnionych osób w sektorach wiedzy chłonnych w liczbie osób zatrudnionych w przemyśle i usługach (w %)	15,3	9,1
udział eksportu wyrobów średnio-wysokiej i wysokiej techniki w eksporcie ogółem (w %)	63,18	52,39
udział eksportu wyrobów z wiedzy chłonnych sektorów usługowych wiedzy w eksporcie ogółem (w %)	57,63	33,05

udział sprzedaży nowych lub zmodernizowanych wyrobów dla rynku oraz dla przedsiębiorstw w sprzedaży przedsiębiorstw ogółem (w %)	17,38	9,84
udział licencji oraz dochodów z patentów z zagranicy w % PKB	0,44	0,06

Źródło: Opracowanie własne na podstawie (www16).

Rozdział III. Aktualny system logistyki zwrotnej w Polsce

3.1. Definicja oraz klasyfikacja odpadów

Jednoznaczne zdefiniowanie pojęcia „odpad” nie jest działaniem łatwym, albowiem ostateczna treść tejże definicji w znacznej mierze uwarunkowana jest szeregiem czynników. W Encyklopedii Popularnej PWN z 1982 roku pod pojęciem „odpad” odnaleźć można następujące objaśnienie: *produkt, który nie ma zastosowania w produkcji danego zakładu* (Encyklopedia, 1982, s. 475). Definicja ta jest zbyt wąska, ponieważ ogranicza się jedynie do odpadów powstających w wyniku procesów produkcyjnych, pomijając całkowicie aspekt społeczny ich powstawania. Dlatego też w 1997 roku stworzono bardziej szczegółową definicję, która została zamieszczona w Encyklopedii Powszechnej. Według tej definicji, odpady to produkty uboczne działalności ludzkiej, które w miejscu i czasie ich powstania są nieużyteczne, a także szkodliwe lub uciążliwe dla środowiska naturalnego (Nowa encyklopedia, 1997, s. 417). Ta definicja jest bardziej zgodna z powszechnym rozumieniem pojęcia odpadów, jednak nie jest to ostatnia definicja, jaka została opracowana. Wynika to z potrzeby zarządzania odpadami, co wymaga uregulowań prawnych. Aby te przepisy mogły być skuteczne, niezbędne było wcześniejsze, formalne zdefiniowanie terminu „odpad”. Taka definicja została zawarta w ustawie o odpadach z 2011 roku, a jej treść stanowi, iż odpad to *każda substancja lub przedmiot należący do jednej z kategorii (...), których posiadacz pozbywa się, zamierza się pozbyć lub do ich pozbycia się jest zobowiązany* (ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 roku o odpadach).

Każdy produkt, który nie został wykorzystany i nie ma przypisanego celu, staje się odpadem. Z kolei odpad może przekształcić się w surowiec lub materiał, gdy zostanie odpowiednio zagospodarowany. W praktyce każda substancja, którą człowiek zdobywa, przetwarza lub transportuje, może być zasobem użytecznym bądź odpadem, którego wpływ na środowisko może być różnie oceniany. To, jak zostanie wykorzystana dana materia, zależy wyłącznie od działań człowieka..

W praktyce gospodarczej funkcjonuje wiele klasyfikacji odpadów, przy czym najpowszechniejszą wydaje się być ta, zestawiona w tabeli 5.

Tabela 5 Klasyfikacja odpadów

Lp.	Identyfikacja grupy odpadów	Szczegółowa klasyfikacja odpadów
1	Odpady biodegradowalne	Skoszona trawa, chwasty, gałęzie
		Obierki z owoców i warzyw
		Opadłe owoce i liście, zwiędłe kwiaty
		Skorupki jajek, fusy po kawie i herbacie
		Odpady kuchenne – resztki żywności
		Obierki po ziemniakach
		Pudełka i tektura
2	Opakowania ze szkła białego i mieszanego	Puste butelki po napojach i żywności
		Słoiki (bez nakrętek)
		Szklane opakowania po kosmetykach
3	Opakowania z tworzyw sztucznych	Plastikowe naczynia, wiaderka i donice
		Opakowania po żywności (plastikowe)
		Opakowania z folii i reklamówki
		Nakrętki od butelek i słoików (plastikowe)
		Butelki plastikowe (puste i zgniecione)
		Opakowania po chemii gospodarczej
		Koszyczki po owocach
		Puste opakowania wielomateriałowe
		Styropian opakowaniowy
4	Papier i tektura	Gazety, ulotki, czasopisma
		Worki papierowe
		Książki w miękkich okładkach
		Papier pakowy i biurowy
		Pudełka kartonowe i tektura
		Katalogi, prospekty, ścinki drukarskie
5	Tekstylia	Odzież, tkaniny, obuwia
6	Odpady z metali	Puszki aluminiowe po napojach i konserwach
		Metalowe nakrętki i kapsle
		Narzędzia
7	Odpady, które należy	Leki i chemikalia

	dostarczyć do Punktów Selektywnego Zbierania Odpadów Komunalnych	Opakowania po lekach i chemikaliach
		Sprzęt elektryczny i elektroniczny
		Odpady wielkogabarytowe
		Termometry rtęciowe
		Opony
		Odpady budowlane
		Żarówki, świetlówki, halogeny i kineskopy
		Baterie i akumulatory
8	Odpady komunalne	Pozostałe odpady nie sklasyfikowane powyżej

Źródło: (Grabowska, 2012, s. 1-2).

Zgodnie z informacjami zawartymi w Rozporządzeniu w sprawie katalogu odpadów (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 roku), klasyfikacja ta jednak przedstawia się nieco inaczej, a jej istota zaprezentowana została w tabeli 6.

Tabela 6 Podział odpadów według rodzajów zgodny z założeniami Rozporządzenia w sprawie katalogu odpadów

Grupa	Typ odpadów
01	Opady powstające przy poszukiwaniu, wydobywaniu, fizycznej i chemicznej przeróbce rud oraz innych kopalin.
02	Odpady z rolnictwa, sadownictwa, upraw hydroponicznych, rybołówstwa, leśnictwa, łowiectwa oraz przetwórstwa żywności.
03	Opady z przetwórstwa drewna oraz z produkcji płyt mebli, masy celulozowej, papieru i tektury.
04	Odpady z przemysłu skórzanego, futrzarskiego i tekstylnego.
05	Opady z przeróbki ropy naftowej, oczyszczania gazu ziemnego oraz pizolitycznej przeróbki węgla kamiennego.
06	Odpady z produkcji, przygotowania, obrotu i stosowania produktów przemysłu chemii nieorganicznej.
07	Odpady z produkcji, przygotowania, obrotu i stosowania produktów przemysłu chemii organicznej.
08	Odpady z produkcji, przygotowania, obrotu i stosowania powłok ochronnych,

	kitu, klejów, szczeliw i farb drukarskich.
09	Odpady z przemysłu fotograficznego i usług fotograficznych.
10	Odpady z procesów termicznych.
11	Odpady z chemicznej obróbki i powlekania powierzchni metali oraz innych materiałów i procesów hydrometalurgii metali nieżelaznych.
12	Odpady z kształtowania oraz fizycznej i mechanicznej obróbki powierzchni metali i tworzyw sztucznych.
13	Oleje odpadowe i odpady ciekłych paliw.
14	Odpady z rozpuszczalników organicznych, chłodziw i propelentów.
15	Odpady opakowaniowe, tkaniny do wycierania, sorbenty, materiały filtracyjne i ubrania ochronne nie ujęte w innych grupach.
16	Odpady nie ujęte w innych grupach.
17	Odpady z budowy, remontów i demontaży obiektów budowlanych oraz infrastruktury drogowej.
18	Odpady medyczne i weterynaryjne.
19	Odpady z instalacji i urządzeń służących zagospodarowaniu odpadów, z oczyszczalni ścieków oraz uzdatniania wody pitnej, wody do celów przemysłowych.
20	Odpady komunalne łącznie z frakcjami gromadzonymi selektywnie.

Źródło: (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 roku).

3.2. Zarządzanie odpadami – struktura procesu i regulacje prawne

Zarządzanie odpadami jest regulowane przez różne przepisy prawne, z których najważniejsze to (www17):

- Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 16 kwietnia 2020 roku w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o odpadach (Dz. U. 2020, poz. 797);
- Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 19 lutego 2020 roku w sprawie wymagań w zakresie ochrony przeciwpożarowej, jakie mają spełniać obiekty budowlane lub ich części oraz inne miejsca przeznaczone do zbierania, magazynowania lub przetwarzania odpadów (Dz. U. 2020, poz. 296);

- Rozporządzenie Ministra klimatu z dnia 24 grudnia 2019 roku w sprawie warunków uznania odpadów za posiadające właściwości zakaźne oraz sposobu ustalania tych właściwości (Dz. U. 2020, poz. 3);
- Rozporządzenie Ministra klimatu z dnia 23 grudnia 2019 roku w sprawie rodzajów odpadów i ilości odpadów, dla których nie ma obowiązku prowadzenia ewidencji odpadów (Dz. U. 2019, poz. 2531);
- Rozporządzenie Ministra Klimatu z dnia 19 grudnia 2019 roku w sprawie szczegółowych stawek opłat produktowych dla poszczególnych produktów (Dz. U. 2019, poz. 2485);
- Obwieszczenie Ministra Środowiska z dnia 7 października 2019 roku w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie szczegółowego sposobu selektywnego zbierania wybranych frakcji odpadów (Dz. U. 2019, poz. 2028);
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 sierpnia 2019 roku w sprawie wizyjnego systemu kontroli miejsca magazynowania lub składowania odpadów (Dz. U. 2019, poz. 1755);
- Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskie z dnia 1 sierpnia 2019 roku w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji (Dz. U. 2019, poz. 1610);
- Ustawa z dnia 4 lipca 2019 roku o zmianie ustawy o odpadach oraz niektórych innych ustaw (Dz. U. 2019, poz. 1403);
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 grudnia 2016 roku w sprawie poziomów recyklingu, przygotowania do ponownego użycia i odzysku innymi metodami niektórych frakcji odpadów komunalnych (Dz. U. 2016, poz. 2167);
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 21 października 2016 roku w sprawie wymagań i sposobów unieszkodliwiania odpadów medycznych i weterynaryjnych (Dz. U. 2016, poz. 1819);
- Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 21 stycznia 2016 roku w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów oraz sposobów postępowania z odpadami powstałymi w wyniku tego procesu (Dz. U. 2016, poz. 108);
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 10 listopada 2016 roku w sprawie listy rodzajów odpadów, które osoby fizyczne lub jednostki organizacyjne niebędące

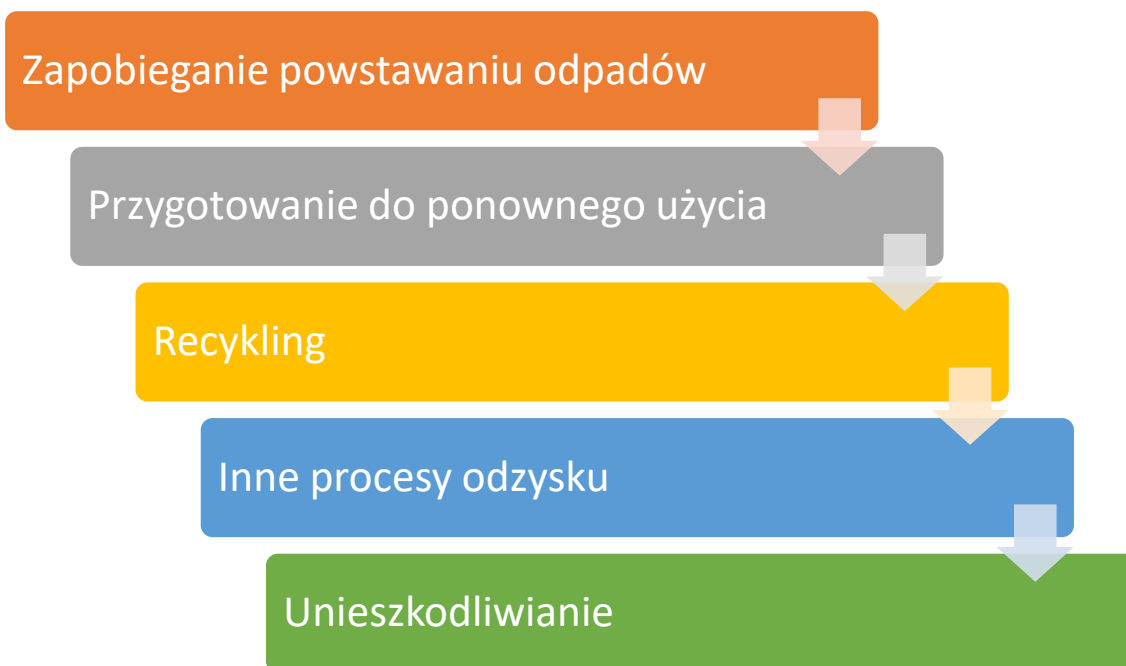
przedsiębiorcami mogą poddawać odzyskowi na potrzeby własne, oraz dopuszczalnych metod ich odzysku (Dz. U. 2016, poz. 93);

- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 14 grudnia 2015 roku w sprawie odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego (Dz. U. 2015, poz. 2267);
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 roku w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach (Dz. U. 2015, poz. 1277);
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 24 lipca 2015 roku w sprawie rodzajów odpadów medycznych i odpadów weterynaryjnych, których odzysk jest dopuszczalny (Dz. U. 2015, poz. 1116);
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 stycznia 2015 roku w sprawie procesu odzysku R10 (Dz. U. 2015, poz. 132).

Pojęcie gospodarowania odpadami obejmuje zarówno kwestie sanitarne, jak i ekonomiczne, z naciskiem na zapobieganie marnotrawieniu zasobów. Materiały, które stają się odpadami, były wcześniej użytkowane, ale z czasem utraciły swoją pierwotną funkcję. Właściwie zarządzane, niektóre z tych odpadów mogą zostać ponownie wykorzystane jako surowce (Szołtysek, 2009).

Głównym zadaniem systemu gospodarowania odpadami jest ich odpowiednie przetworzenie, aby chronić środowisko, przy uwzględnieniu specyficznych uwarunkowań społecznych i ekonomicznych danego regionu czy kraju. Odpady przemysłowe stanowią szczególne zagrożenie ze względu na ich masowe powstawanie, różnorodny skład chemiczny i często wysoki poziom toksyczności. Z kolei odpady komunalne, ze względu na ich rozproszone powstawanie w pobliżu osiedli oraz dużą zawartość substancji organicznych, sprzyjają rozwojowi szkodliwych mikroorganizmów i przyciągają ptactwo oraz gryzonie, które mogą przenosić choroby zakaźne. Kluczowym celem zarządzania odpadami jest ochrona zdrowia ludzkiego i środowiska przed negatywnymi skutkami związanymi z ich zbieraniem, transportem, przetwarzaniem i magazynowaniem (Kisiel, 2011, s. 27-31).

Na rysunku 22 przedstawiono proces zarządzania odpadami, który ukazuje hierarchię działań, począwszy od zapobiegania i redukcji ich powstawania, poprzez odzysk (w tym recykling i odzysk energii), unieszkodliwianie, a kończąc na składowaniu unieszkodliwionych odpadów. Zarządzanie odpadami obejmuje składowanie, spalanie, kompostowanie oraz recykling.



Rysunek 29 Hierarchia postępowania z odpadami.

Źródło: (Ustawa o odpadach z 2012 roku)

Odpady mogą być gromadzone na zasadzie odpłatnej lub nieodpłatnej. Surowce wtórne z różnych odpadów poprodukcyjnych i użytkowych są pozyskiwane poprzez różne metody, zgodnie z Ustawą o odpadach z 2012 roku:

- zakup od mieszkańców, warsztatów rzemieślniczych, firm oraz organizacji społecznych,
- selektywną zbiórkę w wielokomorowych pojemnikach,
- społeczne zbiórki organizowane przez mieszkańców, instytucje itp.,
- wyodrębnienie określonych surowców wtórnych z odpadów komunalnych,
- wykorzystanie wszystkich zgromadzonych rodzajów odpadów.

Wybór metody gromadzenia odpadów zależy od wielu czynników, takich jak: źródło odpadów, cel ich przetwarzania, zawartość składników użytkowych, dostępność urządzeń do sortowania i przetwarzania, możliwość sprzedaży odzyskanych surowców wtórnych oraz zaangażowanie społeczne mieszkańców (www18).

Gromadzenie odpadów jest zasadniczym pierwszym krokiem w efektywnym systemie zarządzania odpadami. Proces ten odbywa się na etapie ich wytwarzania i należy do obowiązków producenta odpadów. Im lepiej jest zorganizowany ten proces, tym łatwiejsza jest późniejsza zbiórka i transport odpadów.

Organizacja systemu gromadzenia odpadów zależy od wielu czynników, z których podstawowym jest rodzaj zabudowy (Poradnik ogrzewanie i klimatyzacja, 1994).

- zabudowa jednorodzinna;
- zabudowa wielorodzinna;
- zabudowa z systemem ogrzewania centralnego;
- zabudowa z ogrzewaniem węglowym;
- zabudowa z ogrzewaniem gazowym;
- zabudowa z ogrzewaniem słonecznym;
- zabudowa z ogrzewaniem wykorzystującym pompy ciepła;
- zabudowa wysoka;
- zabudowa zwarta dzielnic śródmiejskich;
- zabudowa jednorodzinna.

W zależności od ostatecznego rodzaju zabudowy, gromadzenie odpadów odbywać się może w jednym z dwóch podstawowych systemów (Poradnik ogrzewanie i klimatyzacja, 1994):

- dwupojemnikowym;
- wielopojemnikowym.

System dwupojemnikowy, jak sama nazwa wskazuje, stanowi o gromadzenie odpadów w sposób selektywny tylko w dwóch pojemnikach. Jeden przeznaczony jest na odpady „mokre”, w tym przede wszystkim na (Kisiel, 2011) odpady organiczne oraz papier, który zwykle powinien być przeznaczony do kompostowania, mogą być gromadzone w oddzielnym pojemniku. Drugi pojemnik przeznaczony jest na tzw. odpady „suche”, które mogą być poddane dalszej segregacji, recyklingowi lub innym procesom odzysku. Dwupojemnikowy system zbiórki odpadów ma tę zaletę, że jest stosunkowo tani do wdrożenia, gdyż wymaga jedynie dwóch rodzajów pojemników. Jednak ta zaleta prowadzi do pewnej wady – wymaga późniejszej, wieloetapowej segregacji odpadów.

Alternatywą jest system wielopojemnikowy, w którym wykorzystuje się kilka różnych pojemników, z których każdy dedykowany jest innemu rodzajowi odpadów. Zazwyczaj stosuje się trzy pojemniki: jeden na szkło, drugi na papier i tekturę, a trzeci na tworzywa sztuczne. Coraz częściej do tego systemu dodaje się czwarty pojemnik przeznaczony na bioodpady. Wdrożenie systemu wielopojemnikowego wiąże się z wyższymi kosztami początkowymi, wynikającymi z potrzeby zakupu większej liczby pojemników. Jednak te wyższe koszty mogą się szybko zwrócić, ponieważ odpady są lepiej posortowane, co skraca lub eliminuje

konieczność dodatkowej segregacji. Zebrane odpady mogą być przekazane bezpośrednio do recyklingu lub dalszego przetwarzania, a pozostałe odpady zmieszane trafiają na składowisko.

Systemy gromadzenia odpadów omówione powyżej przedstawiają podstawowy podział tego procesu. Bardziej szczegółowa klasyfikacja obejmuje dodatkowo:

- bezpośredni odbiór odpadów,
- systemy zbiórki, gdzie odpady są przynoszone przez mieszkańców,
- systemy mieszane,
- uzupełniające systemy zbiórki, takie jak:
 - selektywna zbiórka odpadów niebezpiecznych,
 - zbiórka odpadów wielkogabarytowych,
 - zbiórka zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego.

Następnym etapem w procesie zarządzania odpadami jest zbiórka odpadów, które wcześniej zostały zgromadzone przez wytwórców. Sposób organizacji tego etapu zależy od systemu gromadzenia, który został przyjęty w danej gminie, ponieważ to on determinuje rodzaj sprzętu używanego do zbiórki. Klasyfikacja sprzętu wykorzystywanego w zbiorce odpadów obejmuje:

- sprzęt do zagęszczania odpadów podczas zbiórki, w tym zagęszczanie płytowe, bębnowe i mieszane,
- sprzęt do zbierania odpadów w stanie luźnym.

Inna klasyfikacja sprzętu odnosi się do jego parametrów technicznych, takich jak pojemność śmieciarek, stopień zagęszczenia odpadów, typ podwozia oraz miejsce zamontowania urządzeń załadowniczych na pojeździe (z tyłu, z boku lub z przodu).

Selektywna zbiórka odpadów to specyficzna forma zbierania, gdzie odpady są sortowane według rodzaju, co upraszcza późniejsze przetwarzanie. Jeśli jest to technicznie, ekonomicznie i środowiskowo wykonalne, odpady powinny być zbierane w sposób selektywny, aby osiągnąć najlepszy możliwy wynik dla środowiska.

Dyrektywa ramowa Unii Europejskiej podkreśla znaczenie hierarchii postępowania z odpadami i dąży do promowania społeczeństwa ukierunkowanego na recykling. Realizacja zadań związanych z selektywną zbiórką jest kluczowa dla spełnienia wymogów tej dyrektywy. Aby ułatwić proces odzysku, odpady powinny być zbierane oddzielnie i nie mieszane z innymi odpadami lub materiałami o różnych właściwościach, jeśli jest to możliwe technicznie, ekonomicznie i środowiskowo.

Dodatkowe obowiązki związane z selektywną zbiórką odpadów określają dwie inne dyrektywy UE:

- Dyrektywa opakowaniowa (Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 94/62/WE z dnia 20 grudnia 1994 r. w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych),
- Dyrektywa składowiskowa (Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 1999/31/WE z dnia 26 kwietnia 1999 r. w sprawie składowania odpadów).

W regulaminie uchwalanym przez radę gminy określone są szczegółowe zasady utrzymania czystości i porządku na terenie gminy dotyczące m.in. selektywnego zbierania i odbierania odpadów komunalnych, w tym powstających w gospodarstwach domowych:

- przeterminowanych leków i chemikaliów,
- zużytych baterii i akumulatorów,
- zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego,
- mebli i innych odpadów wielkogabarytowych,
- odpadów budowlanych i rozbiórkowych,
- zużytych opon,
- odpadów zielonych.

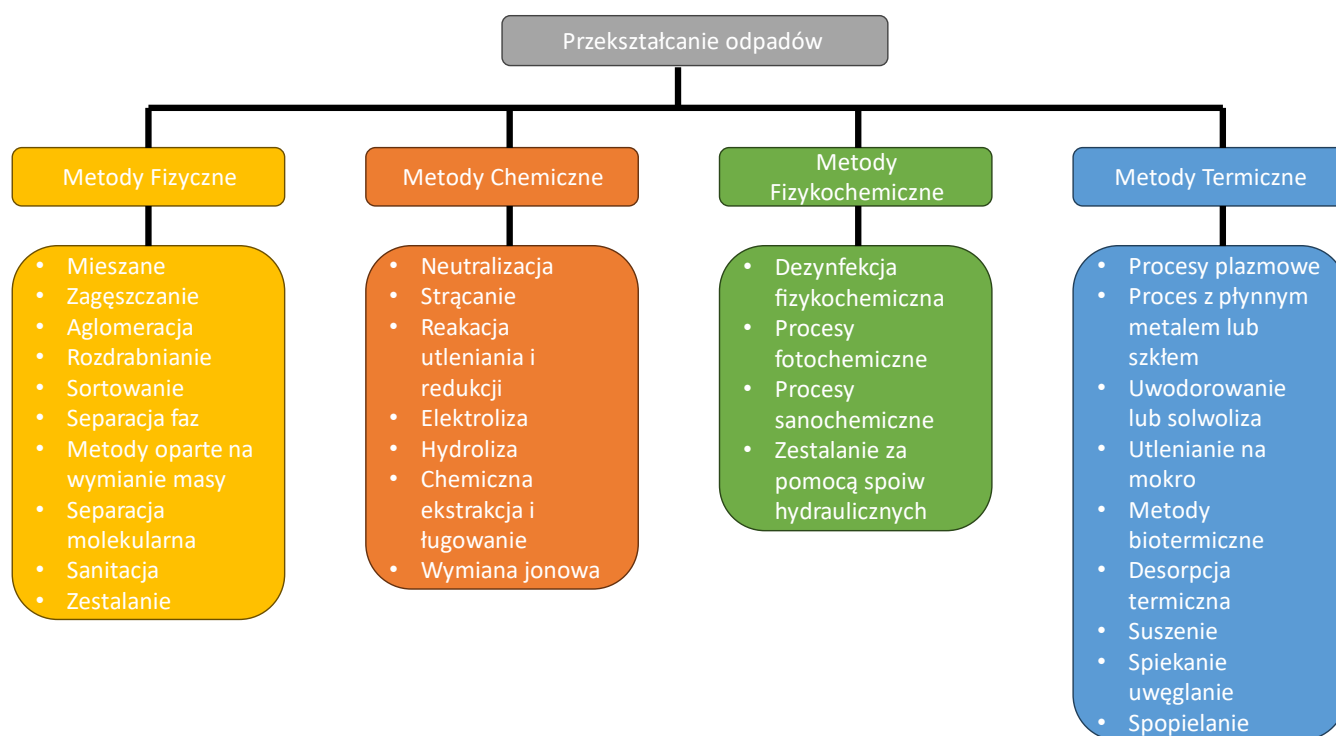
3.3. Metody unieszkodliwiania odpadów

Unieszkodliwianie odpadów polega na ich przetwarzaniu w taki sposób, aby nie stanowiły one bezpośredniego zagrożenia dla zdrowia ludzi ani dla środowiska. Proces ten można podzielić na cztery główne kategorie, z których każda obejmuje różnorodne szczegółowe metody realizacji (www20).

- metody fizyczne:
 - ✓ mieszanie,
 - ✓ zagęszczanie,
 - ✓ aglomeracja,
 - ✓ rozdrabnianie,
 - ✓ sortowanie,
 - ✓ separacja faz;
 - ✓ metody oparte na wymianie masy,
 - ✓ separacja molekularna,
 - ✓ zestalenie,
 - ✓ sanitacja,

- metody chemiczne:
 - ✓ neutralizacja,
 - ✓ strącanie,
 - ✓ reakcje utleniania i redukcji,
 - ✓ elektroliza,
 - ✓ hydroliza,
 - ✓ wymiana jonowa,
 - ✓ chemiczna ekstrakcja i ługowanie,
- metody fizykochemiczne:
 - ✓ dezynfekcja,
 - ✓ fizykochemia,
 - ✓ procesy fotochemiczne,
 - ✓ procesy sono chemiczne,
 - ✓ zestalanie za pomocą spoiw hydraulicznych,
- metody termiczne:
 - ✓ proces plazmowy,
 - ✓ proces z płynnym metalem lub szkłem,
 - ✓ uwodorowanie lub solwoliza,
 - ✓ utlenianie na mokro,
 - ✓ metody biotermiczne,
 - ✓ desorpcja,
 - ✓ suszenie,
 - ✓ spiekanie,
 - ✓ uwęglanie,
 - ✓ popielanie.

Graficzny obraz wyszczególnionych powyżej metod unieszkodliwiania zaprezentowany został na rysunku 30.



Rysunek 30 Identyfikacja metod unieszkodliwiania odpadów.

Źródło: (www20).

Jakkolwiek w procesie unieszkodliwiania odpadów stosowanych jest wiele metod, tak najpopularniejszą, a tym samym najczęściej stosowaną, jest powszechnie znane kompostowanie.

Kompostowanie to naturalna metoda unieszkodliwiania i zagospodarowywania odpadów (Bergier, Kronenberg, 2010, s. 297). Polega ono na rozkładzie substancji organicznej poprzez zastosowanie takich mikroorganizmów jak np. bakterie tlenowe, nicienie, itp. (Łatka, 2003, s. 74). Kompostowanie to proces przetwarzania materiałów organicznych w kontrolowanych warunkach, w których obecność tlenu, odpowiednia temperatura oraz wilgotność są kluczowe. Dzięki temu tworzone jest optymalne środowisko dla organizmów odpowiedzialnych za kompostowanie, co sprzyja ich efektywnemu rozwojowi. Aby zaspokoić potrzeby najbardziej aktywnych mikroorganizmów, w skład kompostowanej materii powinny wchodzić takie składniki jak:

- węgiel,
- azot i tlen z powietrza,
- woda.

Brak któregośkolwiek z tych elementów nie uniemożliwia kompostowania, ale znacznie spowalnia jego przebieg.

Wyróżnia się dwa główne rodzaje kompostowania: aktywne i pasywne, choć możliwe są również kombinacje tych metod. Aktywne kompostowanie wspiera rozwój najwydajniejszych bakterii, eliminując większość patogenów i nasion, a także umożliwia szybkie uzyskanie gotowego kompostu. W przeciwieństwie do tego, metoda pasywna polega na naturalnym, powolnym procesie, który nie eliminuje chorobotwórczych mikroorganizmów i nasion (Radecki, 2008, s. 289 – 290).

Proces kompostowania może zostać przeprowadzony w odniesieniu do substancji organicznych wydzielonych z odpadów komunalnych, organicznych odpadów kuchennych, odpadów z pielęgnacji terenów zielonych, odpadów z targowisk, osadów z oczyszczalni ścieków komunalnych oraz niektórych odpadów z przemysłu rolno – spożywczego i przetwórstwa drewna.

Kompostowanie posiada wiele zalet, przy czym do najważniejszych zaliczamy:

- zmniejszenie ogólnej ilości odpadów o około 30 – 50%;
- unieszkodliwienie odpadów pod względem sanitarno – epidemiologicznym;
- proste technologie kompostowania;
- niski koszt inwestycji i eksploatacji;
- łatwość składowania niewykorzystanego kompostu;
- produkcja kompostu niezbędnego dla urodzajności gleb.

Kompostowanie jest procesem biotermicznym zachodzącym w dwóch fazach (Bergier, Kronenberg, 2010, s. 297):

Pierwsza faza kompostowania, zwana termofilową lub intensywną, charakteryzuje się wysoką temperaturą. Druga faza to kompostowanie mezofilowe, znane również jako etap dojrzewania kompostu. W niektórych przypadkach proces kompostowania jest podzielony na cztery etapy:

Etap I: wstępne kompostowanie,

Etap II: faza termofilowa,

Etap III: faza mezofilowa, będąca właściwym kompostowaniem,

Etap IV: dojrzewanie kompostu.

Kompostowanie biomasy może być realizowane w różnych systemach, które są klasyfikowane w zależności od przyjętego kryterium. Jeżeli podstawą klasyfikacji jest sposób prowadzenia

procesu, można wyróżnić takie systemy jak kompostowanie w pryzmach, w ruchomych lub nieruchomych komorach, oraz systemy specjalne, na przykład kompostowanie w brykietach.

Pryzmy używane do kompostowania mogą być ustawiane na świeżym powietrzu, pod zadaszeniem, a czasem w zamkniętych pomieszczeniach. Umieszcza się je na płytach kompostowych, które umożliwiają sztuczne napowietrzanie i odprowadzanie odcieków. Pryzmy mogą być okresowo przerzucane za pomocą specjalistycznych urządzeń (Iwaniuk, 2008, s. 12).

Komory kompostowe, podobnie jak pryzmy, mogą być różnorodne. Mogą być ruchome lub nieruchome, pionowe lub poziome, a ich kształt może się różnić. Zazwyczaj są zamknięte, co pozwala na stworzenie optymalnych warunków do kompostowania, intensyfikację procesów oraz kontrolowane odprowadzanie odcieków i gazów procesowych do systemów dezodoryzacji.

Różne systemy kompostowania można także podzielić według innych kryteriów, takich jak:

Kompostowanie w pryzmach, metodą naturalną, rzędowe, tunelowe, komorowe, kontenerowe, wieżowe, w bębnach kompostowniczych oraz technologia Brikollare.

Systemy kompostowania mogą być także klasyfikowane jako statyczne, quasi-dynamiczne i dynamiczne. W systemach statycznych znajduje się kompostowanie w pryzmach statycznych, komorowe, kontenerowe oraz w brykietach. Systemy quasi-dynamiczne obejmują kompostowanie w pryzmach przerzucanych, rzędowe i tunelowe, natomiast do systemów dynamicznych zalicza się kompostowanie w bębnach kompostowniczych oraz wieżowe.

Inny podział systemów kompostowania dzieli je na systemy otwarte, zamknięte, stacjonarne oraz mobilne (Bergier, Kronenberg, 2010, s. 297).

3.4. Techniczne aspekty zarządzania odpadami komunalnymi w Polsce.

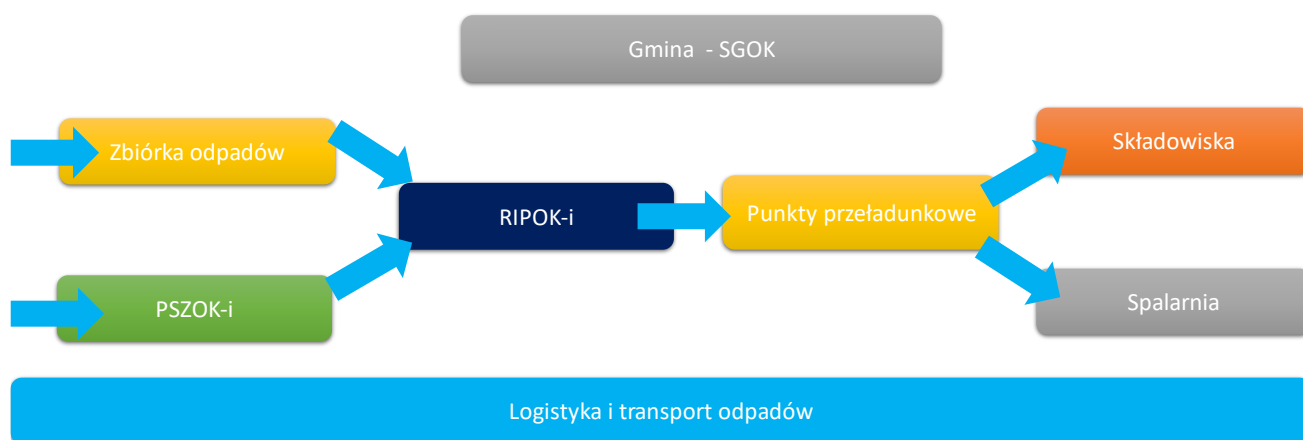
Techniczne elementy systemu zarządzania odpadami komunalnymi obejmują takie działania jak:

- zbieranie odpadów,
- transport odpadów,
- przetwarzanie odpadów.

Podczas przetwarzania odpadów mogą powstawać nowe odpady, które mogą być podobne lub zupełnie różne od tych, które były przetwarzane, i wymagają dalszego zarządzania. Ważnym

aspektem utrzymania technicznej sprawności systemu gospodarki odpadami komunalnymi jest odpowiednie użytkowanie instalacji do przetwarzania odpadów oraz monitorowanie potencjalnych emisji zanieczyszczeń do środowiska pochodzących z tych instalacji. Na przykład, w przypadku spalarni odpadów komunalnych, istotne jest zapewnienie odbioru wytworzonej energii cieplnej i elektrycznej, właściwe zagospodarowanie żużli, pyłów lotnych i osadów powstających w procesach oczyszczania spalin, a także monitorowanie emisji zanieczyszczeń w gazach spalinowych (Dz.U. 2013 poz. 21).

Na poniższym rysunku przedstawiono ogniwa systemu logistyki odpadów komunalnych w Polsce. Schemat przedstawia kluczowe elementy systemu logistyki odpadów komunalnych, ukazując różnorodne etapy i podmioty zaangażowane w zarządzanie odpadami. System ten jest zorganizowany tak, aby zapewnić efektywne zbieranie, przetwarzanie i unieszkodliwianie odpadów, minimalizując ich wpływ na środowisko. Schemat ten ilustruje złożoność i współzależność poszczególnych elementów systemu logistyki odpadów komunalnych, podkreślając rolę każdego z nich w zapewnieniu skutecznego i zrównoważonego zarządzania odpadami.



Rysunek 31 Ogniwa systemu logistyki odpadów komunalnych.

Źródło: opracowanie własne

Elementy systemu:

- Zbiórka odpadów
- PSZOK-i
- RIPOK-i
- Punkty przeładunkowe

- Składowiska i spalarnie
- Logistyka i transport odpadów
- Gmina – SGOK

1. Zbiórka odpadów

Zbiórka odpadów komunalnych jest jednym z najważniejszych etapów zarządzania odpadami w każdym mieście. W Warszawie ten proces został zorganizowany w sposób, który maksymalizuje efektywność i minimalizuje negatywny wpływ na środowisko. Skuteczna zbiórka odpadów stanowi fundament całego systemu gospodarki odpadami, umożliwiając dalsze przetwarzanie, recykling oraz unieszkodliwianie odpadów (Wąsowicz, Famielec i Chełkowski, 2018).

Metody zbiórki odpadów

- **Zbiórka pojemnikowa**

W każdej dzielnicy Warszawy rozmieszczone są pojemniki przeznaczone do selektywnej zbiórki odpadów. Mieszkańcy są zobowiązani do segregowania odpadów i umieszczania ich w odpowiednich pojemnikach, co ułatwia późniejszy recykling i przetwarzanie odpadów.

- **Zbiórka workowa**

W niektórych częściach miasta, gdzie nie ma możliwości ustawienia dużych pojemników, stosuje się system zbiórki workowej. Mieszkańcy otrzymują specjalne worki na różne rodzaje odpadów, które są odbierane zgodnie z ustalonym harmonogramem, co zapewnia elastyczność i wygodę.

- **Punkty Selektywnej Zbiórki Odpadów Komunalnych (PSZOK)**

W Warszawie funkcjonują PSZOK-i, gdzie mieszkańcy mogą dostarczać odpady, które nie są objęte regularnymi zbiórkami, takie jak elektrośmieci, odpady niebezpieczne, meble czy opony. Te punkty umożliwiają bezpieczne i zgodne z przepisami pozbycie się problematycznych odpadów (Wąsowicz, Famielec i Chełkowski, 2018).

- **Mobilne punkty zbiórki**

Aby ułatwić mieszkańcom dostęp do miejsc zbiórki odpadów, miasto organizuje mobilne punkty zbiórki, które w określonych terminach pojawiają się w różnych częściach Warszawy. To rozwiązanie zapewnia mieszkańcom łatwiejszy dostęp do usług zbiórki odpadów, zwłaszcza w obszarach, gdzie dostęp do stacjonarnych punktów zbiórki jest ograniczony.

Zbiórka odpadów jest zorganizowana w sposób, który umożliwia mieszkańcom efektywne i wygodne zarządzanie swoimi odpadami. Dzięki różnorodnym metodom zbiórki, miasto może skutecznie segregować, przetwarzać i unieszkodliwiać odpady, minimalizując ich negatywny wpływ na środowisko. Edukacja i zaangażowanie mieszkańców są kluczowe dla sukcesu tego systemu, który stanowi fundament zrównoważonego zarządzania odpadami w stolicy.

2. PSZOK

Punkt Selektywnej Zbiórki Odpadów Komunalnych (PSZOK) to specjalnie wyznaczone miejsce, gdzie mieszkańcy mogą bezpłatnie oddać różnorodne odpady komunalne, które nie są odbierane w ramach regularnych zbiórek. Celem PSZOK-ów jest umożliwienie mieszkańcom właściwego segregowania i przekazywania odpadów, które mogą być poddane recyklingowi, przetworzeniu lub bezpiecznemu unieszkodliwieniu. (Tytuł strony: PSZOK, MPSZOK - punkty selektywnego zbierania odpadów komunalnych", Warszawa19115.pl, dostępne na: [<https://warszawa19115.pl/-/pszok-mpsok-punkty-selektywnej-zbiorki-odpadow-komunalny-1>], (data dostępu: 10 czerwca 2024).

Skład PSZOK-u

Strefa przyjęcia odpadów

Recepcja: Miejsce, gdzie pracownicy PSZOK-u przyjmują odpady od mieszkańców, weryfikują ich rodzaj i ilość oraz kierują do odpowiednich stref składowania.

Waga: W niektórych PSZOK-ach znajduje się waga do ważenia odpadów przed ich przyjęciem, co umożliwia dokładne monitorowanie ilości przyjmowanych odpadów.

Strefa składowania i segregacji

- **Kontenery i pojemniki:** Specjalne kontenery i pojemniki przeznaczone na różne typy odpadów, takie jak elektrośmieci, odpady zielone, tworzywa sztuczne, metale, szkło, odpady niebezpieczne (baterie, akumulatory), meble i inne.
- **Magazyny:** Pomieszczenia magazynowe przeznaczone na odpady wymagające szczególnych warunków przechowywania, np. chemikalia czy substancje niebezpieczne.
- **Strefa wstępnego przetwarzania:** Obszar, gdzie odpady są wstępnie segregowane i przygotowywane do dalszego przetwarzania lub transportu do odpowiednich zakładów przetwórczych.

Strefa administracyjna

- **Biura administracyjne:** Pomieszczenia, w których pracownicy prowadzą dokumentację, ewidencję odpadów oraz zarządzają operacyjnymi aspektami PSZOK-u.
- **Pomieszczenia socjalne:** Miejsca przeznaczone dla pracowników, gdzie mogą odpocząć, zjeść posiłek i skorzystać z sanitariatów.
- **Pomieszczenia socjalne:** Miejsca przeznaczone dla pracowników, gdzie mogą odpocząć, zjeść posiłek i skorzystać z sanitariatów.

Funkcjonowanie PSZOK-u

- Godziny otwarcia

PSZOK-i mają określone godziny otwarcia, dostosowane do potrzeb mieszkańców. Harmonogram pracy jest zazwyczaj dostępny na stronach internetowych gmin oraz w formie drukowanej w urzędach gmin.

- Przyjmowanie odpadów

Mieszkańcy dostarczają odpady do PSZOK-u, gdzie są one przyjmowane przez wykwalifikowany personel. Pracownicy weryfikują rodzaj i ilość odpadów oraz kierują mieszkańców do odpowiednich stref składowania.

Przyjmowane są różnorodne odpady, w tym elektrośmieci, meble, odpady niebezpieczne, surowce wtórne (plastik, metal, szkło), odpady zielone i inne.

- Segregacja i magazynowanie

Odpady są segregowane na miejscu, aby zapewnić ich właściwe przetwarzanie lub recykling. Pracownicy dbają o to, aby odpady były odpowiednio rozdzielone i umieszczone w przeznaczonych do tego pojemnikach lub kontenerach.

Niektóre odpady są przechowywane w specjalnych warunkach, np. odpady niebezpieczne, które wymagają szczególnej ostrożności.

- Transport i przetwarzanie

Po zebraniu odpowiedniej ilości odpadów, są one transportowane do odpowiednich zakładów przetwórczych lub recyklingowych. PSZOK współpracuje z firmami zajmującymi się

przetwarzaniem i unieszkodliwianiem odpadów, aby zapewnić ich odpowiednie zagospodarowanie.

Regularnie monitorowane są ilości i rodzaje przekazywanych odpadów, co pozwala na bieżąco analizować efektywność działania PSZOK-u.

Edukacja i informacja

PSZOK-i często pełnią również funkcję edukacyjną, informując mieszkańców o zasadach segregacji odpadów i korzyściach wynikających z recyklingu. Organizowane są akcje edukacyjne, rozdawane materiały informacyjne, a pracownicy są dostępni do udzielania porad i odpowiedzi na pytania mieszkańców.

Punkty Selektywnej Zbiórki Odpadów Komunalnych (PSZOK-i) są nieodłącznym elementem systemu gospodarki odpadami w gminach. Dzięki odpowiedniej organizacji i zarządzaniu, PSZOK-i umożliwiają mieszkańcom skuteczne segregowanie i przekazywanie odpadów, co przyczynia się do zwiększenia efektywności recyklingu oraz minimalizacji negatywnego wpływu na środowisko. Poprzez właściwe zarządzanie i działania edukacyjne, PSZOK-i wspierają gminy w dążeniu do zrównoważonego rozwoju.

3. RIPOK

Regionalne instalacje przetwarzania odpadów komunalnych (RIPOK) odgrywają kluczową rolę w systemie zarządzania odpadami komunalnymi. Funkcjonują one na terenach określonych w planach gospodarki odpadami, obejmujących regiony składające się z sąsiadujących gmin, zamieszkałych przez co najmniej 150 tysięcy osób. Status RIPOK może być przyznany zakładom przetwarzania odpadów, które mają odpowiednią moc przerobową do obsługi regionu liczącego co najmniej 120 tysięcy mieszkańców i spełniają wymogi najlepszych dostępnych technologii. Instalacje te muszą zapewniać:

- mechaniczno-biologiczne przetwarzanie zmieszanych odpadów komunalnych oraz odzysk frakcji nadających się do ponownego wykorzystania,
- przetwarzanie selektywnie zebranych odpadów zielonych i bioodpadów, z wytwarzaniem nawozów lub środków wspomagających wzrost roślin,

- składowanie odpadów pochodzących z mechaniczno-biologicznego przetwarzania oraz resztek z sortowania odpadów komunalnych (Wąsowicz, Famielec i Chełkowski, 2018) (Dz. U. z 2023 r. poz. 56.).

Ponadregionalne instalacje

Spalarnie odpadów komunalnych, zgodnie z ustawą o odpadach, mogą uzyskać status ponadregionalnej instalacji, jeśli mają moce przerobowe wystarczające do obsługi obszaru zamieszkałego przez co najmniej 500 tysięcy osób i spełniają wymagania najlepszych dostępnych technologii.

Typy instalacji regionalnych

Wojewódzkie plany gospodarki odpadami uwzględniają różne typy instalacji regionalnych, takie jak:

- RIPOK-i do mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów,
- tzw. zielone RIPOK-i do przetwarzania odpadów zielonych i bioodpadów,
- składowiska odpadów komunalnych o statusie RIPOK-ów,
- instalacje do termicznego przekształcania odpadów komunalnych (ITPOK), które spełniają wymagania instalacji regionalnych, ale nie mają statusu instalacji ponadregionalnej (Dz. U. z 2023 r. poz. 56.).

Obowiązki gmin w systemie gospodarki odpadami

Ustawa o utrzymaniu czystości i porządku w gminach nakłada na gminy obowiązek odbioru odpadów komunalnych. Ponadto każda gmina musi zorganizować, samodzielnie lub wspólnie z innymi gminami, co najmniej jeden stacjonarny punkt selektywnej zbiórki odpadów komunalnych (PSZOK), który umożliwia odbiór takich odpadów jak: przeterminowane leki, chemikalia, zużyte baterie i akumulatory, zużyty sprzęt elektryczny i elektroniczny, meble i inne odpady wielkogabarytowe, zużyte opony, odpady zielone oraz odpady budowlane i rozbiórkowe

(Dz.U. 1996 nr 132 poz. 622).

Zasady selektywnej zbiórki odpadów

Rozporządzenie z końca 2016 roku dotyczące szczegółowego sposobu selektywnej zbiórki wybranych frakcji odpadów wymaga, aby odpady były zbierane w odpowiednio oznakowanych pojemnikach lub workach. Dotyczy to następujących frakcji:

- papier,
- szkło,
- metale,
- tworzywa sztuczne,
- odpady biodegradowalne, z uwzględnieniem bioodpadów.

Ta regulacja ma zarówno charakter prawny, jak i organizacyjno-technologiczny, wymuszając wprowadzenie systemu obsługi każdej z frakcji selektywnie zbieranej. Realizacja tych wymogów ma sprzyjać osiągnięciu celów ekologicznych, w szczególności wyższego poziomu recyklingu i przygotowania do ponownego użycia wskazanych frakcji odpadów. Rozporządzenie weszło w życie 1 lipca 2017 roku, ale pozwala na prowadzenie selektywnej zbiórki odpadów według dotychczasowych zasad do wygaśnięcia obecnie realizowanych umów na odbieranie i zagospodarowanie odpadów, jednak nie później niż do 30 czerwca 2021 roku.

Biodegradowalne odpady

Podkreślono konieczność selektywnej zbiórki odpadów biodegradowalnych, która dotychczas była powszechna głównie w niektórych przedsiębiorstwach i w nieruchomościach z przydomowymi ogródkami. Odpady biodegradowalne, które powinny być gromadzone w brązowych pojemnikach lub workach, to m.in.: odpadki warzywne i owocowe, gałęzie drzew i krzewów, skoszona trawa, liście, kwiaty, trociny i korę drzew oraz resztki jedzenia. Ustawa o odpadach dopuszcza możliwość kompostowania tych odpadów na potrzeby własne przez osoby fizyczne, a posiadanie kompostownika zwalnia z obowiązku zbierania odpadów biodegradowalnych do wyznaczonego pojemnika.

4. Punkty przeładunkowe

Punkty przeładunkowe są kluczowymi elementami w systemie zarządzania odpadami komunalnymi, służącymi jako miejsca, gdzie odpady zebrane w różnych lokalizacjach są

tymczasowo przechowywane i konsolidowane przed dalszym transportem do miejsc przetwarzania lub unieszkodliwiania. Ich głównym zadaniem jest optymalizacja logistyki transportu odpadów, co prowadzi do zmniejszenia kosztów i zwiększenia efektywności całego systemu.

Funkcje punktów przeładunkowych

- Konsolidacja odpadów

Odpady zebrane z różnych źródeł (domów, przedsiębiorstw, instytucji) są przewożone do punktu przeładunkowego, gdzie są łączone w większe partie, co pozwala na bardziej efektywny transport na dalsze odległości.

- Redukcja kosztów transportu

Dzięki konsolidacji odpadów w punktach przeładunkowych możliwe jest zmniejszenie liczby kursów transportowych, co prowadzi do obniżenia kosztów paliwa i zmniejszenia zużycia pojazdów.

- Optymalizacja logistyki

Punkty przeładunkowe umożliwiają optymalizację tras transportu odpadów, co jest szczególnie ważne w dużych aglomeracjach miejskich. Ułatwia to także planowanie harmonogramów odbioru i dostaw odpadów.

- Segregacja i przygotowanie do dalszego transportu

W niektórych punktach przeładunkowych odbywa się wstępna segregacja odpadów, co pozwala na bardziej efektywne przetwarzanie i recykling w ostatecznych miejscach przeznaczenia.

- Zmniejszenie emisji

Zmniejszenie liczby pojazdów na drogach dzięki konsolidacji odpadów pomaga również w redukcji emisji spalin i zmniejszeniu śladu węglowego systemu transportu odpadów.

Struktura i wyposażenie punktów przeładunkowych

- Plac manewrowy i rampy załadunkowe

Plac manewrowy umożliwia swobodne poruszanie się pojazdów zbierających odpady i ciężarówek transportowych. Różne rampy załadunkowe pozwalają na efektywny transfer odpadów z mniejszych pojazdów na większe środki transportu.

- Kontenery i pojemniki

Punkty przeładunkowe są wyposażone w różnorodne kontenery i pojemniki, które umożliwiają tymczasowe składowanie odpadów przed ich dalszym transportem.

- Urządzenia do przetwarzania wstępnego

W niektórych przypadkach punkty przeładunkowe mogą być wyposażone w urządzenia do wstępnego przetwarzania odpadów, takie jak kompaktory, które zmniejszają objętość odpadów, czy sortowniki, które segregują odpady na miejscu.

- Systemy monitoringu i bezpieczeństwa

Nowoczesne punkty przeładunkowe są często wyposażone w systemy monitoringu, które kontrolują procesy przeładunkowe oraz zapewniają bezpieczeństwo pracowników i ochronę przed kradzieżami czy aktami wandalizmu.

Przykłady funkcjonowania punktów przeładunkowych w Polsce

W Warszawie punkty przeładunkowe są strategicznie rozmieszczone w różnych częściach miasta, co pozwala na efektywne zarządzanie ogromnymi ilościami odpadów generowanych przez mieszkańców i przedsiębiorstwa. Dzięki temu odpady są szybko i sprawnie transportowane do zakładów przetwarzania.

W Krakowie system punktów przeładunkowych wspiera selektywną zbiórkę odpadów oraz ich dalszy transport do miejsc przetwarzania, takich jak RIPOK-i. Punkty te są kluczowe w logistyce odpadów i przyczyniają się do zwiększenia efektywności recyklingu.

Punkty przeładunkowe w Poznaniu są wyposażone w nowoczesne technologie, które pozwalają na skuteczne zarządzanie różnymi rodzajami odpadów. System ten wspiera również inicjatywy związane z gospodarką o obiegu zamkniętym, promując recykling i ponowne użycie materiałów.

Wyzwania i przyszłość punktów przeładunkowych

1. Integracja z systemem gospodarki odpadami

Jednym z głównych wyzwań jest pełna integracja punktów przeładunkowych z resztą systemu gospodarki odpadami, co wymaga spójności logistycznej i operacyjnej.

2. Zrównoważony rozwój

Punkty przeładunkowe muszą również odpowiadać na wyzwania związane ze zrównoważonym rozwojem, takie jak zmniejszenie emisji CO₂, efektywne wykorzystanie zasobów oraz minimalizacja odpadów.

3. Nowoczesne technologie

Przyszłość punktów przeładunkowych wiąże się z wdrażaniem nowoczesnych technologii, takich jak systemy zarządzania odpadami oparte na danych, automatyzacja procesów przeładunkowych oraz innowacyjne rozwiązania w zakresie logistyki i transportu.

Punkty przeładunkowe są kluczowe w systemie gospodarki odpadami komunalnymi w Polsce, wspierając efektywną logistykę, redukując koszty transportu i minimalizując negatywny wpływ na środowisko. Dzięki odpowiedniej organizacji i nowoczesnym rozwiązaniom technologicznym, punkty przeładunkowe przyczyniają się do skutecznego zarządzania odpadami, wspierając cele ekologiczne i zrównoważony rozwój.

4. Składowiska i spalarnie

Składowiska odpadów są specjalnie przygotowanymi miejscami, gdzie odpady komunalne są długoterminowo przechowywane. Ich podstawowym celem jest bezpieczne składowanie odpadów, które nie mogą być poddane recyklingowi ani innym procesom przetwarzania.

Przechowywanie odpadów polega na długotrwałym deponowaniu odpadów, które nie zostały zagospodarowane gospodarczo ani unieszkodliwione innymi metodami. Proces ten odbywa się w miejscach specjalnie przeznaczonych i zaprojektowanych tak, aby było to bezpieczne dla ludzi i środowiska (Wąsowicz, Famielec i Chełkowski, 2018).

Składowiska odpadów

Składowisko odpadów to inżynierski obiekt przeznaczony do systematycznego przechowywania odpadów, zaprojektowany w oparciu o obowiązujące regulacje prawne i dostosowany do specyficznych cech przechowywanych materiałów. Możemy wyróżnić trzy główne rodzaje składowisk:

- Składowiska przeznaczone do odpadów niebezpiecznych,
- Składowiska dla odpadów obojętnych,
- Składowiska dla odpadów, które nie są klasyfikowane jako niebezpieczne ani obojętne, w tym odpady komunalne.

Cechy charakterystyczne składowisk

Składowiska odpadów to złożone struktury techniczne, które muszą spełniać następujące kryteria:

- Zajmowanie powierzchni od kilku tysięcy do kilkuset tysięcy metrów kwadratowych,
- Dysponowanie pojemnością od kilku tysięcy do kilkunastu milionów metrów sześciennych,
- Możliwość składowania odpadów na wysokość dochodzącą do kilkudziesięciu metrów,
- Długotrwała eksploatacja, trwająca nawet kilkadziesiąt lat,
- Zapewnienie stabilności zarówno podłoża, jak i samych składowanych odpadów,
- Maksymalizacja szczelności oraz minimalizacja negatywnego wpływu na otoczenie.

Regulacje prawne

Wytyczne dotyczące budowy, eksploatacji i zamykania składowisk są ściśle określone w przepisach prawnych, takich jak:

- Rozporządzenie w sprawie składowisk odpadów
- Rozporządzenie w sprawie rodzajów odpadów, które mogą być składowane na składowisku odpadów w sposób nieselektywny
- Rozporządzenie w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach

Wymogi techniczne

Współczesne składowiska muszą spełniać szereg wymogów technicznych, które obejmują:

- **Systemy zabezpieczenia wód gruntowych, powierzchniowych i podziemnych** przed wpływem odpadów, z wykorzystaniem naturalnych lub sztucznych barier geologicznych.

- **Systemy ujmowania i oczyszczania odcieków**, które muszą działać niezawodnie zarówno podczas eksploatacji składowiska, jak i przez co najmniej 30 lat po jego zamknięciu.
- **Systemy ujmowania i zagospodarowania biogazu** powstającego w masie składowanych odpadów, który należy oczyścić i wykorzystać do celów energetycznych.
- **Sprzęt techniczny do formowania i zagęszczania odpadów**, zapewniający stabilność geotechniczną składowanych odpadów.
- **Systemy monitoringu wpływu składowiska na środowisko** w różnych fazach, tj. przedeksploatacyjnej, eksploatacyjnej i poeksploatacyjnej, które monitorują m.in. jakość i ilość wód gruntowych, powierzchniowych i odcieków, a także jakość i ilość biogazu oraz osiadanie składowanych odpadów (Dz.U.2022.1902) .
- **Systemy zabiegów rekultywacyjnych.**

Ograniczenia w składowaniu niektórych odpadów

Dla odpadów z grupy 20 (odpady komunalne) oraz o kodzie 19 12 12 (frakcja podsitowa odpadów komunalnych przed poddaniem jej procesom biologicznym) obowiązuje zakaz składowania, jeśli zawierają one:

- Ogólny węgiel organiczny (TOC) przekraczający 5% suchej masy.
- Straty prażenia (LOI) przekraczające 8% suchej masy.
- Ciepło spalania powyżej 6 MJ/kg suchej masy.

W praktyce oznacza to konieczność przetwarzania nieprzetworzonych zmieszanych odpadów komunalnych innymi metodami niż składowanie.

Rola składowisk w systemie gospodarowania odpadami

1. Ostateczne składowanie odpadów

Składowiska są miejscami docelowymi dla odpadów, które nie mogą być przetworzone ani zrecyklingowane. Stanowią one końcowy etap w systemie zarządzania odpadami.

2. Kontrola i minimalizacja wpływu na środowisko

Nowoczesne składowiska są zaprojektowane tak, aby minimalizować negatywny wpływ na środowisko. Wyposażone są w systemy odprowadzania i oczyszczania odcieków, systemy

zbierania i przetwarzania gazów składowiskowych oraz bariery geotechniczne zapobiegające zanieczyszczeniu gleby i wód gruntowych.

3. Zarządzanie gazami składowiskowymi

Składowiska są wyposażone w systemy zbierania gazów składowiskowych, takich jak metan, powstający podczas rozkładu odpadów organicznych. Gaz ten może być wykorzystywany jako źródło energii, co przyczynia się do redukcji emisji gazów cieplarnianych.

4. Monitorowanie i zarządzanie składowiskami

Regularne monitorowanie parametrów środowiskowych składowisk (np. jakości odcieków, emisji gazów) jest kluczowe dla zapewnienia, że składowiska działają zgodnie z normami środowiskowymi i prawnymi.

Spalarnie odpadów

Spalarnie odpadów to instalacje, w których odpady komunalne są spalane w wysokich temperaturach, co prowadzi do redukcji ich objętości i masy oraz generowania energii w postaci ciepła i/lub elektryczności.

Rola spalarni w systemie gospodarowania odpadami

1. Redukcja objętości i masy odpadów

Spalanie odpadów znacząco redukuje ich objętość i masę, zmniejszając tym samym ilość odpadów wymagających składowania. Proces ten przekształca odpady stałe w popiół i gazy spalinowe.

2. Energia z odpadów

Spalarnie odpadów komunalnych często wykorzystują ciepło powstałe podczas spalania do produkcji energii elektrycznej i ciepłej. Taka odzyskana energia może być wykorzystana do zasilania lokalnych sieci energetycznych, co przyczynia się do zwiększenia efektywności energetycznej i zrównoważonego rozwoju.

3. Bezpieczeństwo i kontrola emisji

Nowoczesne spalarnie są wyposażone w zaawansowane systemy oczyszczania spalin, które minimalizują emisję szkodliwych substancji, takich jak dioksyne, furany, tlenki azotu i dwutlenek siarki. Systemy te są kluczowe dla ochrony środowiska i zdrowia publicznego.

4. Zarządzanie pozostałościami po spalaniu

Popiół i inne pozostałości po spalaniu są poddawane dalszemu przetwarzaniu. Popiół denny może być wykorzystywany w budownictwie, np. jako materiał do budowy dróg, podczas gdy popiół lotny i osady z oczyszczania spalin są bezpiecznie składowane lub przetwarzane w specjalistycznych zakładach.

Wspólna rola składowisk i spalarni w systemie gospodarowania odpadami

1. Komplementarność w zarządzaniu odpadami

Składowiska i spalarnie odpadów pełnią komplementarne role w systemie gospodarowania odpadami. Podczas gdy składowiska są miejscem ostatecznego składowania odpadów, które nie mogą być przetworzone, spalarnie przekształcają odpady w energię, zmniejszając jednocześnie ich objętość.

2. Zrównoważony rozwój

Oba te elementy systemu przyczyniają się do zrównoważonego rozwoju poprzez minimalizację negatywnego wpływu odpadów na środowisko. Spalarnie przyczyniają się do odzysku energii z odpadów, podczas gdy nowoczesne składowiska zapewniają bezpieczne i kontrolowane składowanie odpadów reszkowych.

3. Ochrona zdrowia publicznego i środowiska

Dzięki zaawansowanym technologiom i systemom monitorowania, składowiska i spalarnie odgrywają kluczową rolę w ochronie zdrowia publicznego i środowiska, zapewniając, że odpady są zarządzane w sposób bezpieczny i zgodny z przepisami prawnymi.

4. Logistyka i transport odpadów

Logistyka odpadów obejmuje wszystkie działania związane z zarządzaniem przepływem odpadów od miejsca ich powstania do miejsca ich przetwarzania, recyklingu lub ostatecznego unieszkodliwienia. Jest to kluczowy element systemu gospodarki odpadami, mający na celu zapewnienie efektywności i skuteczności procesów zarządzania odpadami.

Kluczowe elementy logistyki odpadów

1. Zbiórka odpadów

Zbieranie odpadów to pierwszy etap logistyki odpadów, polegający na odbieraniu odpadów z miejsc ich powstawania, takich jak domy mieszkalne, przedsiębiorstwa i instytucje. W Polsce zbiórka odpadów odbywa się na kilka sposobów:

Zbiórka pojemnikowa: Mieszkańcy segregują odpady i umieszczają je w odpowiednich pojemnikach, które są regularnie opróżniane przez służby komunalne.

Zbiórka workowa: W miejscach, gdzie nie ma miejsca na pojemniki, odpady zbierane są w workach dostarczanych przez służby komunalne.

2. Transport wewnętrzny

Transport wewnętrzny odpadów obejmuje przemieszczanie odpadów w ramach lokalnych obszarów, takich jak osiedla czy dzielnice. Ma na celu przewiezienie odpadów z punktów zbiórki do punktów przeładunkowych lub bezpośrednio do miejsc przetwarzania.

3. Punkty przeładunkowe

Punkty przeładunkowe to miejsca, gdzie odpady są tymczasowo przechowywane i konsolidowane przed dalszym transportem. Umożliwiają one efektywne zarządzanie logistyką odpadów, zmniejszając liczbę kursów transportowych i koszty związane z przewozem odpadów na dalsze odległości.

4. Transport dalekobieżny

Transport dalekobieżny obejmuje przewóz odpadów na duże odległości, z punktów przeładunkowych do regionalnych instalacji przetwarzania odpadów komunalnych (RIPOK-i), składowisk lub spalarni. Ten etap wymaga wykorzystania specjalistycznych pojazdów zdolnych do przewożenia dużych ilości odpadów w sposób bezpieczny i zgodny z przepisami (Wąsowicz, Famielec i Chełkowski, 2018).

5. Transport miejski

Transport miejski odpadów koncentruje się na przemieszczaniu odpadów w granicach miasta, z uwzględnieniem specyficznych warunków miejskich, takich jak gęsta zabudowa, duży ruch uliczny i ograniczenia przestrzenne. Obejmuje to zbiórkę odpadów z pojemników ulicznych, przystanków komunikacji miejskiej i innych publicznych miejsc.

6. Systemy informatyczne wspomagane AI

Wykorzystanie nowoczesnych technologii informatycznych, w tym sztucznej inteligencji (AI), odgrywa coraz większą rolę w logistyce odpadów. Systemy te umożliwiają monitorowanie i optymalizację tras transportowych, zarządzanie flotą pojazdów, monitorowanie pojemników na odpady (np. poziomu napełnienia) oraz analizę danych w celu poprawy efektywności całego systemu.

7. Gmina - SGOK

System Gospodarki Odpadami Komunalnymi (SGOK) to zintegrowany system zarządzania odpadami komunalnymi, który obejmuje wszystkie działania związane z gospodarką odpadami, począwszy od ich zbiórki, poprzez transport, przetwarzanie, aż po ich ostateczne unieszkodliwienie. Celem SGOK jest zapewnienie efektywnego, ekonomicznego i ekologicznie zrównoważonego zarządzania odpadami komunalnymi na terenie gminy (Dz.U. 1996 nr 132 poz. 622) .

Rola gmin w SGOK

1. Organizacja systemu zbiórki odpadów

Gminy są odpowiedzialne za organizację systemu zbiórki odpadów na swoim terenie. To obejmuje zarówno zbiórkę zmieszanych odpadów komunalnych, jak i selektywną zbiórkę odpadów. Gminy muszą zapewnić, że mieszkańcy mają dostęp do odpowiednich pojemników i worków na odpady oraz że odpady są zbierane regularnie.

2. Utworzenie i zarządzanie PSZOK-ami

Gminy są zobowiązane do stworzenia co najmniej jednego Punktu Selektywnej Zbiórki Odpadów Komunalnych (PSZOK) na swoim terenie. PSZOK-i umożliwiają mieszkańcom oddawanie odpadów, które nie są zbierane w regularnych zbiórkach, takich jak elektrośmieci, odpady niebezpieczne, meble, opony itp. Gminy zarządzają tymi punktami, zapewniając ich dostępność i efektywność działania.

3. Transport odpadów

Gminy odpowiadają za organizację transportu odpadów z miejsc ich zbiórki do miejsc przetwarzania lub składowania. Mogą to robić poprzez własne służby komunalne lub zlecać te usługi firmom zewnętrznym.

4. Współpraca z regionalnymi instalacjami przetwarzania odpadów (RIPOK)

Gminy współpracują z regionalnymi instalacjami przetwarzania odpadów komunalnych (RIPOK), które zajmują się przetwarzaniem i recyklingiem odpadów. Gminy muszą zapewnić, że odpady trafiają do odpowiednich instalacji, które spełniają wymagania dotyczące ochrony środowiska i efektywności przetwarzania.

5. Edukacja i świadomość społeczna

Gminy prowadzą działania edukacyjne i informacyjne, które mają na celu zwiększenie świadomości mieszkańców na temat właściwego postępowania z odpadami, zasad segregacji oraz korzyści płynących z recyklingu. Edukacja jest kluczowym elementem skutecznego działania SGOK, ponieważ zachęca mieszkańców do aktywnego udziału w systemie gospodarowania odpadami.

6. Monitorowanie i raportowanie

Gminy monitorują skuteczność systemu gospodarowania odpadami na swoim terenie, zbierając dane na temat ilości i rodzaju zbieranych odpadów, efektywności procesów przetwarzania oraz poziomu recyklingu. Na podstawie tych danych gminy raportują do odpowiednich organów i podejmują działania mające na celu poprawę systemu.

7. Regulacje i opłaty

Gminy ustalają lokalne regulacje dotyczące gospodarki odpadami, w tym zasady zbiórki, terminy odbioru odpadów, wymagania dotyczące segregacji oraz wysokość opłat za odbiór i przetwarzanie odpadów. Opłaty te są wykorzystywane do finansowania systemu gospodarowania odpadami na terenie gminy.

Przykłady działań gmin w ramach SGOK

Warszawa

W Warszawie gmina zarządza kompleksowym systemem zbiórki i przetwarzania odpadów, który obejmuje szeroką sieć PSZOK-ów, zaawansowane instalacje przetwarzania oraz intensywne kampanie edukacyjne mające na celu promowanie segregacji odpadów.

Kraków

Gmina Kraków prowadzi efektywny system gospodarki odpadami, który integruje zbiórkę selektywną, transport, przetwarzanie i składowanie odpadów. Miasto realizuje również liczne

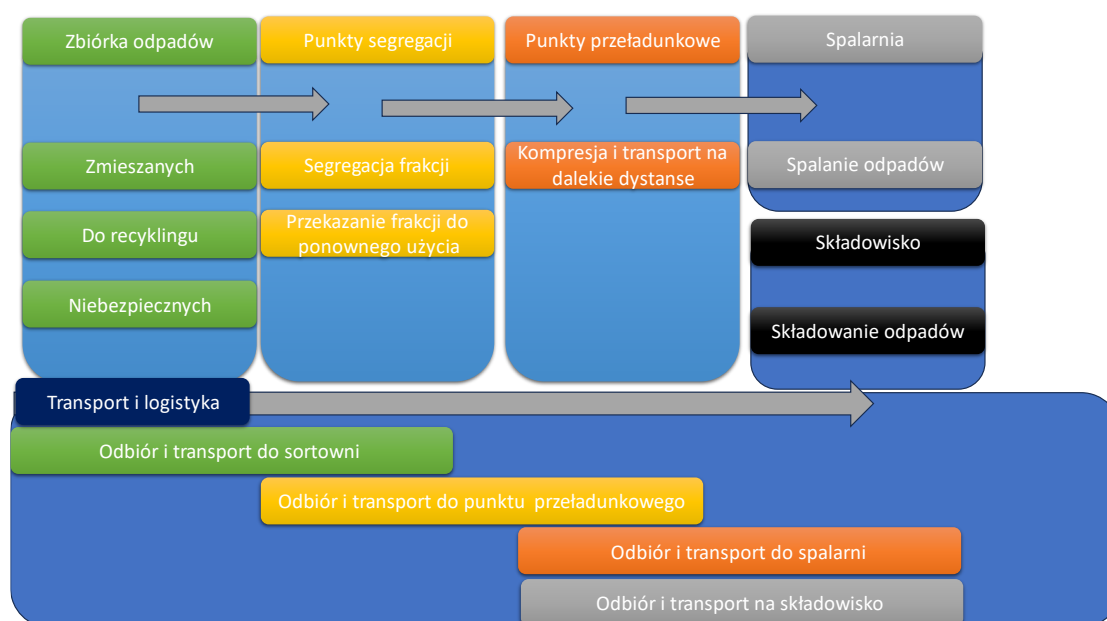
inicjatywy edukacyjne, skierowane do mieszkańców, mające na celu zwiększenie świadomości ekologicznej.

Poznań

Poznań posiada rozwinięty system gospodarowania odpadami, który kładzie duży nacisk na recykling i odzysk surowców. Gmina współpracuje z mieszkańcami, organizując liczne programy edukacyjne i informacyjne, aby zachęcić do właściwej segregacji odpadów (Wąsowicz, Famielec i Chełkowski, 2018)

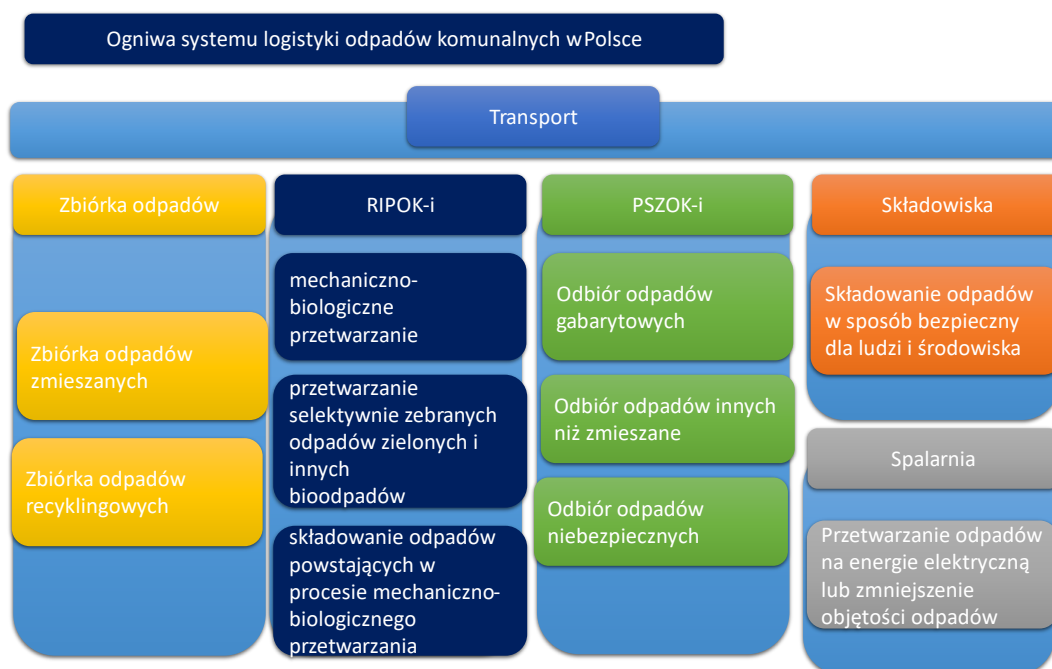
System logistyki odpadów komunalnych w Polsce jest skomplikowaną siecią współzależnych ogniw, z których każde pełni kluczową rolę w zarządzaniu odpadami. Od zbiórki i transportu, przez przetwarzanie i składowanie, po edukację mieszkańców – wszystkie te elementy współpracują, aby zapewnić efektywne, ekonomiczne i ekologiczne zarządzanie odpadami. Gminy, jako centralne jednostki organizacyjne, odgrywają decydującą rolę w koordynacji i nadzorowaniu tych procesów, co jest kluczowe dla osiągnięcia zrównoważonego rozwoju i ochrony środowiska.

Rysunek poniżej ilustruje złożony proces zarządzania odpadami komunalnymi, który obejmuje zbiórkę, segregację, przeładunek, transport oraz finalne przetwarzanie odpadów. Każdy etap jest kluczowy dla zapewnienia efektywnego i ekologicznego zarządzania odpadami, minimalizując negatywny wpływ na środowisko i promując recykling oraz odzysk surowców.



Rysunek 32 Zarządzania odpadami komunalnymi w Polsce

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 33 Ogniwa systemu logistyki odpadów komunalnych w Polsce

Źródło: opracowanie własne

3.5. Zarządzanie systemem gospodarki odpadami komunalnymi jako obowiązek gminy.

Zarządzanie odpadami powierzono gminom, z intencją maksymalizacji ponownego wykorzystania odpadów poprzez ich segregację, recykling i odzysk. Odpady nadające się do termicznej utylizacji są spalane, a tylko pozostałe, które nie mogą być inaczej przetworzone, są składowane. Gmina, jako główny organ odpowiedzialny za gospodarkę odpadami komunalnymi, tworzy regulaminy w tym zakresie. Rada gminy, po konsultacjach z powiatowym inspektorem sanitarnym, ustala szczegółowe zasady dotyczące zbierania i odbierania odpadów komunalnych, w tym z gospodarstw domowych, odpadów niebezpiecznych, wielkogabarytowych i pochodzących z remontów (Wąsowicz, Famielec i Chełkowski, 2018).

Gmina może zarządzać odpadami komunalnymi na dwa sposoby:

- Zarządzanie systemem i przeprowadzanie przetargów na wybór usługodawców wywozowych bezpośrednio przez gminę.

- Powierzenie zarządzania systemem innym podmiotom prawnym poprzez przetarg lub w trybie bezprzetargowym (in-house).

Tryb in-house

Tryb in-house pozwala gminie powierzyć zarządzanie systemem gospodarki odpadami komunalnymi spółce komunalnej pod następującymi warunkami:

- Spółka musi być w całości własnością gminy.
- Gmina kontroluje spółkę na podobnych zasadach jak swoje jednostki organizacyjne.
- Spółka świadczy swoje usługi na rzecz gminy będącej jej właścicielem.

Model in-house był stosowany w dużych miastach Polski, takich jak Kraków, Białystok, Bydgoszcz i Szczecin, gdzie spółkom komunalnym powierzono budowę instalacji do termicznego przetwarzania odpadów komunalnych z funduszy UE (Izba Branży Komunalnej, 2022) .

Regulacje i przetargi

Od 2011 roku zmiany w ustawie o utrzymaniu czystości i porządku w gminach wprowadziły obowiązek organizacji przetargów na odbiór i zagospodarowanie odpadów komunalnych, ograniczając możliwość korzystania z trybu in-house. W 2014 roku dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady doprecyzowała przypadki, w których umowy w sektorze publicznym nie muszą podlegać przepisom o zamówieniach publicznych, co wpłynęło na polskie prawo. Nowelizacja z 2016 roku w Polsce pozwoliła gminom ponownie korzystać z trybu in-house pod pewnymi warunkami.

Warunki dla spółek komunalnych

Aby spółka komunalna mogła uzyskać zamówienie in-house, musi spełniać następujące warunki:

- Ponad 90% działalności musi być realizowane na rzecz gminy, która jest właścicielem spółki.

- Spółka musi być w pełni kontrolowana przez gminę.

Gmina może skorzystać z zamówienia in-house, ale nie jest do tego zobowiązana. Dwa przypadki, które wymagają przetargu, to:

- Brak własnej spółki komunalnej spełniającej warunki świadczenia usług odbioru odpadów.
- Nieruchomości niezamieszkane, dla których odbiór odpadów nie może być zlecony w trybie in-house (Wąsowicz, Famielec i Chełkowski, 2018).

Wyzwania i zalety trybu in-house

Zamówienia in-house pomagają eliminować nieetyczne praktyki i zapewniają lepszą kontrolę nad gospodarką odpadami. Chociaż istnieją obawy o monopolizację rynku, doświadczenia z innych krajów, takich jak Szwecja, Dania i Niemcy, pokazują, że kontrola gminy nad gospodarką odpadami może przynieść korzyści dla środowiska i społeczności lokalnych.

Model in-house jest również stosowany w innych sektorach komunalnych, takich jak transport publiczny, zaopatrzenie w wodę i odbiór ścieków. Jednak zlecanie wszystkich zadań jednemu podmiotowi ma swoje ograniczenia techniczne, ekonomiczne, społeczne i polityczne, które należy uwzględniać.

Gminy mogą korzystać z zamówień in-house, ale powinny robić to racjonalnie, uwzględniając strukturalne zmiany na rynku oraz konkurencję. Zamówienia in-house powinny być wykorzystywane z myślą o korzyściach dla całego systemu gospodarowania odpadami komunalnymi, a nie tylko dla pojedynczych podmiotów.

3.6. Podstawowe zasady i nowe podejścia w gospodarce odpadami komunalnymi

Podstawowym wyzwaniem w tworzeniu, wdrażaniu i zarządzaniu systemem gospodarki odpadami komunalnymi jest wielość jego uczestników oraz społeczny charakter generowania odpadów. Konsument, będący najczęstszym sprawcą wytwarzania odpadów, nie jest w stanie samodzielnie zapewnić ich unieszkodliwienia bez szkody dla otoczenia. Dodatkowo, nie może on samodzielnie finansować dostępu do nowoczesnej, ale kosztownej infrastruktury. Jego

zachowania są dyktowane świadomością i często ograniczają się do minimalizacji kosztów i dbania o „własne podwórko”.

Ekonomiczne aspekty zachowań

Te zachowania opisane są w ekonomii przez:

- **Efekt stadny:** Większość osób postępuje zgodnie z tym, co robią inni.
- **Tragedia wspólnego pastwiska:** Nadmierne wykorzystywanie wspólnych zasobów, takich jak rowy, lasy czy tereny publiczne, na które chętnie wyrzuca się odpady komunalne.
- **Syndrom NIMBY (Not In My Back Yard):** Sprzeciw wobec inwestycji w najbliższym sąsiedztwie, mimo uznania ich za potrzebne (Folmer, Gabel, & Opschor, 1996, s. 471).

Obiektywne zachowania a prawo

Te zachowania są obiektywne i nie reagują nawet na prawo, nakazy czy zakazy, ponieważ odzwierciedlają behawioralne cechy indywidualne i grupowe, w tym oportunizm, jak unikanie podatków. Z tego powodu rozwiązanie problemu odpowiedzialności za wytwarzanie i zagospodarowanie odpadów komunalnych wykracza poza regulacje tych zachowań.

Nowe paradygmaty gospodarki odpadami

W ostatniej dekadzie wypracowano nowe podejścia do zarządzania odpadami w UE i Polsce:

- **Odpady jako źródło surowców:** Odpady to nie tylko zagrożenie, ale i źródło surowców oraz materiałów.
- **Zmniejszenie składowania:** Więcej recyklingu, odzysku i termicznego przetwarzania odpadów.
- **Optymalizacja procesów:** Optymalizacja organizacji przetwarzania i usuwania odpadów.
- **Zrównoważona gospodarka odpadami:** Zintegrowana gospodarka odpadami komunalnymi.

Odpowiedzialność za gospodarkę odpadami

Odpowiedzialność za realizację celów gospodarki odpadami komunalnymi nie powinna spoczywać wyłącznie na gminach. Powinna również wynikać ze zmiany świadomości społecznej mieszkańców oraz odpowiedzialności korporacyjnej za rozwój trwały i zrównoważony.

Zintegrowana gospodarka odpadami komunalnymi

Jednym z kluczowych krajowych dokumentów strategicznych jest Strategia Bezpieczeństwa Energetycznego i Środowiska, zatwierdzona w 2014 roku. Głównym założeniem tej strategii

jest zagwarantowanie wysokiego standardu życia zarówno dla obecnych, jak i przyszłych pokoleń, z jednoczesnym poszanowaniem środowiska naturalnego oraz wspieraniem rozwoju zrównoważonego sektora energetycznego.

Cele strategii

Strategia wyznacza trzy szczegółowe cele:

1. Zrównoważone zarządzanie zasobami naturalnymi.
2. Zagwarantowanie krajowej gospodarce bezpiecznych i konkurencyjnych dostaw energii.
3. Poprawa jakości środowiska naturalnego.

Plany gospodarki odpadami

Strategia stanowi podstawę planów krajowego i wojewódzkich gospodarki odpadami do 2022 roku. Plany te mają na celu:

- Osiągnięcie celów założonych w krajowej polityce ochrony środowiska.
- Oddzielenie wzrostu ilości odpadów od wzrostu gospodarczego kraju.
- Wdrażanie hierarchii postępowania z odpadami oraz zasady samowystarczalności i bliskości.

Elementy zintegrowanej gospodarki odpadami komunalnymi

Zintegrowana gospodarka odpadami obejmuje:

- Działania strategiczne w zakresie produkcji, konsumpcji i polityki ochrony środowiska.
- Ograniczenie wytwarzania i szkodliwości odpadów.
- Zapewnienie bezpiecznego postępowania z odpadami.
- Skoordynowane regulacje prawne dotyczące oczyszczania i unieszkodliwiania odpadów.
- Stosowanie najlepszych dostępnych technik i zasady „zanieczyszczający płaci”.

Poziomy równoważenia gospodarki odpadami

Równoważenie gospodarki odpadami komunalnymi odbywa się na poziomach:

- Prawnym
- Ekonomicznym
- Finansowym
- Organizacyjnym

- Technologicznym
- Społecznym
- Politycznym

Zasada „zanieczyszczający płaci”

Cena za usługi gospodarki odpadami komunalnymi jest podstawowym instrumentem egzekwowania odpowiedzialności zanieczyszczających i źródłem finansowania systemu. Opłaty te mogą być bodźcem do proekologicznych działań.

Zintegrowana i zrównoważona gospodarka odpadami komunalnymi wymaga współpracy między gminami, mieszkańcami i przedsiębiorstwami. Wprowadzenie odpowiednich regulacji i świadomości ekologicznej jest kluczowe dla efektywnego zarządzania odpadami i ochrony środowiska (Rogall, 2010, s. 223) .

Rada gminy, poprzez uchwałę, określa maksymalne stawki opłat za usługi odbierania odpadów komunalnych, różnicując je w zależności od gęstości zaludnienia oraz odległości od miejsc unieszkodliwiania odpadów. Podczas ustalania opłat dla właścicieli nieruchomości, rada gminy stosuje obniżone stawki, jeśli odpady komunalne są zbierane i odbierane w sposób selektywny. Wójt, burmistrz lub prezydent miasta wydaje coroczną decyzję administracyjną, która określa:

- Obowiązek uiszczania opłat za odbiór odpadów komunalnych (w tym segregowanych) lub opróżnianie zbiorników bezodpływowych.
- Wysokość opłat, które są obliczane zgodnie z maksymalnymi stawkami ustalonymi przez radę gminy (w tym za odpady segregowane) (Graczyk, 2013, ss. 94-96).

Stawki opłat za gospodarowanie odpadami komunalnymi są ustalane na podstawie oszacowanych kosztów związanych z systemem zarządzania odpadami na terenie gminy. Wysokość tych opłat jest przeliczana w oparciu o liczbę mieszkańców danej nieruchomości, ilość zużytej wody lub powierzchnię lokalu mieszkalnego, co często budzi kontrowersje ekonomiczne, polityczne i społeczne.

Oprócz opłaty za gospodarowanie odpadami komunalnymi, pobierana jest również opłata ekologiczna za korzystanie ze środowiska w formie opłaty za umieszczanie odpadów na składowisku. Ta opłata, ustalana urzędowo, jest pobierana od przewoźnika lub zarządzającego składowiskiem i przekazywana do wydziału finansowego urzędu marszałkowskiego, skąd dalej jest redystrybuowana w systemie funduszy ochrony środowiska i gospodarki wodnej.

Tabela 7 Nowe stawki opłat za umieszczenie odpadów na składowisku

Rodzaj	Kod	2022	2023	2024
Niesegregowane zmieszane odpady komunalne	20 03 01	285,60	300,17	343,39
Inne odpady z mechanicznej przeróbki odpadów	19 12 12	285,60	300,17	343,39
Inne odpady z tlenowej przeróbki odpadów*	19 05 99	285,60	300,17	343,39

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Internetowa baza danych o odpadach <https://ibdo.pl/stawki2024/>

Tabela 7 ilustruje przepływy finansowe związane z opłatami za gospodarowanie odpadami oraz korzystanie ze środowiska, w kontekście przepływów strumieni odpadów w systemie gospodarki odpadami gminy.

3.7. Recykling – dobre praktyki

Odzysk odpadów jest procesem stosunkowo złożonym. Podstawowym jego elementem składowym jest jednak szeroko pojęty recykling, prowadzący do ograniczenia zużycia surowców naturalnych oraz zmniejszenia ilości odpadów. System wielokrotnego użycia tych samych materiałów przyczynia się do ochrony surowców nieodnawialnych lub trudnych do odnowienia. Dodatkowo, ogranicza on ilość powstających odpadów, które w przeciwnym razie musiałyby być składowane lub utylizowane.

W literaturze istnieje wiele definicji recyklingu, jednak najbardziej precyzyjną i przystępną jest ta: „Recykling to proces odzysku, polegający na ponownym przetwarzaniu substancji lub materiałów zawartych w odpadach w procesie produkcyjnym, mający na celu uzyskanie substancji lub materiału o pierwotnym przeznaczeniu lub innym, w tym również recykling organiczny, z wyłączeniem odzysku energii” (Radecki, 2008, s. 77).

O tym, czy dany proces można uznać za recykling, decyduje jego efekt końcowy, czyli uzyskany produkt. Kluczowe jest, aby w wyniku recyklingu powstał produkt przeznaczony do pierwotnego lub innego celu. Aby potwierdzić, że proces spełnia te założenia, konieczna jest

analiza możliwości użycia produktu zgodnie z przeznaczeniem, bez potrzeby dodatkowych działań, takich jak ulepszanie, oczyszczanie czy zastosowanie dodatkowych urządzeń. Jeśli analiza ta jest pozytywna, możemy uznać, że proces kwalifikuje się jako recykling (Górski, 2009, s. 313).

Recykling składa się z pięciu głównych etapów (Górski, 2009, s. 313):

- sortowanie,
- rozdrabnianie,
- mycie,
- wytłaczanie,
- inne procesy.

Pierwszy etap, czyli sortowanie, polega na rozdzieleniu różnych rodzajów odpadów. Idealnie, powinno się to odbywać jak najbliżej źródła powstawania odpadów, co pozwala na mniej zanieczyszczone odpady, które są bardziej odpowiednie do dalszej obróbki. Selektywna zbiórka jest najskuteczniejszą metodą, ponieważ oszczędza czas pracowników recyklingu, umożliwiając im szybkie rozpoczęcie procesu po otrzymaniu odpadów.

Rozdrabnianie jest kluczowe, ponieważ odpady przechowywane w pojemnikach do zbiórki zwykle nie nadają się do bezpośredniego przetworstwa. Proces ten odbywa się w młynach wyposażonych w noże tnące i sita, które oddzielają odpady o pożądanej wielkości.

Mycie jest niezbędne dla odpadów szklanych i plastikowych, ponieważ są one często zanieczyszczone. Do tego celu używa się specjalnych wanien z kąpielami wodnymi zawierającymi detergenty.

Wytłaczanie to etap, na którym powstaje końcowy produkt, np. granulatu lub gotowy wyrób szklany o praktycznym zastosowaniu. Proces ten jest częścią technologicznej linii recyklingu mechanicznego (Bergier, Kronenberg, 2010, s. 299).

„Pozostałe” obejmuje urządzenia takie jak transportery, cyklony, silosy, krystalizatory i aglomeratory. Transportery, cyklony i silosy pełnią funkcje magazynowe i homogenizacyjne, podczas gdy krystalizatory i aglomeratory są specjalistycznymi urządzeniami pomocniczymi.

Oprócz etapów recyklingu, należy również wymienić jego kluczowe elementy, które obejmują (Górski, 2009, s. 313):

- odpowiednią politykę państwa wspierającą recykling,
- projektowanie produktów z myślą o recyklingu, tj. wykorzystanie materiałów nadających się do ponownego przetworzenia, stosowanie jednorodnych materiałów ułatwiających demontaż i segregację, oraz takie łączenie materiałów, które umożliwia łatwe rozdzielenie,

- system oznaczania odpadów,
- logistykę związaną z sortowaniem, gromadzeniem i odbiorem odpadów,
- odpowiednie przygotowanie odpadów do recyklingu.

Przedmiotem recyklingu mogą być różne produkty, takie jak wycofane z użytku budowle, urządzenia, maszyny, środki transportu oraz produkty nie spełniające już swojej funkcji. Jeśli odpady te nie mogą być przetworzone w identyczne produkty, są używane do wytwarzania innych wyrobów.

Recykling, jak wspomniano wcześniej, ma zastosowanie do różnych rodzajów materiałów i odpadów. Obejmuje on odpady szklane, organiczne, nieorganiczne, niebezpieczne, stałe, ciekłe itp. Z uwagi na różnorodność odpadów konieczne jest stosowanie różnych metod recyklingu, gdyż jedna metoda nie jest wystarczająca dla wszystkich grup materiałowych. Dlatego też wyróżnia się różne rodzaje recyklingu (Orzełowski, 1969, s. 33):

- materiałowy;
- energetyczny;
- organiczny;
- surowcowy.

Recykling materiałowy to proces, który umożliwia ponowne wykorzystanie odpadów jako surowców wtórnych do produkcji nowych wyrobów. Jest szczególnie ważny w odzyskiwaniu metali, szkła, papieru oraz niektórych tworzyw sztucznych, zwłaszcza tych składających się z jednorodnych polimerów, takich jak folia wiskozowa (Łatka, 2003, s. 73-75).

Proces ten jest zarówno ekonomiczny, jak i dostępny, ale ma pewną wadę: produkty, które są wielokrotnie poddawane recyklingowi, z czasem tracą swoje pierwotne właściwości mechaniczne. Dzieje się tak głównie z powodu zmian w strukturze chemicznej polimerów w trakcie ich użytkowania i przechowywania. Aby zachować jakość recyklingowanych materiałów, stosuje się technikę tworzenia wieloskładnikowych kompozytów z dodatkami, które poprawiają ich właściwości.

Z technicznego punktu widzenia recykling materiałowy jest stosunkowo prosty, zwłaszcza jeśli dotyczy materiałów o jednolitej strukturze chemicznej. Kluczowe etapy tego procesu to segregacja i czyszczenie odpadów, które stanowią fundament efektywnego recyklingu (Łatka, 2003, s. 73-75).

W dzisiejszym świecie energia jest niezbędna dla normalnego funkcjonowania społeczeństwa. Używa się jej w różnych formach i do różnych celów, w tym do produkcji przemysłowej,

transportu, ogrzewania i oświetlenia domów. Początkowo energia była pozyskiwana z naturalnych źródeł, takich jak paliwa kopalne i biomasa, a także z siły wiatru i wody, jednak rosnące zapotrzebowanie na energię wymusiło poszukiwanie nowych źródeł. W ten sposób pojawiła się koncepcja odzyskiwania energii z odpadów.

Recykling energetyczny to proces, w którym odzyskuje się część energii zużytej na produkcję towarów. Nie ogranicza się on jedynie do spalania odpadów, ale obejmuje także produkcję paliw stałych, ciekłych i gazowych oraz przetwarzanie odpadów na materiały termoizolacyjne (Górski, 2009, s. 313–316).

Recykling energetyczny jest często stosowany w przypadku tworzyw sztucznych ze względu na ich wysoką wartość opałową, porównywalną z wartością kaloryczną oleju opałowego. Jednak spalanie tych odpadów wymaga instalacji specjalnych systemów oczyszczania gazów, aby zminimalizować emisję szkodliwych substancji do atmosfery. Przystosowanie spalarni do utylizacji tworzyw sztucznych wiąże się z wysokimi kosztami.

Spalanie odpadów w celu odzysku energii jest najlepszym rozwiązaniem w przypadku materiałów, których recykling w inny sposób jest niemożliwy lub nieopłacalny. Do głównych korzyści takiego podejścia należy redukcja masy odpadów do 90%, eliminacja szkodliwych substancji oraz mineralizacja nieorganicznych frakcji, które mogą być wykorzystane, na przykład, w budownictwie drogowym.

W procesie utylizacji z odzyskiem energii można efektywnie przetwarzać materiały takie jak kompozyty, polimery związane z metalami, laminaty czy komponenty elektroniczne. Należy jednak pamiętać, że w trakcie tego procesu około 5% tworzywa nie ulega spalaniu, a produkty uboczne, takie jak popiół i gazy, mogą być szkodliwe dla środowiska.

Recykling surowcowy polega na odzyskiwaniu surowców użytych do produkcji danego produktu. Odzyskane w ten sposób materiały mogą być ponownie użyte do produkcji pełnowartościowych wyrobów, a petrochemiczne frakcje lekkie i ciężkie mogą być domieszką do paliw i smarów.

Recykling surowcowy ma swoje zalety i wady. Jego główną zaletą jest możliwość przetwarzania mieszanych tworzyw bez potrzeby kosztownej segregacji. Wadą jest jednak

konieczność stosowania skomplikowanych instalacji, wysokiej temperatury, ciśnienia, katalizatorów oraz ścisłej kontroli parametrów, co ogranicza rozpowszechnienie tej metody.

Procesy związane z recyklingiem surowcowym obejmują takie działania jak kraking, piroliza, uwodornienie, dehydrochlorowanie oraz hydroliza (Radecki, 2008, s. 296).

Recykling organiczny odnosi się do przetwarzania odpadów biodegradowalnych w kontrolowanych warunkach tlenowych (kompostowanie) lub beztlenowych, z wykorzystaniem mikroorganizmów, co prowadzi do powstania materii organicznej lub metanu (Radecki, 2008, s. 130).

Recykling jest często omawiany jako jedna z metod ochrony środowiska, jednak równie często pojawiają się dyskusje na temat jego opłacalności ekonomicznej, głównie ze względu na redukcję kosztów związanych ze składowaniem odpadów.

Oprócz korzyści podatkowych, recykling znajduje uzasadnienie w tzw. efektach zewnętrznych, czyli nieocenionych kosztach i korzyściach, które powstają dla podmiotów niezwiązanych bezpośrednio z prywatnymi transakcjami.

Z tematem kosztów i korzyści związanych z recyklingiem wiąże się pojęcie opłaty produktowej, która jest rodzajem kary umownej za brak recyklingu ponad ustalony limit. Opłaty te dotyczą także niektórych materiałów, takich jak opony, akumulatory czy płyny chłodzące z samochodowych instalacji klimatyzacyjnych (Górski, 2009, s. 163).

3.8. System logistyki zwrotnej w Polsce pod kątem stosowanych metod oraz ich efektywności

Pomimo zmian w zakresie regulacji prawnych traktujących o odpadach i sposobach ich zagospodarowania, w Polsce po dziś dzień najbardziej popularną metodą jest składowanie odpadów na dedykowanych składowiskach.

Składowanie odpadów na wysypiskach jest najstarszą i wciąż najczęściej stosowaną metodą neutralizacji odpadów stałych. Przy odpowiednich warunkach technologicznych możliwe jest bezpieczne składowanie zarówno odpadów komunalnych, jak i przemysłowych. Proces

składowania polega na bezpiecznym umieszczaniu odpadów, które nie zostały ponownie wykorzystane ani zneutralizowane innymi metodami, w przeznaczonych do tego miejscach.

Współczesne standardy ochrony środowiska oraz normy sanitarne nakładają obowiązek budowy i eksploatacji składowisk w sposób maksymalnie ograniczający emisję zanieczyszczeń. O przyrodniczym zagospodarowaniu składowiska mówimy w sytuacji, gdy składowanie odpadów nie przynosi bezpośrednich korzyści ekologiczno-gospodarczych, ale jednocześnie nie powoduje wyraźnych szkód dla środowiska.

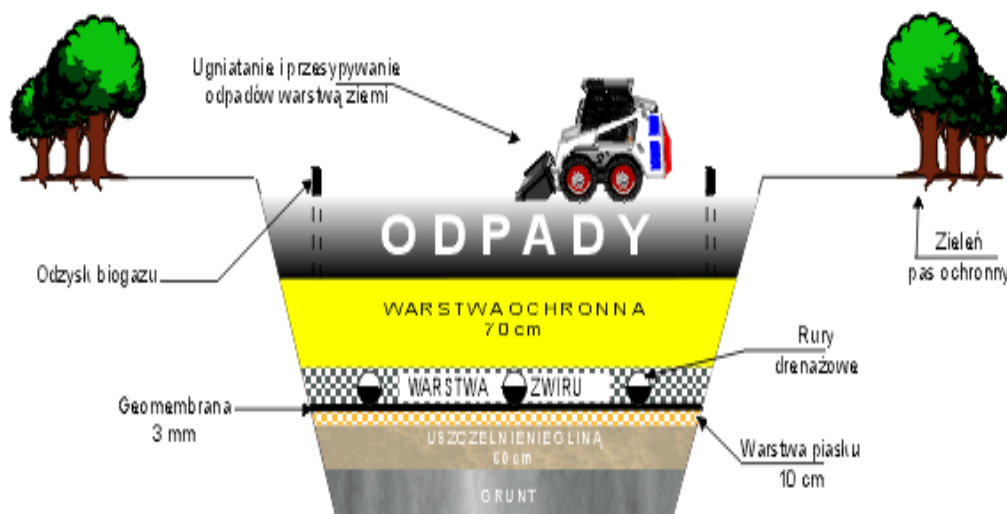
Negatywny wpływ składowiska na środowisko zależy od kilku czynników (Górski, 2009, s. 315):

- fizycznych, chemicznych i biologicznych właściwości składowanych odpadów,
- ilości odpadów,
- jakości podłoża i warunków hydrologicznych,
- sposobu zagospodarowania terenu wokół składowiska,
- metody zarządzania i eksploatacji składowiska,
- technik rekultywacji oraz przyszłego zagospodarowania terenu po zakończeniu eksploatacji.

Lokalizacja, konstrukcja i sposób zarządzania składowiskiem powinny minimalizować jego wpływ na otoczenie. Stopień uciążliwości składowiska zależy w dużej mierze od jego powierzchni oraz czasu użytkowania (Rosik-Dulewska, 2000, s. 81-87).

Aby zmniejszyć wpływ składowiska na środowisko, można zastosować różne środki, takie jak: redukcja powierzchni, na której bieżąco składa się odpady, ograniczenie czasu kontaktu odpadów z warunkami atmosferycznymi, eliminacja lub maksymalne ograniczenie kontaktu odpadów z wodami gruntowymi i powierzchniowymi, regularne zagęszczanie i przykrywanie kolejnych warstw odpadów warstwą izolacyjną oraz odprowadzanie nadmiaru wód opadowych i spływów powierzchniowych.

Każda lokalizacja składowiska wiąże się z pewnym negatywnym wpływem na środowisko, dlatego kluczowe jest wybór takiego miejsca, które minimalizuje te skutki. Uciążliwość składowiska jest również zależna od ochronnych właściwości otoczenia. Strefy ochronne odgrywają istotną rolę w ograniczaniu tego wpływu, a ich szerokość powinna być dostosowana do wielkości składowiska, na przykład dla małych składowisk (około 1 ha) wynosi 200 metrów, natomiast dla bardzo dużych (ponad 10 ha) – 500 metrów (Rosik-Dulewska, 2000, s. 81-87).



Rysunek 34. Schemat nowoczesnego składowiska odpadów

Źródło: (opracowanie własne)

3.9. Sposoby zagospodarowania odpadów w Polsce, Europie i na świecie – analiza wybranych wskaźników

Z każdym rokiem rośnie ilość generowanych odpadów. Jest to wynikiem rosnącej konsumpcji, rozwoju gospodarczego oraz postępu technologicznego, który wymaga coraz większych zasobów surowców. Jednym z głównych powodów tego zjawiska jest fakt, że nakłady finansowe przeznaczone na neutralizację skutków generowania odpadów są znacznie mniejsze w porównaniu z funduszami inwestowanymi w produkcję dóbr konsumpcyjnych, z których te odpady się wywodzą. W krajach o wysokim poziomie rozwoju cywilizacyjnego problematyka opakowań i produktów jednorazowego użytku jest szczególnie paląca, jednak kwestie związane z produktami o długim okresie użytkowania nie są odpowiednio rozwiązywane ani pod względem ekonomicznym, ani organizacyjnym (Zarzycki, 2007, s. 196–197).

Gospodarka odpadami jest jednym z priorytetowych zadań polityki ekologicznej każdego państwa, z uwagi na korzyści, jakie może przynieść, oraz skutki zaniedbania jej wdrożenia. Odpady można przekształcać, co umożliwia pozyskiwanie cennych surowców – na przykład zużyte szklane butelki mogą być wielokrotnie przetapiane bez utraty jakości. Proces ten pozwala na znaczną oszczędność energii, która normalnie zostałaby zużyta w produkcji nowych szklanych opakowań. Ponadto, gospodarka odpadami pomaga chronić środowisko naturalne, które jest narażone na zanieczyszczenia na każdym etapie procesu, od produkcji,

przez magazynowanie, transport, przetwarzanie, aż po składowanie (Zarzycki, 2007, s. 196–197).

Jednym z kluczowych celów gospodarki odpadami jest stworzenie zamkniętego obiegu, w którym minimalizuje się ilość generowanych odpadów, a te, których nie można uniknąć, są poddawane recyklingowi (Rosik-Dulewska, 2000, s. 35-49).

Odpady to każda substancja lub przedmiot, których właściciel pozbywa się, zamierza się pozbyć lub jest zobowiązany do ich pozbycia się. Produkcja odpadów jest nieodłącznym aspektem działalności ludzkiej i stanowi istotne wyzwanie dla społeczeństw w zakresie ich właściwego zarządzania. Na poziomie krajowym, regionalnym i lokalnym podejmowane są różne działania mające na celu ograniczenie negatywnego wpływu odpadów na środowisko oraz zdrowie ludzi, a także efektywne zarządzanie zasobami. Odpady mogą prowadzić do zanieczyszczenia wód i gleb, skażenia powietrza, degradacji estetyki krajobrazu oraz wyłączenia terenów rolnych i leśnych z użytkowania.

Najbliższe lata przynoszą konieczność przejścia na gospodarkę o obiegu zamkniętym, której celem jest minimalizacja ilości wytwarzanych odpadów oraz wykorzystanie nieuniknionych odpadów jako zasobów poprzez recykling.

Dane dotyczące odpadów są opracowywane zgodnie z Ustawą o odpadach oraz Katalogiem odpadów, który dzieli odpady na grupy, podgrupy i rodzaje w zależności od ich źródła. Katalog obejmuje około 950 rodzajów odpadów sklasyfikowanych w 20 grupach.

Przy podziale odpadów według miejsca ich powstawania wyróżnia się:

- Odpady komunalne: Powstające na terenach zamieszkałych i związane z codziennym bytowaniem ludzi (kody odpadów z sektora komunalnego: 15 01 oraz grupa 20 Katalogu odpadów).
- Odpady przemysłowe: Związane z działalnością gospodarczą, obejmujące pierwsze 19 grup Katalogu odpadów (Dz. U. z 2020 r. poz. 10).

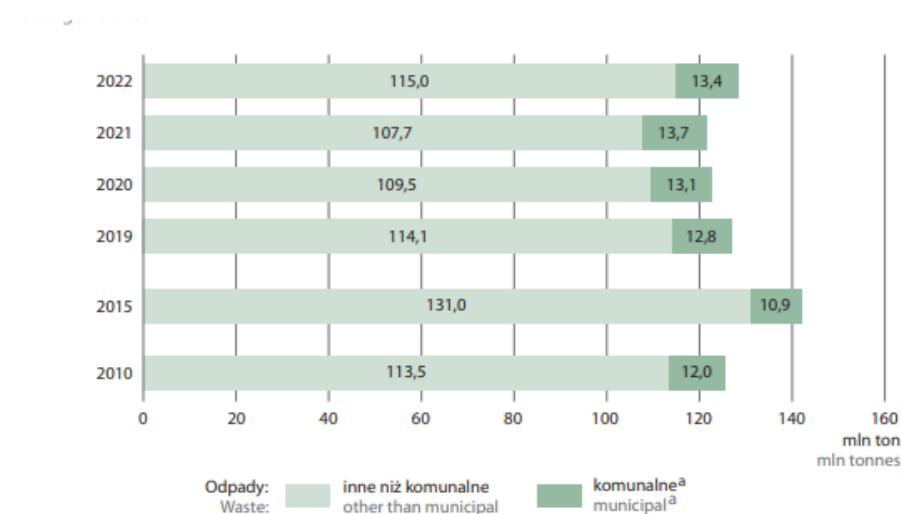
W roku 2022 w Polsce wyprodukowano 128,4 milionów ton odpadów, z czego 10,4% (13,4 miliona ton) stanowiły odpady komunalne. Od 2000 roku roczna ilość odpadów, z wyłączeniem tych komunalnych, oscylowała między 110 a 130 milionami ton. Wyjątkowo, w 2021 roku zanotowano spadek ilości wytworzonych odpadów, który wyniósł 107,7 miliona ton, co oznaczało 2% mniej niż w roku 2020. Pomimo wzrostu konsumpcji w 2022 roku, ilość odpadów komunalnych nie wzrosła, co sugeruje stabilizację w poziomie ich produkcji.

Analizując dane z ostatnich lat, można zauważyć, że mimo dynamicznego rozwoju gospodarczego i wzrostu konsumpcji, ilość wytwarzanych odpadów, w szczególności komunalnych, utrzymuje się na stosunkowo stabilnym poziomie. Jest to istotny sygnał, który może wskazywać na efektywność działań związanych z gospodarką odpadami oraz na wzrost świadomości ekologicznej społeczeństwa. Stabilizacja ta może być wynikiem szeregu inicjatyw mających na celu ograniczenie ilości odpadów poprzez recykling, ponowne wykorzystanie materiałów oraz zmniejszenie ilości odpadów wytwarzanych na etapie produkcji i konsumpcji.

Warto podkreślić, że choć całkowita ilość odpadów pozostaje w granicach historycznych wartości, zmienia się ich struktura. Coraz większy nacisk kładzie się na segregację i odzysk materiałów, co pozwala na bardziej efektywne zarządzanie odpadami. To z kolei przyczynia się do zmniejszenia negatywnego wpływu na środowisko, a także do lepszego wykorzystania zasobów naturalnych.

Dalsza analiza trendów w wytwarzaniu odpadów w Polsce może dostarczyć cennych informacji na temat skuteczności strategii zarządzania odpadami oraz wskazać obszary, w których potrzebne są dodatkowe działania. Na przykład, stałe monitorowanie ilości i rodzajów wytwarzanych odpadów może pomóc w identyfikacji sektorów gospodarki, które generują najwięcej odpadów, a także w opracowywaniu bardziej zrównoważonych rozwiązań. W dłuższej perspektywie, takie podejście może przyczynić się do zmniejszenia całkowitej ilości odpadów oraz do osiągnięcia celów związanych z ochroną środowiska.

Tabela 8 Odpady wytworzone



Źródło: Ochrona środowiska 2023 GUS

Gospodarka odpadami jest kluczowym elementem ochrony środowiska, jednak wciąż napotyka na liczne problemy. Odpady mogą stanowić cenny zasób, jeśli zostaną odpowiednio przygotowane do ponownego użycia, poddane recyklingowi lub innym formom odzysku. Natomiast unieszkodliwianie odpadów oznacza utratę potencjalnych zasobów i świadczy o nieefektywności gospodarki.

Znaczenie właściwego zarządzania odpadami

Efektywne zarządzanie odpadami jest kluczowe dla optymalnego wykorzystania zasobów naturalnych oraz wspierania zrównoważonego wzrostu gospodarczego. W związku z tym, Ustawa o odpadach, wdrażająca ramową dyrektywę odpadową, wprowadza pięciostopniową hierarchię postępowania z odpadami. Hierarchia ta określa najlepsze praktyki w zakresie zarządzania odpadami, które są następujące:

1. **Zapobieganie powstawaniu odpadów:** Najlepsza metoda zarządzania odpadami to unikanie ich powstawania.
2. **Ponowne użycie:** Drugim krokiem jest ponowne wykorzystanie produktów i materiałów.
3. **Recykling:** Trzecią preferowaną metodą jest przetwarzanie odpadów w celu odzyskania surowców.
4. **Inne formy odzysku:** Obejmują one metody takie jak odzysk energii z odpadów.
5. **Unieszkodliwianie odpadów:** Ostateczność, która obejmuje składowanie i inne formy trwałego unieszkodliwiania odpadów.

Odzysk odpadów odnosi się do wszelkich procesów, których głównym celem jest wykorzystanie odpadów w taki sposób, aby mogły zastąpić inne materiały, które w przeciwnym razie byłyby użyte do realizacji określonej funkcji. Odpady są przygotowywane do pełnienia określonej funkcji zarówno w danym zakładzie, jak i w szerokim kontekście gospodarczym.

Recykling to szczególna forma odzysku, w której odpady są przekształcane w nowe produkty, materiały lub substancje, które mogą być ponownie użyte w swoim pierwotnym celu lub w innych zastosowaniach. Proces ten obejmuje także przetwarzanie materiałów organicznych, czyli tzw. recykling organiczny, lecz wyłącza odzysk energii oraz przetwarzanie materiałów przeznaczonych na paliwo lub do wypełniania wyrobisk.

Unieszkodliwianie odpadów

Unieszkodliwianie odpadów to proces, który nie kwalifikuje się jako odzysk, nawet jeśli jednym z rezultatów jest wtórne odzyskanie substancji lub energii. Metody unieszkodliwiania odpadów obejmują m.in. składowanie, wprowadzanie do gleby, retencję powierzchniową (np. umieszczanie odpadów na poletkach osadowych lub w lagunach) oraz termiczne przekształcanie. Termiczne przekształcanie odpadów obejmuje spalanie przez utlenianie oraz inne techniki, takie jak piroliza, zgazowanie czy proces plazmowy, które są realizowane w spalarniach lub współspalarniach odpadów.

Odpady składowane to te, które zostały usunięte na składowiska oraz do obiektów unieszkodliwiania odpadów wydobywczych, takich jak hałdy czy stawy osadowe, zarówno przez własne zakłady, jak i inne podmioty (Ochrona środowiska 2023 GUS).

W 2018 roku wyprodukowano 115,3 mln ton odpadów przemysłowych oraz 12,5 mln ton odpadów komunalnych. Mimo stałego wzrostu PKB, ilość wytwarzanych odpadów każdego roku utrzymuje się na stałym poziomie, oscylującym wokół 120-140 mln ton rocznie. Taka stabilność wskazuje na rosnącą efektywność zarządzania odpadami w naszym kraju. Gdyby nie te postępy, ilość produkowanych odpadów wzrastałaby proporcjonalnie do wzrostu PKB (Zarzycki i in., 2007, s. 196–197).

Odpady przemysłowe

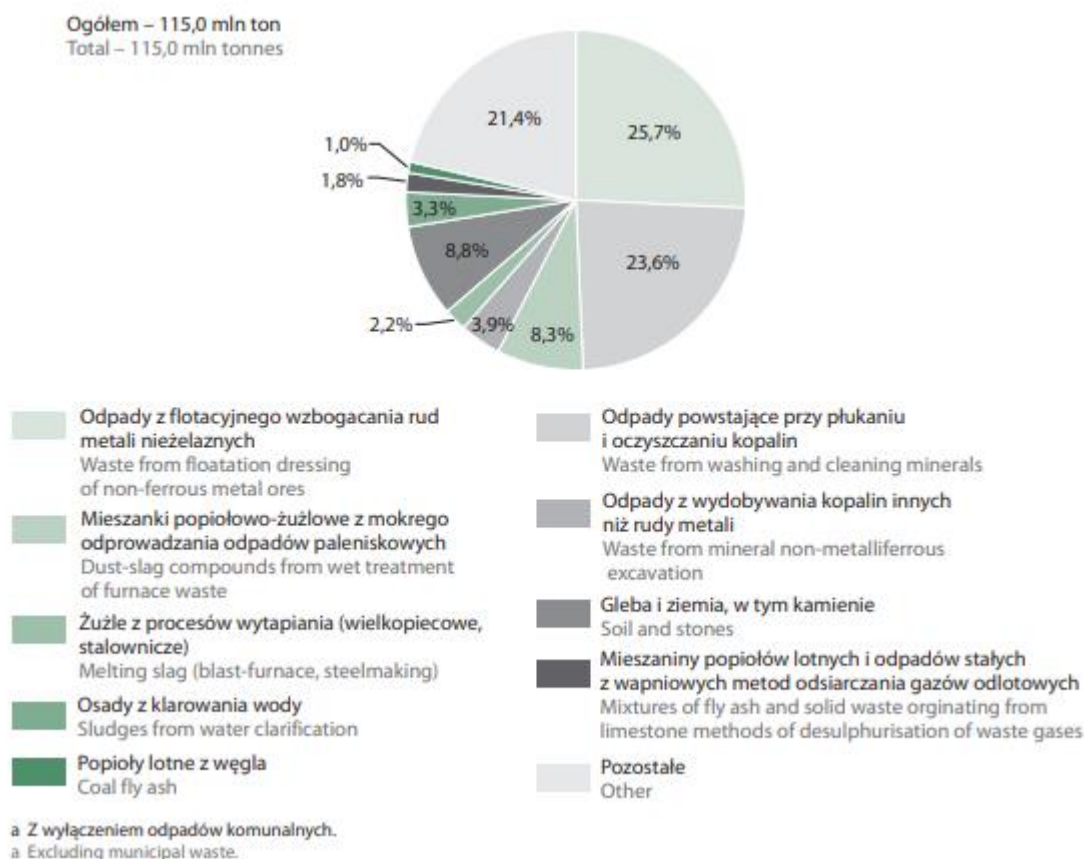
Dane dotyczące odpadów przemysłowych obejmują pierwsze 19 grup katalogu odpadów i pochodzą z zakładów, które rocznie generują ponad 1000 ton odpadów (z wyłączeniem odpadów komunalnych) lub posiadających co najmniej 1 milion ton nagromadzonych odpadów.

W 2022 roku wygenerowano 115,039 tys. ton odpadów (z wyłączeniem odpadów komunalnych), pochodzących z różnych sektorów gospodarki. Ilość wytwarzanych odpadów jest głównie determinowana przez rozwój gospodarczy oraz wzorce konsumpcji. Najwięcej odpadów w 2022 roku pochodziło z:

- Górnictwa i wydobywania: 53,3% całkowitej ilości odpadów,
- Przetwórstwa przemysłowego: 18,6%,
- Produkcji i zaopatrzenia w energię elektryczną, gaz, parę wodną oraz gorącą wodę: 11,6%.

Z ogólnej ilości odpadów wytworzonych w 2022 roku, około 48% zostało poddanych odzyskowi, 42% unieszkodliwiono przez składowanie, a 7% zneutralizowano innymi metodami (Ochrona środowiska 2023 GUS).

Tabela 9. Struktura odpadów wytworzonych według rodzajów w 2022 r



Źródło: GUS

W 2022 roku dominującą kategorią odpadów były te, które powstają w trakcie poszukiwania, wydobywania oraz przetwarzania rud i innych surowców mineralnych. Tego rodzaju odpady stanowiły największy odsetek całkowitej ilości odpadów wytworzonych w Polsce. Procesy związane z eksploatacją surowców naturalnych generują znaczne ilości materiałów odpadowych, co jest wynikiem skomplikowanych operacji technologicznych, takich jak wydobywanie i dalsza obróbka rud oraz surowców mineralnych.

Drugą co do wielkości grupą były odpady pochodzące z procesów termicznych, które stanowiły około 18% całkowitej produkcji odpadów w kraju. Odpady te powstają w wyniku procesów przemysłowych, w których wysokie temperatury są wykorzystywane do przekształcania surowców. Przykłady takich procesów to spalanie paliw w elektrowniach,

hutnictwo, czy produkcja cementu. Procesy termiczne są kluczowe w wielu gałęziach przemysłu, jednak generują one znaczne ilości odpadów, które wymagają odpowiedniego zarządzania i unieszkodliwiania.

Znaczący udział odpadów związanych z wydobywaniem i przetwarzaniem surowców mineralnych oraz z procesami termicznymi w ogólnej strukturze odpadów świadczy o tym, jak duży wpływ mają te sektory na środowisko. W miarę jak Polska dąży do zrównoważonego rozwoju, konieczne jest opracowanie i wdrażanie bardziej efektywnych metod zarządzania odpadami, zwłaszcza w tych kluczowych sektorach. Wprowadzenie nowoczesnych technologii recyklingu i odzysku surowców może pomóc w zmniejszeniu ilości odpadów i zminimalizowaniu ich wpływu na środowisko naturalne.

Dane te podkreślają również znaczenie monitorowania i regulowania procesów przemysłowych, aby nie tylko kontrolować ilość wytwarzanych odpadów, ale także zminimalizować ich szkodliwy wpływ na środowisko. Poprawa technologii i innowacyjne podejścia do zarządzania odpadami mogą przyczynić się do bardziej zrównoważonego i efektywnego wykorzystania surowców, co w dłuższej perspektywie może prowadzić do zmniejszenia całkowitej ilości odpadów.

Tabela 10. Odpady wytworzone i dotychczas składowane (nagromadzone) według sekcji Polskiej Klasyfikacji Działalności w 2022 r.

Wyszczególnienie Specification	Odpady wytworzone w ciągu roku Waste generated during year						Odpady dotychczas składowane (nagromadzone) Waste landfilled (accumulated)
	ogółem grand total	poddane odzyskowi ^a recovered ^a	unieszkodliwione ^a disposed ^a		przekazane innym odbiorcom ^b transferred to other recipients ^b	magazynowane czasowo temporarily stored	
			razem total	w tym składowane ^a in which landfilling ^a			
				w tysiącach ton in thousand tonnes			
OGÓŁEM TOTAL	115 039	55 706	55 672	47 943	2 091	1 570	1 828 940
Górnictwo i wydobywanie Mining and quarrying	61 315	23 254	37 825	37 674	2	233	850 051
Przetwórstwo przemysłowe Manufacturing	21 342	15 096	5 174	1 902	247	825	285 859
Wytwarzanie i zaopatrywanie w energię elektryczną, gaz, parę wodną, gorącą wodę Electricity, gas, steam and air conditioning supply	13 331	4 999	8 138	7 954	93	102	323 419
Dostawa wody; gospodarowanie ściekami i odpadami, rekultywacja Water supply; sewerage; waste management and remediation activities	6 110	2 221	3 761	35	1	128	356 527
Budownictwo Construction	12 018	9 532	473	112	1 745	268	5 925
Pozostałe sekcje Other sections	924	604	301	267	4	15	7 158

Źródło: GUS

W 2022 roku największą ilość odpadów wygenerowano w województwach dolnośląskim i śląskim, co nie jest zaskoczeniem, zważywszy na silną koncentrację przemysłu wydobywczego w tych regionach. Łącznie te dwa województwa odpowiadały za 56% całkowitej produkcji odpadów w kraju. Znaczący udział tych obszarów w produkcji odpadów wynika z intensywnych działań przemysłowych, które generują dużą ilość odpadów, w szczególności w sektorach związanych z wydobywaniem i przetwarzaniem surowców.

Z kolei województwa lubuskie, podkarpackie i podlaskie wytworzyły najmniej odpadów, z udziałem każdego z nich na poziomie zaledwie około 1% całości. Niska produkcja odpadów w tych regionach jest zrozumiała, biorąc pod uwagę ich mniejszą intensywność przemysłową i bardziej zróżnicowany profil gospodarczy, w którym dominuje rolnictwo i małe przedsiębiorstwa.

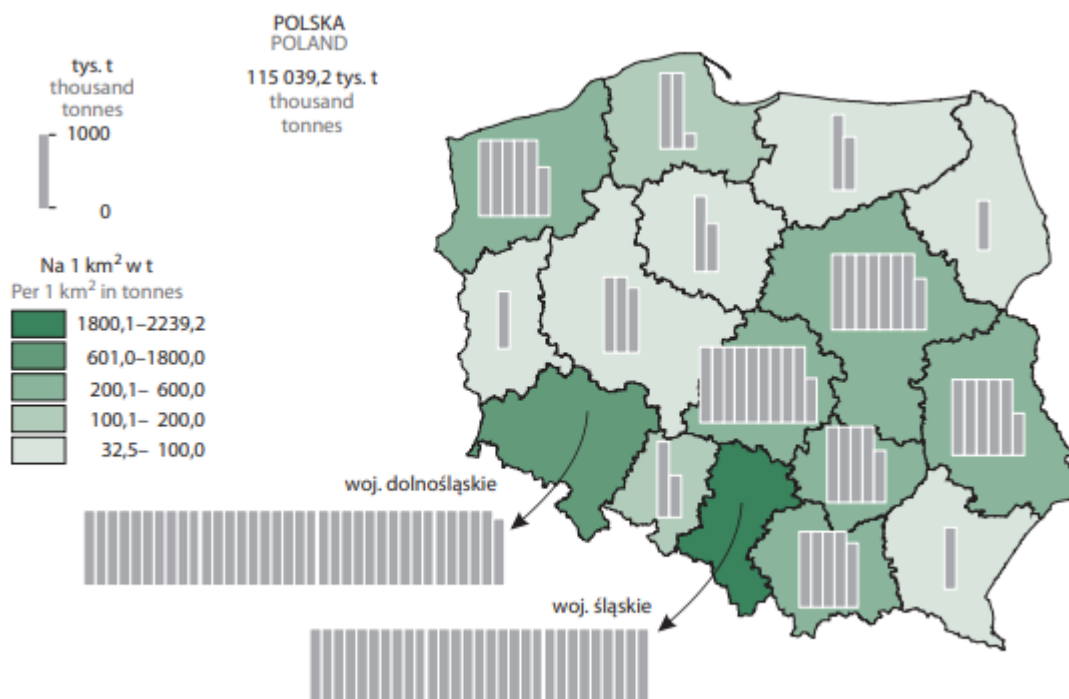
Warto zauważyć, że największy procentowy wzrost ilości odpadów w porównaniu do roku poprzedniego odnotowano w województwach warmińsko-mazurskim (51%), opolskim (32%) oraz łódzkim (25%). Taki wzrost może być wynikiem intensyfikacji działalności przemysłowej, rozwoju infrastruktury oraz wzrostu konsumpcji w tych regionach.

Z drugiej strony, największy procentowy spadek w ilości odpadów odnotowano w województwach podlaskim (26%) i wielkopolskim (12%). Spadek ten może wskazywać na poprawę efektywności gospodarki odpadami w tych obszarach, możliwe wdrożenie bardziej zaawansowanych technologii przetwarzania odpadów lub zmniejszenie działalności przemysłowej.

Pod względem ilościowym, największy wzrost wytworzonych odpadów zanotowano w województwach łódzkim (1,9 mln ton), mazowieckim (1,4 mln ton) oraz śląskim (1,2 mln ton). To wskazuje na rosnące wyzwania związane z zarządzaniem odpadami w tych regionach, które mogą wymagać dodatkowych inwestycji w infrastrukturę recyklingu i unieszkodliwiania odpadów.

Z kolei największy spadek ilości odpadów odnotowano w województwach świętokrzyskim (0,4 mln ton) i wielkopolskim (prawie 0,4 mln ton). Spadek ten może być efektem zmniejszenia produkcji przemysłowej lub skuteczniejszego wdrażania polityki zrównoważonego gospodarowania odpadami, co prowadzi do mniejszej ilości odpadów wytwarzanych w tych regionach.

Tabela 11. Odpady wytworzone według województw w 2022 r z wyłączeniem odpadów komunalnych



a Z wyłączeniem odpadów komunalnych.

Źródło: GUS

W 2022 roku w województwach dolnośląskim, lubelskim, małopolskim, śląskim i świętokrzyskim największy udział wśród odpadów miały te z grupy 01, czyli odpady związane z poszukiwaniem, wydobywaniem oraz obróbką fizyczną i chemiczną rud oraz innych kopalin. Działo się tak ze względu na intensywną działalność wydobywczą i przetwórczą w tych regionach, która generuje duże ilości odpadów tego rodzaju.

W województwach kujawsko-pomorskim, łódzkim i podkarpackim dominowały odpady z grupy 10, które powstają w wyniku procesów termicznych, takich jak spalanie, topienie czy inne formy przetwarzania materiałów przy użyciu wysokiej temperatury. Tego rodzaju odpady są charakterystyczne dla regionów, w których zlokalizowane są przemysłowe zakłady wykorzystujące procesy termiczne na dużą skalę.

W województwach lubuskim, opolskim, podlaskim, pomorskim, wielkopolskim oraz warmińsko-mazurskim przeważały odpady należące do grupy 17, związane z budową, remontami i demontażem obiektów budowlanych oraz infrastruktury drogowej. W tych regionach rozwój budownictwa oraz modernizacja infrastruktury generują znaczne ilości odpadów budowlanych.

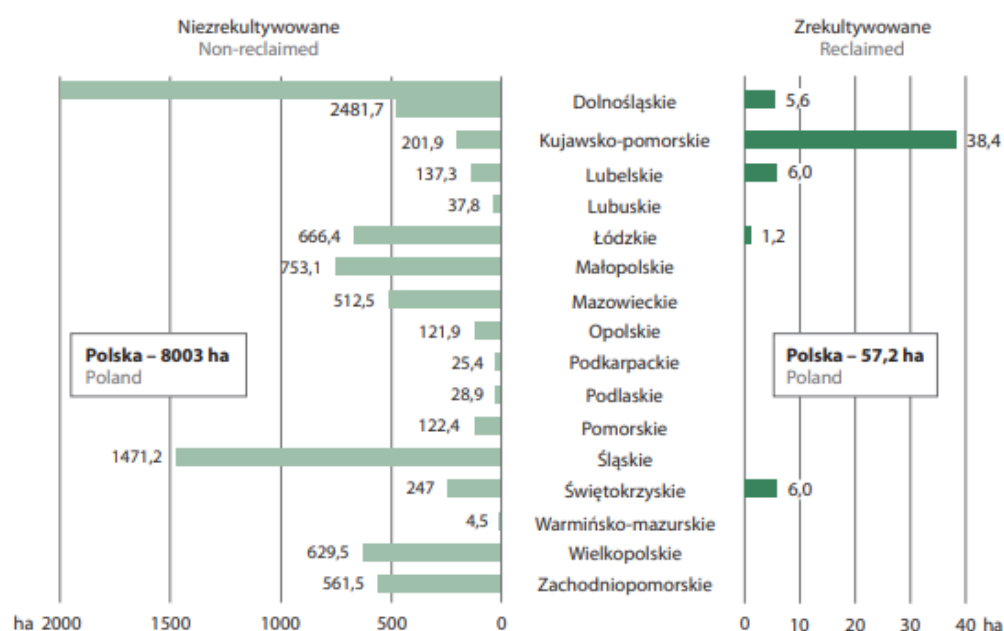
W województwach mazowieckim i zachodniopomorskim dominowały odpady z grupy 19, czyli odpady pochodzące z instalacji do zagospodarowania odpadów, oczyszczalni ścieków oraz z uzdatniania wody pitnej i wody do celów przemysłowych. Te regiony, z uwagi na swoją infrastrukturę przemysłową i komunalną, wytwarzają duże ilości odpadów tego rodzaju.

Gospodarowanie odpadami w 2022 roku

Mimo wdrożenia w polskim prawie pięciostopniowej hierarchii gospodarowania odpadami, która obejmuje zapobieganie powstawaniu odpadów, przygotowanie do ponownego użycia, recykling, inne formy odzysku oraz unieszkodliwianie, znaczna część odpadów przemysłowych jest nadal składowana. W 2022 roku na składowiska trafiło 48 milionów ton odpadów, zajmując łącznie powierzchnię 8 tysięcy hektarów. Największe powierzchnie składowisk zlokalizowane są w województwach dolnośląskim i śląskim, co jest bezpośrednio związane z dużą ilością odpadów generowanych w tych regionach.

W 2022 roku zrekultywowano 57,2 hektara powierzchni składowisk, co stanowiło 0,7% całkowitej powierzchni terenów przeznaczonych na składowanie odpadów. Rekultywacja obejmuje działania mające na celu przywrócenie użytkowej wartości tych terenów po zakończeniu ich eksploatacji. Prace rekultywacyjne obejmują formowanie terenu, poprawę jego właściwości fizycznych i chemicznych, a także regulację stosunków wodnych, co ma na celu ograniczenie negatywnego wpływu na środowisko i przystosowanie terenu do nowych celów.

Tabela 12. Tereny składowania odpadów, według województw w 2022 r



Źródło: GUS

Odpady komunalne

Odpady komunalne to kategoria odpadów, która powstaje przede wszystkim w gospodarstwach domowych, a także obejmuje odpady z innych źródeł, jeśli ich charakter i skład są zbliżone do odpadów domowych. Ta grupa odpadów obejmuje zarówno odpady niesegregowane (zmieszane), jak i te, które zostały poddane selektywnej zbiórce.

Odpady z gospodarstw domowych

W skład odpadów z gospodarstw domowych wchodzi różnorodny materiał, takie jak papier, tektura, szkło, metale, tworzywa sztuczne, bioodpady, drewno, tekstylia, opakowania, zużyty sprzęt elektryczny i elektroniczny, zużyte baterie i akumulatory, a także odpady wielkogabarytowe, jak materace i meble.

Odpady ze źródeł innych niż gospodarstwa domowe

Odpady pochodzące z innych źródeł, które pod względem charakteru i składu są podobne do odpadów z gospodarstw domowych, również zaliczane są do odpadów komunalnych (Dz. U. z 2020 r. poz. 10).

Jednak należy zauważyć, że odpady komunalne nie obejmują odpadów pochodzących z produkcji przemysłowej, działalności rolniczej, leśnictwa, rybołówstwa, jak również odpadów z bezodpływowych zbiorników, sieci kanalizacyjnej oraz oczyszczalni ścieków (w tym osadów ściekowych), pojazdów wycofanych z eksploatacji oraz odpadów budowlanych i rozbiórkowych. Ważne jest, aby podkreślić, że niesegregowane (zmieszane) odpady komunalne pozostają w tej kategorii nawet po poddaniu ich procesom przetwarzania, o ile te procesy nie zmieniły znacząco ich właściwości.

Odpady komunalne wytworzone w 2022 roku

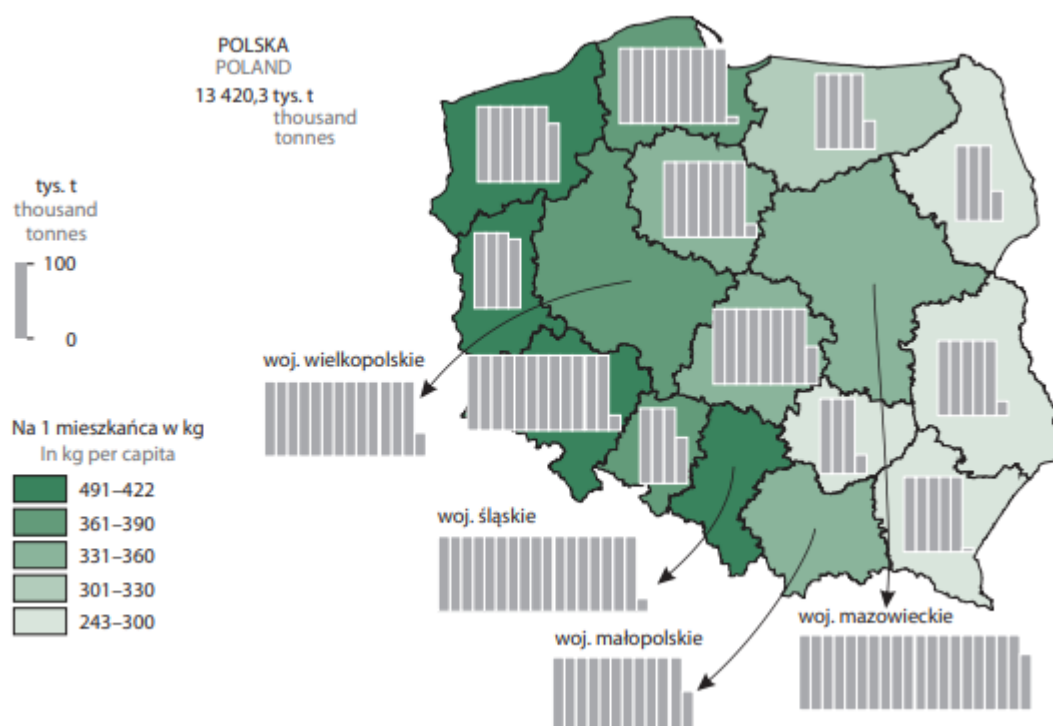
W 2022 roku na terenie Polski wytworzono 13,42 miliona ton odpadów komunalnych, co oznacza spadek o 1,9% w porównaniu z rokiem poprzednim. Średnia ilość odpadów komunalnych wytworzonych przez jednego mieszkańca zmniejszyła się z 360 kg w 2021 roku do 355 kg w 2022 roku.

Najwyższy wskaźnik wytwarzania odpadów komunalnych na jednego mieszkańca odnotowano w województwie dolnośląskim, gdzie wyniósł on 422 kg. Z kolei najniższy wskaźnik zanotowano w województwie podkarpackim, gdzie wyniósł on 243 kg na osobę w skali roku.

Taki rozkład ilości odpadów komunalnych w poszczególnych województwach odzwierciedla różnorodność gospodarczą i społeczną tych regionów. Województwa o wyższym wskaźniku produkcji odpadów często charakteryzują się większą gęstością zaludnienia, intensywniejszą działalnością gospodarczą oraz wyższym poziomem konsumpcji. Z kolei województwa o niższej produkcji odpadów mogą cechować się mniejszym zagęszczeniem ludności, większym udziałem terenów wiejskich i niższym poziomem urbanizacji, co wpływa na mniejszą ilość generowanych odpadów.

Zmniejszenie ilości wytwarzanych odpadów na mieszkańca może wskazywać na skuteczność wdrażanych programów zarządzania odpadami, rosnącą świadomość ekologiczną społeczeństwa, a także na zmiany w nawykach konsumpcyjnych. Niemniej jednak, mimo tych pozytywnych trendów, konieczne jest dalsze wzmacnianie działań na rzecz zrównoważonego gospodarowania odpadami, aby osiągnąć jeszcze większe redukcje i lepsze wyniki w zakresie recyklingu i ponownego wykorzystania surowców.

Tabela 13. Odpady komunalne wytworzone według województw w 2022 r.



Źródło: GUS

Ilość odpadów komunalnych generowanych w różnych regionach kraju zależy nie tylko od liczby mieszkańców, ale także od ich nawyków konsumpcyjnych. W 2022 roku można było zauważyć znaczące różnice między województwami w zachodniej i wschodniej Polsce. W regionach zachodnich odnotowano wyraźnie wyższą produkcję odpadów komunalnych na osobę w porównaniu do regionów wschodnich.

Jeszcze bardziej widoczne różnice występowały na poziomie poszczególnych gmin. Przy średniej krajowej wynoszącej 355 kg odpadów na mieszkańca w 2022 roku, aż w 26% gmin – zwłaszcza na obszarach wiejskich – ilość odebranych odpadów wynosiła mniej niż 200 kg na osobę. W większości gmin, czyli w około 60%, ilość wytworzonych odpadów mieściła się w przedziale od 200 do 400 kg na mieszkańca. W pozostałych 14% gmin liczba odpadów wynosiła od 400 do 600 kg na osobę. Najwięcej odpadów komunalnych produkowano w gminach turystycznych, gdzie w dziewięciu przypadkach przekroczone nawet 1 000 kg odpadów na mieszkańca.

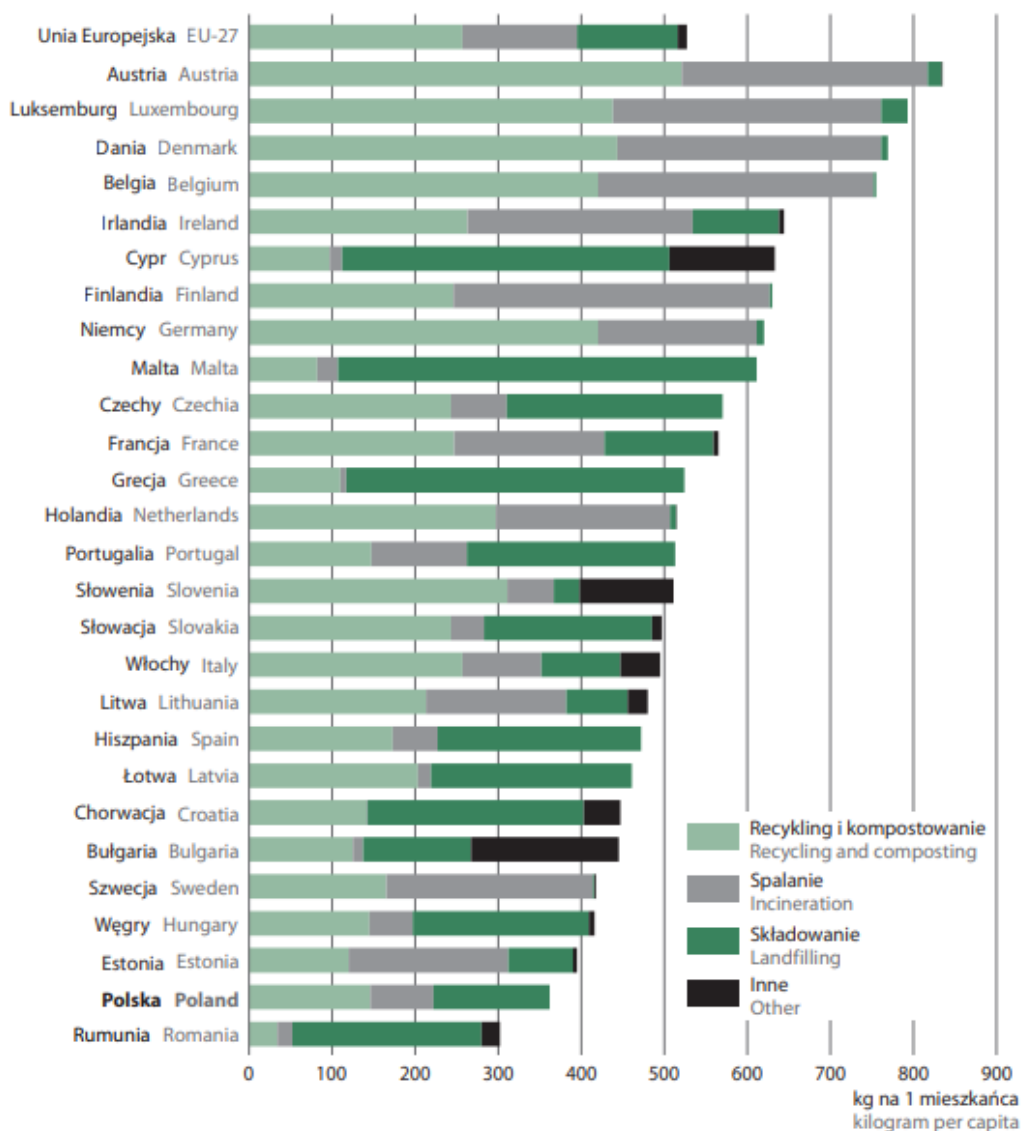
W 2021 roku średnia ilość odpadów komunalnych wytwarzanych na jednego mieszkańca w Unii Europejskiej wyniosła 527 kg. Kraje o wyższym poziomie dobrobytu, takie jak Austria

(835 kg), Luksemburg (793 kg), Dania (769 kg), oraz te z dużym napływem turystów, jak Cypr (633 kg) i Malta (611 kg), generowały najwięcej odpadów. Polska miała jeden z najniższych wskaźników wśród krajów europejskich, co wskazuje na mniejszą produkcję odpadów komunalnych. W skali całej Unii Europejskiej, z ogólnej ilości odpadów komunalnych, 49% zostało poddanych recyklingowi i kompostowaniu, 26% przetworzono termicznie, a 23% unieszkodliwiono poprzez składowanie.

To zróżnicowanie w ilości produkowanych odpadów komunalnych odzwierciedla różnice w poziomie życia, wzorcach konsumpcji oraz intensywności działalności turystycznej w różnych regionach. Regiony o wyższym poziomie dobrobytu i większej aktywności turystycznej mają tendencję do generowania większej ilości odpadów, co stawia przed nimi większe wyzwania w zakresie zarządzania odpadami. Tymczasem regiony o niższym wskaźniku produkcji odpadów często cechują się mniejszym zagęszczeniem ludności oraz mniejszą intensywnością gospodarczą, co wpływa na niższe ilości odpadów na mieszkańca.

Na poziomie Unii Europejskiej, dane te pokazują również, że kraje z bardziej rozwiniętą gospodarką i wyższymi dochodami na mieszkańca, a także te z dużą liczbą turystów, mają większy problem z zarządzaniem odpadami komunalnymi. W tych krajach priorytetem staje się zwiększenie efektywności recyklingu i kompostowania oraz redukcja ilości odpadów poddawanych składowaniu, co jest kluczowe dla zrównoważonego rozwoju.

Tabela 14. Odpady komunalne wytworzone według sposobów zagospodarowania w krajach europejskich w 2021 r



Źródło: EUROSTAT

W 2022 roku w Polsce z zebranych odpadów komunalnych, 8,2 miliona ton zostało przeznaczonych do różnorodnych form odzysku. Wśród tych odpadów:

- 3,6 miliona ton, co stanowiło 27%, poddano recyklingowi,
- 2,7 miliona ton, czyli 20%, skierowano do przekształcenia termicznego z odzyskiem energii,
- 1,9 miliona ton, stanowiących 14%, trafiło do biologicznych procesów przetwarzania, takich jak kompostowanie lub fermentacja.

Jednakże prawie 5,2 miliona ton odpadów skierowano na procesy unieszkodliwienia. Z tej liczby:

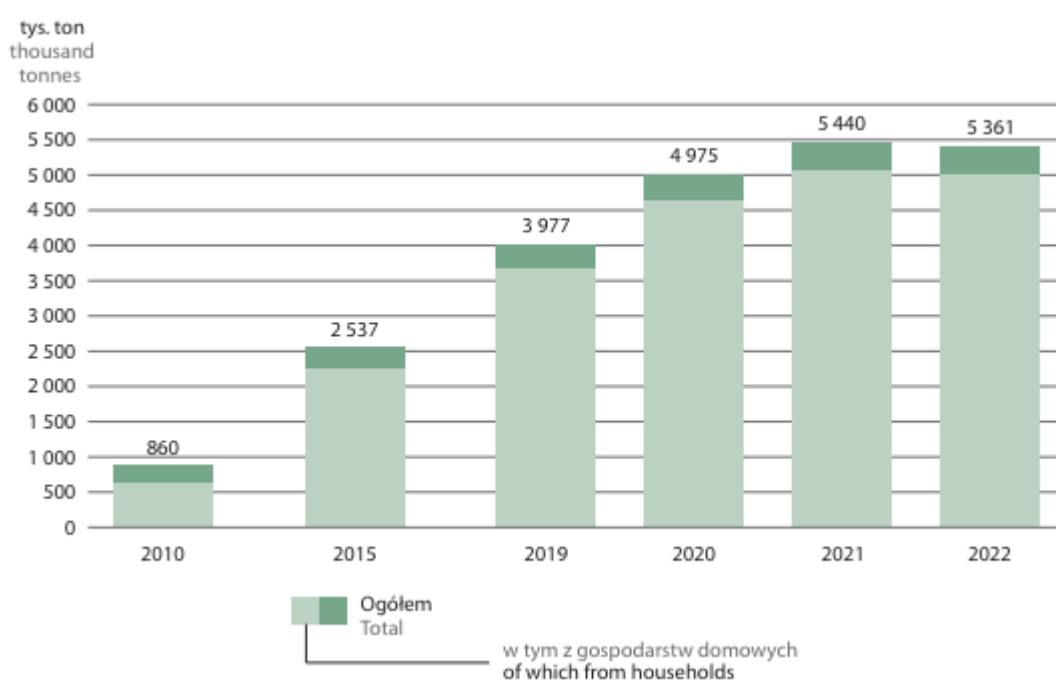
- 5,1 miliona ton, czyli 38% wytworzonych odpadów komunalnych, trafiło na składowiska,
- 0,1 miliona ton (1%) poddano termicznemu przekształceniu bez odzysku energii.

Warto zauważyć, że większość odpadów komunalnych, bo aż 86% (11 584 tys. ton), pochodziła z gospodarstw domowych, a ich udział w ogólnej ilości odpadów pozostał na poziomie z roku 2021. Aby skutecznie przetwarzać odpady poprzez recykling, konieczne jest osiągnięcie wysokich wskaźników selektywnego zbierania odpadów. Jest to możliwe dzięki odpowiednim regulacjom prawnym, budowie systemów selektywnej zbiórki przez władze lokalne oraz zaangażowaniu mieszkańców w proces segregacji.

W 2022 roku w Polsce funkcjonowało 2 301 punktów selektywnego zbierania odpadów komunalnych, z czego 36% znajdowało się w miastach, a 64% na terenach wiejskich. Selektywne zbieranie odpadów polega na takim ich gromadzeniu, które umożliwia ich efektywne przetwarzanie, poprzez grupowanie odpadów o podobnych właściwościach i charakterystyce.

Od 2010 roku ilość selektywnie zbieranych odpadów komunalnych systematycznie rosła, osiągając w 2021 roku poziom 40% całkowitej ilości odpadów komunalnych, co przekładało się na 5,44 miliona ton. W 2022 roku wskaźnik ten utrzymał się na poziomie 40%, choć zanotowano nieznaczny spadek ilości selektywnie zebranych odpadów (o 1,5%) w porównaniu do roku poprzedniego, osiągając łącznie 5,36 miliona ton.

Tabela 15. Odpady komunalne zebrane selektywnie



Źródło: GUS

Na przestrzeni lat struktura selektywnie zbieranych odpadów komunalnych uległa istotnym zmianom. W 2010 roku największy udział w tej grupie miały frakcje takie jak papier i tektura, szkło oraz tworzywa sztuczne, które razem stanowiły 59% wszystkich selektywnie zbieranych odpadów. Obecnie ich udział zmniejszył się do 35%. Zmniejszył się również udział metali, które w 2010 roku stanowiły 2,0% selektywnie zebranych odpadów, a w 2022 roku ich udział spadł do zaledwie 0,1%.

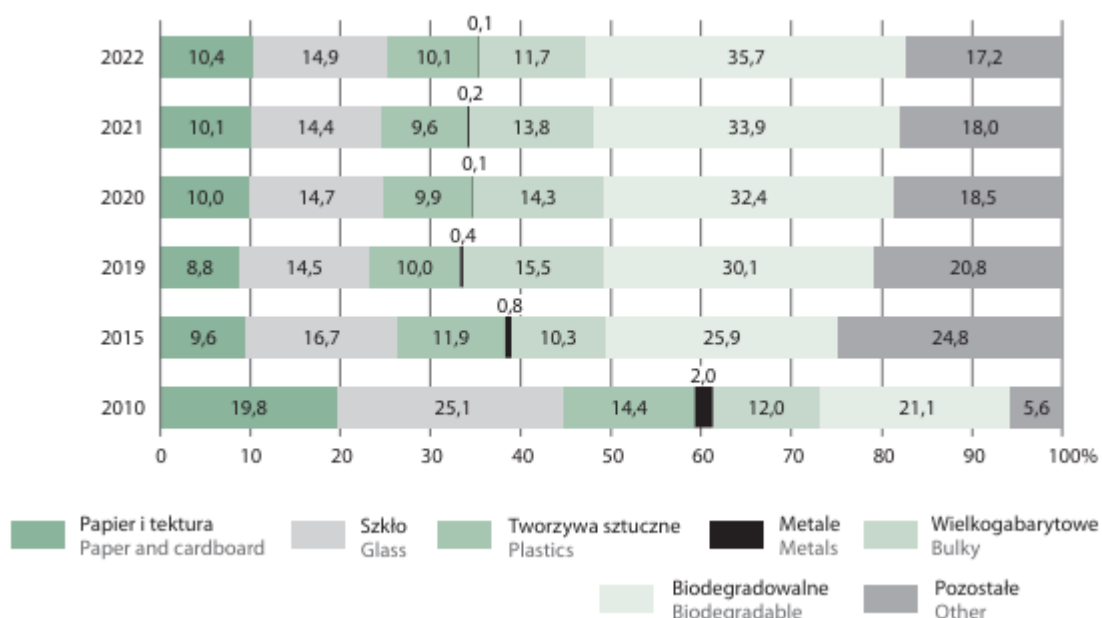
Selektywna zbiórka odpadów wielkogabarytowych, takich jak meble czy duże urządzenia, pozostaje na stosunkowo stabilnym poziomie, oscylującym między 10% a 15%. W 2022 roku udział tych odpadów był bliżej dolnej granicy tego przedziału i wynosił 12%. W ostatnich latach najwięcej, bo aż 36% selektywnie zbieranych odpadów, stanowią odpady biodegradowalne. Do tego dochodzą inne frakcje, które razem odpowiadają za 17% całkowitej ilości selektywnie zbieranych odpadów. W tej grupie dominują zmieszane odpady opakowaniowe, które stanowią 11% selektywnie zebranych odpadów. Ponadto obejmuje ona opakowania wielomateriałowe, zużyty sprzęt elektryczny i elektroniczny, odpady niebezpieczne oraz odzież i tekstylia (GUS, 2023).

Zmiany te mogą odzwierciedlać ewolucję nawyków konsumpcyjnych oraz rozwój systemów zarządzania odpadami. W miarę jak rośnie świadomość ekologiczna społeczeństwa i rozwijają

się nowe technologie przetwarzania odpadów, zmieniają się również priorytety w zakresie selektywnej zbiórki. Zwiększający się udział odpadów biodegradowalnych może być efektem rosnącego nacisku na ekologiczne metody zarządzania odpadami, takie jak kompostowanie, które zyskuje na znaczeniu jako metoda przetwarzania odpadów organicznych.

W dalszej perspektywie, te zmiany mogą wpłynąć na rozwój nowych strategii gospodarowania odpadami, które będą lepiej dostosowane do aktualnych wyzwań związanych z ochroną środowiska. Rozszerzenie selektywnej zbiórki na inne kategorie odpadów, takie jak tekstylia czy odpady niebezpieczne, może stać się koniecznością w obliczu rosnących wymagań w zakresie zrównoważonego rozwoju.

Tabela 16. Struktura selektywnie zebranych odpadów komunalnych według frakcji



Źródło: GUS

W 2022 roku średnia ilość odebranych lub selektywnie zebranych odpadów w Polsce wyniosła 142 kg na osobę. Rozkład ten obejmował:

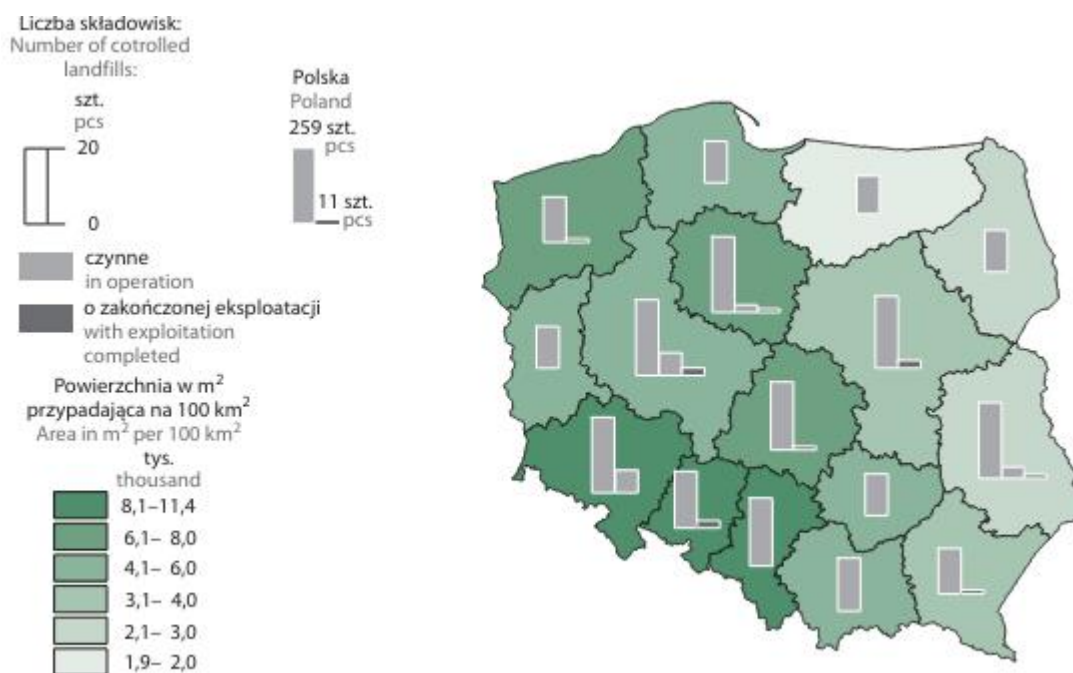
- Odpady biodegradowalne: 51 kg na mieszkańca (wzrost z 49 kg w 2021 roku),
- Szkło: 21 kg na osobę (pozostając na tym samym poziomie co w 2021 roku),
- Odpady wielkogabarytowe: 17 kg na mieszkańca (spadek z 20 kg w 2021 roku),
- Zmieszane odpady opakowaniowe: 15 kg na osobę (spadek z 16 kg w 2021 roku),
- Papier i tektura: 15 kg na mieszkańca (wzrost z 14 kg w 2021 roku),
- Tworzywa sztuczne: 14 kg na osobę (bez zmian w porównaniu do 2021 roku).

W miastach w 2022 roku zebrano selektywnie 156 kg odpadów na jednego mieszkańca, podczas gdy na terenach wiejskich było to 121 kg na osobę. Różnice te w ilości selektywnie zbieranych odpadów są znaczące i wynikają w dużej mierze z organizacji systemów zbiórki odpadów przez lokalne władze. W 2022 roku aż 23 gminy osiągnęły poziom selektywnej zbiórki przekraczający 90% w stosunku do wszystkich zebranych odpadów, natomiast w trzech gminach poziom ten był poniżej 10% (GUS, 2023).

Jednocześnie liczba czynnych składowisk odpadów w Polsce systematycznie się zmniejsza. Na koniec 2022 roku działało 259 składowisk przyjmujących odpady komunalne, co stanowi spadek w porównaniu do 265 działających na koniec 2021 roku. Łączna powierzchnia tych składowisk wynosiła 1 624 hektary. W 2022 roku zamknięto 11 składowisk o łącznej powierzchni 45 hektarów.

Zauważalny spadek liczby składowisk może świadczyć o postępującej transformacji w zarządzaniu odpadami w Polsce, z naciskiem na bardziej zrównoważone metody ich przetwarzania i ograniczenie zależności od składowania. Wzrost ilości selektywnie zbieranych odpadów biodegradowalnych wskazuje na rosnącą świadomość ekologiczną i skuteczniejsze systemy selekcji, które pozwalają na lepsze wykorzystanie surowców wtórnych i zmniejszenie ilości odpadów trafiających na składowiska.

Tabela 17. Składowiska kontrolowane według województw w 2022 r.



Źródło: GUS

W 2022 roku ponad 90% składowisk odpadów w Polsce wyposażono w systemy do odgazowywania. Wśród tych instalacji:

- 36% uwalniało gaz bezpośrednio do atmosfery,
- 38% spalało gaz bez odzysku energii,
- 25% wykorzystywało gaz do produkcji energii.

Dzięki tym działaniom udało się odzyskać około 111,2 miliona MJ energii cieplnej oraz 102,5 miliona kWh energii elektrycznej.

Nowelizacja ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach z 2012 roku (Dz.U. 1996 nr 132 poz. 622) przekazała gminom odpowiedzialność za odpady komunalne, co miało poprawić zarządzanie odpadami i ograniczyć ich nielegalne składowanie. Mimo to, problem dzikich wysypisk wciąż nie został całkowicie wyeliminowany. W 2022 roku zlikwidowano ponad 10,7 tysiąca takich nielegalnych składowisk, usuwając w ten sposób około 25 tysięcy ton odpadów komunalnych. Większość z tych miejsc znajdowała się w obszarach miejskich. Na koniec roku zarejestrowano 2 217 nielegalnych wysypisk, zajmujących łącznie powierzchnię ponad 2 kilometrów kwadratowych. Z tego 54% znajdowało się na terenach wiejskich, a 1 012 na terenach miejskich.

Transport i przemieszczanie odpadów

Przemieszczanie odpadów obejmuje transport odpadów przeznaczonych do odzysku lub unieszkodliwienia między krajami (Dz.U. L 190 z 12.7.2006). W Unii Europejskiej obowiązuje zasada swobodnego przepływu towarów, w tym także odpadów. Na niektóre rodzaje odpadów, zwłaszcza te niebezpieczne, wymagane jest pisemne zezwolenie na transgraniczny transport.

W 2022 roku Główny Inspektorat Ochrony Środowiska (GIOŚ) wydał 55 zezwoleń na import odpadów do Polski, obejmujących łącznie 643 tysiące ton odpadów. Z tego 51 zezwoleń dotyczyło przywozu z krajów UE (618 tysięcy ton), a 4 zezwoleń spoza UE (24 tysiące ton). To o 11% więcej niż w poprzednim roku. Najwięcej odpadów przywieziono z Niemiec (20 zezwoleń), Szwecji (5 zezwoleń) oraz Austrii, Holandii i Litwy (po 4 zezwolenia). Niemcy były źródłem 45% odpadów przywiezionych do Polski, a Dania dostarczyła 28% całkowitej ilości (GUS, 2022, 2023).

Równocześnie GIOŚ wydał 109 zezwoleń na eksport odpadów z Polski, obejmujących łącznie 717 tysięcy ton. Najwięcej zezwoleń dotyczyło Niemiec (68 zezwoleń na 529 tysięcy ton), a następnie Szwecji (9 zezwoleń na 62 tysiące ton). Rzeczywista ilość wyeksportowanych

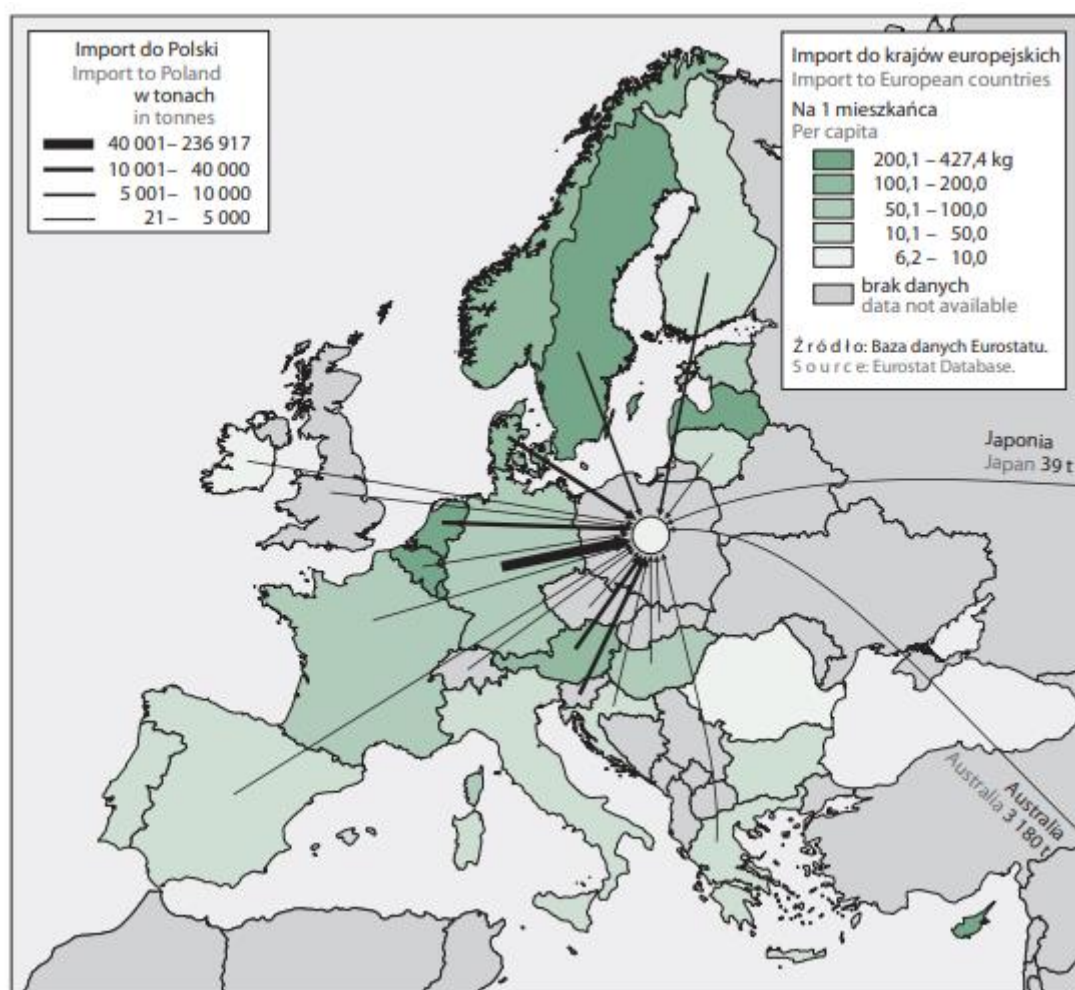
odpadów wyniosła 351 tysięcy ton, z czego 52% stanowiły odpady niebezpieczne. Najwięcej z nich trafiło do Niemiec (230 tysięcy ton), Szwecji (74 tysiące ton) oraz Litwy (12 tysięcy ton). W 2022 roku przez Polskę przetransportowano 605 tysięcy ton odpadów, przy czym GIOŚ wydał 25 zezwoleń na tranzyt, co było o 6 zezwoleń mniej niż w poprzednim roku. Dodatkowo, 8 postępowań zakończyło się milczącą zgodą. Najwięcej odpadów przewieziono z Wielkiej Brytanii (400 tysięcy ton), Litwy (32 tysiące ton) oraz Belgii (23 tysiące ton).

W 2021 roku do krajów Unii Europejskiej przywieziono 29,4 miliona ton odpadów, co stanowiło 22% więcej niż wyeksportowano. Wśród nich 13,1 miliona ton stanowiły odpady niebezpieczne. Najwięksi importerzy odpadów to:

- Francja: 6,0 miliona ton (89 kg na osobę, 20% importu do UE),
- Niemcy: 5,6 miliona ton (67 kg na osobę, 19% importu do UE),
- Holandia: 4,8 miliona ton (276 kg na osobę, 16% importu do UE).

Luksemburg miał najwyższy wskaźnik importu odpadów na mieszkańca, wynoszący 427 kg na osobę. Polska zajęła trzecie miejsce od końca z wynikiem poniżej 0,4 miliona ton, co stanowiło 9,3 kg na osobę i 1,2% całkowitego importu odpadów do UE (Opracowanie GUS).

Tabela 18. Import odpadów do krajów europejskich w 2021 r



Źródło: GUS

W krajach Unii Europejskiej najczęściej importowanymi odpadami były te związane z ziemią, drewnem oraz materiałami palnymi. Wśród tych odpadów wyróżniały się:

- 19,6 tysiąca ton odpadów pochodzących z mechanicznej obróbki,
- 6,3 tysiąca ton żużli związanych z produkcją pierwotną i wtórną,
- 5,2 tysiąca ton kożuchów żużlowych oraz zgorzelin.

Te odpady były transportowane głównie do krajów takich jak Holandia, Belgia, Hiszpania, Dania, Niemcy, Austria oraz Włochy. Szczególnym przypadkiem był import odpadów z Singapuru do Unii Europejskiej, który wyniósł 15,7 tysiąca ton. Większość z tych odpadów, niemal 11 tysięcy ton, trafiła do Holandii, a pozostałe, blisko 5 tysięcy ton, zostały dostarczone do Włoch (Eurostat 2022).

W 2021 roku Polska sprowadziła 351 tysięcy ton odpadów, z czego najwięcej stanowiły:

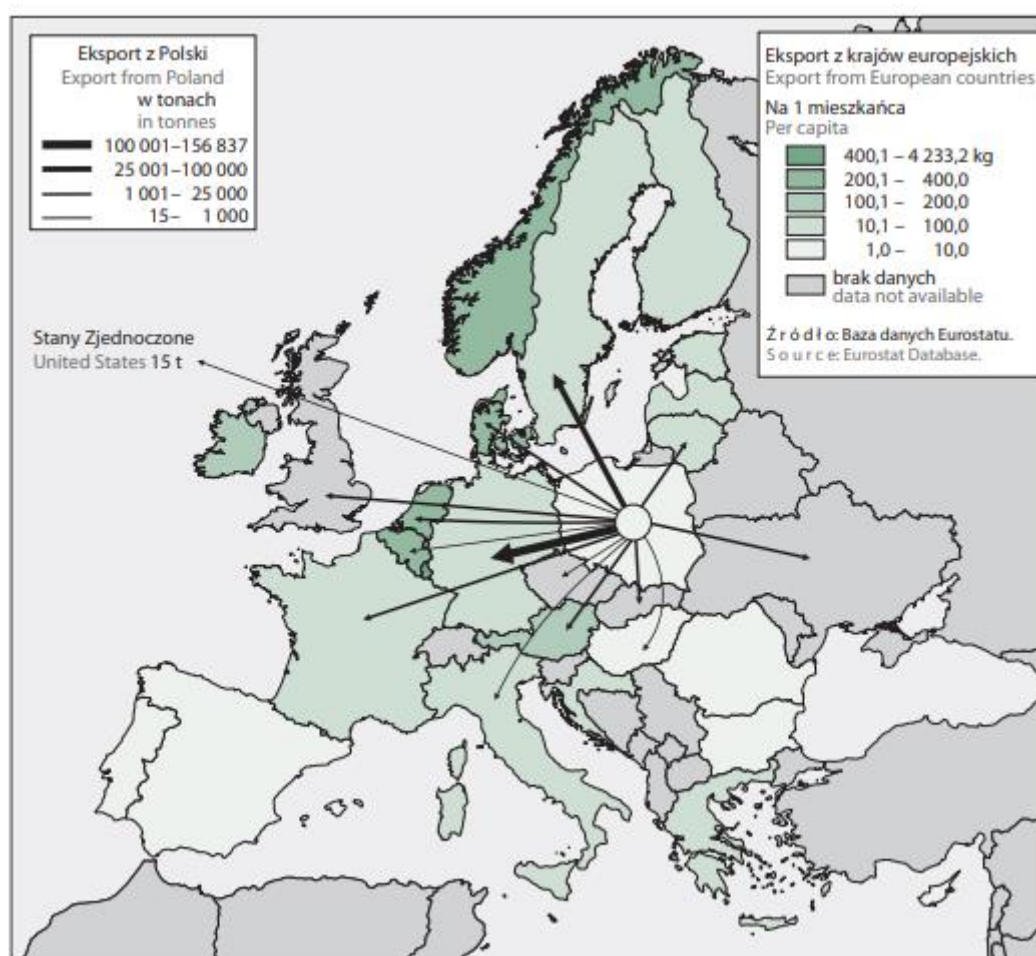
- 81 tysięcy ton stałych odpadów z oczyszczania gazów odlotowych, które zawierały substancje niebezpieczne,
- 79 tysięcy ton ziemi, gleby i kamieni,
- 46 tysięcy ton różnego rodzaju mieszanych odpadów,
- 44 tysiące ton zużytych baterii i akumulatorów ołowiowych (GUS 2022).

Największy udział w imporcie odpadów do Polski miały Niemcy, które dostarczyły 237 tysięcy ton, co stanowiło 67% całego importu odpadów do Polski w 2021 roku. Z Danii przywieziono ponad 36 tysięcy ton mieszanych odpadów, natomiast Austria dostarczyła ponad 17 tysięcy ton stałych odpadów z oczyszczania gazów odlotowych, zawierających substancje niebezpieczne. Ze Słowenii przywieziono prawie 14 tysięcy ton podobnych odpadów. Wśród importu spoza Europy warto wymienić 3,2 tysiąca ton odpadów z mechanicznej obróbki zawierających substancje niebezpieczne, które przybyły z Australii, oraz 39 ton kozuchów żużlowych i zgorzelin z hutnictwa ołowiu, importowanych z Japonii.

W skali całej Unii Europejskiej, w 2021 roku kraje członkowskie wyeksportowały blisko 24,2 miliona ton odpadów, z czego 9,5 miliona ton stanowiły odpady niebezpieczne. Największymi eksporterami były Niemcy, które wyeksportowały 4,6 miliona ton, co stanowiło 19% całkowitego eksportu odpadów z UE. Kolejnymi krajami były Holandia, z eksportem na poziomie 3,8 miliona ton (16%), oraz Francja, która wyeksportowała 3,3 miliona ton (13%).

Analizując eksport odpadów w przeliczeniu na jednego mieszkańca, Luksemburg wyróżniał się najwyższym wskaźnikiem, eksportując aż 4,2 tysiąca kilogramów odpadów na osobę. Następne w kolejności były Belgia (246 kg na mieszkańca), Holandia (215 kg) i Irlandia (204 kg). Polska, w porównaniu z innymi krajami UE, miała znacznie mniejszy udział w eksporcie odpadów, wynoszący jedynie 6 kilogramów na mieszkańca, co stanowiło zaledwie 0,9% całkowitego eksportu odpadów z Unii Europejskiej.

Tabela 19. Eksport odpadów z krajów europejskich w 2021 r



Źródło: EUROSTAT

W 2021 roku największe ilości odpadów poza Europę eksportowano do krajów basenu Morza Śródziemnego, takich jak Turcja i Maroko. Do Turcji wysłano ponad 136 tys. ton odpadów, z czego 134 tys. ton stanowiły zużyte lub nieużyteczne pojazdy. Do Maroka trafiło 181 tys. ton odpadów, głównie zużytych opon. Grecja była największym eksporterem odpadów do Turcji, natomiast Francja wysyłała najwięcej odpadów do Maroka. Do Korei Południowej wyeksportowano 57 tys. ton odpadów, w tym 51 tys. ton niebezpiecznych odpadów z przeróbki rud metali z Holandii.

W Unii Europejskiej odpady niebezpieczne są głównie eksportowane do innych państw członkowskich. Najwięcej wywieziono odpadów z mechanicznej obróbki zawierających substancje niebezpieczne. W 2021 roku eksportowano 9,5 mln ton odpadów niebezpiecznych (według klasyfikacji konwencji Bazylejskiej) w celu unieszkodliwienia i odzysku. Odpady te

trafiały głównie do instalacji recyklingu lub odzysku metali i ich związków (18%), recyklingu innych materiałów nieorganicznych (19%) oraz do spalarni z odzyskiem energii (15%).

Największe ilości wywiezionych odpadów niebezpiecznych z Polski, które łącznie wyniosły 111 tys. ton, obejmowały:

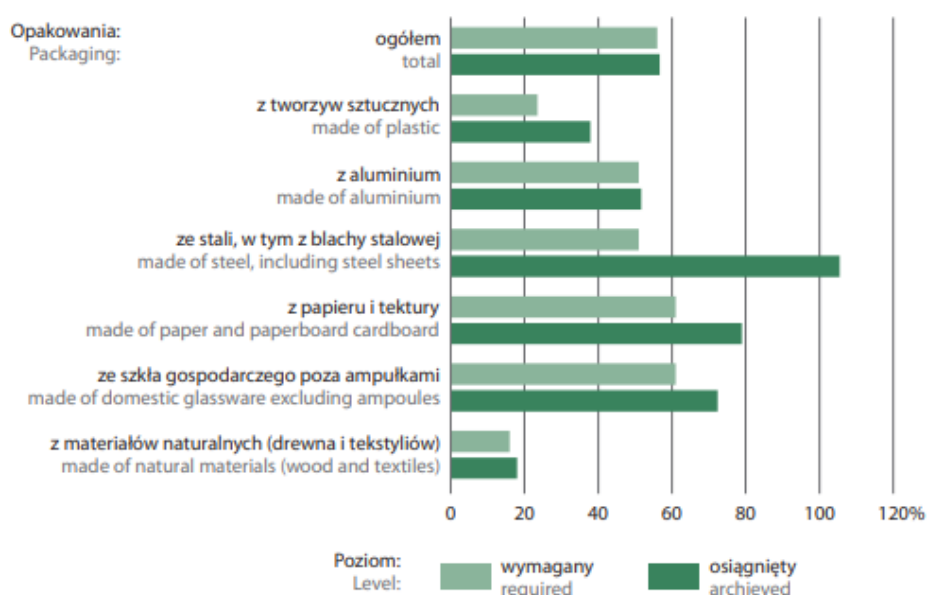
- 44 tys. ton drewna, szkła i tworzyw sztucznych zawierających substancje niebezpieczne,
- 23 tys. ton słonych żużli z produkcji wtórnej,
- 21 tys. ton mieszanych odpadów.

Odpady opakowaniowe

Odpady opakowaniowe to wycofane z użycia opakowania, które stanowią odpady zgodnie z Ustawą o odpadach, z wyjątkiem tych powstających podczas produkcji opakowań.

Porównując poziomy odzysku i recyklingu odpadów opakowaniowych z ostatnich kilku lat, widać, że wymagane poziomy odzysku (61%) i recyklingu (56%) osiągnięto już w 2015 roku i utrzymano je w latach 2019, 2020 i 2021. W 2021 roku krajowe poziomy odzysku i recyklingu wyniosły odpowiednio 60,9% i 56,7%. Osiągnięto również wymagane poziomy recyklingu dla poszczególnych frakcji odpadów opakowaniowych.

Tabela 20. Wymagany i osiągnięty poziom recyklingu odpadów opakowaniowych w 2021 r



Źródło: Dane Ministerstwa Klimatu i Środowisk, GUS

W 2020 roku w krajach Unii Europejskiej na jednego mieszkańca przypadało średnio 177,9 kg odpadów opakowaniowych. Wskaźnik ten znacznie różnił się pomiędzy poszczególnymi

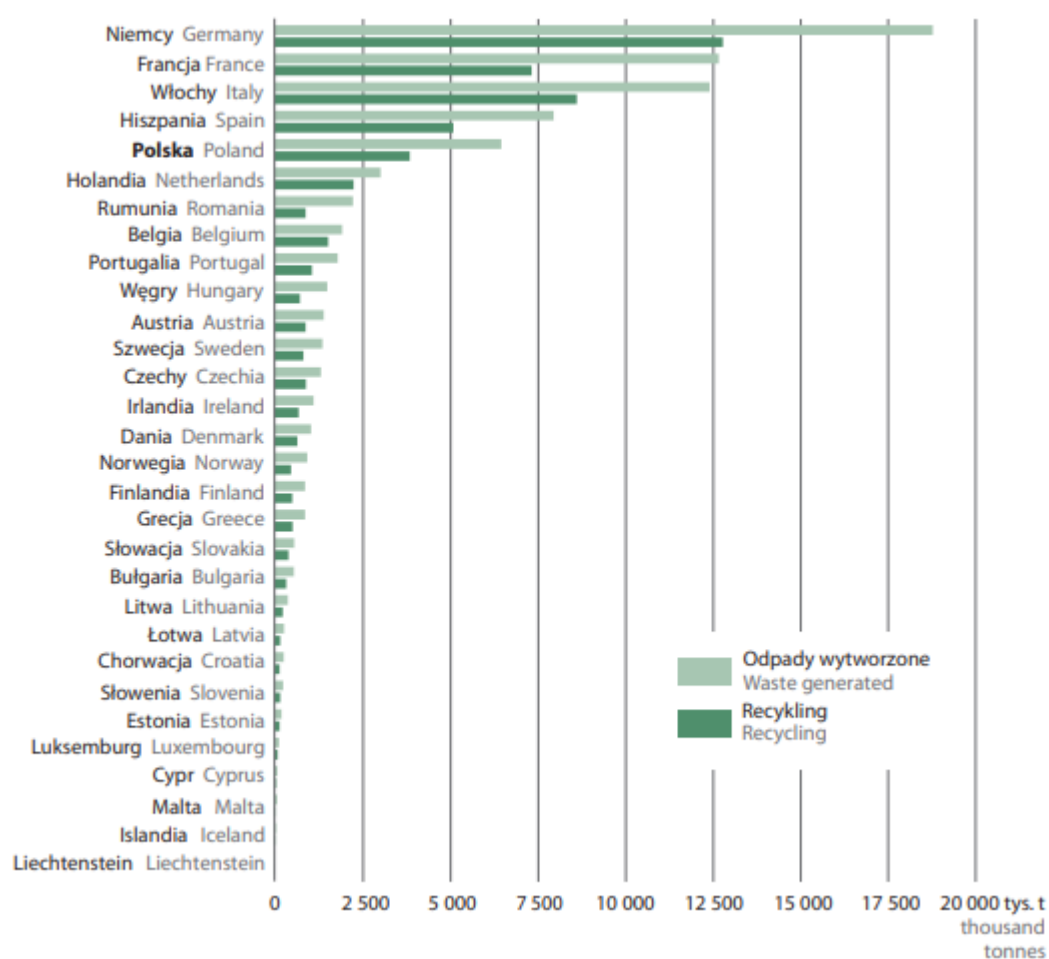
państwami członkowskimi. Najniższy poziom odpadów na mieszkańca zanotowano w Chorwacji, gdzie wyniósł on 66 kg, natomiast najwyższy odnotowano w Niemczech, gdzie na mieszkańca przypadało 225,8 kg odpadów opakowaniowych. Dominującymi rodzajami odpadów były papier i tektura, które stanowiły 41% całości, natomiast plastik, szkło, drewno i metal stanowiły odpowiednio 19%, 19%, 15% oraz 5%.

W 2020 roku niektóre kraje, takie jak Chorwacja, Węgry, Malta i Rumunia, nie zdołały osiągnąć wymaganego poziomu odzysku odpadów, a Chorwacja, Norwegia, Węgry, Malta i Rumunia nie osiągnęły wymaganych celów recyklingowych. Z kolei najwyższe wskaźniki odzysku odpadów zanotowano w Finlandii, Estonii i Belgii, a najlepsze wyniki w zakresie recyklingu osiągnęły Belgia, Holandia i Finlandia. W Polsce poziom odzysku odpadów opakowaniowych wynosił 61%, natomiast wskaźnik recyklingu osiągnął 56%.

W okresie od 2010 do 2020 roku ilość odpadów opakowaniowych wytwarzanych w Unii Europejskiej wzrosła o 11,6 mln ton, co stanowi wzrost o 17,1%. Największy wzrost odnotowano w kategorii papieru i tektury, gdzie ilość odpadów zwiększyła się o 5,2 mln ton (18,9%). Następnie wzrosty odnotowano w przypadku plastiku, gdzie ilość odpadów wzrosła o 3,1 mln ton (25,1%), szkła, którego ilość wzrosła o 1,9 mln ton (14,5%), drewna z wzrostem o 1,3 mln ton (11,5%) oraz metalu, który odnotował wzrost o 0,2 mln ton (5,8%).

Jednocześnie, w tym samym okresie, ilość odpadów opakowaniowych poddanych recyklingowi wzrosła o 7,5 mln ton, co oznacza wzrost o 17%. Największy wzrost recyklingu dotyczył tworzyw sztucznych, gdzie poddano recyklingowi o 1,5 mln ton więcej niż wcześniej, co stanowi wzrost o 34%. Recykling papieru i tektury wzrósł o 3,6 mln ton (16%), szkła o 2,1 mln ton (22%), metalu o 0,2 mln ton (7%), a drewna zaledwie o 0,02 mln ton (1%).

Tabela 21. Wytwarzanie i recykling odpadów opakowaniowych w krajach europejskich



Źródło: EUROSTAT

Zużyty sprzęt, zgodnie z definicją zawartą w Ustawie o odpadach, odnosi się do urządzeń, które stały się odpadami, w tym do ich części składowych, podzespołów i materiałów eksploatacyjnych. Od 1 stycznia 2018 roku obowiązuje nowa klasyfikacja takiego sprzętu na sześć kategorii, zgodnie z Ustawą z dnia 11 września 2015 roku o zużytym sprzęcie elektrycznym i elektronicznym (Dz.U. 2015 poz. 1688). W ramach tej klasyfikacji sprzęt podzielono na:

Urządzenia działające na zasadzie wymiany temperatury,

- Ekrany, monitory oraz inne urządzenia z ekranami większymi niż 100 cm²,
- Lampy,
- Sprzęt wielkogabarytowy (o wymiarze przekraczającym 50 cm), w tym urządzenia gospodarstwa domowego, sprzęt IT i telekomunikacyjny, sprzęt konsumencki, narzędzia elektryczne i elektroniczne, zabawki, urządzenia rekreacyjne i sportowe,

wyroby medyczne, a także automaty wydające i inne (z wyłączeniem sprzętu z grup 1-3),

- Sprzęt małogabarytowy (gdzie żaden wymiar nie przekracza 50 cm), obejmujący podobne kategorie jak sprzęt wielkogabarytowy, lecz o mniejszych rozmiarach (z wyłączeniem sprzętu z grup 1-3 i 6),
- Małogabarytowy sprzęt informatyczny i telekomunikacyjny, gdzie żaden wymiar nie przekracza 50 cm (Dz.U. 2015 poz. 1688).

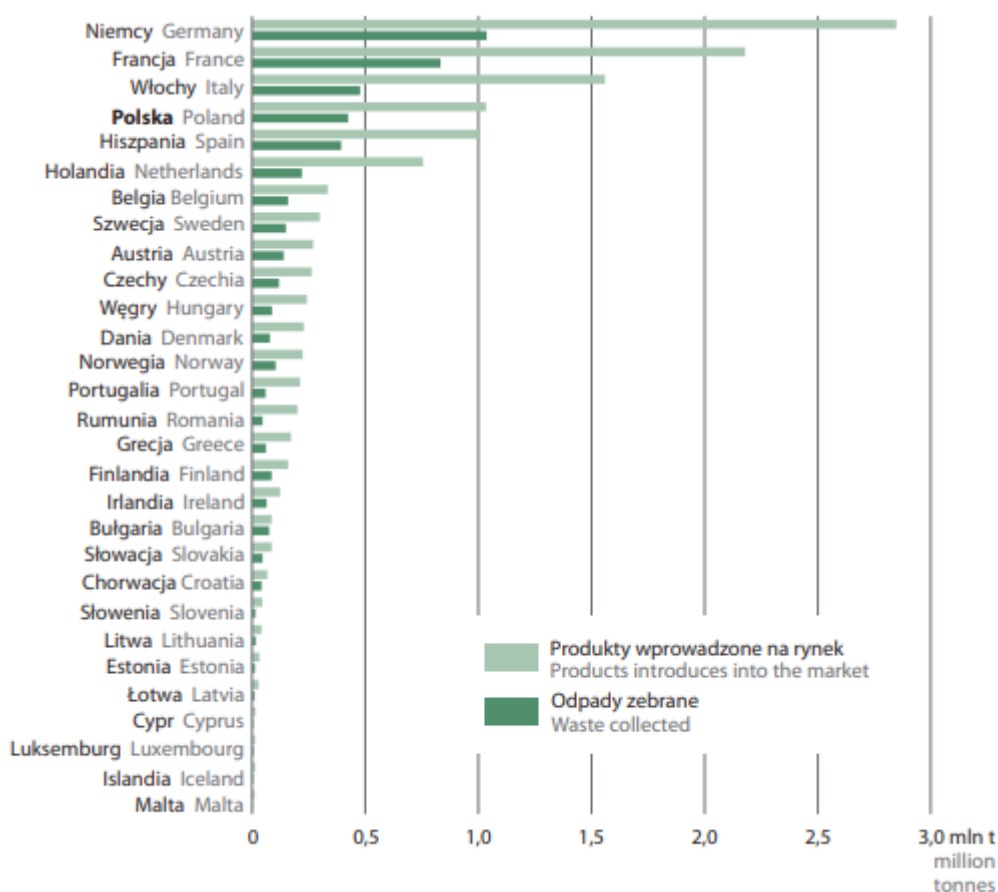
W Polsce w 2020 roku wprowadzono na rynek ponad 1 milion ton sprzętu elektrycznego i elektronicznego. Z tej ilości zebrano łącznie 486 tysięcy ton zużytego sprzętu, z czego 449 tysięcy ton pochodziło bezpośrednio z gospodarstw domowych. Dominującą część stanowił sprzęt wielkogabarytowy, który odpowiadał za 37% całkowitej masy zebranych urządzeń. Kolejnymi kategoriami były sprzęt małogabarytowy (22,5%) oraz urządzenia działające na zasadzie wymiany temperatury (20%). Najmniejszą ilość stanowiły lampy (1,5%), małogabarytowy sprzęt informatyczny i telekomunikacyjny (4,5%) oraz ekrany i monitory o powierzchni większej niż 100 cm² (14,5%) (GUS 2022).

W 2020 roku osiągnięto następujące poziomy przygotowania do ponownego użycia i recyklingu:

- Sprzęt wielkogabarytowy: 83%,
- Lampy: 71%,
- Małogabarytowy sprzęt informatyczny i telekomunikacyjny: 69%,
- Urządzenia działające na zasadzie wymiany temperatury: 67%,
- Sprzęt małogabarytowy: 60%,
- Ekrany i monitory: 30%.
- Średnio na jednego mieszkańca zebrano 12,7 kg zużytego sprzętu.

W 2021 roku na polski rynek trafiło 1,2 miliona ton nowych urządzeń elektrycznych i elektronicznych, a zebrano 536 tysięcy ton zużytego sprzętu, co stanowi wzrost o 10% w porównaniu do roku 2020. Z tej ilości 433 tysiące ton pochodziły z gospodarstw domowych. Największy udział wśród zebranych urządzeń miały sprzęt wielkogabarytowy (42% masy), sprzęt małogabarytowy (31,5%) oraz urządzenia działające na zasadzie wymiany temperatury (15%). Najmniej licznie zebrano lampy (2,5%), małogabarytowy sprzęt informatyczny i telekomunikacyjny (3,5%) oraz ekrany, monitory i urządzenia z ekranami większymi niż 100 cm² (5,5%).

Tabela 22. Wprowadzony na rynek oraz zebrany zużyty sprzęt elektryczny i elektroniczny w krajach europejskich w 2020 r.



Źródło: EUROSTAT

W 2021 roku w Polsce osiągnięto imponujące wyniki w zakresie przygotowania do ponownego użycia i recyklingu zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego. Najlepsze wyniki odnotowano w przypadku sprzętu wielkogabarytowego, gdzie aż 99% materiałów zostało przetworzonych. Sprzęt działający na zasadzie wymiany temperatury również osiągnął wysoki poziom recyklingu, wynoszący 96%. Ekrany, monitory oraz urządzenia z dużymi ekranami (powyżej 100 cm²) były przetwarzane w 86%, a lampy w 83%. Mniejszy, lecz wciąż znaczący poziom recyklingu uzyskano w przypadku małogabarytowego sprzętu informatycznego i telekomunikacyjnego (75%) oraz ogólnie małogabarytowego sprzętu (46%).

Na jednego mieszkańca Polski przypadało 14,1 kg zebranych zużytych urządzeń, co oznacza wzrost o 5,8 kg na osobę w porównaniu z rokiem poprzednim. Jest to znaczący wzrost, biorąc pod uwagę, że w 2013 roku wskaźnik ten wynosił zaledwie 4,5 kg na mieszkańca. W krajach Unii Europejskiej w 2020 roku ilość zebranego zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego na osobę była bardzo zróżnicowana – od 5,7 kg na mieszkańca w Grecji do

15,7 kg na mieszkańca w Austrii. Te różnice wynikają głównie z poziomu konsumpcji oraz skuteczności systemów zbierania odpadów w różnych krajach.

Jeśli chodzi o baterie i akumulatory, są one źródłami energii elektrycznej powstającymi w wyniku przetwarzania energii chemicznej. Występują one w dwóch głównych typach: ogniwach pierwotnych, które są jednorazowe, oraz ogniwach wtórnych, które można ponownie naładować. Baterie i akumulatory są klasyfikowane na trzy kategorie: przemysłowe, przenośne oraz samochodowe, zgodnie z Ustawą o bateriach i akumulatorach (Dz.U. z 2009 r. nr 215, poz. 1671).

W 2020 roku na polski rynek wprowadzono łącznie 173 tysiące ton baterii i akumulatorów. Z tego, 119,4 tysiąca ton (69%) stanowiły akumulatory samochodowe, 32,4 tysiąca ton (19%) baterie i akumulatory przemysłowe, a 21,3 tysiąca ton (12%) to przenośne baterie i akumulatory. Rok później, w 2021 roku, wprowadzono jeszcze więcej – 226,7 tysiąca ton, z czego 72% stanowiły akumulatory samochodowe, 19% przemysłowe, a 9% przenośne.

Średnia masa zużytych przenośnych baterii i akumulatorów zebranych na mieszkańca wzrosła z 0,21 kg w 2020 roku do 0,24 kg w 2021 roku. W tym samym czasie Polska osiągnęła poziom zbierania zużytych przenośnych baterii i akumulatorów na poziomie 44%, nieco poniżej wymaganego wskaźnika 45%. W 2020 roku ten poziom wyniósł 48%.

Na terenie Unii Europejskiej w 2020 roku wprowadzono około 229 tysięcy ton przenośnych baterii i akumulatorów, jednak zebrano jedynie około 99 tysięcy ton zużytych jednostek. Oznacza to, że ponad dwukrotnie więcej baterii wprowadzono na rynek, niż udało się zebrać. Zgodnie z Dyrektywą 2006/66/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 6 września 2006 r., od 2016 roku obowiązuje wymóg zebrania co najmniej 45% masy wprowadzonych na rynek przenośnych baterii i akumulatorów. W 2020 roku osiem państw członkowskich Unii Europejskiej, w tym Portugalia, Malta, Grecja, Estonia, Hiszpania, Słowenia, Cypr i Włochy, nie osiągnęło tego wymaganego poziomu zbiórki.

3.10. Identyfikacja miejsc problemowych

Aby system gospodarki odpadami funkcjonował efektywnie, jego kluczowym zadaniem jest takie zarządzanie odpadami, które gwarantuje ochronę środowiska, dostosowaną do specyficznych warunków społecznych i ekonomicznych panujących w danym regionie oraz kraju. Odpady przemysłowe, często generowane w dużych ilościach, charakteryzują się

zróżnicowanym składem chemicznym, a niektóre z nich są wyjątkowo toksyczne. Z kolei odpady komunalne, ze względu na ich rozproszoną naturę, powstają głównie w pobliżu osiedli ludzkich i zawierają dużą ilość substancji organicznych. Taki skład sprzyja rozwojowi mikroorganizmów patogennych i przyciąga ptactwo oraz gryzonie, które mogą być nosicielami chorób zakaźnych.

Ważnym priorytetem w zarządzaniu odpadami jest ochrona zdrowia ludzkiego i ochrona środowiska przed szkodliwymi skutkami, które mogą wynikać z różnych etapów gospodarowania odpadami – od ich zbierania, przez transport, przetwarzanie, aż po magazynowanie. Aby to osiągnąć, konieczne jest zastosowanie odpowiednich środków i procedur na każdym etapie, by minimalizować ryzyko związane z odpadami i ich wpływem na otoczenie (Rosik – Dulewska, 2000, s. 59-64).

Uniknięcie problemów związanych z wyszczególnionymi powyżej czynnikami implikuje konieczność zarządzania gospodarką odpadami na poziomie lokalnym (najczęściej gminnym). Aby skutecznie monitorować realizację gminnych Planów Gospodarki Odpadami, kluczowe jest regularne śledzenie postępów w tym zakresie. W tym kontekście szczególnie przydatna okazuje się Metoda Segmentowej Oceny Planów (MSOP). MSOP to unikalne narzędzie, które systematyzuje kryteria oceny realizacji planów gospodarki odpadami na poziomie gmin.

Głównym celem opracowania tej metody było stworzenie zestawu wskaźników, które pozwolą na precyzyjną i reprezentatywną ocenę wyników osiąganych przez gminy. Ważnym aspektem MSOP jest również jej prostota i szybkość wdrożenia, co sprawia, że jest ona łatwa do zastosowania w praktyce. Ponadto, dzięki Metodzie Segmentowej Oceny Planów, możliwe staje się porównywanie efektów realizacji planów gospodarki odpadami pomiędzy różnymi jednostkami administracyjnymi. To porównanie jest istotne dla identyfikacji najlepszych praktyk oraz wskazania obszarów wymagających poprawy.

Metoda Segmentowej Oceny Planów (MSOP) została stworzona w oparciu o następujące kluczowe zasady, które zostały określone przez Radę Ministrów w 2002 roku:

1. **Zakres czasowy oceny:** Obejmuje analizę danych z jednego roku kalendarzowego.
2. **Porównanie roczne:** Wyniki są zestawiane z danymi z poprzedniego roku, co umożliwia ocenę zmian na przestrzeni czasu.
3. **Podstawy oceny:** Ocena realizacji planów opiera się na wskaźnikach, które są kluczowym elementem metody.

Wskaźniki użyte w tej metodzie dostarczają precyzyjnych wyników, które odzwierciedlają stopień realizacji celów określonych w Planach Gospodarki Odpadami.

Umożliwiają one również ocenę skuteczności podjętych działań oraz identyfikację obszarów wymagających poprawy.

Do najważniejszych wskaźników, na których opiera się MSOP, należą:

- **Wskaźnik ilości odpadów na mieszkańca:** Mierzy roczną produkcję odpadów przypadającą na jednego mieszkańca.
- **Wskaźnik zasięgu zbiórki odpadów zmieszanych:** Określa, jak wiele osób jest objętych systemem odbioru odpadów.
- **Wskaźnik selektywnej zbiórki:** Mierzy, jaki procent mieszkańców korzysta z systemów segregacji odpadów.
- **Wskaźnik odzysku odpadów:** Określa ilość odpadów, które są poddawane procesom odzysku.
- **Wskaźnik unieszkodliwiania poprzez składowanie:** Pokazuje, jaka ilość odpadów jest składowana na wysypiskach.
- **Wskaźnik kosztów:** Określa koszty ponoszone przez mieszkańców związane z zarządzaniem odpadami.

Zastosowanie tych wskaźników pozwala na wszechstronną ocenę efektywności gospodarki odpadami w trzech kluczowych obszarach:

1. **Ograniczanie ilości odpadów:** Wskaźnik nagromadzenia odpadów pomaga monitorować, czy podejmowane działania skutecznie zmniejszają ilość generowanych odpadów.
2. **Promowanie segregacji i odzysku:** Wskaźniki dotyczące zbiórki, selektywnej zbiórki i odzysku oceniają, jak skutecznie są wdrażane systemy mające na celu minimalizację odpadów.
3. **Bezpieczeństwo i ochrona środowiska:** Wskaźnik składowania ocenia, czy odpady są unieszkodliwiane w sposób bezpieczny dla ludzi i środowiska.

Wskaźnik zbiórki odpadów odzwierciedla procent populacji, która ma dostęp do odpowiednich usług umożliwiających właściwe pozbycie się odpadów. Jego wartość powinna docelowo wynosić 100%, co oznacza pełne objęcie mieszkańców systemem odbioru odpadów.

Ten wskaźnik jest kluczowy, ponieważ pozwala ocenić, jaka część społeczeństwa faktycznie korzysta z oferowanych usług zbiórki odpadów. W połączeniu z danymi dotyczącymi ilości zebranych odpadów można ocenić, czy mieszkańcy postępują zgodnie z przepisami dotyczącymi utylizacji odpadów (Lewis i in., 2001, s. 35-58). Jeśli wskaźnik ten

jest niski, może to sugerować, że nie wszyscy mieszkańcy mają dostęp do odpowiednich usług, co z kolei może prowadzić do niewłaściwego zarządzania odpadami.

Miarą wskaźnika zbiórki jest liczba mieszkańców objętych zorganizowanym systemem zbiórki odpadów zmieszanych. Obliczana jest ona przy zastosowaniu wzoru (Rada Ministrów, 2002):

$$W_{zbz} = \frac{L_z}{L}$$

Gdzie:

- W_{zbz} - wskaźnik zbiórki
- L_z – liczba mieszkańców objętych systemem zbiórki odpadów zmieszanych
- L – liczba mieszkańców gminy.

Podkreślić w tym miejscu należy, iż jako liczbę mieszkańców objętych systemem zbiórki należy przyjmować liczbę mieszkańców, którzy mają podpisane umowy na wywóz odpadów komunalnych, których spis powinna posiadać gmina (Jędrszak, Szpadt, 2006, s. 34-38).

Wskaźnik nagromadzenia odpadów komunalnych określa ilość odpadów przypadającą na jednego mieszkańca w ciągu roku, co wyraża się w jednostkach kilogramów na mieszkańca na rok (kg/M/r). Aby poprawnie obliczyć ten wskaźnik, konieczne jest posiadanie precyzyjnych danych na temat (Lorek, 2007, s. 114-125):

- Liczby mieszkańców danej gminy w danym roku.
- Całkowitej ilości odpadów zebranych w tym okresie.

Obliczenie tego wskaźnika polega na podzieleniu całkowitej ilości zebranych odpadów przez liczbę mieszkańców. Używa się do tego określonego wzoru, który został opisany w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 kwietnia 2003 roku dotyczącym sporządzania planów gospodarki odpadami.

Wskaźnik ten stanowi istotne narzędzie do monitorowania i oceny efektywności systemu gospodarowania odpadami, pozwalając na lepsze zrozumienie, ile odpadów generuje przeciętny mieszkaniec gminy. Takie dane są kluczowe dla podejmowania działań mających na celu optymalizację zarządzania odpadami i ograniczenie ich ilości w przyszłości.

$$W_n = \frac{M}{L}$$

Gdzie:

- W_n – wskaźnik nagromadzenia
- M – ilość zebranych odpadów
 - ✓ $M = M_z + M_s$
 - ✓ M_z – ilość zebranych odpadów zmieszanych w kilogramach
 - ✓ M_s – ilość zebranych odpadów selektywnie w kilogramach
- L – liczba mieszkańców gminy

Wskaźnik odzysku odpadów jest miarą, która pokazuje, jaki procent odpadów zebranych w danej gminie został poddany procesowi odzysku. Wyższa wartość tego wskaźnika wskazuje, że większa część odpadów trafia do procesów odzysku, co jest pozytywnym sygnałem świadczącym o efektywnym zarządzaniu odpadami. Z kolei niższa wartość tego wskaźnika oznacza, że mniejsza część odpadów jest odzyskiwana, co może sugerować, że dominującą metodą zagospodarowania odpadów w gminie jest składowanie lub inne mniej zrównoważone rozwiązania.

Wskaźnik odzysku jest kluczowy, ponieważ pozwala ocenić, jak skutecznie gmina zarządza swoimi odpadami i jakie strategie są w niej dominujące. Aby obliczyć ten wskaźnik, należy wziąć pod uwagę ilość odpadów, które zostały przekazane do procesów odzysku, i porównać ją z całkowitą ilością zebranych odpadów.

Przykład obliczenia tego wskaźnika można znaleźć w literaturze, gdzie jest on opisany odpowiednim wzorem (Lewandowska, Foltynowicz, 2007, s. 78-85). Dzięki takiej analizie można łatwo ocenić efektywność polityki odpadowej gminy i zidentyfikować obszary wymagające dalszych działań optymalizacyjnych.

$$W_{oz} = \frac{M_{odz}}{M}$$

Gdzie:

- W_{odz} – wskaźnik odzysku

- M_{odz} – ilość odpadów przekazanych do odzysku
- M – ilość zebranych odpadów [Mg]
 - ✓ $M = M_z + M_s$
 - ✓ M_z – ilość zebranych odpadów zmieszanych [Mg]
 - ✓ M_s – ilość zebranych odpadów selektywnie [Mg]

Wskaźnik selektywnej zbiórki jest wskaźnikiem o tyle istotnym, iż co do zasady jego wysoki poziom stanowi o efektywnej realizacji zapisów Planów Gospodarki Odpadami. Jego istnienie jest pochodną konieczności prowadzenia zbiórki odpadów w sposób selektywny, a działanie to z kolei narzucają przepisy zawarte w ustawie o odpadach oraz zapisy zamieszczone w gminnych Planach (Lorek, 2007, s. 114-125).

W Polsce obecnie selektywna zbiórka odpadów jest bezpośrednio powiązana z procesem ich odzysku. W ramach tej zbiórki szczególny nacisk kładzie się na takie kategorie odpadów jak:

- Papier i tektura,
- Szkło,
- Tworzywa sztuczne.

Chociaż wymienione powyżej rodzaje odpadów są podstawowymi elementami selektywnej zbiórki, to nie ograniczają one pełnego spektrum działań. W ramach rozwijającego się systemu, coraz większą rolę odgrywa także zbiórka:

- Odpadów wielomateriałowych,
- Materiałów pochodzenia drzewnego,
- Odpadów niebezpiecznych,
- Odpadów budowlanych,
- Odpadów wielkogabarytowych.

Wskaźnik selektywnej zbiórki odpadów mierzy, jaki odsetek mieszkańców danej gminy uczestniczy w zorganizowanym systemie selektywnego zbierania odpadów. Jego wartość jest wyrażana procentowo i może być obliczana według wzoru przedstawionego przez Lewisa i współpracowników (2001, s. 35-58). Ten wskaźnik jest kluczowy dla oceny skuteczności wdrożonych systemów selektywnej zbiórki, a jego monitorowanie pozwala na optymalizację działań związanych z gospodarką odpadami, a także na zwiększanie zaangażowania społeczności lokalnej w procesy recyklingu i odzysku.

$$W_{zb} = \frac{L_s}{L}$$

- W_{zbs} – wskaźnik selektywnej zbiórki
- L_s – liczba mieszkańców objętych systemem selektywnej zbiórki odpadów
- L – liczba mieszkańców gminy.

Liczba mieszkańców uczestniczących w systemie selektywnej zbiórki obejmuje tych, którzy mają dostęp do zbierania co najmniej jednej z trzech głównych kategorii odpadów. Zasadnicze frakcje odpadów, które są objęte selektywną zbiórką, to te kategorie, które najczęściej pojawiają się w gospodarstwach domowych.

Z kolei wskaźnik składowania służy do określenia proporcji między ilością odpadów skierowanych do składowania a całkowitą ilością odpadów, które zostały zebrane. Wskaźnik ten wyraża się jako relacja tych dwóch wartości i jest przedstawiony w odpowiednim wzorze matematycznym.

$$W_{sk} = \frac{M_{sk}}{M}$$

Gdzie:

- W_{sk} – wskaźnik składowania
- M_{sk} – ilość odpadów przekazanych do składowania [Mg]
- M – ilość zebranych odpadów [Mg]
 - ✓ $M = M_z + M_s$
 - ✓ M_z – ilość zebranych odpadów zmieszanych [Mg]
 - ✓ M_s – ilość zebranych odpadów selektywnie [Mg]

Wskaźnik kosztowności określa koszty, jakie ponoszą mieszkańcy za korzystanie z systemu zbiórki odpadów komunalnych.

Wartość wskaźnika kosztowności oblicza się przy zastosowaniu wzoru (Lorek, 2007, s. 114-125):

$$W_k = \frac{K_m}{K_{sk}}$$

Gdzie:

- W_k – wskaźnik kosztowności

- K_m – koszty ponoszone przez mieszkańców [w zł]
- K_{sk} – koszty unieszkodliwiania 1 Mg odpadów na składowisku [w zł].

Rozdział IV. Spalarnie odpadów komunalnych jako opcjonalne rozwiązanie z gospodarcze odpadami w Polsce

4.1. Istota, podstawy prawne oraz procedury spalania odpadów w gospodarce komunalnej w Polsce i regulacje prawne

Proces termicznego przekształcania, potraktowany jako jeden z zasadniczych sposobów zagospodarowania odpadów komunalnych, realizowany może być tak w ramach specjalistycznych spalarni odpadów, jak również w kotłach o charakterze energetycznym. W ostatnich latach sektor energetyczny, obejmujący elektrownie, elektrociepłownie i ciepłownie, wykazuje rosnące zainteresowanie spalaniem oraz współspalaniem różnorodnych odpadów w kotłach energetycznych. Zainteresowanie to jest szczególnie widoczne w kontekście produkcji energii z odnawialnych źródeł, gdzie odpady biomasowe odgrywają kluczową rolę jako potencjalne paliwo. Biomasa, będąca naturalnym i odnawialnym źródłem energii, stanowi atrakcyjną alternatywę dla tradycyjnych paliw kopalnych, co przyczynia się do wzrostu zainteresowania jej wykorzystaniem w procesach energetycznych.

Obecnie ilość odpadów niebiomasowych, które są wykorzystywane w energetyce, jest stosunkowo niewielka, jednakże obserwuje się stopniowy wzrost ich udziału. Jest to związane z postępującymi zmianami legislacyjnymi oraz rosnącą świadomością ekologiczną. Wykorzystanie odpadów niebiomasowych, mimo że wymaga spełnienia surowych norm eksploatacyjnych i środowiskowych, stanowi znaczący krok w kierunku zrównoważonego rozwoju energetyki. Wdrożenie odpowiednich technologii oraz adaptacja infrastruktury energetycznej pozwala na stopniowe zwiększanie udziału tego typu odpadów w procesach energetycznych.

Nowe przepisy prawne, które umożliwiają klasyfikację energii wytwarzanej ze spalania odpadów komunalnych jako energii odnawialnej, znacznie wpłynęły na zainteresowanie współspalaniem takich odpadów przez zakłady energetyczne. Tego rodzaju energia, określana jako "zielona", odgrywa kluczową rolę w strategiach zrównoważonego rozwoju, które są coraz częściej wdrażane przez kraje na całym świecie. Dzięki temu energetyka zyskuje nową możliwość wytwarzania energii, która nie tylko spełnia normy środowiskowe, ale także wspiera cele klimatyczne, takie jak redukcja emisji CO₂.

Współspalanie odpadów w kotłach energetycznych otwiera również perspektywę dla innowacji technologicznych, które mogą zoptymalizować procesy spalania oraz zwiększyć

efektywność energetyczną. W miarę jak technologie te będą się rozwijać, można spodziewać się dalszego wzrostu udziału odpadów w produkcji energii, co w dłuższej perspektywie przyczyni się do zmniejszenia zależności od paliw kopalnych i zwiększenia udziału odnawialnych źródeł energii w globalnym miksie energetycznym (Kotlicki, Wawszczak, 2011, s. 155).

Podstawowym czynnikiem, który doprowadził do zmiany w istotny sposób gospodarki odpadami na terenie Polski było niewątpliwie wejście w życie od dnia 1 stycznia 2013 roku przepisów prawnych dotyczących niemożności składowania określonych grup odpadów (między innymi osadów ściekowych oraz niesegregowanych odpadów o charakterze komunalnym) o cieple spalania suchej masy wyższym aniżeli 6 MJ/kg (Dz.U. z 2005 roku, Nr 186, z późn. zm.). Poza tym należy brać również pod uwagę prawne ograniczenia dotyczące emisji dwutlenku węgla dla energetyki, a także to, iż odpady biomasowe posiadają zerowy wskaźnik w zakresie emisji dwutlenku węgla (Kotlicki, Wawszczak, 2011, s. 155 - 156).

Ogólna przestrzeń o charakterze formalnoprawnym odnosząca się do rozmaitych technologii spalania czy też współspalania odpadów skonkretyzowana jest poprzez trzy zasadnicze akty prawne (są to różnego rodzaju ustawy oraz wynikające z nich rozporządzenia szczegółowe), czyli (Kotlicki, Wawszczak, 2011, s. 159):

- prawo ochrony środowiska,
- ustawę o odpadach,
- prawo energetyczne.

Zgodnie z interpretacjami jakie są zamieszczone w powyżej wskazanych aktach prawnych, w kontekście energetyki i spalarni dokonać można klasyfikacji odpadów na trzy podstawowe kategorie, czyli (Kotlicki, Wawszczak, 2011, s. 159):

- odpady o charakterze biomasowym, które są kwalifikowane jako jeden z rodzajów paliwa (na przykład odpady pochodzące z rolnictwa oraz leśnictwa);
- odpady o charakterze biomasowym jakie nie są paliwami (na przykład osady ściekowe);
- odpady, które nie są ani biomasą, ani również paliwem (na przykład odpady pochodzące z tworzyw sztucznych, a także niesegregowane odpady komunalne).

Reguły postępowania z konkretnymi substancjami, wymagania o charakterze technicznym, które to muszą spełniać instalacje służące do termicznego przekształcania czy też możliwości wykorzystywania energii w nich zawartej, uzależnione są od zakwalifikowania

konkretnych spalanych substancji do jednej z wyżej wyróżnionych grup. Przede wszystkim, zaostrome reguły oraz wymagania występują w odniesieniu do postępowania z odpadami z drugiej i trzeciej grupy (Strzelczyk, Wawszczak, 2009).

Ustawodawca interpretuje pojęcie spalarni odpadów w treści art. 3 ust. 3 pkt 17 ustawy o odpadach, jako rodzaj zakładu albo jego część przeznaczona do termicznego przekształcania odpadów z odzyskiem albo bez odzysku wytwarzanej energii o charakterze cieplnym, obejmująca instalacje oraz urządzenia wykorzystywane do realizowania procesu termicznego przekształcania odpadów łącznie z oczyszczaniem różnego rodzaju gazów odlotowych oraz wprowadzaniem ich do atmosfery, kontrolowaniem, sterowaniem oraz monitorowaniem procesów. Dotyczy to również instalacji jakie są powiązane z przyjmowaniem, wstępnym przetwarzaniem oraz magazynowaniem odpadów jakie są dostarczane do termicznego przekształcania, a ponadto instalacji powiązanych z magazynowaniem oraz przetwarzaniem substancji otrzymanych w wyniku spalania czy też oczyszczania gazów odlotowych (art. 3 ust. 3 pkt 17 ustawy o odpadach).

Przytoczona definicja jest jednak stosunkowo skomplikowana. Należy też zwrócić uwagę na fakt, że spalarnią będzie zakład rozumiany zgodnie z zapisami prawa ochrony środowiska. W oparciu o znowelizowane przepisy ustawy z dnia 13 września 1996 roku o utrzymaniu czystości i porządku w gminach, przez spalarnię odpadów można też rozumieć samodzielną instalację do przetwarzania odpadów o charakterze komunalnym. W praktyce jedynym wymogiem w tym przypadku jest posiadanie odpowiedniej mocy przerobowej, która będzie pozwalała na przetwarzanie odpadów z terenu jaki jest zamieszkały przez przynajmniej 120 tysięcy mieszkańców, a także jej budowa oraz funkcjonowanie jest zgodne z najefektywniejszymi, dostępnymi w danej chwili, technologiami oraz technikami. Oprócz tego, powyższa instalacja musi zostać uwzględniona w ramach wojewódzkich planów gospodarki odpadami. Jedynie wówczas, poszczególne gminy będą mogły odpowiednio kierować tam własne odpady o charakterze komunalnym (Ostrowiecki, 2012, s. 31-44). Warto też wspomnieć, że budowa spalarni odpadów (w oparciu o prawo budowlane) wymaga uzyskania stosownego pozwolenia na budowę. Niemniej, zanim jeszcze dany inwestor wystąpi o pozyskanie odpowiedniego pozwolenia do stosownego organu, wymagane jest wydanie decyzji środowiskowej (tego rodzaju obowiązek wynika z treści rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 10 września 2019 roku w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko), która to może zostać poprzedzona koniecznością przeprowadzenia oceną oddziaływania na środowisko naturalne (Dz. U. z 2019 roku, poz. 1839).

D. Ostrowiecki podkreśla, że zastosowanie odpowiedniej metody termicznej w ramach gospodarki odpadami komunalnymi w zdecydowany sposób przyczyniać się może do ograniczania ilości odpadów, a także do zredukowania udziału surowców o charakterze naturalnym w różnego rodzaju procesach jakie zmierzają do wytwarzania energii. Daje to w praktyce kolejnym pokoleniom, istotną szansę na wykorzystywanie zasobów Ziemi (Ostrowiecki, 2012, s. 31-44). Trybunał Konstytucyjny w treści wyroku z dnia 6 czerwca 2006 roku, stwierdził, że: „w ramach zasad zrównoważonego rozwoju mieści się nie tylko ochrona przyrody, ale i troska o rozwój społeczny i cywilizacyjny, związany z koniecznością budowania stosownej infrastruktury” (sygn. akt K 23/05).

W związku z tym, pokusić się można tutaj o stwierdzenie, że w praktyce budowa, a także prawidłowe funkcjonowanie współczesnych spalarni odpadów, biorąc pod uwagę w szczególności możliwości pozyskiwania energii z takiego rodzaju instalacji, stanowić może determinantę rozwoju cywilizacyjnego, społecznego oraz ekologicznego państwa. Należy zaakcentować, że poprzez rozwój o charakterze ekologicznym należy pojmować tutaj działania, które zmierza do ochrania środowiska naturalnego, poprawianie oraz zapewnianie jego właściwego funkcjonowania w myśl reguł zrównoważonego rozwoju, a także podnoszenie świadomości ekologicznej ludności żyjącej na danym terenie. W związku z tym, można podkreślić, że możliwe jest działanie spalarni opadów w ramach systemu gospodarki odpadami komunalnymi z jednoczesnym poszanowaniem reguł tak zwanego zrównoważonego rozwoju. W znaczącej mierze uzależnione to jest od wykorzystywanych technologii, właściwej interpretacji przepisów prawa, a także ludzkiej świadomości oraz mentalności (Ostrowiecki, 2012, s. 31-44).

W efekcie spalania odpadów o charakterze komunalnych powstaje na jedną tonę spalonych tego rodzaju odpadów około 0,25 Mg żużli, a także około 0,075 Mg popiołów lotnych, rozmaitych pyłów z odpylania, tak zwanych placków filtracyjnych oraz gipsu pochodzącego z procesów oczyszczania spalin. Aktualnie na całym globie są prowadzone intensywne analizy, które są skoncentrowane na kwestii udoskonalania znanych, a także na opracowywaniu zupełnie nowych technologii, jakie mają umożliwiać bezpieczne wykorzystywanie albo składowanie odpadów wytwarzanych w wyniku spalania odpadów komunalnych i podobnych. Pośród zdecydowanie najpopularniejszych procesów immobilizacji można wyróżnić (Mikuła, Łach, 2018, s. 32):

- cementowanie,
- bituminizację,
- wityfikację,

- odmienne technologie, czyli Synrock czy też Geodur, które są oparte na rozmaitych dedykowanych dla określonego typu odpadów mieszankach,
- geopolimeryzację.

Jedną z podstawowych cech termicznego spalania odpadów komunalnych jest niejednorodność paliwa, które jest dostarczane do opisywanych spalarni. Pojawia się tutaj znacząca różnorodność powyższej substancji, nie w każdym przypadku określona, zaś każdy typ „paliwa” posiada swoje immanentne cechy, a także wymaga często zupełnie innego potraktowania podczas procesu spalania. Występuje tutaj nie do końca określona oraz zmienna w czasie różnorodność substancji marginalnych, o znaczącym (wyróżniającym się) wpływie na procesy związane z generowaniem niepożądanych związków chemicznych. Dotyczy to w głównej mierze jakości spalin oraz popiołu, w szczególności w zakresie powstawania metali ciężkich, będących rozmaitymi katalizatorami, oraz lekkich eutektyków. Mowa tutaj także o występujących w dość niewielkich ilościach odmiennych składników, lecz również o istotnej mocy oddziaływania, na przykład związków siarki, chloru, rtęci, czy też fluoru (Nikodem, 2007, s. 310).

W związku z powyższym, jasne jest, że niezwykle trudno mówić o zbudowaniu optymalnych warunków spalania, ponieważ są one rozmaite dla różnego rodzaju składników palnych powyższego „mieszanki” paliwowej. Pojawia się więc tutaj pytanie: co należy w zakresie zrobić, aby upodobnić oraz w odpowiedni sposób zbliżyć odpady komunalne do paliw jakie mają charakter jednorodny. W. Nikodem wskazuje, że odpowiedź na takie pytanie jest jasna. Jego zdaniem, zrezygnować należy z klasycznego spalania odpadów komunalnych oraz trzeba je potraktować jako surowiec służący do wytwarzania formowanego paliwa o charakterze alternatywnym, jakie posiada pożądane cechy i właściwości, zbliżone podczas procesu spalania do paliw normowanych, a głównie do tych o charakterze gazowym. W tym kontekście drogi działania są dwie. Pierwsza z nich wskazuje, że konieczne jest wytwarzanie paliwa uformowanego jako stałe podczas procesu selekcji, separacji oraz mieszania rozmaitej frakcji nawet z odmiennymi paliwami oraz właściwymi dodatkami w oparciu o stosowną recepturę dla różnych kategorii odbiorców paliwa. Po drugie natomiast należy podjąć się generacji gazu palnego, a następnie oczyszczenia go oraz spalenie w odpowiednim palniku właściwym dla konkretnego rodzaju kotła (Nikodem, 2007, s. 310).

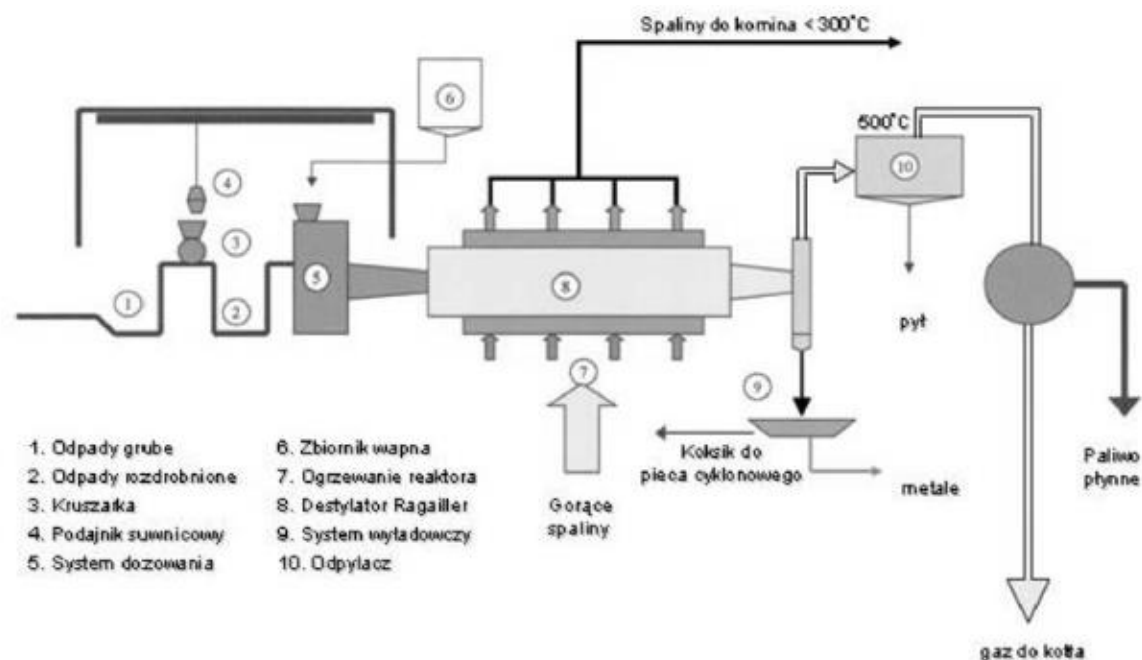
Opisując tę drugą ścieżkę procesu spalania należy wskazać, że materia o charakterze organicznym w konsekwencji ogrzewania podlega rozkładowi na związki proste. Jeśli proces termicznego rozkładu jest prowadzony w obecności tlenu, dochodzi do spalania produktów

gazowych powstających podczas tego rozkładu. W sytuacji, gdy spalanie odbywa się w atmosferze o charakterze redukcyjnym, końcowym produktem będzie palny gaz oraz węgiel, nazywany karbonizatem lub koksikiem, w zależności od procesu jego wytwarzania. Materia organiczna poddana podgrzewaniu w środowisku pozbawionym tlenu, w temperaturze od 450 do 600 stopni Celsjusza, rozkłada się, wytwarzając gaz wylewny zawierający dużą ilość pary wodnej oraz znaczne ilości węglowodorów do C8. Dodatkowo powstaje karbonizat, obciążony balastami mineralnymi oraz metalicznymi.

W procesie gazyfikacji do mieszanki wprowadza się również odpowiednio dobrane wapno palone, którego zadaniem jest chemiczne związanie do 95% chloru oraz 60% siarki obecnych w surowcu. Dzięki temu gaz jest oczyszczany z tych pierwiastków jeszcze przed dotarciem do palników, co znacząco odciąża system spalania. Pozostałe kwaśne składniki gazu, takie jak SO₂, HCl czy HF, są odprowadzane wraz ze spalinami do kotła.

W przypadku paliw alternatywnych oznaczonych kodem 19.12.10, czyli odpadów palnych przekształconych w paliwa alternatywne, proces zgazowania pozwala na przekształcenie w gaz co najmniej 85% masy surowca. Natomiast w przypadku czystej biomasy, efektywność tego procesu sięga nawet 98%. Technologia ta umożliwia także zgazowanie różnych rodzajów biomasy, co daje elastyczność w uzupełnianiu lub zastępowaniu frakcji energetycznych pochodzących z odpadów komunalnych, gdy są one niewystarczające.

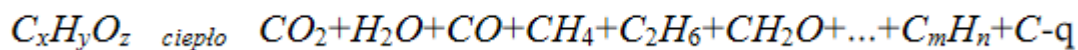
Warto podkreślić, że przedstawiona technologia zgazowania może być dostosowana do zgazowania szerokiej gamy materiałów organicznych, nie ograniczając się jedynie do biomasy. Taki proces pozwala na efektywne przekształcanie odpadów komunalnych w gaz energetyczny, co jest korzystne zarówno z punktu widzenia efektywności energetycznej, jak i ochrony środowiska. Przykładowy schemat instalacji termicznej przeznaczonej do zgazowania odpadów komunalnych można znaleźć na rysunku nr 35 (Nikodem, 2007, s. 310).



Rysunek 35. Przykładowa instalacji do zgazowania odpadów komunalnych

Źródło: Nikodem (2007, s. 312).

Proces zgazowania stałych węglowodorów w spalarniach można opisać za pomocą uproszczonych równań chemicznych, które obrazują złożoność reakcji zachodzących podczas tego procesu (Wielgosinski, 2011, s. 7).



Reakcje te obejmują zarówno procesy egzotermiczne, gdzie ciepło jest wydzielane, jak i endotermiczne, które wymagają dostarczenia ciepła z zewnątrz.

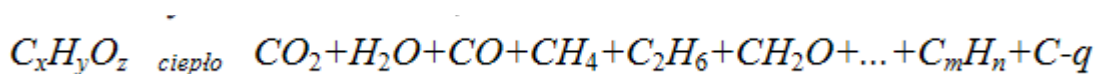
Wartość opałowa gazu powstającego w procesie zgazowania jest zmienna i zależy od zastosowanego czynnika utleniającego. W przypadku, gdy używane jest powietrze lub para wodna, wartość ta oscyluje wokół 5 MJ/Nm³. Natomiast przy zastosowaniu czystego tlenu, wartość opałowa może wzrosnąć nawet do 10 MJ/Nm³. Powstały gaz syntezowy, będący efektem zgazowania, może być następnie wykorzystany na różne sposoby, zależnie od potrzeb technologicznych. Może on służyć jako paliwo w silnikach gazowych do produkcji energii elektrycznej lub jako surowiec w syntezach chemicznych, gdzie przekształcany jest w węglowodory ciekłe, takie jak paliwa, lub w metanol. W niektórych przypadkach gaz syntezowy jest stosowany także jako paliwo w kotłach grzewczych, choć jest to stosunkowo rzadkie rozwiązanie (Wielgosiński, 2011, s. 7).

Warto zauważyć, że zgazowanie odpadów komunalnych to tylko jedna z dostępnych technologii stosowanych w nowoczesnych spalarniach odpadów. Innym równie istotnym procesem jest piroliza. Zgodnie z literaturą, piroliza jest procesem termicznym, w którym bogate w węgiel substancje organiczne są poddawane obróbce w wysokiej temperaturze w warunkach beztlenowych lub przy minimalnej zawartości tlenu. Proces ten jest endotermiczny, co oznacza, że wymaga dostarczenia ciepła z zewnątrz, i przebiega w temperaturach sięgających nawet 1000 stopni Celsjusza.

Wynikiem procesu pirolizy są trzy główne produkty: gaz pirolityczny, koks pirolityczny oraz faza ciekła. Gaz pirolityczny składa się głównie z metanu, wodoru, etanu oraz ich homologów, a także z tlenku i dwutlenku węgla. Ponadto zawiera inne związki, takie jak amoniak, siarkowodór, chlorowodór i fluorowodór. Koks pirolityczny to faza stała, zawierająca głównie węgiel, metale oraz substancje inertne. Faza ciekła, powstająca podczas pirolizy, składa się z mieszanki olejów, smół, wody oraz prostych związków chemicznych, takich jak aldehydy, alkohole i kwasy organiczne (100 Jahre, 1996).

Reakcje chemiczne zachodzące podczas pirolizy węglowodorów można przedstawić za pomocą uproszczonego równania chemicznego, które ilustruje podstawowe procesy termiczne i chemiczne zachodzące w trakcie tego procesu (Wielgosiński, 2011, s. 5).

Proces dotyczący pirolizy węglowodorów opisany może być za pomocą następującego uproszczonego równania chemicznego (Wielgosiński, 2011, s. 5):



Ogólny skład gazu o charakterze pirolitycznym uzależniony jest znaczącej mierze od temperatury tego procesu. Jest to zobrazowane w tabeli 23.

Tabela 23. *Ostateczny skład gazu powstającego podczas procesu pirolizy (wyrażony w procentach objętościowych) jest ściśle uzależniony od temperatury, w jakiej ten proces przebiega, szczególnie gdy chodzi o przetwarzanie odpadów komunalnych.*

Składnik gazu o charakterze pirolitycznym	Temperatura opisywanego procesu w stopniach Celsjusza			
	926	815	648	482
CO₂	18,31	20,59	37,78	44,77
CO	35,25	34,12	30,49	33,50
C₂H₆	1,07	0,77	3,06	3,03
C₂H₄	2,43	2,24	2,18	0,45
CH₄	10,45	13,73	15,91	12,43
H₂	32,48	28,55	16,58	5,56

Źródło: Wielgosinski (2011, s. 5.)

Wśród produktów powstających podczas pirolizy, największą część stanowi tzw. faza ciekła, która zazwyczaj osiąga około 60% udziału, niezależnie od temperatury, w której zachodzi proces. Wraz ze wzrostem temperatury, zmienia się jednak proporcja pozostałych produktów – zauważalny jest spadek ilości fazy stałej, podczas gdy ilość fazy gazowej wzrasta. Zależność ta jest wyraźnie widoczna i przedstawiona w poniższym zestawieniu tabelarycznym.

Ten wzorzec zmienności w składzie produktów pirolizy wynika z różnorodności reakcji chemicznych zachodzących w różnej temperaturze. W niższych temperaturach dominują procesy prowadzące do powstawania większej ilości ciał stałych, natomiast w miarę podnoszenia temperatury, reakcje te sprzyjają rozkładowi tych ciał stałych na gazowe produkty pirolityczne. W efekcie, wyższe temperatury sprzyjają generowaniu większej ilości gazów pirolitycznych, co może być szczególnie pożądane w niektórych zastosowaniach przemysłowych, gdzie takie gazy mogą być dalej przetwarzane lub wykorzystywane jako paliwa alternatywne.

Warto podkreślić, że tego rodzaju zmienność w składzie produktów pirolizy ma kluczowe znaczenie dla optymalizacji procesu i jego dostosowania do specyficznych potrzeb przemysłowych, zwłaszcza w kontekście przetwarzania odpadów komunalnych.

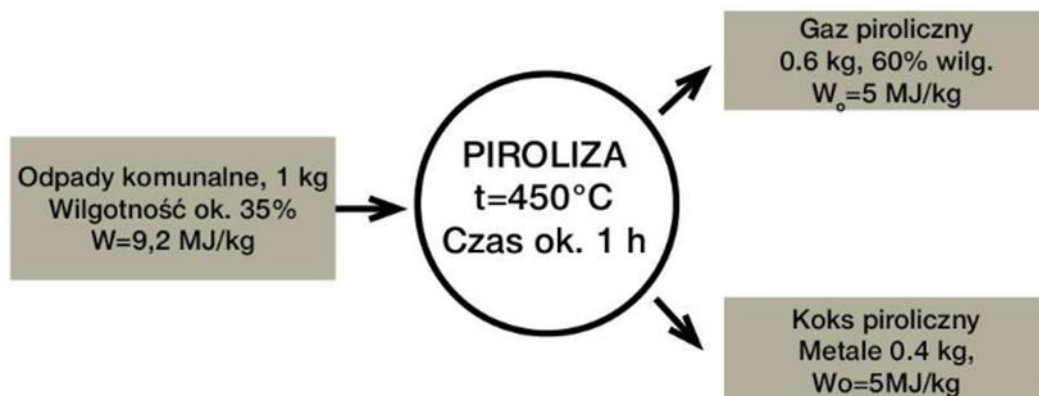
Tabela 24. Całkowita ilość produktów uzyskiwanych w procesie pirolizy zmienia się w zależności od temperatury, w której przebiega ten proces, szczególnie w kontekście przetwarzania odpadów komunalnych

Temperatura procesu pirolizy w stopniach Celsjusza	Udział poszczególnych produktów procesu pirolizy w %		
	Koks pirolityczny	Faza ciekła	Gaz pirolityczny
926	17,7	58,7	24,4
815	17,2	59,7	23,7
648	18,6	59,2	18,6
482	24,7	61,1	12,3

Źródło: Wielgościński (2011, s. 5.)

Warto zauważyć, że w warunkach wysokich temperatur, faza ciekła powstała w wyniku pirolizy ulega intensywnemu odparowaniu. Ten proces prowadzi do zwiększenia objętości fazy gazowej, co wpływa na skład i właściwości uzyskanego gazu pirolitycznego. Gaz ten, charakteryzujący się średnią wartością opałową w granicach 12-16 MJ/Nm³, staje się bogatszy w energię dzięki temu zjawisku. Proces ten jest szczególnie istotny w kontekście przetwarzania odpadów komunalnych, gdzie efektywne wykorzystanie energii zawartej w gazie pirolitycznym może mieć znaczący wpływ na efektywność całego procesu. Przedstawiony bilans energetyczny i materiałowy procesu pirolizy odpadów komunalnych ukazuje, jak

kluczowa jest kontrola temperatury w optymalizacji uzyskanych produktów, co jest zilustrowane na rysunku nr. 36.



Rysunek 36. Bilans procesu pirolizy w zakresie odpadów komunalnych

Źródło: Wielgościński (2011, s. 6)

Plazma stanowi zaawansowaną metodę termicznego przekształcania odpadów, która różni się od tradycyjnych technik spalania. Jest to stan materii, w którym gaz jest silnie zjonizowany, zawierając neutralne cząsteczki, zjonizowane atomy i wolne elektrony. Mimo obecności tych elementów, plazma pozostaje neutralna pod względem elektrycznym jako całość. W literaturze naukowej często nazywana jest "czwartym stanem skupienia materii". Co istotne, plazma jest zdolna do przewodzenia prądu elektrycznego, a jej opór zmniejsza się wraz ze wzrostem temperatury, co odróżnia ją od metali.

Plazma może być podzielona na dwa główne typy w zależności od temperatury: zimną, o temperaturach rzędu 4 000-30 000 K, wytwarzaną w plazmotronach, oraz gorącą, powyżej 30 000 K, która występuje w ekstremalnych warunkach, takich jak wnętrza gwiazd czy eksplozje jądrowe.

Zastosowanie plazmy niskotemperaturowej, która osiąga temperatury sięgające nawet 8 000 stopni Celsjusza, pozwala na bardziej efektywne przekształcanie odpadów niż tradycyjne spalanie. Wysokie temperatury umożliwiają rozbicie odpadów na prostsze związki chemiczne, co znacznie przyspiesza proces termicznego przekształcania odpadów. Wprowadzenie do reaktora odpowiednich czynników utleniających dodatkowo zwiększa efektywność tego procesu.

Należy jednak pamiętać, że niezależnie od zastosowanej technologii przekształcania odpadów, proces spalania zawsze generuje emisje gazów takich jak dwutlenek węgla i woda. Ponadto, nie jest możliwe całkowite uniknięcie emisji tlenku węgla oraz innych zanieczyszczeń, takich jak tlenki siarki i azotu, chlorowodór, czy fluorowodór. Obecność minerałów w spalonym materiale powoduje emisję pyłów zawierających metale, w tym metale ciężkie.

Jednym z poważniejszych problemów związanych z termicznym przekształcaniem odpadów jest emisja dioksyn i furanów, które są toksycznymi związkami chemicznymi. Chociaż ich stężenia są zazwyczaj bardzo niskie, te związki mogą mieć negatywny wpływ na zdrowie, zakłócając gospodarkę hormonalną i powodując szereg poważnych schorzeń. W związku z tym, zgodnie z Konwencją Sztokholmską, emisje tych związków muszą być ściśle kontrolowane.

Mimo postępu technologicznego, który pozwala na znaczne ograniczenie emisji związków szkodliwych, nadal nie można całkowicie wyeliminować ich powstawania podczas spalania odpadów. Nowoczesne spalarnie stosują zaawansowane metody oczyszczania spalin, co pozwala na minimalizację emisji, ale nie eliminuje ich całkowicie. Wciąż jednak istnieje potrzeba dalszych badań i rozwoju technologii, aby osiągnąć jak najniższy poziom emisji tych szkodliwych substancji.

4.2. Rodzaje spalarni odpadów komunalnych

Działające na świecie obecnie spalarnie odpadów komunalnych zwykle dzieli się w oparciu kryterium rozwiązania technologicznego, na jakim opiera się ich działalność. Dla potrzeb niniejszej pracy będą one dokładniej scharakteryzowane. Uwaga skupiona będzie na najczęściej wykorzystywanych rozwiązaniach.

Technologia Schwel-Brenn-Verfahren

Technologia Schwel-Brenn-Verfahren, opracowana przez koncern Siemens, była swego czasu uznawana za jedną z najbardziej zaawansowanych technicznie metod przetwarzania odpadów komunalnych. W praktyce jej zaawansowanie wynikało z unikalnego podejścia do pirolizy – procesu, w którym odpady komunalne są poddawane działaniu wysokich temperatur w kontrolowanej atmosferze beztlenowej. Proces ten prowadzi do powstania koksu

pirolitycznego, który następnie przechodzi przez kolejne etapy, takie jak oczyszczanie z metali oraz innych substancji niepalnych. W następnym kroku zarówno koks, jak i gaz pirolityczny są spalane wspólnie w specjalnie zaprojektowanym kotle. Ciepło, które powstaje w wyniku tego procesu, jest zamieniane w parę wodną i wykorzystywane do produkcji energii elektrycznej. Spaliny natomiast poddawane są zaawansowanym procesom oczyszczania, analogicznym do tych stosowanych w konwencjonalnych spalarniach odpadów komunalnych, co ma na celu minimalizację emisji szkodliwych substancji do atmosfery (Wielgosiński, 2011, s. 8-16).

Pierwsze prace nad tą technologią rozpoczęto w latach 1984-1988, a już w 1988 roku w Wiblingen, niedaleko Ulm w Niemczech, zbudowano pilotażową instalację o wydajności około 0,2 Mg na godzinę. Instalacja ta miała na celu zbadanie możliwości technologicznych oraz skuteczności procesu w warunkach zbliżonych do rzeczywistych. Po dwóch latach intensywnych testów, w 1990 roku, podjęto decyzję o budowie pełnowymiarowej instalacji przemysłowej w miejscowości Fürth koło Norymbergi, której wydajność miała wynosić aż 100 tysięcy Mg rocznie, co odpowiadało dwóm liniom produkcyjnym o wydajności 7 Mg na godzinę. Projekt zakończono w 1997 roku, a instalacja została uruchomiona, lecz niestety już po niespełna dwóch miesiącach funkcjonowania musiała zostać wyłączona z powodu licznych problemów technicznych (Wielgosiński, 2011, s. 8-16).

Okazało się, że choć technologia była obiecująca na etapie badań laboratoryjnych i wstępnych testów, to jej zastosowanie w pełnej skali przemysłowej napotkało na liczne trudności. W ciągu kolejnych lat dochodziło do wielu awarii i wypadków, w tym także śmiertelnych, co ostatecznie doprowadziło do zamknięcia instalacji w 2000 roku. Siemens, po licznych problemach i stratach sięgających 400 milionów euro, ostatecznie wycofał się z dalszego rozwijania tej technologii. Okazało się, że wiele procesów zachodzących w mniejszej skali nie znalazło odzwierciedlenia w skali przemysłowej, co wpłynęło na nieprzewidywalność wyników oraz niską efektywność instalacji. Sprawność energetyczna instalacji wynosiła zaledwie około 29% w pracy skojarzonej, co było wynikiem znacznie niższym w porównaniu do tradycyjnych spalarni rusztowych, gdzie sprawność w pracy skojarzonej osiąga od 65 do 80% (Pająk, 1998).

Technologia Schwel-Brenn-Verfahren, mimo swojej innowacyjności, nie spełniła pokładanych w niej oczekiwań, co pokazuje, jak skomplikowane i trudne może być wdrażanie nowych rozwiązań technologicznych na dużą skalę. Problemy, z którymi się borykano, wskazują na konieczność dalszych badań i rozwoju w dziedzinie przetwarzania odpadów, a

także na potrzebę ostrożności w ocenie potencjału nowych technologii, zanim zostaną one wprowadzone do użytku przemysłowego na szeroką skalę.

Technologia Thermoselect

Pod koniec lat 80. XX wieku, dokładnie w 1989 roku, narodziła się międzynarodowa inicjatywa mająca na celu opracowanie nowatorskiej metody termicznego przekształcania odpadów komunalnych. Została ona zainicjowana przez konsorcjum kapitałowe, które łączyło partnerów ze Szwajcarii, Włoch oraz Niemiec. Ich celem było stworzenie technologii, która mogłaby stanowić rewolucję w dziedzinie utylizacji odpadów. Tak narodziła się technologia Thermoselect, która, choć oparta na znanej już metodzie pirolizy, wprowadziła pewne istotne innowacje.

Podstawową ideą stojącą za technologią Thermoselect było wykorzystanie procesu pirolizy do przekształcania odpadów, jednak w odróżnieniu od innych rozwiązań, w Thermoselect odpady najpierw były prasowane, co zmniejszało ich objętość i pozbawiało powietrza. Następnie, w środowisku pozbawionym tlenu, poddawano je pirolizie w temperaturze około 600 stopni Celsjusza. W wyniku tego procesu powstawał koks pirolityczny, który następnie spalano w atmosferze czystego tlenu, gdzie temperatura sięgała aż 2 000 stopni Celsjusza. Gaz powstający w wyniku pirolizy, po odpowiednim oczyszczeniu, był wykorzystywany jako paliwo w silnikach gazowych do produkcji energii elektrycznej (Wielgosiński, 2011, s. 8-16).

Po latach intensywnych badań i prac projektowych, w 1993 roku powstała pierwsza pilotażowa instalacja w miejscowości Fondotoce, na przedmieściach Verbanii, położonej malowniczo nad alpejskim jeziorem Lago Maggiore we Włoszech. Mimo ambitnych założeń, które przewidywały wydajność instalacji na poziomie 4,2 Mg/godzinę, rzeczywiste wyniki okazały się mniej imponujące – maksymalna osiągnięta wydajność wyniosła jedynie 3 Mg/godzinę (Wielgosiński, 2011, s. 8-16).

W latach 90. podjęto decyzję o rozszerzeniu skali technologii i zbudowaniu większych instalacji. W 1999 roku w niemieckim Karlsruhe rozpoczęto budowę pełnowymiarowej instalacji o wydajności 225 000 Mg rocznie. Równocześnie w 2001 roku rozpoczęto prace nad kolejną instalacją w Ansbach, która miała mieć wydajność 60 000 Mg rocznie. Niestety, projekt w Ansbach został wstrzymany jeszcze przed ukończeniem, a instalacja w Karlsruhe, mimo

licznych prób i ciągłych napraw, nigdy nie osiągnęła zakładanej wydajności. Pomimo intensywnych starań, w najlepszym roku, czyli w 2003, udało się spalić jedynie około 120 000 Mg odpadów (Wielgosiński, 2011, s. 8-16).

Technologia Thermoselect okazała się być bardzo wymagająca pod względem technologicznym. Szczególnie problematyczna była dolna część reaktora, gdzie temperatura dochodziła do 2000 stopni Celsjusza. Co więcej, technologia wymagała odpadów o bardzo wysokiej kaloryczności, co najmniej 10 MJ/kg, aby osiągnąć zadowalające rezultaty. Pomimo takich wymagań, sprawność energetyczna procesu była niska, wynosząc zaledwie około 11%. Tego rodzaju wyzwania technologiczne, w połączeniu z licznymi awariami, doprowadziły do zamknięcia instalacji w Karlsruhe w 2006 roku oraz rezygnacji z dalszych inwestycji w tej technologii w Europie.

Jakkolwiek technologia Thermoselect napotkała na liczne trudności w Europie, jej zastosowanie nie zostało całkowicie porzucone. Obecnie funkcjonuje siedem instalacji opartych na tej technologii, jednak wszystkie znajdują się w Japonii, w miastach takich jak Chiba, Mutsu, Nagasaki, Kurashiki, Yorii, Tokushima oraz Osaka. Pomimo to, doświadczenia europejskie, szczególnie z instalacji w Karlsruhe, pokazały, jak trudne jest skalowanie innowacyjnych technologii odpadów do poziomu przemysłowego, gdzie nieprzewidziane wyzwania mogą prowadzić do ogromnych strat finansowych – szacowanych w przypadku instalacji w Karlsruhe na około 500 milionów euro (Pająk, 1998).

Rozwój i Zastosowanie Technologii PKA Verfahren

Pod koniec lat 80. XX wieku w niemieckim mieście Aalen rozpoczęto intensywne prace nad nowatorską technologią przekształcania odpadów, znaną jako PKA Verfahren. Niemieccy inżynierowie, zainspirowani wcześniejszymi rozwiązaniami, postawili sobie za cel stworzenie bardziej efektywnego i niezawodnego procesu termicznego przetwarzania odpadów komunalnych. Inicjatywa ta, finansowana przez lokalne konsorcja, zyskała na znaczeniu w latach 90., kiedy to w 1992 roku w miejscowości Freiberg, niedaleko Drezna, zbudowano pilotażową instalację. Ta prototypowa jednostka, o zdolności przetwarzania 2 000 ton rocznie, stała się laboratorium badawczym, w którym eksperymentowano z różnymi aspektami technologii (Thome-Kozmiensky, 1994).

Kolejne lata przyniosły rozwój projektu na większą skalę. W 2000 roku uruchomiono w Aalen, w Bawarii, instalację o zwiększonej wydajności, zdolną przetwarzać około 25 000 ton odpadów rocznie. Wkrótce potem, w 2004 roku, przeprowadzono modernizację obiektu we Freibergu, zwiększając jego zdolności przetwórcze do 18 000 ton rocznie (Wielgosinski, 2011, s. 8-16).

PKA Verfahren, choć zbliżona do technologii Thermoselect, wprowadziła kilka istotnych innowacji. Szczególnie warto zwrócić uwagę na zastosowanie węzła krakingu, który poprawił stabilność gazu pirolitycznego. Dodatkowo, proces spalania koksu pirolitycznego został zoptymalizowany poprzez zastosowanie wysokotemperaturowego cyklonu, pracującego w temperaturze około 1 700 stopni Celsjusza. To innowacyjne rozwiązanie zapewniło większą trwałość i niezawodność w porównaniu do wcześniejszych technologii, takich jak Thermoselect.

Niemniej jednak, pomimo tych ulepszeń, technologia PKA Verfahren nie osiągnęła szerokiego sukcesu komercyjnego. W 2007 roku firma PKA-Pyrolysis, odpowiedzialna za rozwój tej technologii, zakończyła działalność. Pomimo obiecujących początków i wprowadzenia nowatorskich rozwiązań, technologia ta ostatecznie nie zdołała przetrwać na konkurencyjnym rynku przetwarzania odpadów (Wielgosinski, 2011, s. 8-16).

Technologia NOELL – Konversionsverfahren

Technologia opracowana przez koncern Preussag-Noell, znana jako NOELL - Konversionsverfahren, jest zbliżona pod względem działania do technologii Schwel-Brenn-Verfahren. Prace nad jej rozwinięciem rozpoczęły się już w połowie lat 70. XX wieku, kiedy to zainicjowano badania mające na celu stworzenie innowacyjnej metody termicznego przetwarzania odpadów. W efekcie tych badań powstała pierwsza instalacja próbna w niemieckim mieście Salzgitter. Instalacja ta miała zdolność przetwarzania 6 ton odpadów na godzinę, co odpowiadało rocznej wydajności na poziomie 40 000 ton. Pomimo początkowych sukcesów, instalacja została wyłączona z eksploatacji w 2000 roku, kończąc tym samym swoją działalność (Wielgosinski, 2011, s. 8-16).

Technologia DBA-Verfahren

Pod koniec lat 80. XX wieku, niemiecki koncern Deutsche Babcock Anlagen wprowadził technologię pirolitycznego przetwarzania odpadów komunalnych, która miała na

celu redukcję ich objętości i utylizację w sposób bardziej efektywny. W 1987 roku uruchomiono pierwszą instalację w Burgau (Niemcy) o wydajności sięgającej 36 000 ton rocznie. Obecnie instalacja ta wciąż funkcjonuje pod zarządem brytyjskiej firmy WasteGen, przy współpracy z niemiecką DG Engineering z Gummersbach. W 2001 roku, bazując na doświadczeniach zdobytych w Burgau, zbudowano większy zakład w Hamm, który miał wydajność 100 000 ton rocznie. Jednak z powodu różnych problemów technicznych, instalacja ta została zamknięta w czerwcu 2010 roku (Wielgosiński, 2011, s. 8-16).

Technologia EDDITH

W latach 80. XX wieku, francuska firma THIDE, we współpracy z Francuskim Instytutem Nafty, opracowała nową technologię przetwarzania odpadów komunalnych poprzez pirolizę, znaną jako EDDITH Process. Pierwsze próby tej technologii przeprowadzono w połowie lat 90. w eksperymentalnej instalacji w Vernouillet we Francji. Metoda ta jest zbliżona do innych technologii pirolitycznych, ale wyróżnia się pewnymi specyficznymi rozwiązaniami technicznymi. W 1999 roku, we współpracy z firmą Hitachi, wybudowano zakład w Nakaminato w Japonii, o wydajności 10 000 ton rocznie. Następnie, w 2002 roku, otwarto kolejną instalację w Arras we Francji, o wydajności 50 000 ton rocznie, jednak została ona zamknięta w 2009 roku z powodu problemów operacyjnych (Wielgosiński, 2011, s. 8-16).

Technologia zgazowania SVZ Schwarze Pumpe

W 1996 roku, na terenie byłych zakładów chemicznych w Schwarze Pumpe (na obszarze dawnej NRD), powstało zaawansowane centrum przetwarzania odpadów znane jako Sekundärrohstoff Verwertungszentrum. Ta nowoczesna instalacja była przeznaczona do zgazowania odpadów różnego rodzaju, w tym 120 000 ton odpadów komunalnych, 120 000 ton osadów ściekowych, 45 000 ton przemysłowych odpadów o wysokiej kaloryczności oraz 120 000 ton odpadowego węgla brunatnego rocznie. Zgazowanie odbywało się pod ciśnieniem 2,5 MPa, w temperaturze około 1 600°C, co umożliwiało produkcję 35 000 metrów sześciennych gazu syntezowego na godzinę. Gaz ten następnie przekształcano w metanol, osiągając roczną produkcję na poziomie około 120 000 ton. Technologia ta, opracowana przez niemiecką firmę Lurgi we współpracy z British Gas, wykorzystuje zgazowarkę BGL-Gasifer. Po bankructwie w 2004 roku, zakład został przejęty przez Siemens za symboliczną kwotę jednego euro i

ponownie uruchomiony w 2007 roku, jednak obecnie służy jedynie do zgazowania węgla brunatnego (Wielgosiński, 2011, s. 8-16).

Technologie plazmowe

Plazma, często określana jako czwarty stan materii, od dawna budzi zainteresowanie naukowców ze względu na swoje unikalne właściwości, w tym zdolność do osiągnięcia ekstremalnie wysokich temperatur. To czyni ją idealnym narzędziem do neutralizacji szczególnie niebezpiecznych odpadów. Choć nie do końca potwierdzone źródła sugerują, że pierwsze instalacje plazmowe mogły powstać już w latach 80. XX wieku w Stanach Zjednoczonych na potrzeby niszczenia broni chemicznej, dziś amerykańskie siły zbrojne dysponują co najmniej dwoma takimi instalacjami. Obecnie na świecie działa około 25-30 instalacji plazmowych, z czego większość jest przeznaczona do przetwarzania niebezpiecznych odpadów, takich jak amunicja, odpady medyczne czy PCB. Istnieją także instalacje przeznaczone do wityfikacji (zeszklwienia) odpadów wtórnych, powstających w klasycznych spalarniach odpadów (Wielgosiński, 2011, s. 8 – 14).

Zastosowanie plazmy niskotemperaturowej do przetwarzania odpadów komunalnych to stosunkowo nowe podejście, szczególnie rozwijane w Kanadzie i Stanach Zjednoczonych. Wśród firm aktywnie promujących technologie plazmowe znajdują się m.in. Plasco Engineering Group, AlterNRG, Pyrogenesis, Allied Technology, Solena, StarTech, InEnTec, Advanced Plasma Power - Geoplasma oraz Europlasma. Choć w teorii plazma ma być nowoczesnym, bezpiecznym dla środowiska i efektywnym sposobem unieszkodliwiania odpadów, rzeczywistość bywa bardziej skomplikowana. W rzeczywistości brakuje jeszcze funkcjonujących obiektów o dużej skali, niezbędnych do obsługi dużych miast, a instalacje plazmowe, które już istnieją, często napotykają na poważne problemy techniczne, co pokazał przykład zamknięcia w 2010 roku instalacji Plasco w Ottawie z powodu licznych awarii i przekroczeń dopuszczalnych norm emisji (Wielgosiński, 2011, s. 8 – 16).

Mimo że technologia plazmowa umożliwia osiągnięcie bardzo wysokich temperatur, które powinny zapewniać wysoką efektywność energetyczną i minimalne emisje, dane z istniejących instalacji wskazują, że poziom emisji jest porównywalny do nowoczesnych spalarni rusztowych. Koszty budowy i eksploatacji takich instalacji są jednak znacznie wyższe – inwestycje tego typu mogą być nawet dwukrotnie lub trzykrotnie droższe od tradycyjnych

spalarni, a eksploatacja wymaga dodatkowo około 4 MJ energii na każdy kilogram odpadów. Ponadto, instalacje plazmowe potrzebują odpadów o wysokiej wartości opałowej, co w polskich warunkach może oznaczać konieczność dodatkowego suszenia odpadów, co znacząco zwiększa koszty operacyjne (Wielgosiński, 2011, s. 8 – 16).

Technologie fluidalne

W latach 90. XX wieku technologia spalania odpadów komunalnych w złożu fluidalnym zaczęła odgrywać coraz większą rolę. Wyróżnia się trzy główne rodzaje instalacji fluidalnych: stacjonarne złożo fluidalne (BFB), cyrkulacyjne złożo fluidalne (CFB) oraz rotacyjne złożo fluidalne. Te kotły charakteryzują się wszechstronnością, umożliwiając spalanie paliw o różnorodnych właściwościach, co sprawia, że są elastyczne w kwestii wydajności. Dostawcami tych technologii są m.in. Austrian Energy & Environment, Foster & Wheeler, Alstom, Metso i Kvaerner.

Rotacyjne złożo fluidalne, opracowane przez Lurgi i Ebara, nosi nazwę handlową Rovitec®. Do głównych zalet technologii fluidalnych należy możliwość usuwania zanieczyszczeń kwaśnych bezpośrednio w komorze spalania oraz utrzymanie niskiej temperatury spalania, co przyczynia się do mniejszej emisji tlenków azotu. Jednak wadą tej technologii jest konieczność wstępnego rozdrabniania odpadów, co zwiększa koszty operacyjne i techniczne. Choć efektywność energetyczna spalania fluidalnego jest nieco wyższa, nie kompensuje to w pełni dodatkowych kosztów związanych z przygotowaniem odpadów (Wielgosiński, 2011, s. 8 – 16).

Piece obrotowe i oscylacyjne

Piece obrotowe są optymalnym rozwiązaniem do przetwarzania odpadów przemysłowych o różnej konsystencji – stałych, ciekłych i pastowatych. W Europie i Polsce dominują w spalarniach przeznaczonych do unieszkodliwiania odpadów niebezpiecznych. Aby zapewnić stabilną pracę pieca obrotowego, odpady muszą charakteryzować się wysoką kalorycznością, co wyklucza ich zastosowanie dla odpadów komunalnych.

W latach 30. XX wieku firma Babcock & Wilcox Volund opracowała hybrydowy system łączący spalarnie rusztowe z piecami obrotowymi, w którym żużel z rusztu był dopalany w piecu obrotowym. System ten funkcjonował w duńskich spalarniach do końca XX wieku, ale ostatecznie został porzucony.

Piec oscylacyjny, stworzony przez Cyclerval, działa na zasadzie obrotu wokół osi o 105 stopni w lewo, a potem w prawo. Firma ta zbudowała kilka instalacji we Francji oraz jedną na Martynice i w Anglii. Te instalacje, wyposażone w suchy system oczyszczania spalin, stanowią interesującą alternatywę dla małych spalarni odpadów (Small, 2009).

Zaawansowane technologie komorowe

W Europie jedyną firmą stosującą tę zaawansowaną technologię jest ENERGOS, przedsiębiorstwo pochodzące z Wielkiej Brytanii i Norwegii (Malkow, 2004, s. 53 – 79). Instalacje spalania odpadów zbudowane przez tę firmę bazują na dwukomorowym systemie. W pierwszej komorze spalanie odpadów odbywa się przy niskiej zawartości tlenu, co prowadzi do uzyskania temperatury w przedziale 600-700 stopni Celsjusza. Druga komora służy do dopalania powstałych gazów, gdzie temperatura przekracza 850 stopni Celsjusza, spełniając tym samym obowiązujące przepisy.

Takie rozwiązanie jest powszechnie stosowane w spalarniach odpadów o wysokim ryzyku, w tym medycznych. Procesy zachodzące w pierwszej komorze, choć często określane jako zgazowanie, są w rzeczywistości bardziej złożone i obejmują rozkład termiczny, zgazowanie oraz spalanie (utlenianie) (Wielgosiński, 2011, s. 8 – 16). Ważnym aspektem, zapewniającym prawidłowe działanie systemu i jego efektywność, jest ograniczenie ilości powietrza dopływającego do pierwszej komory.

Firma ENERGOS zrealizowała dotychczas osiem takich instalacji, zlokalizowanych głównie w Norwegii (sześć obiektów), a także w Niemczech i Anglii, z wydajnościami od 10 000 do 78 000 Mg/rok. Warto zauważyć, że system oczyszczania spalin w tych instalacjach jest półsuchy, co pozwala na osiągnięcie emisji zgodnych z wymaganiami dyrektywy 2000/76/WE (Wielgosiński, 2011, s. 8 – 16).

Dzięki zastosowaniu tej technologii, możliwe jest efektywne przetwarzanie odpadów, przy jednoczesnym spełnianiu surowych norm środowiskowych, co czyni tę metodę atrakcyjną dla nowoczesnych spalarni odpadów w Europie.

Technologia rusztowa: Historia i Współczesne Rozwiązania

Technologia rusztowa odgrywa kluczową rolę w procesie przemysłowego spalania odpadów od jego zarania. Początkowo używano stałych rusztów, jednak od lat 20. XX wieku ruszty mechaniczne zaczęły dominować w tego typu instalacjach. Z czasem konstrukcja rusztów była nieustannie udoskonalana, co znacząco zwiększyło ich niezawodność oraz efektywność procesu spalania. Ruszty mechaniczne wykorzystywane w nowoczesnych spalarniach odpadów znacząco różnią się od tych, które stosowane są w mniejszych kotłach energetycznych, takich jak WR-10 czy WR-25. Najczęściej spotykany typ to ruszt o nachylonej konstrukcji, który działa w sposób posuwisto-zwrotny. Takie rozwiązanie nie tylko zapewnia transport odpadów przez strefę spalania, ale również ich intensywne mieszanie i napowietrzanie. To w efekcie prowadzi do znacznego ograniczenia ilości niedopałów, czyli palnych resztek w żużlu i popiele (Wielgosiński, 2011, s. 8 – 16).

W latach 60. XX wieku Thanner, a następnie Reinmann, określili minimalne wymagania, jakie muszą spełniać odpady komunalne, aby mogły być spalane w sposób autotermiczny na ruszcie. Ustalono, że wartość opałowa tych odpadów nie powinna być niższa niż 5 MJ/kg, choć dla zapewnienia stabilności procesu przyjęto wartość 6 MJ/kg jako bezpieczny standard. Rozwój technologii doprowadził jednak do powstania nowoczesnych rozwiązań, które umożliwiają spalanie odpadów o wartości opałowej już od około 4,5 MJ/kg (Waste-to-Energy Plants, 2010).

Zmiany nie ominęły również systemów oczyszczania spalin. W połowie lat 90. XX wieku standardowe instalacje oczyszczające zawierały takie elementy jak elektrofiltr, dwustopniowy system mokrego oczyszczania gazów, jednostkę adsorpcyjną na węglu aktywnym oraz katalizator do redukcji tlenków azotu i rozkładu dioksyn. Tego rodzaju kompleksowe systemy pozwalały na spełnienie najbardziej rygorystycznych norm emisji, na przykład tych zawartych

w niemieckiej ustawie 17 BImSchV, choć ich wdrożenie stanowiło ponad połowę kosztów budowy spalarni (Wielgosiński, 2011, s. 8 – 16).

Dzięki ciągłym innowacjom technologicznym, współczesne spalarnie odpadów charakteryzują się nie tylko wyższą efektywnością i bezpieczeństwem ekologicznym, ale również niższymi kosztami eksploatacji, co czyni je istotnym elementem nowoczesnych systemów zarządzania odpadami.

Obecnie wiemy już, że podobne efekty, jeżeli chodzi o stopień oczyszczenia spalin można uzyskać stosując suchy system polegający na wtrysku reagenta wapniowego - CaO , Ca(OH)_2 albo reagenta sodowego - NaHCO_3 , wtrysku pylistego węgla aktywnego, odpyleniu na filtrze tkaninowym oraz zastosowaniu niekatalitycznej selektywnej redukcji tlenków azotu (SNCR), polegającej na wprowadzeniu wody amoniakalnej lub roztworu mocznika do kotła w temperaturze od 850 do 1 050 stopni Celsjusza.

Nowoczesne Technologie Spalania Odpadów

Współczesne systemy suche, stosowane w spalarniach odpadów komunalnych, stanowią obecnie tylko około 30% całkowitych kosztów budowy instalacji, a mimo to oferują równie wysoką skuteczność oczyszczania spalin. Postęp technologiczny w tej dziedzinie jest szczególnie widoczny w najnowszych projektach, takich jak austriacka spalarnia w Arnoldstein o wydajności 80 000 Mg rocznie. Ta nowoczesna instalacja korzysta z innowacyjnego systemu SYNCOM®, opracowanego przez niemiecką firmę Martin GmbH. Kluczowym elementem tego systemu jest wprowadzenie do spalania powietrza pierwotnego wzbogaconego w tlen, którego zawartość waha się od 24% do 36% w zależności od strefy rusztu. Dodatkowo, zastosowanie kamery termowizyjnej działającej w podczerwieni do monitorowania procesu spalania oraz recyrkulacja spalin na poziomie 10-15% pozwala na znaczne podniesienie temperatury spalania do około 1 150°C. Skutkuje to m.in. redukcją objętości spalin przeznaczonych do oczyszczania o 35%, minimalizacją ilości niedopałów w żużlu i popiele do poniżej 1%, a także znacznym obniżeniem emisji zanieczyszczeń (Wielgosiński, 2011, s. 8 – 16).

Firma Martin GmbH opracowała również bardziej zaawansowaną wersję tego systemu, nazwaną SYNCOM-Plus®. Wersja ta ma na celu umożliwienie klasyfikacji żużli i popiołów

powstałych po spalaniu jako odpadów obojętnych, zgodnie z dyrektywą 2003/33/WE, co stanowi znaczny krok naprzód w zarządzaniu odpadami.

Na rynku spalania odpadów rusztowych dominują obecnie następujący liderzy (Wielgosiński, 2011, s. 8 – 16):

- CNIM z Francji,
- Austrian Energy & Environment działający w Austrii i Szwajcarii,
- Martin z Niemiec,
- Babcock & Wilcox Volund z Danii,
- Keppel Seghers z Belgii,
- Fisia Babcock z Niemiec,
- Covanta oraz Wheelabrator ze Stanów Zjednoczonych.

Dzięki zastosowaniu zaawansowanych technologii, nowoczesne spalarnie odpadów są w stanie działać bardziej efektywnie, przy niższych kosztach eksploatacji, jednocześnie spełniając najbardziej rygorystyczne normy ochrony środowiska. Te innowacje sprawiają, że spalanie odpadów staje się coraz bardziej zrównoważonym i ekonomicznie opłacalnym rozwiązaniem dla zarządzania odpadami komunalnymi.

4.3. Przegląd spalarni odpadów komunalnych w Polsce

Zgodnie z danymi za 2021 rok, na terenie Polski działa dziewięć specjalistycznych spalarni odpadów komunalnych. Są one zlokalizowane w takich miastach, jak: Białystok, Warszawa, Bydgoszcz, Konin, Kraków, Poznań, Rzeszów, Szczecin oraz Zabrze. Aktualnie kończą się procesy inwestycyjne budowy takich spalarni w Gdańsku oraz Olsztynie. Można również zauważyć, że w warszawska spalarnia odpadów jest rozbudowana. Podobne instalacje są planowane w kilku kolejnych miastach w kraju (www1).

W oparciu o materiały źródłowe można wskazać, że obecnie system gospodarowania różnego rodzaju odpadami komunalnymi na terenie Polski opiera się na instalacjach o charakterze mechaniczno-biologicznym, które zajmują się przetwarzaniem odpadów komunalnych. W kraju funkcjonuje aktualnie 157 mających łączną wydajność na poziomie około 10,8 milionów Mg/rok. Zgodnie z oficjalnymi danymi Głównego Urzędu Statystycznego

w Polsce rocznie produkuje się około 12-13 milionów Mg/rok odpadów komunalnych, z czego około 27% podlegać może recyklingowi, około 7% obróbce biologicznej, około 25% jest przekształcanych termicznie, z kolei około 42% odpadów jest składowanych. Zgodnie z danymi statystycznymi, około 27% odpadów komunalnych jest zbieranych w sposób selektywny. W instalacjach o charakterze mechaniczno-biologicznym zajmujących się przetwarzaniem odpadów komunalnych wytwarza się każdorocznie około od 3 do 3,5 milionów Mg frakcji palnej (tak zwanej nadsitowej) zwanej umownie RDF albo pre-RDF. W zasadzie wszystkie istniejące w kraju spalarnie odnośnie odpadów komunalnych spalają tak zmieszane odpady o charakterze komunalnym (kod 20 03 01), jak również RDF (kod 19 12 12). Udział odpadów RDF kształtuje się na poziomie przeciętnie około 40%. Pewnego rodzaju wyjątkiem jest tutaj instalacja umiejscowiona w Poznaniu, do której to władze miasta dostarczają wyłącznie zmieszane odpady o charakterze komunalnym. W oparciu o szacunki, około od 0,5 do 0,8 milionów Mg RDF każdego roku jest wykorzystywane do produkcji paliwa o charakterze alternatywnym (kod 19 12 10), dla tamtejszej cementowni. W konsekwencji pozostaje około od 1,5 do 2 milionów Mg/rocznie. RDF, które to paliwo jest w pewnym sensie „tymczasowo magazynowane” oraz „nieoczekiwanie” podlega zapłonowi. W roku 2017 tego rodzaju pożarów było około 130, zaś w pierwszej połowie 2018 roku już ponad 80. Odpady powyższe płoną, ponieważ brakuje legalnej możliwości ich wykorzystywania. W powyższej sytuacji, niezależnie od negatywnej opinii organizacji o charakterze ekologicznym, konieczna staje się budowa jeszcze przynajmniej kilku albo kilkunastu instalacji termicznego przekształcania, aby powyższy problem rozwiązywać. Uwzględniając sytuację na rynku muszą być to instalacje, które są przystosowane do odpowiedniego spalania frakcji nadsitowej, która pochodzi z instalacji typu przetwarzania mechaniczno-biologicznego, a zatem tak zwanego RDF-u (kod: 19 12 12) (Wielgosiński, Czerwińska, 2009, s. 1).

Współczesna technologia spalania odpadów na dużą skalę stała się jednym z fundamentów gospodarki odpadami w najbardziej rozwiniętych krajach świata. W niektórych państwach, takich jak Japonia czy Szwajcaria, spalanie odpadów jest główną metodą ich przetwarzania, obejmującą ponad 70% całkowitego wolumenu odpadów.

Co więcej, obserwujemy rosnące zainteresowanie tą technologią w krajach rozwijających się, gdzie zaczynają powstawać nowoczesne spalarnie odpadów. Kraje takie jak Chile, Brazylia, Argentyna, Egipt, Indie, Etiopia, Wietnam, Pakistan, Malezja i inne, coraz częściej inwestują w tego typu rozwiązania. Taki kierunek rozwoju wynika z potrzeby skutecznego zarządzania odpadami w obliczu ich rosnącej ilości oraz z dążenia do ograniczenia negatywnego wpływu na środowisko.

Wprowadzenie technologii spalania odpadów nie tylko zmniejsza ilość odpadów kierowanych na składowiska, ale także umożliwia odzyskiwanie energii, co stanowi istotny aspekt w kontekście zrównoważonego rozwoju. Dla krajów rozwijających się, adopcja takich technologii może przynieść wymierne korzyści, zarówno gospodarcze, jak i ekologiczne, zbliżając je do standardów stosowanych w bardziej zaawansowanych regionach świata.

Jedną z podstawowych przyczyn takiej sytuacji jest problem z lokalizacją składowisk odpadów oraz konieczność zmniejszania oddziaływania systemu gospodarki odpadami komunalnymi na środowisko naturalne. Pierwsza w świecie, w pełni profesjonalna oraz przemysłowa spalarnia odpadów (nazwana jako „Destructor” – patent o sygn. GB 3 125) została wybudowana w Anglii na terenie miejscowości Nottingham w roku 1874, a w związku z tym niemal 150 lat temu. Dynamiczny, masowy rozwój powyższej metody pozbywania się odpadów obserwuje się w Europie począwszy od lat 60 XX wieku. Obecnie na świecie funkcjonuje przeszło dwóch tysięcy spalarni odpadów (jakie pracują według rozmaitych technologii), przy czym około 1,2 tysiąca instalacji znajduje się na terenie Japonii, natomiast około pięćset instalacji jest w Europie (Wielgosiński, Czerwińska, 2009, s. 1-2).

Wybrane instalacje spalania odpadów komunalnych zostaną dokładniej omówione. Zgodnie z materiałami źródłowymi, pierwszą nowoczesną oraz w pełni bezpieczną ekologicznie spalarnię odpadów komunalnych w Polsce uruchomiono w Warszawie. Decyzja o jej budowie zapadła na początku lat 90. XX wieku. Prawie dziesięć lat trwały procedury administracyjne oraz sama budowa instalacji (przy bardzo silnych protestach o charakterze społecznym). Finalnie instalacja, którą jest Zakład Unieszkodliwiania Stałych Odpadów Komunalnych w Warszawie został uruchomiony w 2000 roku. Spalarnia ta jest przedstawiona na rysunku nr. 37.



Rysunek 37. *Warszawska spalarnia odpadów komunalnych*

Źródło: (materiały internetowego badanej spalarni).

Operatorem instalacji jest Miejskie Przedsiębiorstwo Oczyszczania w Warszawie. Na etapie projektowym założono, że będzie to wielobranżowy zakład, w którym odpady segregowane będą z odzyskiem surowców wtórnych, a także będą termicznie przekształcane oraz kompostowane, a także przerabiany będzie powstający w procesie spalania żużel oraz popiół na naturalny granulat nieszkodliwy (neutralny) dla środowiska naturalnego. Obecnie zrezygnowano z węzła segregacji odpadów. Współczesne instalacje do termicznego przekształcania odpadów odgrywają kluczową rolę w zarządzaniu odpadami komunalnymi, a ich rozwój technologiczny znacząco przyczynił się do zwiększenia wydajności i efektywności tych procesów. Jedną z takich instalacji, o rocznej wydajności wynoszącej około 40 tysięcy ton, jest obiekt wyposażony w linię spalania zdolną do przetworzenia 5,4 tony odpadów na godzinę. Dzięki zastosowaniu rusztu posuwowego marki Krüger, gdzie wartość opałowa odpadów wynosi 10,1 MJ/kg, proces spalania przebiega w trzech fazach: suszenia, spalania i wyżarzania, przy temperaturze sięgającej od 1000 do 1100 stopni Celsjusza. Efektem tego procesu jest produkcja energii elektrycznej o mocy 1,4 MW oraz ciepła na poziomie 9,1 MW. Zaawansowany system oczyszczania spalin obejmuje niekatalityczną redukcję tlenków azotu, usuwanie gazów kwaśnych przy użyciu wodorotlenku wapnia oraz filtrację z wykorzystaniem koksa aktywnego. Wszystkie te technologie zostały dostarczone przez włoską firmę Termomeccanica Ecologia (Wielgosiński, Czerwińska, 2009, s. 3-8).

W Polsce, w ramach Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko, zrealizowano szereg inwestycji w budowę spalarni odpadów komunalnych, choć nie wszystkie pierwotne plany zostały w pełni zrealizowane. Pierwszym zakładem, który oddano do użytku w grudniu 2015 roku, był Zakład Termicznego Unieszkodliwiania Odpadów w Koninie, zarządzany przez Miejski Zakład Gospodarki Odpadami Komunalnymi. Instalacja ta, o rocznej wydajności 94 tysięcy ton, przetwarza odpady o wartości opałowej 7,8 MJ/kg, produkując 15,5 MWt energii cieplnej oraz 4,4 MWe energii elektrycznej. System spalania wykorzystuje piec rusztowy z kotłem odzyskowym oraz zaawansowany blok odzyskiwania energii, który obejmuje m.in. instalację parową z turbiną upustowo-kondensacyjną. Oczyszczanie spalin odbywa się za pomocą półsuchego systemu z wtryskiem węgla aktywnego, co pozwala na redukcję emisji gazów kwaśnych, metali ciężkich, dioksyn oraz furanów. Technologia została dostarczona przez firmy Integral (Austria) oraz Martin (Niemcy).

Kolejną znaczącą inwestycją była budowa Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych w Białymstoku, który rozpoczął działalność na początku 2016 roku. Zakład, zarządzany przez Przedsiębiorstwo Usługowo-Handlowo-Produkcyjne „Lech” Sp. z o.o., ma zdolność przetworzenia około 120 tysięcy ton odpadów rocznie. Instalacja ta, o mocy cieplnej 17,5 MWt i elektrycznej 6,1 MWe, jest wyposażona w jedną linię spalania o wydajności 15,5 ton na godzinę. System oczyszczania spalin obejmuje półsuchą redukcję gazów kwaśnych, niekatalityczną redukcję tlenków azotu oraz filtrację z wykorzystaniem workowych filtrów tkaninowych. Palenisko rusztowe zintegrowane z kotłem stanowi kluczowy element tego zakładu, a technologia została dostarczona przez belgijską firmę Keppel-Seghers.

W pierwszym kwartale 2016 roku, w Bydgoszczy, uruchomiono kolejną instalację – Zakład Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych. Ta instalacja, zarządzana przez MKUO ProNatura Sp. z o.o., ma zdolność przetwarzania około 180 tysięcy ton odpadów rocznie, przy kaloryczności wynoszącej 8,5 MJ/kg. Zakład posiada dwie linie spalania, z wydajnością 11,5 ton na godzinę każda, a generowana moc cieplna wynosi 27,7 MWt, przy jednoczesnej produkcji energii elektrycznej na poziomie 9,2 MWe. W piecach rusztowych utrzymywana jest temperatura na poziomie 850 stopni Celsjusza, a zastosowane technologie oczyszczania spalin, takie jak półsucha redukcja tlenków azotu, zapewniają zgodność z normami środowiskowymi. Projekt został zrealizowany przez włoskie firmy Astaldi oraz Termomeccanica Ecologia.

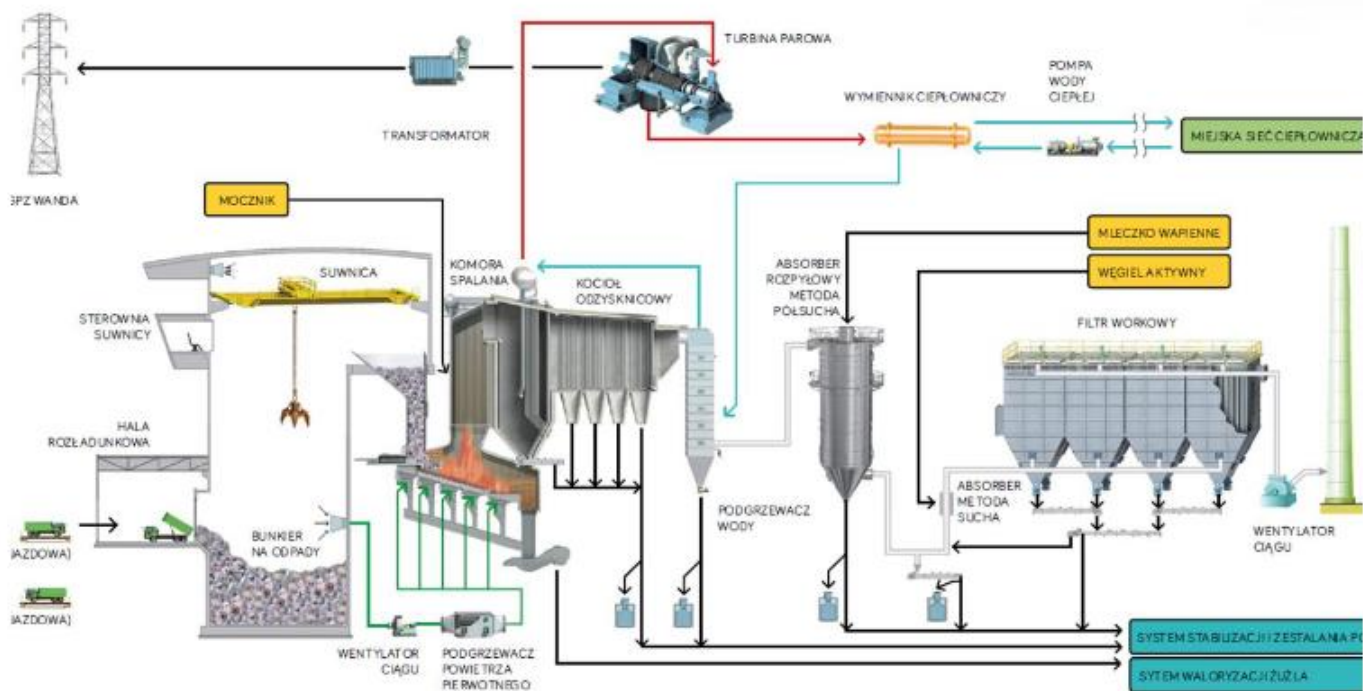
Ostatnią z istotnych inwestycji była budowa Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych w Krakowie, który został oddany do użytku w pierwszej połowie 2016 roku. Zarządzany przez Krakowski Holding Komunalny S.A., zakład ten wykorzystuje technologię

dostarczoną przez firmę POSCO z Korei oraz Doosan Lentjes. Instalacja, o rocznej wydajności 220 tysięcy ton, z odpady o wartości opałowej 8,8 MJ/kg, jest wyposażona w dwie linie technologiczne o wydajności 14,1 ton na godzinę. Moc cieplna wynosi 35 MWt, a moc elektryczna 10,7 MWe. Proces spalania odbywa się w czterech fazach: suszenie, odgazowanie, spalanie oraz zgazowanie, przy utrzymywaniu temperatury w komorze spalania powyżej 850 stopni Celsjusza. System odzyskiwania energii obejmuje kocioł odzyskowy, który dostarcza parę do turbiny kondensacyjno-upustowej, umożliwiając produkcję zarówno energii cieplnej, jak i elektrycznej, w zależności od zapotrzebowania. Proces oczyszczania spalin obejmuje selektywną niekatalityczną redukcję tlenków azotu oraz pól suchą metodę usuwania zanieczyszczeń kwaśnych, co zapewnia zgodność z najbardziej rygorystycznymi normami ekologicznymi.

Te nowoczesne instalacje w Polsce stanowią kluczowy element w strategii zarządzania odpadami, łącząc wysoką efektywność energetyczną z zaawansowanymi systemami ochrony środowiska. Dzięki zastosowaniu innowacyjnych technologii, możliwe jest nie tylko bezpieczne unieszkodliwianie odpadów, ale także odzysk energii, co przyczynia się do zrównoważonego rozwoju i minimalizacji wpływu na środowisko naturalne.

W ramach systemu oczyszczania spalin zastosowano dodatkowo wtrysk węgla aktywnego do spalin w celu redukcji emisji dioksyn oraz lotnych metali ciężkich. Uzupełnieniem instalacji spalania jest węzeł waloryzacji żużli oraz popiołów (Wielgosiński, Czerwińska, 2009, s. 3-8).

Kształt architektoniczny badanej teraz instalacji jest wynikiem konkursu publicznego, który został ogłoszony jeszcze przed wyborem wykonawcy instalacji oraz dostawcy zastosowanej technologii. Z uwagi na wyjątkowo atrakcyjną formę architektoniczną, spalarnia odpadów komunalnych w Krakowie stanowi obecnie nowy ciekawy element w krajobrazie miasta, jest popularnym miejscem wielu wycieczek.

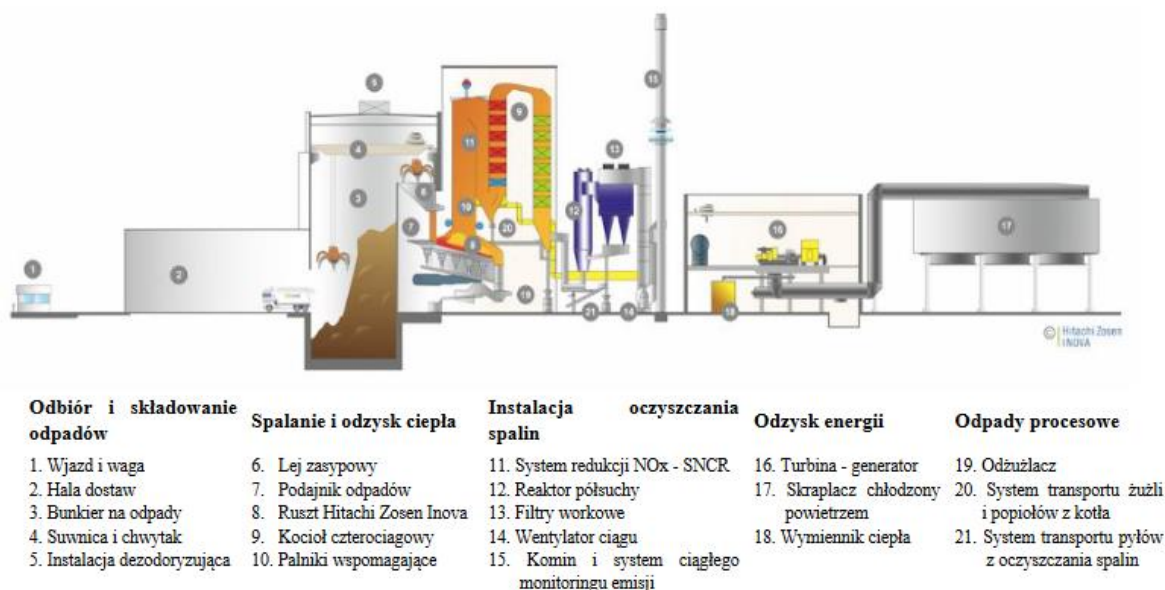


Rysunek 38. Schemat o charakterze technologiczno-funkcyjnym spalarni odpadów komunalnych w Krakowie

Źródło: Wielgoński, Czerwińska (2019, s. 5)

Kolejna z badanych spółek to Instalacja Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych (materiały firmowe) w Poznaniu. Obiekt ten został otwarty w drugim półroczu 2016 roku. Opóźnienie w budowie wynikało z innej aniżeli w przypadku pozostałych instalacjach formuły budowy instalacji. Poznańska spalarnia została wybudowana w ramach tzw. partnerstwa publiczno-prywatnego, gdzie partnerem publicznym było miasto Poznań, zaś partnerem prywatnym francuska spółka SITA (aktualnie SUEZ). Dostawcą technologii była szwajcarska firma Hitachi Zosen Inova (wcześniej von Roll). Wydajność instalacji wynosi około 210 tysięcy Mg/rocznie przy wartości opałowej odpadów 8,4 MJ/kilogram. Wyposażona jest ona w dwie linie spalania o wydajności 13,5 Mg/godzinę. Moc cieplna instalacji wynosi 34 MWt, a moc elektryczna 15MWe. Odpady pochodzące z leja zasypowego trafiają w bezpośredni sposób na ruchomy ruszt, na którym to przesuwają się one jednostajnie w dół. Ciepło wytworzone podczas spalania podgrzewa wodę w kotle zintegrowanym z rusztem. System oczyszczania spalin jest analogiczny jak w pozostałych instalacjach. Składa się on z układu niekatalitycznej redukcji tlenków azotu, półsuchego ograniczania emisji gazów kwaśnych oraz filtrów workowych. Uzupełnieniem systemu oczyszczania spalin jest układ wtrysku pylistego węgla aktywnego przed filtrem, w celu redukcji emisji dioksyn, furanów oraz

lotnych metali ciężkich. Z kolei uzupełnieniem dla badanej teraz instalacji spalania jest węzeł tak zwanej waloryzacji żużli oraz popiołów.



Rysunek 39. Schemat o charakterze technologiczno-funkcjonalnym spalarni odpadów komunalnych w Poznaniu

Źródło: Wielgoński, Czerwińska (2019, s. 5)

Następna z omawianych oraz zbudowanych w ramach Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko instalacja - EcoGenerator, czyli Zakład Unieszkodliwiania Odpadów dla Szczecińskiego Obszaru Metropolitalnego została uruchomiona dopiero pod koniec 2017 roku (materiały firmowe). Historia budowy powyższej instalacji jest niezwykle interesująca. Przetarg na budowę wygrała firma MOSTOSTAL Warszawa, która zamierzała zbudować instalację w oparciu o technologie francuskiej firmy CNIM. Zanim jednak budowa ruszyła nastąpiła zmiana koncepcji oraz dostawcą technologii zostało RAFAKO, wspólnie z niemiecką firmą Mitsubishi Hitachi Power Systems Europe. W 2016 roku przedsiębiorstwo MOSTOSTAL zeszła z placu budowy i inwestycję dokończyła włoska firma Termomeccanica Ecologia. Wydajność instalacji przetwarzania odpadów wynosi około 150 tysięcy Mg/rocznie, przy wykorzystaniu dwóch linii spalania o wydajności po 10 Mg/godzinę każda. Moc cieplna jaką osiąga instalacja wynosi 32 MWt, natomiast moc elektryczna 9,4 MWe. Wartość opałowa odpadów wynosi około 10,5 MJ/kilogram. Właścicielem instalacji jest miasto Szczecin. Głównymi elementami instalacji są: tak zwany kocioł odzysknicowy z odpowiednim rusztem oraz system oczyszczania spalin. Obie powyższe linie są wyposażone w ruszt mechaniczny

schodkowy o charakterze posuwisto-zwrotnym z chłodzeniem o charakterze powietrznym. Komora spalania wyposażona jest w zasilane olejem opałowym palniki wspomagające. Zmiana energii spalin w energię cieplną oraz energię elektryczną zachodzi w turbinie sprzężonej z generatorem energii elektrycznej. System służący do oczyszczania spalin wyposażony został w układ niekatalitycznej redukcji tlenków azotu, elektrofiltr, system absorpcji związków fluoru, chloru oraz dwutlenku siarki według technologii mokrej, a ponadto system adsorpcji substancji organicznych, dioksyn, furanów, metali ciężkich i rtęci na węglu aktywnym. Jest to jak na razie jedyna instalacja termicznego przekształcania odpadów wyposażona w mokry system oczyszczania spalin (jest to absorpcja odbywająca się w wodnym roztworze NaOH). Instalacja, jak wszystkie nowe spalarnie odpadów komunalnych na terenie Polski, wyposażona jest także w blok przetwarzania żużli czy też popiołów paleniskowych, unieszkodliwiania (stabilizowania oraz zestalania) popiołów lotnych oraz stałych produktów reakcji z procesu oczyszczania spalin.

Kolejna instalacja termicznego przekształcania odpadów zbudowała w Rzeszowie spółka PGE Energia Ciepła. Dostawcą technologii była z kolei włoska spółka Termomeccanica Ecologia. Instalacja została oddana do użytku z początkiem 2018 roku. Wydajność opisywanych instalacji wynosi aktualnie około 100 tysięcy Mg/rocznie - jedna linia o wydajności 12,5 Mg/godzinę dla odpadów o założonej wartości opałowej około 8 MJ/kilogram. Budynek instalacji został tak zaprojektowany, aby w przyszłości można było stosunkowo łatwo dobudować drugą linię spalania odpadów. Analogicznie jak we wszystkich opisywanych powyżej instalacjach, zmieszane odpady komunalne oraz RDF trafiać będą bezpośrednio do kotła wyposażonego w ruszt mechaniczny, na którym w temperaturze powyżej 850 stopni Celsjusza zachodzi proces spalania. Ciepło ze spalin odzyskiwane jest w dalszych ciągach kotła oraz wytwarzana jest z niego w warunkach kogeneracji ciepło - około 16,5 MWt oraz około 4,6 MWe mocy elektrycznej. Dodatkowa moc cieplna jest pozyskiwana z układu odzyskującego ciepło z kondensacji pary wodnej w spalinach w ilości 4 MWt. Jest to jak na razie jedyny tego rodzaju węzeł w krajowych instalacjach termicznego przekształcania odpadów. System oczyszczania spalin jest analogiczny jak w innych instalacjach. Składa się on z układu niekatalitycznej redukcji tlenków azotu, półsuchego ograniczania emisji gazów kwaśnych oraz filtrów workowych. Uzupełnieniem dla opisywanego systemu oczyszczania spalin jest układ wtrysku pylistego węgla aktywnego przed filtrem w celu redukcji emisji dioksyn, furanów oraz lotnych metali ciężkich. Poza tym, uzupełnieniem jest również węzeł służący do waloryzacji żużli oraz popiołów (Wielgoński, Czerwińska, 2009, s. 3-8).

Instalacja w Gdańsku będzie posiadała wydajność około 160 tysięcy Mg/rocznie przy jednej linii spalającej posiadającej wydajność na poziomie 20,5 Mg/rocznie (największa pojedyncza linia technologiczna tego rodzaju na terenie Polski). Z uwagi na spalanie RDF przyjmuje się, że odpady mogą mieć wartość opałową nawet około 16 MJ/kilogram (przeciętnie 11 MJ/kilogram). W związku z powyższym, w instalacji powyższej zdecydowano się na zastosowanie rusztu, który będzie chłodzony wodą. System oczyszczania spalin ma być dość zbliżony do pozostałych spalarni, czyli składać się ma z układu niekatalitycznej redukcji tlenków azotu, półsuchego usuwania gazów kwaśnych, wtrysku węgla aktywnego do usuwania dioksyn czy też metali ciężkich oraz filtra o charakterze tkaninowym. Uzupełnieniem analizowanej instalacji spalania jest węzeł w zakresie przeprowadzania waloryzacji żużli oraz popiołów. Obecnie nie znana jest moc elektryczna oraz cieplna instalacji. Budowa zaczęła się we wrześniu 2019 roku. Inwestycję zrealizować ma w całości konsorcjum włoskich przedsiębiorstw Astaldi oraz Termomeccanica Ecologia, z kolei operatorem całej tej instalacji w ramach partnerstwa publiczno-prywatnego ma być francuska firma Dalkia Wastenergy (wcześniej TIRU) (Wielgosiński, Czerwińska, 2009, s. 3-8).

W przypadku Olsztyna, w czerwcu 2019 roku został rozstrzygnięty przetarg na budowę spalarni, który wygrała spółka Dobra Energia dla Olsztyna (wcześniej Dovecot Spółka z ograniczoną odpowiedzialnością). Zbudować ona ma spalarnię RDF-u o wydajności około 110 tysięcy Mg/rocznie w ramach partnerstwa o charakterze publiczno-prywatnym między MPEC Spółka z ograniczoną odpowiedzialnością, a wybranymi wykonawcami. Instalacja ta ma dostarczyć niezbędne ciepło dla miasta w związku z likwidacją części kotłowni zakładowej firmy Michelin Polska Spółka Akcyjna. Szczegóły technologiczne w tej chwili nie są jeszcze do końca znane. Kształt architektoniczny budynku została wybrany w rezultacie konkursu przeprowadzonego w 2017 roku (Wielgosiński, Czerwińska, 2009, s. 3-8).

4.4. Analiza wybranego procesu technologicznego spalania odpadów komunalnych

Nowoczesne spalarnie odpadów komunalnych stosują różne rozwiązania w zakresie procesów technologicznych spalania. Dla potrzeb przedkładanej pracy dokładniej przeanalizowana zostanie technologia INTEC SG Series, która jest oferowana przez niemieckie

przedsiębiorstwo INTEC Energies GmbH. Cały proces technologiczny może zostać podzielony na trzy zasadnicze części, mianowicie:

- praca zakładu unieszkodliwiania odpadów,
- praca agregatów gazowni syntezowej,
- praca bloków energetycznych.

Ogólny schemat tego rodzaju spalarni jest przedstawiony na rysunku 40.



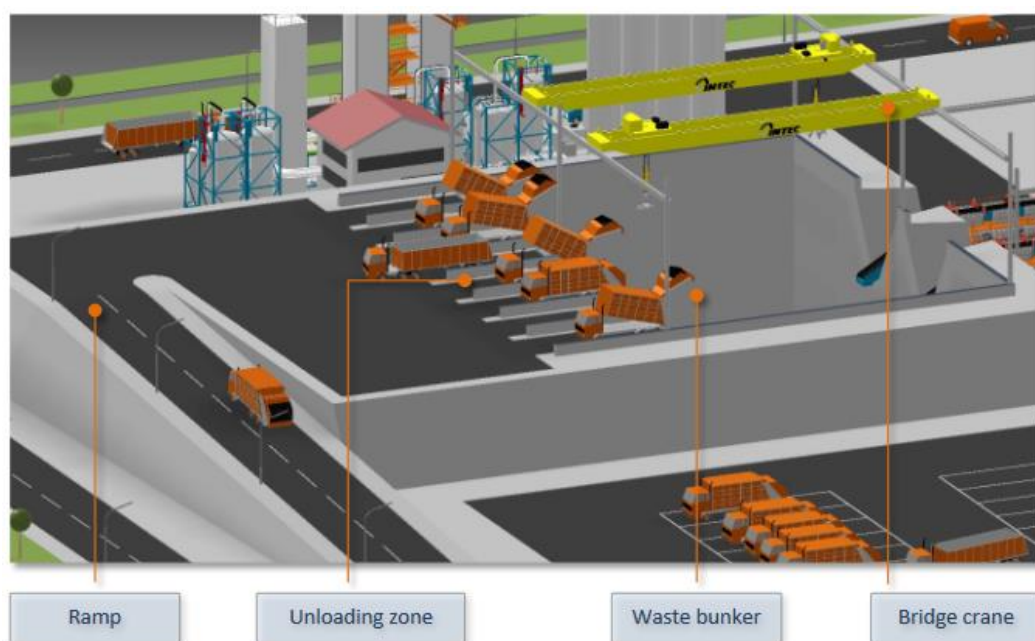
Rysunek 40. Schemat budowy przykładowej spalarni odpadów komunalnych w oparciu o rozwiązanie przedsiębiorstwa INTEC SG Series

Źródło: (materiały INTEC ENERGIES GmbH)

W pierwszej kolejności dokładniej przeanalizowane zostaną rozwiązania w zakresie pracy samego zakładu unieszkodliwiania odpadów. Zgodnie z materiałami INTEC ENERGIES GmbH, w praktyce można wskazać na różne metody przetwarzania odpadów. Poniżej na grafice opisane zostało rozwiązanie, w jakim proces suszenia odpadów odbywa się głównie z wykorzystaniem ciepła wylotowego pochodzącego z cyklu produkcji gazu syntezowego oraz wytwarzania energii elektrycznej. W tym przypadku, ograniczona jest możliwa ilość parowania, a tym samym stopień zawilgocenia odpadu, ponieważ należy w miarę możliwości unikać dostarczania dodatkowej energii. Jeżeli ilość parowania odpadów jest większa lub równa 30%, wymagane jest zastosowanie suszenia biologicznego. To, czy stosowana jest tylko

jedna, czy też kombinacja tych dwóch metod, zależy od właściwości śmieci, które mają zostać przetworzone.

Parametry projektowe instalacji determinowane są właściwościami tych śmieci jakie mają być przetwarzane, przeznaczeniem produktu końcowego oraz wielkością instalacji gazu syntezowego. Śmieci są dostarczane ciężarówkami. Cała masa dostarczonego materiału jest zliczana za pomocą wagi samochodowej przed jej rozładunkiem do tak zwanego bunkra odbiorczego. Bunkier odbiorczy znajduje się w zamkniętej hali przetwórczej. Śluz powietrzne znajdujące się w punktach przechyłu zapewniają, że nie wydostają się z niej niepożądane zapachy. Zassane powietrze przechodzi następnie przez specjalistyczny system czyszczący. Podłoga bunkra odbiorczego składa się z płyt betonowych szczelinowych, przez które wyciekające substancje mogą płynąć do systemu oczyszczania. W procesie tym wykorzystywana jest również kruszarka gruboziarnista, która chroniona jest poprzez sitko prętowe co ma je chronić przed nadwymiarowymi komponentami odpadów. Odpady są podawane za pomocą dźwigu bunkrowego.

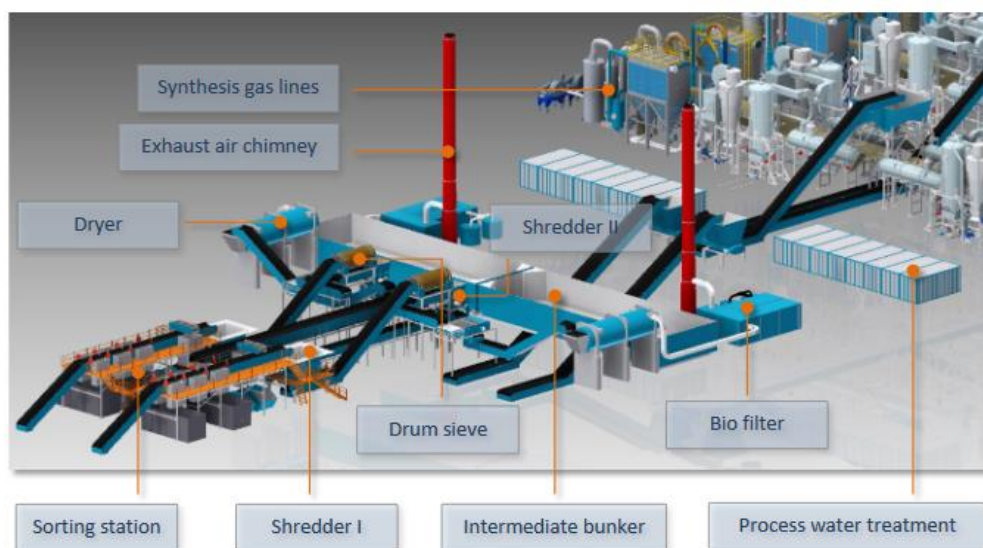


Rysunek 41. Strefa rozładunku i bunkier odbiorczy spalarni odpadów komunalnych

Źródło: (materiały INTEC ENERGIES GmbH)

Kolejne urządzenia przesiewające rozdzielają strumień materiału (odpadów) na grubą oraz drobną frakcję. Dzięki systemowi przenośników taśmowych drobna frakcja odpadów komunalnych jest bezpośrednio transportowana do separatorów rozładujących metale

żelazne, metale nieżelazne, szkło oraz minerały. W odpowiedni sposób kondycjonowany strumień materiału jest w dalszej kolejności przenoszony do suszarni, gdzie za pomocą ogrzanego powietrza (ciepło resztkowe z wytwarzania gazu oraz energii elektrycznej) o temperaturze około 70 - 80 stopni Celsjusza, w ciągu godziny, uzyskiwana jest wymagana wilgotność resztkowa osiągająca poziom około 10 – 15%. Gruba frakcja jest transportowana z kolei do rozdrabniaczy drobnych, zaś następnie transportowana do oddzielnych linii sortujących. Analogicznie do procedury z frakcją drobną, przeprowadza się odprowadzanie materiałów nieorganicznych i wstępne suszenie. Strumienie materiału z suszarek jednej linii są zbierane i transportowane do odpowiednio wyznaczonej jednostki przesiewającej. Frakcja o wielkości ziarna < 35 mm służy jako materiał wejściowy do reaktorów, podczas gdy materiał nadwymiarowy jest ponownie podawany do jednostki do drobnego rozdrabniania. Proces ten jest przedstawiony na kolejnym rysunku 42.



Rysunek 42. Proces kondycjonowania odpadów

Źródło: (materiały INTEC ENERGIES GmbH)

Przy zawartości wilgoci powyżej 30% technologia INTEC ze względów ekonomicznych zaleca zastosowanie oczyszczalni o charakterze mechaniczno-biologicznym. System oferowany przez przedsiębiorstwo INTEC, przedstawiony na 10 rysunku pod numerem 17 zawiera wszystkie niezbędne pomieszczenia oraz wyposażenie do ciągłej pracy zakładu.

Teraz należy przeanalizować kwestie dotyczące pracy agregatów gazowni syntezowej. Zgodnie z materiałami źródłowymi, proces wytwarzania gazu syntezowego służy w opisywanym cyklu pracy spalarni do chemicznej oraz energetycznej konwersji paliw

zastępczych czy też biomasy w gaz syntezowy w kilku etapach procesu. Wyprodukowany gaz syntezowy o średniej wartości opałowej 25 000 kJ/metr sześcienny może wykorzystany być zarówno dla produkcji energii elektrycznej w silnikach gazowych oraz turbinach, jak również do produkcji ciepła o charakterze technologicznym. Wytwórnia gazu syntezowego jest systemem modułowym, który składa się z jednej albo kilku linii zasadniczych odpowiadających wybranej wielkości. Podstawowe składniki tej linii technologicznej są to:

- Reaktor główny,
- Reaktor wtórny,
- Reaktory krakowe,
- Płuczka,
- Udogodnienia dla personelu.

Reaktor główny składa się zasadniczo ze strefy wejściowej, komory mieszania, komory wysokotemperaturowej, komory konwersji i płaszcza grzewczego. Wytwarzane w zakładzie przetwórczym INTEC paliwo zastępcze wprowadzane jest do reaktora poprzez obszar wsadowy do górnej komory mieszania. Zgodnie z materiałami źródłowymi, surogat paliwa wytworzony w oczyszczalni INTEC jest podawany do reaktora przez obszar wsadowy do górnej komory mieszania. W komorze mieszającej i wysokotemperaturowej reaktora głównego, która jest ogrzewana w podwójnym płaszczu, zachodzi głównie konwersja chemiczna wprowadzanego materiału do węglowodorów gazowych. W tym właśnie celu, procesy chemiczne w zstępującym zgazowaniu są prowadzone w komorze komorowej, ciśnieniowej w temperaturze od 400 stopni Celsjusza do 850 stopni Celsjusza wraz z zamknięciem powietrznym. Ruch materiału w aparacie odbywa się za pomocą śruby.

Struktura reaktorów wtórnych jest podobna do budowy reaktora głównego. Mieszanina surowego gazu i koksu utworzona na końcu reaktora głównego jest podawana do zaprojektowanych kaskadowo reaktorów wtórnych. Dzięki długiemu czasowi przebywania oraz wysokiej temperaturze zachodzi w tym przypadku całkowita konwersja węglowodorów, zaś surowy gaz przepływa przez odpowiednio utworzone złoża koksu w strefach wysokotemperaturowych, co w zdecydowany sposób wydłuża czas reakcji konwersji. Ruch materiału w aparacie odbywa się za pomocą śrub.

Reaktor do krakowania jest rurowym, ogrzewanym aparatem o konstrukcji dwupłaszczowej. Posiada wewnętrzny ładunek zeolitów, które służą jako katalizator w rozszczepianiu długołańcuchowych węglowodorów. Reakcje zachodzące podczas krakingu są bardzo złożonymi procesami, w których stosunkowo duże cząsteczki materiałów wyjściowych

są katalitycznie rozkładane na mniejsze i wysoce reaktywne fragmenty. Para oleju lekkiego (węglowodory niskowrzące) odprowadzana ze skrubera gazu jest podawana do reaktora krakingu, ogrzewana i przepuszczana przez granulki zeolitu. Powstałe produkty rozpadu są przenoszone w kontrolowany sposób do komory mieszania głównego reaktora i tutaj powodują chemiczne reakcje jako organiczny składnik pary wodnej, za pomocą którego można również kontrolować ilości gazów, które mają być wytworzone.

Głównymi elementami systemu skrubarów (aparatów absorpcyjnych) są skrubery, kilka pomp, wymienników ciepła i separatorów oraz wysoki system wentylatora ciśnieniowego. Oczyszczanie gazu jest standaryzowane jako proces pięciostopniowy, w którym to gaz syntezowy przechodzi przez kilka procesów przebiegających w określonych temperaturach za pomocą etapu podwyższania ciśnienia. W przypadku płukania gazu, czynnik roboczy jest cyrkulowany przez aparat, który pochłania kondensat i zanieczyszczenia. Medium wraz z powiązаныmi substancjami, przepuszczane są przez separator, a także krakersy i płuczki. W pierwszym etapie ze strumienia gazu syntezowego oddzielane są cząsteczki smoły, oleju oraz pyłu, który jednocześnie je chłodzi. Poniższe kroki służą do oddzielania dalszych węglowodorów oraz zanieczyszczeń.

W opisywanej instytucji spalarni należy wskazać również na obiekty towarzyszące. Zgodnie z materiałami źródłowymi, obiekty towarzyszące obejmują system bezpieczeństwa oraz oczyszczalnię ścieków. System bezpieczeństwa zapewnia ochronę przed nadciśnieniem gazu w razie ewentualnego wypadku. Istniejący, a cały czas powstający gaz syntezowy jest przesyłany do pochodni awaryjnej poprzez układ zwarciový oraz spalany w kontrolowany sposób. Oczyszczanie ścieków składa się z systemu fizyczno-biologicznego z reaktorami wyposażonymi w osady czynne oraz, w razie potrzeby, z dodatkową dezynfekcją poprzez ozonowanie. Po przejściu przez zakład ścieki mogą być odprowadzane następnie do sieci publicznej.

Teraz należy wskazać na pracę bloku energetycznego. Zgodnie z materiałami źródłowymi, do wytwarzania energii elektrycznej wykorzystuje się układ silnika gazowego oraz odzysk ciepła odpadowego z układami turbin parowych. Gaz syntezowy, buforowany w pośrednich zbiornikach magazynowych, trafia za pośrednictwem kompresorów do silników gazowych klasy Otto sprzężonych z generatorami 10 kV.

W przypadku identycznego napięcia, wytworzona energia elektryczna może być bezpośrednio oddawana do sieci średniego napięcia. W przypadku różnych wartości napięcie jest przekształcane do wymaganej wartości – w razie potrzeby również do sieci wysokiego napięcia do 110 kV. Strumień spalin z gazowych silników typu Otto jest prowadzony poprzez

pierwotny obwód kotła parowego na ciepło odpadowe (tak zwany wymiennik ciepła). Zawarta w nich energia odparowuje czynnik roboczy (wodę) w obiegu wtórnym kotła parowego na ciepło o charakterze odpadowym. Para napędza turbinę parową podłączoną do generatora zakładu pogeneracyjnego (tak zwany układ turbiny parowej). Wytworzona w tym przypadku energia elektryczna jest dostępna dla konsumentów lub do sieci.

Rozdział V. Założenia metodologiczne badania własnego

5.1 Problem badawczy

W literaturze naukowej problem badawczy definiowany jest jako określony brak wiedzy lub jej niedostatek w danym obszarze, który wymaga dokładniejszego zbadania. Niewiedza ta powinna być postrzegana obiektywnie, niezależnie od subiektywnych przekonań badacza. W praktyce, problem badawczy, często określany także mianem problemu naukowego, odnosi się do rozpoznania luk i niedostatków w istniejącej wiedzy w danej dyscyplinie lub specjalności naukowej. Tego typu luki mogą wynikać z braku odpowiedzi na wcześniejsze pytania naukowe, które wyłaniają się logicznie z obecnego stanu wiedzy, lub mogą być rezultatem niepełnych czy błędnych odpowiedzi, które wymagają dalszego badania.

Sformułowanie problemu badawczego polega na precyzyjnym zidentyfikowaniu i opisanu tego, czego nie wiemy w kontekście istniejącej wiedzy. W praktycznym ujęciu oznacza to, że problem badawczy to swoiste pytanie, które wskazuje na to, co już jest znane oraz na to, co wymaga dalszego wyjaśnienia. Kluczowe jest tutaj zrozumienie, że dobrze sformułowany problem badawczy nie tylko identyfikuje luki w wiedzy, ale także kieruje badania na zdobycie nowych informacji, które mogą pomóc w rozwikłaniu tych braków i zbliżeniu się do pełniejszego zrozumienia zagadnienia (Apanowicz, 2002, s. 44 – 45).

Problem badawczy nie jest pojęciem jednowymiarowym; istnieje wiele jego typów, które można klasyfikować według różnych kryteriów. Wyróżnia się między innymi następujące rodzaje problemów badawczych (Apanowicz, 2002, s. 45):

- Problemy teoretyczne,
- Problemy praktyczne,
- Problemy podstawowe,
- Problemy częściowe,
- Problemy ogólne,
- Problemy szczegółowe.

Według J. Sztumskiego, problemy badawcze pełnią kluczową rolę w określaniu, czym dokładnie mają się zajmować naukowcy w swoich badaniach. To właśnie one definiują przedmiot badań i ukierunkowują wysiłki badawcze na określone aspekty. Każdy badacz, zanim przystąpi do pracy, musi precyzyjnie zdefiniować, jaki problem chce rozwiązać, gdyż bez tego nie jest możliwe prowadzenie skutecznych badań. Ważne jest nie tylko ogólne zdefiniowanie problemu, ale również jego dokładne skonkretyzowanie, co umożliwia bardziej

precyzyjne określenie celu badań oraz metod, które zostaną zastosowane do jego osiągnięcia (Sztumski, 1984, s. 37 – 39).

W trakcie definiowania problemu badawczego pojawia się potrzeba formułowania różnego rodzaju pytań. Można je podzielić na pytania rozstrzygające, zwane także pytaniami zamkniętymi, oraz pytania dopełniające, określane jako pytania otwarte. Pytania zamknięte dążą do uzyskania jednoznacznych odpowiedzi, natomiast pytania otwarte pozwalają na bardziej rozbudowane odpowiedzi, które mogą prowadzić do odkrycia nowych, często nieoczywistych aspektów badanego problemu.

Podsumowując, problem badawczy jest centralnym elementem każdego procesu naukowego. To on wyznacza kierunek badań, skupiając uwagę naukowców na najistotniejszych kwestiach w danym obszarze. Jego precyzyjne określenie i zrozumienie są niezbędne, aby badania mogły przynieść nowe, wartościowe informacje, które wzbogacą istniejącą wiedzę i przyczynią się do rozwoju nauki.

Problem badawczy w niniejszej pracy dotyczy zarządzania logistyką odpadów komunalnych w Polsce, ze szczególnym uwzględnieniem roli spalarni odpadów komunalnych. Zarządzanie logistyką odpadów komunalnych jest kluczowym wyzwaniem dla jednostek samorządu terytorialnego, które są odpowiedzialne za organizację gospodarki komunalnej na swoim terenie. Efektywność tego zarządzania ma bezpośredni wpływ na koszty ponoszone zarówno przez władze lokalne, jak i mieszkańców, oraz na jakość życia w danej społeczności.

W Polsce logistyka odpadów komunalnych jest procesem skomplikowanym i wieloetapowym, który obejmuje zbiórkę, transport, przetwarzanie i utylizację odpadów. Jednym z najważniejszych elementów tego systemu są spalarnie odpadów komunalnych, które mogą znacznie zmniejszyć ilość odpadów trafiających na składowiska oraz przyczynić się do odzysku energii.

Problem badawczy polega na zidentyfikowaniu i analizie kluczowych czynników wpływających na efektywność systemu logistycznego spalarni odpadów komunalnych w Polsce oraz na opracowaniu modelu zarządzania logistyką odpadów, który będzie oparty na najlepszych praktykach i doświadczeniach z krajów europejskich, takich jak Niemcy, Hiszpania i Czechy.

W ramach pracy dokonano analizy „dobrych praktyk” w zakresie wykorzystania spalarni odpadów komunalnych w wybranych krajach europejskich, a także zdiagnozowano system logistyczny wybranej spalarni odpadów komunalnych w Polsce. Na tej podstawie zaproponowano rozwiązania technologiczne i organizacyjne mające na celu usprawnienie działania spalarni oraz skrócenie łańcucha logistycznego gospodarowania odpadami komunalnymi.

Celem pracy jest przygotowanie autorskiego modelu zarządzania logistyką odpadów komunalnych w Polsce, który pozwoli na zwiększenie efektywności i skuteczności tego procesu. Realizacja tego celu wymagała zastosowania metod badawczych, takich jak krytyczny przegląd literatury, analiza studium przypadku oraz modelowanie usprawniające.

Hipotezy badawcze skoncentrowały się na pytaniu, czy skrócenie łańcucha logistycznego gospodarowania odpadami komunalnymi prowadzi do usprawnienia modelu zarządzania logistyką tego rodzaju odpadów. Potwierdzono, że skrócenie łańcucha dostaw może znacznie poprawić efektywność systemu zarządzania, co jest zgodne z doświadczeniami z innych krajów oraz przepisami prawa

5.2 Cel pracy

Przystępując do kolejnej części tekstu należy w pierwszej kolejności przedstawić założenia metodologiczne podejmowanych rozważań. Zasadniczym celem każdego badacza jest zbieranie możliwie najbogatszych danych oraz informacji na temat przedmiotu badania. Przez bogate dane rozumie się szeroki oraz zróżnicowany zakres informacji gromadzonych w określony oraz systematyczny sposób poprzez relatywnie długi czas. Najlepiej, jeżeli takie dane umożliwiają wychwycenie znaczeń bezpośrednio powiązanych z działaniami badanych osób oraz kiedy pozwalają zrozumieć konteksty, w jakich one zachodzą (Lofland i in., 2009, s. 38).

Ponadto trzeba w niniejszym miejscu zaakcentować, że nawet jeżeli badani otrzymali najbardziej precyzyjne oraz szczegółowe wyjaśnienie celu oraz procedur badania, które może tylko przedstawiać badacz, to i tak nie zrozumieją wszystkich zagadnień badawczych w taki sposób, jak właśnie badacz. Użyte pojęcia posiadają dla nich odmienne konotacje, a także kontekst ich doświadczenia różni się. Ponadto, prawdopodobnie inne są też koncepcje celów obu ze stron (Lofland i in., 2009, s. 70 – 71).

Cel badań naukowych to bliższe określenie, do czego konkretny badacz zmierza, co pragnie on osiągnąć w podejmowanych przez siebie działaniach. Uzasadnienie potrzeby sformułowania celu w koncepcji wydaje się zbyteczne, kiedy pamięta się o tym, że konkretna

praca badacza należy do działań, które są bardzo mocno ukierunkowane na cel. Formułowanie celu badania naukowego wymaga, aby był on precyzyjny, zrozumiały i możliwy do zrealizowania. Realizm tego celu polega na ustaleniu takich zamierzeń, które są osiągalne dla badacza, uwzględniając jego dostępne zasoby, czas oraz kompetencje (Zaczyński, 1995, s. 86).

Jednak cele badawcze nie stanowią jednolitej kategorii; mogą różnić się w zależności od różnych kryteriów, takich jak stopień szczegółowości czy cel zastosowania. W odniesieniu do szczegółowości, możemy rozróżnić cele główne, które wyznaczają ogólny kierunek badań, oraz cele szczegółowe, które skupiają się na bardziej konkretnych, mniejszych zadaniach prowadzących do realizacji głównego celu.

W kontekście zastosowania celów badawczych, można je podzielić na trzy zasadnicze grupy (Gnitecki, 1989, s. 74):

- **Cele poznawcze:** Te cele są ukierunkowane na opisanie i wyjaśnienie zjawisk oraz procesów występujących w badanej rzeczywistości. Skupiają się na pogłębianiu wiedzy o danym temacie, umożliwiając badaczom lepsze zrozumienie mechanizmów i zależności w badanym obszarze.
- **Cele teoretyczne:** Koncentrują się na tworzeniu lub rozwijaniu modeli teoretycznych, które opisują badane zjawiska. Często związane są z rozwijaniem istniejących teorii, ich modyfikacją lub usystematyzowaniem dotychczasowej wiedzy. Celem teoretycznym może być również aktualizacja teorii w świetle nowych danych lub zmieniających się warunków.
- **Cele praktyczne:** Zorientowane są na opracowanie konkretnych zaleceń lub wytycznych, które mogą być wykorzystane w praktyce, np. w kształtowaniu polityk, tworzeniu procedur operacyjnych czy strategii rozwojowych. Cele te mają na celu zastosowanie wyników badań do realnych problemów, wpływając na różne aspekty rzeczywistości społecznej lub gospodarczej.

Każdy cel badawczy powinien być sformułowany w sposób, który jasno określa, czego badacz chce osiągnąć i w jaki sposób zamierza to zrobić. Cele szczegółowe powinny wspierać cel główny, tworząc logiczny i spójny plan badawczy, który prowadzi do osiągnięcia zamierzonych rezultatów. Istotne jest, aby cele były dostosowane do realnych możliwości badawczych, co zapewnia, że badanie będzie miało odpowiednią strukturę i przyniesie wartościowe wyniki.

Właściwe określenie celów badawczych jest fundamentem skutecznego procesu badawczego. To one wyznaczają kierunek i dynamikę badań, a ich odpowiednie sformułowanie decyduje o efektywności i skuteczności całego przedsięwzięcia naukowego. Cele badawcze,

opracowane w sposób klarowny i przemyślany, pozwalają badaczowi na skuteczne przeprowadzenie badań, zrozumienie badanych zjawisk oraz wykorzystanie zdobytej wiedzy do rozwoju teorii lub rozwiązywania praktycznych problemów.

Celem głównym pracy jest określenie podstawowych czynników mających wpływ na zarządzanie logistyką odpadów komunalnych w spalarni śmieci oraz przedstawienie propozycji usprawnienia logistyki dla potrzeb podniesienia efektywności zakładu przetwórczego.

Poza tym, można również wskazać na następujące cele o charakterze szczegółowym:

- **wybór czynników, które w najwyższym stopniu oddziałują na zarządzanie logistyką odpadów komunalnych w spalarni śmieci,**
- **wykazanie słabych i mocnych stron procesu zarządzania logistycznym odpadami komunalnymi w spalarni,**
- **zaproponowanie rozwiązań usprawniających logistykę odpadów komunalnych w spalarni śmieci.**

5.3 Pytania badawcze

Pytania badawcze stanowią kluczowy element każdego badania naukowego. Definiują one obszar zainteresowań badacza oraz kierunek, w którym prowadzone będą analizy. Według Creswella (2014), pytania badawcze to szczegółowe zapytania, które badacz zadaje w celu zgłębienia określonego zagadnienia. Są one fundamentem, na którym opiera się cała metodologia badania, a ich precyzyjne sformułowanie umożliwia uzyskanie odpowiedzi na kluczowe aspekty badanej problematyki (Creswell, J. W. 2014. *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. 4th ed. Thousand Oaks, CA: Sage).

W kontekście niniejszej pracy, której celem jest analiza logistyki odpadów komunalnych w spalarni śmieci, konieczne było sformułowanie pytań badawczych, które pozwolą na szczegółowe zrozumienie tego zagadnienia. Pytania te mają na celu identyfikację wskaźników i czynników zakłócających oraz wspierających procesy logistyczne, a także poszukiwanie efektywnych metod usprawnienia zarządzania odpadami komunalnymi.

Główny pytanie badawcze: Jakie czynniki ograniczają efektywność logistyki odpadów komunalnych w spalarni śmieci, ze szczególnym uwzględnieniem wymogów środowiskowych?

Dla prowadzonego badania postawione zostały następujące pytania badawcze:

- **jakie wskaźniki i czynniki w najwyższym stopniu zakłócają logistykę odpadów komunalnych w spalarni śmieci?**
- **Jakie wskaźniki i czynniki w najwyższym stopniu pozytywnie wpływają na logistykę odpadów komunalnych w spalarni śmieci?**
- **W jaki sposób można usprawnić pracę spalarni śmieci pod względem zarządzania logistycznego odpadami komunalnymi?**
- **W jaki sposób wdrożyć model usprawnienia logistyki odpadów komunalnych na przykładzie spalarni odpadów?**

Odpowiedzi na powyższe pytania badawcze pozwolą na kompleksowe zrozumienie problemów oraz możliwości usprawnienia logistyki odpadów komunalnych w spalarni śmieci. Dzięki temu możliwe będzie opracowanie praktycznych rekomendacji i modeli, które mogą przyczynić się do poprawy efektywności zarządzania odpadami. Rozważenie zarówno czynników zakłócających, jak i wspierających procesy logistyczne, umożliwi holistyczne podejście do problematyki i stworzenie podstaw do wdrożenia efektywnych rozwiązań w praktyce.

5.4 Hipotezy badań

W odniesieniu do przedstawionych pytań problemowych przyjęte zostały również odpowiednie hipotezy badawcze. Pojęcie powyższe zostało szczegółowo opisane w literaturze przedmiotu. Jedną z definicji sformułowaną jest przez T. Domańskiego. Autor pisze, że hipoteza badawcza wyjaśniona może być jako „*próbne odpowiedzi badacza na postawione pytania problemowe, które w toku jego działań zostaną odrzucone lub potwierdzone. Hipoteza przyjmuje zawsze postać zdania orzekającego i jest formułowana z pewnym stopniem przekonania badacza o jej prawdziwości*” (Domański, 1998, s. 123).

Hipotezy badań naukowych mają postać zdań o charakterze stwierdzającym, jednak w praktyce stanowią pytania, na które badacz stara się formułować odpowiednie odpowiedzi. W licznych sytuacjach hipotezy badawcze sugerują zupełnie nowe ujmowanie przyjętych, konkretnych problemów badawczych, wiążąc się równocześnie z nowatorskim podejściem do

doświadczenia, obserwacji albo dla logiki prowadzonych rozważań (Adamkiewicz – Drwiłło, 2008, s. 69).

Wszelkie hipotezy robocze, które poddawane są naukowej weryfikacji zachowywać oraz spełniać powinny ustalone uprzednio reguły. Zasadniczymi przesłankami, które w takim kontekście występują są w szczególności następujące uwarunkowania (Stachak, 2006, s. 91):

- hipotezy muszą być w dowolnej sytuacji całkowicie sprawdzalne w drodze wykorzystywania dostępnych (bardzo łatwych do zastosowania w praktyce) narzędzi badawczych,
- hipotezy w dowolnej sytuacji muszą stanowić maksymalnie rzetelną odpowiedź, która będzie w pełni jasna, ścisła oraz w pełni jednoznaczna. Odpowiedź taka powinna być też udzielana na konkretne pytanie posiadające problemowy charakter albo na ewentualne pytania, które uznaje się za pochodne do tego pytania głównego,
- hipotezy muszą w dowolnej sytuacji stanowić pewnego rodzaju odpowiedź na pytanie, które to postawione zostało wcześniej. W związku z tym hipoteza jest to odpowiedź na postawione uprzednio pytania problemowe.
- hipotezy w dowolnych okolicznościach muszą być w pełni zgodne z wiedzą (na konkretny problem), którą posiada już badacz, jeszcze przed momentem zainicjowania określonej procedury badawczej,
- hipotezy we wszystkich przypadkach muszą dotyczyć szczególnie wszelkich powiązań przyczynowo - skutkowych, które występują między poszczególnymi faktami analizowanymi przez naukowców.

Dla niniejszej pracy badawczej przyjęta została główna hipoteza:

Podstawowym czynnikiem ograniczającym logistykę odpadów komunalnych w spalarni śmieci są wymogi prośrodowiskowe, które musi spełniać spalarnia.

Hipotezy pomocnicze:

- **Stały rozwój technologii stanowi czynnik wspierający zarządzanie logistyczne w obszarze odpadów komunalnych w spalarni, co może prowadzić do usprawnienia procesów poprzez wyższy poziom automatyzacji linii technologicznej.**
- **Wprowadzenie rozwiązań automatyzacyjnych oraz systemu szkoleń dla pracowników może przyczynić się do efektywniejszego zarządzania logistyką odpadów komunalnych w spalarni, co może być kluczowe dla poprawy efektywności procesów w obszarze odpadów.**

5.5. Metodyka badawcza

Zgodnie z literaturą metodologiczną metoda (z greckiego „methodos”) to metoda badania, droga czy też systematycznie używany sposób postępowania prowadzący do wyniku, który został założony (Okoń, 1992, s. 174). T. Domański pisze, że *„jest określonym zespołem powtarzalnych technik i sposobów badawczych służących do zebrania i analizy danych, które pozwolą odpowiedzieć na pytania problemowe, oraz uzasadnić je z określonym stopniem prawdziwości”* (Domański, 1998, s. 14).

Poprawność konkretnej metody badawczej jest sformułowaniem, które charakteryzuje dokładnie relację zachodzącą między ocenami wartości obserwowanej zmiennej, uzyskanymi za pomocą danej metody – z jednej strony - a pewnego rodzaju „rzeczywistą” wartością takiej zmiennej w analizowanym obiekcie albo zjawisku – z drugiej (Iwasiewicz, 1999, s. 173). Według T. Pilcha, przez metodę badań rozumie się *„zespół teoretycznie właściwych zabiegów instrumentalnych i koncepcyjnych, które najogólniej obejmują wszelkie postępowania badacza, który zmierza do rozwiązania danego problemu naukowego”* (Pilch, 1998, s. 42).

M. Łobocki za metodę uważa zaś pewny ogólny system reguł, które odnoszą się do organizowania konkretnej działalności badawczej, czyli szeregu operacji praktycznych, poznawczych, jak również porządku ich zastosowania oraz specjalnych działań i środków, które są skierowane z góry na cel badawczy, który został założony do realizacji (Łobocki, 2003, s. 115).

W naukach przyrodniczych, społecznych czy humanistycznych, badania naukowe opierają się na różnorodnych metodach, które z kolei wspierane są przez konkretne techniki badawcze. Techniki te stanowią zestaw szczegółowych działań umożliwiających efektywne wykorzystanie wybranej metody badawczej. Różni badacze proponują odmienne klasyfikacje metod, co pokazuje złożoność i różnorodność podejść w badaniach. Przykładem jest klasyfikacja zaproponowana przez F. Bławata, który wyróżnia następujące rodzaje metod badawczych (Bławat, 2001, s. 32–35):

- Metody ogólne,
- Metody indukcyjne,
- Metody dedukcyjne,
- Metody deterministyczne,
- Metody redukcyjne.

Równie istotnym pojęciem w kontekście badań naukowych jest technika badawcza. Jak zauważa J. Apanowicz, technika badawcza to *„zespół czynności służących realizacji określonego celu badawczego”*. Obejmuje ona działania, które umożliwiają zebranie,

uporządkowanie i analizę danych niezbędnych do realizacji badań. Techniki te są zazwyczaj bardzo praktyczne, starannie opracowane w celu uzyskania wiarygodnych informacji, opinii i faktów. Techniki badawcze wynikają z wyboru konkretnej metody i są od niej zależne – ich zadaniem jest wsparcie procesu badawczego poprzez dostarczenie narzędzi do realizacji określonych celów. W porównaniu do metod, techniki mają znacznie węższy zakres działania, koncentrując się na pojedynczych lub jednorodnych czynnościach, które bezpośrednio prowadzą do uzyskania wyników (Apanowicz, 2002, s. 80–81).

Kolejnym ważnym elementem procesu badawczego są narzędzia badawcze. W literaturze przedmiotu narzędzia te definiowane są jako urządzenia, instrumenty, aparaty pomiarowe oraz inne techniczne środki, które służą do realizacji technik badawczych. Narzędzia te są niezbędne do zbierania, rejestrowania i analizowania danych, a ich rola w badaniach jest kluczowa, ponieważ umożliwiają dokładne i systematyczne gromadzenie informacji. Nowoczesne narzędzia badawcze, w tym zaawansowane technologie, systemy elektroniczne oraz specjalistyczne oprogramowanie komputerowe, odgrywają coraz większą rolę w procesie badawczym, zapewniając dokładność i rzetelność wyników. Narzędzia te mogą obejmować zarówno proste przyrządy, jak i złożone, zautomatyzowane systemy, które wspierają każdy etap badań, od zbierania danych, przez ich analizę, po przechowywanie i prezentację wyników (Apanowicz, 2002, s. 90–91).

W praktyce badawczej wszystkie te elementy – metody, techniki i narzędzia – muszą być ze sobą spójnie zintegrowane, aby osiągnąć zamierzone cele badawcze. Metody stanowią fundament, na którym opiera się cały proces badawczy, techniki umożliwiają praktyczne zastosowanie tych metod, a narzędzia wspierają każdy etap realizacji badań. Skuteczność i wiarygodność badań naukowych zależą od właściwego doboru tych elementów, ich precyzyjnego zastosowania oraz umiejętności badacza w ich integracji w spójny proces badawczy. Dobrze dobrane metody, techniki i narzędzia badawcze stanowią klucz do uzyskania wartościowych i rzetelnych wyników, które mogą przyczynić się do rozwoju wiedzy w danej dziedzinie.

Niektóre z metod, odpowiadających im technik i narzędzi badawczych zostały przedstawione w poniższej tabeli nr 25.

Tabela 25. Wybrane z metod, odpowiadające im techniki oraz narzędzia badawcze

Metody badawcze	Techniki badawcze	Narzędzie badawcze
ANKIETOWA	ankieta audytoryjna	kwestionariusze
	ankieta indywidualna	ankietowe

	ankieta pocztowa	
WYWIADU	wywiad sformalizowany wywiad swobodny	arkusze wywiadu dyspozycja do wywiadu
OBSERWACJI	obserwacje uczestniczące obserwacje postronne	prowadzenie dziennika obserwacji arkusze obserwacji
EKSPERYMENTU	eksperyment jednej grupy eksperyment grup równoległych grupy rotacyjne	wszystkie narzędzia badawcze wykorzystywane w pozostałych metodach
ANALIZY DOKUMENTÓW	analiza ilościowa, analiza jakościowa	arkusze analizy specjalne programy komputerowe

Źródło: (Goriszowski, 1996, s. 75)

Metodą badawczą przyjętą dla potrzeb tego opracowania jest analiza wielokryterialna, studium przypadku oraz metoda projektowa.

Ze względu na wybranie dla potrzeb niniejszej pracy metody studium przypadku, należy odnieść się do przyjętej próby badawczej. Stanowi ją przedsiębiorstwo – spalarnia odpadów - XYZ. Ulokowana jest w mieście ABC. Jest to jedno z miast wojewódzkich. Spółka XYZ została wybrana ze względu na stosunkowo dużą skalę przerobu odpadów komunalnych, który w niej jest przeprowadzany, a także na fakt posiadania nowoczesnej infrastruktury. Należy zauważyć, że Polska wykazuje jeszcze duże potrzeby w zakresie liczby spalarni odpadów komunalnych. Ich liczba w kraju, w stosunku do innych państw jest na dość niskim poziomie. Z pewnością w przyszłości ich liczba będzie się dynamicznie podnosiła. Nowo tworzone przedsiębiorstwa zajmujące się termicznym przerobem odpadów komunalnych będą zatem przynajmniej równie innowacyjnego jak ma to miejsce w przypadku przedsiębiorstwa XYZ.

W związku z tym, uzasadnione wydaje się stwierdzenie, że wybór dla potrzeb tej analizy przedsiębiorstwa XYZ posiada uniwersalny charakter. Koncepcje i pomysły wdrożeniowe, jakie w ramach niniejszej pracy zostaną zaproponowane dla powyższego podmiotu gospodarczego z powodzeniem będą mogły zostać zastosowane także do innych spalarni odpadów komunalnych, jakie zostaną uruchomione w kraju.

Wybór badanego przedsiębiorstwa XYZ determinowany był również dostępnością danych oraz dokumentacji, która jest wymagana dla dalszych analiz. Opisywana spółka

udostępnia odpowiednia informację, które pozwalają na przeprowadzenie analizy empirycznej. Analiza tego podmiotu gospodarczego realizowana była w kilku etapach, które były rozłożone w zasadzie na całą drugą połowę roku 2023. Etapy te są przedstawione w tabeli nr 26.

Tabela 26. *Etapy analizy podejmowanej w przedsiębiorstwie – spalarnia odpadów komunalnych XYZ*

Nr etapu	Okres realizacji	Opis
1	Czerwiec – lipiec 2023 roku	Zebranie materiałów z przedsiębiorstwa XYZ w zakresie rozwiązań technicznych, efektywności, zdolności przerobowych, kosztów podejmowanej działalności, emisji substancji szkodliwych, czasów związanych z podejmowaną działalnością przerobową
2	Sierpień – wrzesień 2024 roku	Przeanalizowanie danych uzyskanych w spalarni odpadów komunalnych XYZ w celu wykazania problemów w zakresie logistyki odpadów komunalnych w tym przedsiębiorstwie. Rozpoznanie
3	Wrzesień 2024	Zaproponowanie różnych rozwiązań usprawniających, które mogą zostać wdrożone w spalarni odpadów komunalnych XYZ, a także wybór optymalnego rozwiązania, które pozwoli na usprawnienie logistyki odpadów komunalnych w badanym podmiocie gospodarczym.
4	Październik – grudzień 2024 roku	Przygotowanie koncepcji oraz harmonogramu wdrażanego rozwiązania o charakterze usprawniającym w spalarni odpadów komunalnych XYZ. Na tym etapie przygotowała nie tylko propozycja działań, ale też plan ich wdrożenia. Na tym etapie wykazane zostały również ewentualne problemy z wdrożeniem zmian usprawniających, a także sposoby ich przełamania.
5	Grudzień 2024 roku	Przepracowanie graficznego modelu o charakterze usprawniającym, który ma zostać wdrożony w badanym przedsiębiorstwie zajmującym się spalaniem odpadów komunalnych.

Źródło: opracowanie własne.

Działania podejmowane w ramach tego studium przypadku w spalarni odpadów komunalnych XYZ oparte były na takich metodach komunikacji i wymiany informacji, jak;

- komunikacja elektroniczna w przedstawicielami badanego przedsiębiorstwa XYZ,'
- komunikacja bezpośrednia w siedzibie przedsiębiorstwa XYZ.

Jednym z podstawowych, a równocześnie jednym z najważniejszym pytaniem jakie pojawia się podczas próby optymalizacji dowolnego z rozwiązań jest ustalenie kryterium według jakiego będzie się dokonywało poszukiwania oraz oceny optymalnego rozwiązania. W zależności od tego, jak zostanie ono sformułowane można pozyskać zupełnie rozmaite rozwiązania. W wielu sytuacjach kryteriów może być wiele, bardzo często trudno ze sobą porównywalnych. Zdarzają się też sytuacje, kiedy istniejące kryteria są sprzeczne na przykład kiedy próbujemy obliczać optymalny stan utrzymania poziomu wody, czy też wybór najlepszego kredytu walutowego. Należy się zatem zastanowić gdzie leży tak zwany „złoty środek”?

Analiza wielokryterialna jest zaawansowanym narzędziem decyzyjnym, które ma na celu wybór najlepszego rozwiązania spośród wielu dostępnych opcji, uwzględniając przy tym różnorodne kryteria, które często trudno jest bezpośrednio porównać. Kryteria te odgrywają kluczową rolę w ocenie, jak dane rozwiązanie będzie funkcjonować w praktyce i jakie będą jego długoterminowe efekty. W ramach procesu optymalizacji wielokryterialnej badacz staje przed ważnym wyborem: czy celem jest znalezienie jednej, najbardziej optymalnej odpowiedzi, czy może stworzenie zbioru rozwiązań, które, mimo różnic, wszystkie mogą być uznane za optymalne w pewnym kontekście.

Jedną z metod wspierających takie analizy jest metoda oceny ważonej, która nie tylko ułatwia podejmowanie decyzji, ale również umożliwia wszechstronne spojrzenie na problem. W tej metodzie decydent określa różne kryteria, które są istotne przy wyborze najlepszego wariantu, a następnie przypisuje im odpowiednie wagi, odzwierciedlające subiektywne preferencje i priorytety. Ostateczna ocena poszczególnych wariantów jest dokonywana na podstawie ich użyteczności, zgodnie z przyjętymi kryteriami.

Warto zauważyć, że metoda oceny ważonej nie ogranicza się jedynie do ostatecznego wyboru najlepszego wariantu. Stanowi ona wsparcie na wielu etapach procesu decyzyjnego, od formułowania celów, poprzez generowanie i analizę wariantów, aż po finalny wybór najbardziej odpowiedniego rozwiązania. Po dokonaniu wyboru, analiza wielokryterialna pomaga także w opracowaniu planu wdrożenia wybranego wariantu, co dodatkowo zwiększa jej wartość w praktycznym zastosowaniu. Dlatego też analiza wielokryterialna z

zastosowaniem metody oceny ważonej nie jest jedynie narzędziem wspierającym decyzje, ale integralnym elementem procesu decyzyjnego, który obejmuje wszystkie jego fazy.

Z literatury wynika, że analiza wielokryterialna jest zbiorem technik i algorytmów, które umożliwiają wybór najlepszego rozwiązania spośród różnych alternatyw, opierając się na określonych kryteriach i przypisanych im wagach. W przeciwieństwie do bardziej tradycyjnych metod, takich jak analiza kosztów i korzyści, które koncentrują się na jednym, zazwyczaj ekonomicznym kryterium, analiza wielokryterialna pozwala na uwzględnienie szerokiego zakresu celów i kryteriów, które nie mogą być łatwo sprowadzone do wartości pieniężnych. Dzięki temu staje się niezastąpionym narzędziem w sytuacjach wymagających kompleksowej analizy złożonych problemów.

W ramach analizy wielokryterialnej można wyróżnić kilka kluczowych etapów, takich jak:

- Precyzyjne określenie celów, które muszą być mierzalne i wyrażone w formie zmiennych. Cele te nie powinny się powielać, ale mogą być wzajemnie alternatywne, co oznacza, że realizacja jednego celu w większym stopniu może częściowo ograniczyć możliwość realizacji innego.
- Po określeniu celów konieczne jest dobranie odpowiedniej techniki agregacji danych oraz przypisanie wag poszczególnym kryteriom, co pozwala na lepsze zrozumienie relatywnego znaczenia każdego z celów w kontekście całej analizy.
- Skonkretyzowanie kryteriów oceny; poszczególne kryteria nawiązywać mogą do priorytetów, które są przyjmowane przez wszystkie zaangażowane strony albo do wnikliwych aspektów oceny.
- Przeprowadzenie analizy oddziaływania: proces ten polega na przypisywaniu, dla każdego ze wcześniej wybranych kryteriów, odpowiednich skutków, które przynosi. Rezultaty te mogą posiadać charakter ilościowy albo jakościowy.
- Prognoza skutków podejmowanej interwencji w stosunku do wybranych kryteriów; poszczególnym wynikom wcześniejszego etapu (tak jakościowym, jak również ilościowym) przypisywana jest odpowiednia punktacja albo wartość znormalizowana (pewnego rodzaju ekwiwalent „pieniędzy” stosowanych w analizie kosztów i korzyści).
- Skonkretyzowanie klasyfikacji podmiotów, które są zaangażowane w interwencję, a także określenie poszczególnych funkcji preferencji (to jest „wag”), które są przyznane według rozmaitych kryteriów.
- W dalszej kolejności, oceny punktowe dla każdego z przyjętych kryterium są agregowane (w praktyce jako suma albo z wykorzystaniem odpowiedniego wzoru nieliniowego), co w praktyce daje ocenę liczbową podejmowanej interwencji; efekt

porównywać można następnie z wynikami pozostałych zbliżonych interwencji (www4).

W ramach niniejszego materiału naukowego zastosowana zostanie wielokryterialna analiza porównawcza. Będzie ona służyła wybraniu takich rozwiązań usprawniających, które pozwolą na maksymalne zwiększenie efektywności procesów logistycznych w ramach łańcuchów dostaw i cyklu produkcyjnego w przykładowej spalarni odpadów komunalnych INTEC.

Zgodnie z literaturą przedmiotu, wielowymiarowa analiza porównawcza (inaczej określana jako metoda WAP) to całkowicie „*spójny formalnie zespół metod statystycznych służących do celowego doboru informacji o elementach pewnej zbiorowości i do wykrywania prawidłowości we wzajemnych relacjach pomiędzy nimi*” (Gorzelak, 1981, s. 16 – 19).

W materiałach źródłowych wskazywane są jednak również i inne definicje dotyczące wielowymiarowej analizy porównawczej. W oparciu o jedną z nich należy wskazać, że jej głównym zadaniem jest uporządkowanie stosunkowo jednorodnego zbioru obiektów (albo cech), aby proces podejmowania decyzji, które dotyczą wyboru obiektu (czy też konkretnej cechy) oparty mógł być o z góry ustalone kryteria (Borys, 1982, s. 9 – 12).

Podjęcie optymalnej decyzji z zastosowaniem metody oceny ważonej składa się z kilku kluczowych etapów, które są niezbędne do osiągnięcia najkorzystniejszego rozwiązania:

1. **Analiza Sytuacji Decyzyjnej:** Pierwszym krokiem jest dokładne rozpoznanie i zdefiniowanie problemu decyzyjnego. Na tym etapie analizowana jest cała sytuacja, kontekst oraz wyzwania, z którymi decydent musi się zmierzyć.
2. **Wyznaczenie Celów:** Kolejnym krokiem jest określenie głównego celu, który ma zostać osiągnięty, oraz sformułowanie celów szczegółowych, które będą wspierały główny cel. Ważne jest, aby cele te były jasne, precyzyjne i mierzalne.
3. **Określenie Kryteriów Decyzyjnych:** Na podstawie wyznaczonych celów oraz oczekiwań decydenta, identyfikuje się kluczowe kryteria decyzyjne. Kryteria te muszą uwzględniać nie tylko cele, ale także ograniczenia, takie jak dostępność zasobów, czas czy inne istotne czynniki, które mogą wpłynąć na decyzję.
4. **Przypisanie Wag Kryteriom:** Każde kryterium otrzymuje odpowiednią wagę, która odzwierciedla jego znaczenie w kontekście całej decyzji. Wagi te mogą być subiektywne, zwłaszcza w decyzjach prywatnych, ale w przypadku decyzji biznesowych powinny wynikać z szerszych celów strategicznych organizacji.

5. **Zbieranie Danych i Formułowanie Opcji Decyzyjnych:** W tym kroku gromadzi się informacje o dostępnych opcjach decyzyjnych i tworzy warianty, które można rozważać. Często przeprowadza się wstępną ocenę wariantów, aby wyeliminować te, które nie spełniają podstawowych kryteriów.
6. **Ocena Wariantów:** Każdy z dostępnych wariantów jest oceniany zgodnie z przyjętymi wcześniej kryteriami. W razie potrzeby, na tym etapie można zebrać dodatkowe dane, aby lepiej ocenić i porównać różne opcje.
7. **Obliczenie Wyników i Ostateczna Ocena:** Po dokonaniu ocen, sumuje się iloczyny wag i ocen dla poszczególnych wariantów. Wariant, który osiągnie najwyższą wartość, jest uznawany za najbardziej optymalny i odpowiedni do realizacji.
8. **Symulacje i Weryfikacja Wyboru:** Aby upewnić się co do trafności decyzji, można przeprowadzić różnorodne symulacje. Poprzez modyfikację wag, wyłączenie niektórych kryteriów lub zmiany ocen częściowych, można zaobserwować, jak różne scenariusze wpływają na wynik końcowy. Symulacje te pozwalają na lepsze zrozumienie konsekwencji wyboru i mogą pomóc w potwierdzeniu, że podjęta decyzja jest najbardziej właściwa. Do tego typu analiz warto wykorzystać narzędzia komputerowe, takie jak MS Excel, które umożliwiają dynamiczne modelowanie i prezentację wyników w formie wykresów. Dzięki temu analiza staje się bardziej elastyczna i przystępna, co ułatwia podejmowanie świadomych decyzji.

Podsumowując, metoda oceny ważonej jest kompleksowym narzędziem, które wspiera proces podejmowania decyzji na każdym etapie. Dzięki niej można nie tylko dokonać wyboru najlepszego rozwiązania, ale także dogłębnie zrozumieć i ocenić różne warianty decyzyjne. To podejście umożliwia podejmowanie decyzji opartych na solidnych analizach i przemyślanych kryteriach, co jest kluczowe w sytuacjach wymagających uwzględnienia wielu zmiennych i czynników.

W tym kontekście można również wskazać, że problematyka realizowania badań empirycznych z zastosowaniem wielowymiarowej analizy porównawczej obejmuje następujące fazy (Jarocka, 2012, s. 28 – 29):

- proces hierarchizacji obiektów, a ponadto zbiorów tego typu elementów w zakresie wielowymiarowej przestrzeni, która składa się z różnego rodzaju cech,
- proces wyodrębnienia jednorodnych, biorąc pod uwagę przesłanki jakościowe (zbliżonych do siebie) zestawów/podzbiorów badanych obiektów,

- proces przebadania konfiguracji strukturalnej różnego rodzaju skupień homogenicznych, a poza tym, realizowanie analizy zależności, które istnieją między poszczególnymi obiektami, a w tym też między badanymi obiektami oraz ich konkretnymi skupieniami,
- proces wybrania zasadniczych cech, a ponadto skonkretyzowanie dla nich odpowiednich wag czy też przeprowadzenia oceny siły razem z kierunkiem ich oddziaływania na daną zmienną o charakterze syntetycznym,
- proces ustalenia metody budowania różnego typu zmiennych o charakterze syntetycznym, zasad procesu normowania, a ponadto agregowania takich zmiennych, wyznaczenie tak zwanych wzorców oraz pozostałe zbliżone działania,
- proces przebadania prawidłowości, które mają charakter dynamiczno–strukturalny odnośnie rozwoju, zbadanie różnego rodzaju optymalnych strategii rozwoju i podobne.

Podstawą do przeprowadzenia wielowymiarowej analizy porównawczej jest stworzenie zagregowanego wskaźnika, znanego w literaturze jako zmienna syntetyczna. Zmienna ta stanowi kluczowy element pozwalający na hierarchizację analizowanych obiektów, uwzględniając złożoność i różnorodność badanych cech czy zjawisk. W praktyce umożliwia to porównywanie obiektów na podstawie wielu różnych kryteriów, co pozwala na bardziej kompleksową ocenę.

Z. Hellwig, będący pionierem w tej dziedzinie, wprowadził koncepcję syntetycznej miary rozwoju w 1968 roku. Jego miara była wykorzystywana do typologicznego podziału obiektów, uwzględniając takie aspekty jak poziom rozwoju, dostępne zasoby czy struktura analizowanych jednostek (Hellwig, 1968, s. 307–326). Dzięki tej innowacyjnej metodzie, badacze mogli bardziej systematycznie oceniać i porównywać różne obiekty, co stanowiło istotny postęp w analizach statystycznych.

Budowa zmiennej syntetycznej może się znacznie różnić w zależności od przyjętych założeń. Kluczowe czynniki wpływające na jej konstrukcję obejmują (Kurkiewicz i in., 1991):

Uwzględnianie stymulantów i destymulantów: Zmienna syntetyczna może uwzględniać zarówno cechy pozytywne (stymulanty), jak i negatywne (destymulanty), które wpływają na końcową ocenę.

Metoda ustalania współrzędnych wzorców rozwoju: Określenie punktu odniesienia, z którym porównywane są inne obiekty, jest kluczowe w konstrukcji zmiennej syntetycznej.

Procedury normowania zmiennych: Proces ten obejmuje przekształcenie różnych zmiennych w taki sposób, aby były one porównywalne, na przykład poprzez standaryzację wartości.

Funkcje agregujące: Te funkcje służą do łączenia różnych zmiennych w jeden wskaźnik syntetyczny, co umożliwia stworzenie jednolitej miary.

Przypisywanie wag cechom diagnostycznym: Wagi przypisane poszczególnym cechom odzwierciedlają ich znaczenie w kontekście badanej zmiennej, co wpływa na końcowy wynik analizy.

Wielowymiarowa analiza porównawcza jest narzędziem, które pozwala na systematyczne porównywanie różnych obiektów za pomocą wielu zmiennych diagnostycznych. Jest to złożony proces, który umożliwia szczegółową analizę zjawisk, które charakteryzują się wieloma aspektami. W analizie tej, obiektami mogą być różnorodne jednostki badawcze, takie jak przedsiębiorstwa, produkty, czy grupy społeczne, a cechy diagnostyczne to specyficzne właściwości tych jednostek, które są istotne w kontekście porównywanych zjawisk (Jankiewicz-Siwek, 1996, s. 23–24).

Głównym celem wielowymiarowej analizy porównawczej jest przekształcenie złożonej przestrzeni wielowymiarowej, składającej się z wielu zmiennych diagnostycznych, w jednowymiarową płaszczyznę reprezentowaną przez zmienną syntetyczną. Dzięki temu możliwe jest uporządkowanie obiektów według stopnia nasilenia danego zjawiska, co jest niezwykle przydatne w sytuacjach, gdy konieczne jest porównanie wielu jednostek w sposób przejrzysty i efektywny.

Literatura przedmiotu wyróżnia różne podejścia do wielowymiarowej analizy porównawczej. Jednym z kluczowych podejść są metody taksonomiczne, które pozwalają na rozwiązywanie problemów związanych z (Jankiewicz-Siwek, 1996, s. 21–26):

Grupowaniem obiektów pod względem podobieństw: Metody te umożliwiają analizę i grupowanie obiektów na podstawie podobieństw w ramach złożonych zjawisk.

Porządkowaniem obiektów: Służą do tworzenia liniowych hierarchii obiektów na podstawie intensywności analizowanego zjawiska, co umożliwia stworzenie logicznej kolejności analizowanych jednostek.

Podsumowując, dla potrzeb badania zastosowanych zostało kilka metod badawczych. Metody te miały wobec siebie charakter uzupełniający. Wnioski i analizy wykazane w ramach studium przypadku, stanowiły następnie punkt wyjścia dla analizy projektowej, jak również dla analizy wielokryterialnej. Zastosowanie w niniejszej analizie kilku różnych metod badawczych jest istotne z punktu widzenia próby całościowego przebadania pojawiających się w logistyce odpadów komunalnych w przedsiębiorstwie XYZ problemów. Ograniczenie się tylko do jednej metody badawczej nie pozwoliłoby na przeprowadzenie analizy.

Rozdział VI. Analiza czynników mających wpływ na funkcjonowania logistyki odpadów z wykorzystaniem spalarni śmieci, ich efektywności oraz propozycja możliwości usprawnień (optymalizacji)

6.1. Analiza możliwości usprawnienia działalności logistycznej prowadzonej przez badaną spalarnię odpadów INTEC

W ramach oceny działalności logistycznej w zakresie zarządzania odpadami komunalnymi prowadzonej przez spalarnię INTEC należy wyróżnić następujące problemy związane z efektywnością tych procesów logistycznych:

- zbyt duża liczba reklamacji związanych z sortowaniem poszczególnych typów odpadów,
- zbyt wysokie koszty prowadzenia działalności bieżącej (koszty związane z przewozami wewnątrzzakładowymi),
- niski poziom terminowości realizowanych pracy, co przekłada się na możliwości realizowania planów średnio i długoterminowych w firmie.

Aby zminimalizować występujące problemy i podnieść efektywność analiz wielokryterialnych w kontekście badanej spalarni odpadów, wprowadzone zostały następujące propozycje usprawniające:

1. **Zwiększenie Liczby Pracowników w Procesie Przerobu Odpadów:** Plan zakłada zwiększenie zatrudnienia zarówno wśród operatorów transportu wewnętrznego, jak i sortowaczy. Taki krok ma na celu zwiększenie przepustowości zakładu, umożliwiając większą skalę przetwarzania odpadów przez przedsiębiorstwo. Warto przy tym zaznaczyć, że firma INTEC dysponuje wystarczającą liczbą środków transportu wewnętrznego, które mogą być efektywnie wykorzystane w całym cyklu przerobowym.
2. **Wdrożenie Nowego Systemu Informatycznego:** W celu usprawnienia logistyki i organizacji pracy, proponuje się wdrożenie nowoczesnego oprogramowania informatycznego. Choć obecnie firma korzysta z rozwiązań IT, które zostały wprowadzone kilka lat temu, dynamiczny rozwój działalności i zmieniające się warunki

rynkowe wymagają aktualizacji tych systemów, aby sprostać nowym wyzwaniom i poprawić efektywność zarządzania operacjami.

3. **Współpraca z Zewnętrznymi Firmami Optymalizacyjnymi:** W celu zredukowania kosztów działalności i zwiększenia efektywności operacyjnej, zaleca się skorzystanie z usług firm specjalizujących się w optymalizacji kosztów. Takie firmy mogą dokładnie przeanalizować strukturę kosztów przedsiębiorstwa, zidentyfikować obszary wymagające poprawy, a następnie wdrożyć programy naprawcze. Warto jednak podkreślić, że współpraca z zewnętrznym doradcą nie wyklucza konieczności wprowadzenia dodatkowych wewnętrznych usprawnień, które mogą być niezbędne w firmie INTEC.
4. **Zwiększenie Automatyzacji Procesów Operacyjnych:** Aby poprawić efektywność przerobu odpadów oraz spełnić wyższe standardy jakości i ochrony środowiska, zaleca się zwiększenie poziomu automatyzacji w procesach zarządzania odpadami komunalnymi. Wyższy stopień automatyzacji pozwoli na bardziej efektywne wykorzystanie zasobów, a także przyczyni się do lepszego przestrzegania norm środowiskowych.
5. **Organizacja Cyklu Szkoleń dla Pracowników:** Proponuje się wprowadzenie kompleksowego programu szkoleń, który obejmować będzie zarówno aspekty związane z transportem, jak i zagadnienia dotyczące spedycji oraz sprzedaży. Taki wieloaspektowy program szkoleniowy ma na celu zwiększenie kompetencji pracowników, co przełoży się na efektywniejsze realizowanie procesów transportowych i poprawę ogólnej wydajności zakładu.

Wybór najbardziej optymalnego rozwiązania usprawniającego w badanym przedsiębiorstwie zostanie dokonany w oparciu o wielokryterialną analizę porównawczą. Wybór tego usprawnienia determinowany będzie maksymalnym wzrostem efektywności procesów logistycznych realizowanych w przedsiębiorstwie INTEC.

W ramach przeprowadzonych badań porównawczych, mających na celu ocenę efektywności rozwiązań usprawniających, początkowo wybrano sześć wskaźników. Jednakże po szczegółowej analizie okazało się, że dwa z nich, a mianowicie dynamika zmiany liczby pracowników oraz koszty szkoleń związanych z wdrożeniem nowych rozwiązań, cechowały się niską zdolnością dyskryminacyjną. Oznaczało to, że wartości tych wskaźników znacząco odbiegały od pozostałych, co mogło prowadzić do niemiarodajnych wyników i fałszywych wniosków. W związku z tym, dalsza analiza skupiła się na czterech kluczowych wskaźnikach,

które lepiej odzwierciedlają skuteczność wprowadzanych usprawnień logistycznych. Oto te wskaźniki:

- Koszt wdrożenia rozwiązania (X1): Mierzony jako procentowy wzrost kosztów operacyjnych w momencie implementacji nowych rozwiązań.
- Czas wdrożenia rozwiązania (X2): Określany jako średnia liczba tygodni potrzebnych na pełne wdrożenie zmian.
- Poziom skrócenia czasu cyklu przerobu (X3): Mierzony jako procentowe skrócenie czasu trwania cyklu przerobu w średniej perspektywie.
- Spadek kosztów bieżącej działalności przewozowej (X4): Oceniany na podstawie procentowego spadku średnich kosztów logistycznych przypadających na jednego klienta po wprowadzeniu zmian.

Wszystkie te wskaźniki mogą być traktowane jako stymulanty, ponieważ ich wzrost przyczynia się do poprawy funkcjonowania procesów logistycznych. Dla kontrastu, jako destymulant przyjęto wskaźnik dynamiki spadku reklamacji związanych z procesami logistycznymi w firmie INTEC. Ten wskaźnik mierzy, jak zmniejszenie liczby reklamacji od klientów wpływa na ocenę wprowadzanych zmian.

Należy również uwzględnić, że wybrane rozwiązania są planowane z myślą o różnych okresach wdrażania, co jest odpowiedzią na zmienne warunki gospodarcze, które szczególnie wpływają na sektor usług logistycznych. Uwzględniono trzy kluczowe okresy: czas stabilnej gospodarki, okres obowiązywania ograniczeń związanych z sytuacją pandemiczną oraz fazę przejściową, czyli okres wychodzenia z ograniczeń i powrotu do normalnych warunków gospodarczych.

Podstawą do przeprowadzenia obliczeń w tej wielokryterialnej analizie porównawczej były dane szacunkowe, które zostały zebrane i przedstawione w tabeli 27. Analiza tych danych pozwoliła na szczegółowe porównanie efektywności poszczególnych rozwiązań oraz na ocenę ich wpływu na poprawę procesów logistycznych w przedsiębiorstwie INTEC. Dzięki temu możliwe było wyciągnięcie bardziej precyzyjnych i wiarygodnych wniosków dotyczących najlepszych praktyk i rekomendacji dla dalszych działań usprawniających. Punktem wyjścia do obliczeń w tej analizie wielokryterialnej są dane szacunkowe przedstawione w zbiorczy sposób w tabeli 27.

Tabela 27. Szacunkowe dane (wskaźniki) zmiennych dla wdrażanych rozwiązań - stymulanty

Propozycje usprawnień	Normalnie wychodząca z zamknięcia				Gospodarka zamknięta w związku z pandemią				Gospodarka funkcjonująca normalnie			
	X1	X2	X3	X4	X1	X2	X3	X4	X1	X2	X3	X4
Zwiększenie liczby pracowników	0,7	5,8	13,4	10,6	0,6	4,2	12,3	9,6	0,4	2,5	9,53	6,9
Wdrożenie nowych rozwiązań IT	1,9	15,7	27,4	22,2	1,6	12,9	27,6	21,9	1,6	12,3	27,4	22,2
Usługi zewnętrznego przedsiębiorstwa optymalizującego	0,3	3,6	5,1	3,5	0,9	10,3	14,4	11,4	1,2	12,4	15,5	12,4
Rozwiązania w zakresie automatyzacji	1,1	11,4	63,6	16,7	1,1	11,5	69,7	20,6	1,1	10,9	72,2	21,3
System szkoleń dla pracowników	19,6	22,6	93,9	76	0,6	0,8	23,6	28,2	5,3	6,8	70,1	58,6

Źródło: (opracowanie własne).

Powyższe szacunkowe dane stanowią bazę wyjściową do dalszej wielokryterialnej analizy porównawczej. Szacunki te są uzyskane w oparciu o informacje uzyskane w ramach wywiadów i analizy dokumentacji przedsiębiorstwa INTEC (jaka została udostępniona dla potrzeb niniejszej pracy). Wartości dotyczących jednostkowych cech zmiennych, które przedstawione zostały w tabeli, zastosowane będą dla wykorzystania dla ustalenia w dalszej części pracy rankingu najkorzystniejszych usprawnień. Wartości ustalonej destymulanty zostały przedstawione natomiast w kolejnym zestawieniu tabelarycznym.

Tabela 28. Wskaźniki dynamiki spadku reklamacji działań realizowanych w ramach zarządzania logistycznego w przedsiębiorstwie INTEC - destymulanty

Rodzaj usprawnienia	Normalnie wychodząca z zamknięcia	Gospodarka zamknięta w związku z pandemią	Gospodarka funkcjonująca normalnie
Zwiększenie liczby pracowników	101	102	104
Wdrożenie nowych rozwiązań IT	104	105	102
Usługi zewnętrznego przedsiębiorstwa optymalizującego	105	102	104
Rozwiązania w zakresie automatyzacji	107	101	103
System szkoleń dla pracowników	106	105	100

Źródło: (opracowanie własne).

Kolejnym istotnym krokiem w ramach przeprowadzanej analizy jest dokładne odniesienie się do wartości poszczególnych stymulantów i destymulantów, które zostały uwzględnione w badaniu. Wartości te odgrywają kluczową rolę w ocenie efektywności i wpływu analizowanych rozwiązań, dlatego ich precyzyjne obliczenie jest niezbędne dla uzyskania wiarygodnych wyników.

Stymulanty, czyli wskaźniki, których wzrost pozytywnie wpływa na analizowane procesy, oraz destymulanty, których wzrost ma wpływ negatywny, zostaną obliczone z wykorzystaniem

odpowiednich formuł statystycznych. Proces ten pozwoli na znormalizowanie i ujednolicenie wartości tych mierników, co umożliwi ich dalsze porównanie oraz wykorzystanie w analizie wielokryterialnej.

W kontekście tego badania, zastosowanie odpowiedniej formuły statystycznej pozwoli na dokładne przeliczenie wartości stymulantów i destymulantów. Obliczenia te są kluczowe, ponieważ umożliwiają stworzenie wskaźników, które są w pełni porównywalne między sobą, niezależnie od ich pierwotnych jednostek miary. Dzięki temu możliwe będzie dokonanie obiektywnej oceny wpływu poszczególnych czynników na wyniki badania oraz wyciągnięcie wniosków dotyczących optymalnych rozwiązań.

Zastosowanie takiej formuły pozwala na redukcję wpływu zmienności jednostkowych wartości wskaźników, co z kolei zwiększa precyzję analizy. Takie podejście zapewnia również, że każdy ze wskaźników jest odpowiednio zważony i uwzględniony w ostatecznej ocenie, co jest kluczowe w kontekście badania, które ma na celu kompleksową ocenę rozwiązań usprawniających.

$$x_i^* = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \cdot 100 \text{ stymulanty}$$
$$x_i^* = \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}} \cdot 100 \text{ destymulanty}$$

Wyniki tych przekształceń są łącznie zaprezentowane w kolejnej tabeli 29.

Tabela 29. Wartości poszczególnych stymulant i destymulant w zakresie wskaźników rozwoju badanych sposobów usprawnienia efektywności działalności logistycznej

Rodzaj usprawnienia	Normalnie wychodząca z zamknięcia					Gospodarka zamknięta w związku z pandemią					Gospodarka funkcjonująca normalnie				
	X1	X2	X3	X4	Reklamacje	X1	X2	X3	X4	Reklamacje	X1	X2	X3	X4	Reklamacje
Zwiększenie liczby pracowników	0,02	0,11	0,09	0,1	1	0	0,28	0	0	0,63	0	0	0	0	0
Wdrożenie nowych rozwiązań IT	0,08	0,64	0,25	0,26	0,55	1	1	0,27	0,67	0	0,22	0,99	0,28	0,3	0,4
Usługi zewnętrznego przedsiębiorstwa optymalizującego	0	0	0	0	0,38	0,35	0,78	0,04	0,1	0,73	0,16	1	0,09	0,11	0
Rozwiązania w zakresie automatyzacji	0,04	0,41	0,66	0,18	0	0,54	0,88	1	0,58	1	0,15	0,85	1	0,28	0,15
System szkoleń dla pracowników	1	1	1	1	0,19	0,03	0	0,2	1	0,02	1	0,44	0,97	1	1
Cechy wskaźnika	S	S	S	S	D	S	S	S	S	D	S	S	S	S	D

Źródło: (opracowanie własne).

Legenda:

S – stymulanta;

D – dystymulanta

Przedstawione wskaźniki należy podsumować. W tym celu wykorzystane zostaną następujące formuły matematyczne:

Wartość sposobu usprawnienia efektywności = Gospodarka normalnie wychodząca z zamknięcia + Gospodarka zamknięta w związku z pandemią + Gospodarka funkcjonująca normalnie

Inaczej można to ująć w poniższy sposób:

Wartość sposobu usprawnienia efektywności = $(X1 + X2 + X3 + X4 + \text{Reklamacje})$ dla gospodarka normalnie wychodząca z zamknięcia + $(X1 + X2 + X3 + X4 + \text{Reklamacje})$ dla gospodarka zamknięta w związku z pandemią koronawirusa + $(X1 + X2 + X3 + X4 + \text{Reklamacje})$ dla gospodarka normalnie funkcjonująca

Zaprezentowane poziomy zestawionych ze sobą zmiennych są zaprezentowane zbiorczo w tabeli 30.

Tabela 30. Suma stymulant oraz destymulant poszczególnych wskaźników porównywanych sposób usprawnień efektywności działalności logistycznej

Rodzaj usprawnienia	Wartość sposobu usprawnienia efektywności
Zwiększenie liczby pracowników	2,2
Wdrożenie nowych rozwiązań IT	6,9
Usługi zewnętrznego przedsiębiorstwa optymalizującego	3,7
Rozwiązania w zakresie automatyzacji	7,7
System szkoleń dla pracowników	9,8

Źródło: (opracowanie własne).

Zgodnie z uzyskanymi wynikami analizy, zauważono, że dwie z rozważanych metod usprawnienia procesów logistycznych wykazały najniższe wartości wskaźników efektywności. Dotyczy to zwiększenia liczby pracowników oraz korzystania z usług zewnętrznych firm specjalizujących się w optymalizacji działalności biznesowej.

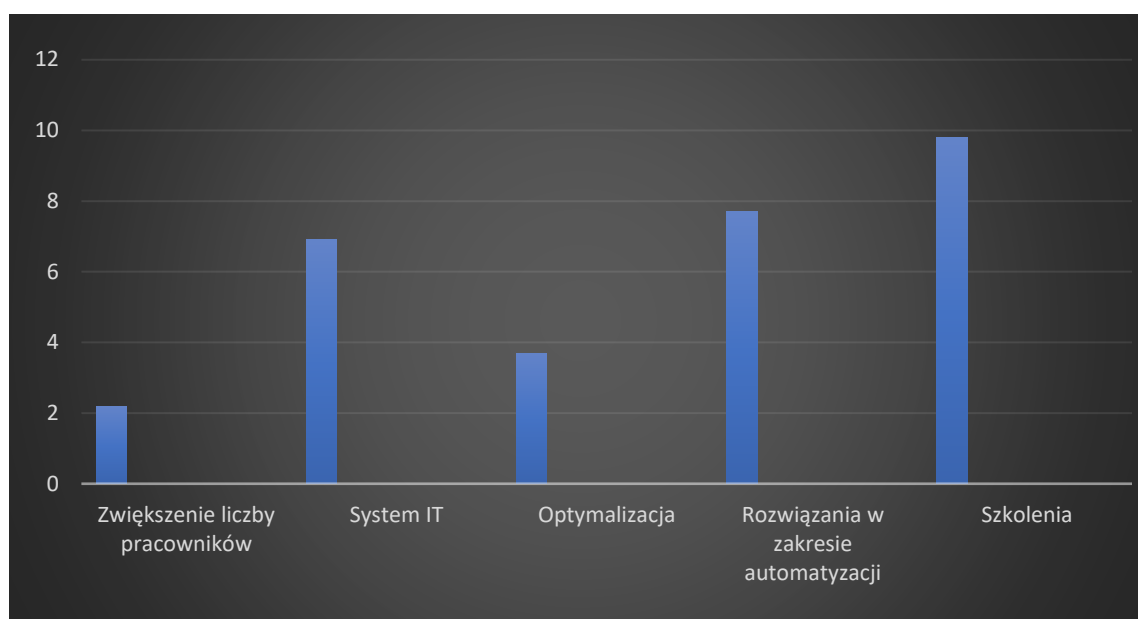
Należy zwrócić uwagę, że te dwa rozwiązania uzyskały najniższe wartości tzw. syntetycznych wskaźników rozwoju spośród wszystkich badanych metod, niezależnie od stanu gospodarki, w jakim były analizowane. W praktyce oznacza to, że proponowane działania mają najmniejszy wpływ na poprawę efektywności procesów logistycznych w porównaniu z innymi rozważanymi opcjami. Wynika z tego, że ich implementacja może przynieść mniejsze korzyści, jeśli celem jest znaczące podniesienie wydajności operacyjnej przedsiębiorstwa.

Z drugiej strony, najwyższe wartości syntetycznych wskaźników rozwoju odnotowano dla rozwiązań związanych z automatyzacją procesów oraz wdrożeniem systemu szkoleń dla pracowników. W szczególności należy zwrócić uwagę na fakt, że wskaźniki związane ze szkoleniami wykazywały relatywnie wysokie wahania, co sugeruje, że ich efekty mogą być trudne do przewidzenia. Może to oznaczać, że choć szkolenia mają potencjalnie duży wpływ na poprawę efektywności, ich rzeczywiste korzyści mogą się różnić w zależności od szeregu zmiennych czynników.

W przypadku automatyzacji procesów sytuacja wygląda inaczej. Wskaźniki efektywności automatyzacji były bardziej stabilne, co może sugerować, że wdrożenie takich rozwiązań przynosi bardziej przewidywalne i trwałe korzyści. Automatyzacja może więc być bardziej niezawodnym narzędziem w dążeniu do zwiększenia wydajności procesów logistycznych w przedsiębiorstwie INTEC.

Aby lepiej zobrazować różnice w efektywności poszczególnych metod usprawnienia, które mogą zostać wdrożone w firmie INTEC, wyniki syntetycznych wskaźników rozwoju zostały przedstawione graficznie na wykresie 5. Wykres ten ilustruje, jak poszczególne rozwiązania wypadają w porównaniu z innymi i pozwala na łatwiejsze zrozumienie, które z nich są najbardziej obiecujące z punktu widzenia efektywności procesów logistycznych. Dzięki takiej wizualizacji, decyzje dotyczące wyboru odpowiednich usprawnień mogą być podejmowane na podstawie bardziej przejrzystych i zrozumiałych danych, co zwiększa szanse na osiągnięcie pożądaných rezultatów.

Wykres 5. Wartości badanych wskaźników (suma)



Źródło: (opracowanie własne).

W oparciu o te dane można przedstawić ranking porównywanych w analizie wielokryterialnej usprawnień.

Tabela 31. Ranking wybranych usprawnień dla efektywności procesów logistycznych w spalarni INTEC

Rodzaj usprawnienia	Lokata
System szkoleń dla pracowników	1
Rozwiązania w zakresie automatyzacji	2
Wdrożenie nowych rozwiązań IT	3
Usługi zewnętrznego przedsiębiorstwa optymalizującego	4
Zwiększenie liczby pracowników	5

Źródło: (opracowanie własne).

Dla celów poznawczych, dokonano analizy oraz zestawienia rankingów poszczególnych rodzajów usprawnień, które były badane w kontekście różnych okresów

gospodarczych na rynku. Celem tej analizy było zrozumienie, jak zmienia się efektywność i priorytetowość poszczególnych rozwiązań w zależności od aktualnych warunków ekonomicznych.

W każdym z analizowanych okresów, które obejmują zarówno stabilne warunki gospodarcze, jak i okresy związane z różnymi kryzysami czy innymi wyzwaniami rynkowymi, dokonano sumowania wartości przebadanych wskaźników. Takie podejście pozwala na precyzyjne określenie, które z proponowanych usprawnień mają największy wpływ na poprawę funkcjonowania przedsiębiorstwa w różnych fazach cyklu gospodarczego.

Wyniki tej analizy zostały przedstawione w formie tabeli, która zawiera sumy poszczególnych wskaźników dla każdego z okresów. Tabela ta umożliwia szybkie porównanie i identyfikację, które rozwiązania okazały się najbardziej efektywne w danych warunkach, a które mogły stracić na znaczeniu w zależności od zmieniających się okoliczności.

Dzięki takiemu zestawieniu, możliwe jest lepsze zrozumienie, jak różne usprawnienia oddziałują na przedsiębiorstwo w zmiennych realiach rynkowych. Tego rodzaju analiza jest nieoceniona dla decydentów, którzy muszą elastycznie dostosowywać strategie operacyjne w odpowiedzi na dynamiczne zmiany w otoczeniu gospodarczym. Uwzględnienie rankingu usprawnień w różnych okresach gospodarczych pozwala na bardziej świadome podejmowanie decyzji, które w dłuższej perspektywie mogą znacząco wpłynąć na zwiększenie efektywności operacyjnej oraz konkurencyjności przedsiębiorstwa.

Tabela 32. Suma stymulant oraz destymulant wskaźników badanych rodzajów usprawnień w różnych okresach rozwoju gospodarczego

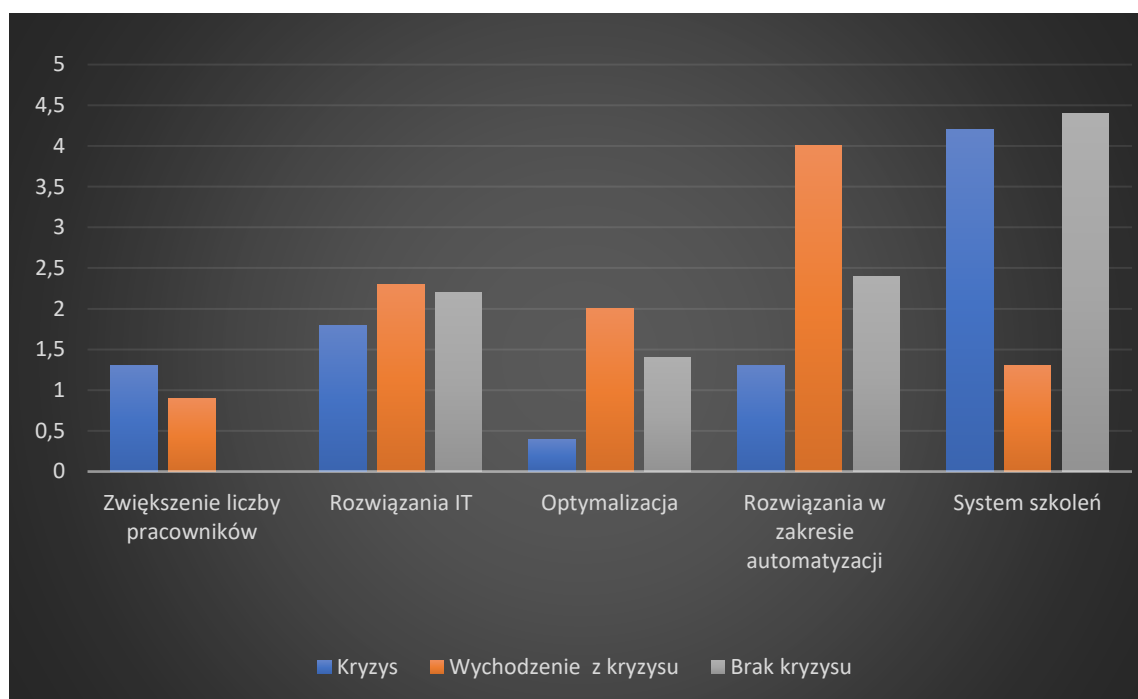
Rodzaj usprawnienia	Normalnie wychodząca z zamknięcia	Gospodarka zamknięta w związku z pandemią	Gospodarka funkcjonująca normalnie
Zwiększenie liczby pracowników	1,3	0,9	0
Wdrożenie nowych rozwiązań IT	1,8	2,9	2,2
Usługi zewnętrznego przedsiębiorstwa optymalizującego	0,4	2	1,4

Rozwiązania w zakresie automatyzacji	1,3	4	2,4
System szkoleń dla pracowników	4,2	1,3	4,4

Źródło: (opracowanie własne).

Graficznie dane te są przedstawione na wykresie 6.

Wykres 6. Wartości wskaźników



Źródło: (opracowanie własne).

Wykres 6 wyraźnie pokazuje, że rozwiązania IT, rozwiązania w zakresie automatyzacji oraz system szkoleń dadzą najlepsze efekty w zakresie usprawnienia procesów logistycznych w badanym przedsiębiorstwie INTEC. Zdecydowanie najgorzej w tej sytuacji będzie oddziaływanie na procesy logistyczne ze strony działania przedsiębiorstw optymalizujących oraz zwiększenia liczby pracowników. W ich przypadku wartości charakteryzowanego wskaźnika statystycznego są najgorsze.

W odniesieniu do badanych rozwiązań, wartości charakteryzowanych wskaźników statystycznych okazują się najmniej korzystne. Dane te wskazują na obszary, w których skuteczność wybranych usprawnień jest najniższa, co może sugerować konieczność ich modyfikacji lub zastąpienia innymi rozwiązaniami.

Na podstawie zaprezentowanych wyników możliwe jest także przeprowadzenie rankingu poszczególnych rozwiązań usprawniających w kontekście różnych scenariuszy gospodarczych.

Taka analiza umożliwia ocenę, które z wprowadzonych działań są najbardziej efektywne w różnych stanach gospodarki, od stabilnych okresów po te związane z kryzysami ekonomicznymi.

Wyniki tej analizy zostały szczegółowo przedstawione w tabeli 33, która zestawia i porównuje skuteczność poszczególnych rozwiązań w różnych warunkach rynkowych. Tabela ta nie tylko ukazuje, które z rozwiązań dominują w poszczególnych scenariuszach, ale także pomaga w identyfikacji tych działań, które mogą być mniej skuteczne lub wręcz nieopłacalne w określonych sytuacjach gospodarczych.

Dzięki takiemu podejściu, przedsiębiorstwo zyskuje cenne narzędzie do lepszego planowania i dostosowywania strategii operacyjnych. Możliwość porównania efektywności usprawnień w różnych warunkach rynkowych pozwala na bardziej elastyczne i świadome podejmowanie decyzji, co może przełożyć się na większą stabilność i sukces w zmieniającym się otoczeniu gospodarczym.

Tabela 33. Ranking wybranych usprawnień dla procesów logistycznych w spalarni INTEC dla różnych stanów rynku

Rodzaj usprawnienia	Normalnie wychodząca z zamknięcia	Gospodarka zamknięta w związku z pandemią	Gospodarka funkcjonująca normalnie
Zwiększenie liczby pracowników	4	5	5
Wdrożenie nowych rozwiązań IT	2	2	3
Usługi zewnętrznego przedsiębiorstwa optymalizującego	5	3	4
Rozwiązania w zakresie automatyzacji	3	1	2
System szkoleń dla pracowników	1	4	1

Źródło: (opracowanie własne).

6.2. Podsumowanie analizy

Przeprowadzona analiza pozwala na stwierdzenie, że w kontekście różnych scenariuszy gospodarczych najskuteczniejszymi inicjatywami, które znacząco usprawniły procesy logistyczne w spalarni odpadów komunalnych INTEC, okazały się wdrożenie rozwiązań automatyzacyjnych oraz programy szkoleniowe dla pracowników. Te dwa podejścia charakteryzowały się najwyższymi i najbardziej stabilnymi wynikami w zakresie poprawy efektywności procesów logistycznych, co potwierdziły zgromadzone dane.

Zarówno w warunkach stabilnej gospodarki, jak i w sytuacjach rynkowych cechujących się dużą zmiennością, rozwiązania związane z automatyzacją oraz szkoleniami pracowników wykazały relatywnie wysokie wskaźniki efektywności. Oznacza to, że niezależnie od zewnętrznych warunków ekonomicznych, te inicjatywy przynoszą trwałe i przewidywalne korzyści dla funkcjonowania spalarni.

Z kolei ocena efektywności wdrożenia rozwiązań informatycznych, choć istotna, wskazuje na przeciętne rezultaty w kontekście poprawy procesów logistycznych w INTEC. Wyniki te sugerują, że chociaż integracja nowoczesnych systemów IT jest konieczna, nie przynosi ona równie wyraźnych korzyści jak automatyzacja czy intensywne szkolenia. Może to oznaczać, że istnieje potrzeba dalszego dopasowania lub rozwoju informatycznych narzędzi, aby mogły one w pełni wspierać cele operacyjne przedsiębiorstwa.

Natomiast rozwiązania polegające na zwiększeniu liczby pracowników oraz korzystaniu z usług zewnętrznych firm specjalizujących się w optymalizacji procesów, okazały się najmniej efektywne. Wprowadzenie tych inicjatyw nie przyniosło oczekiwanych rezultatów w poprawie wydajności logistycznej, co wskazuje na ich ograniczoną przydatność w kontekście specyficznych potrzeb spalarni odpadów komunalnych INTEC.

Podsumowując, analiza jasno wskazuje, że dla osiągnięcia najlepszych wyników w usprawnieniu procesów logistycznych, przedsiębiorstwo powinno skoncentrować się na dalszym rozwijaniu automatyzacji oraz inwestycji w szkolenia pracowników. Z kolei inne inicjatywy, takie jak wdrożenie rozwiązań informatycznych czy zwiększenie zatrudnienia, mogą wymagać dodatkowej oceny i dostosowania do specyficznych warunków i potrzeb

organizacji, aby mogły przynosić bardziej wymierne korzyści. Wskaźniki rozwoju w ich przypadku były znacznie niższe, a ich wpływ na funkcjonowanie procesów logistycznych był minimalny.

Wnioski:

- Wdrożenie rozwiązań automatyzacyjnych oraz systemu szkoleń dla pracowników jest kluczowe dla poprawy procesów logistycznych w spalarni odpadów komunalnych INTEC.
- Propozycje te wykazują wysokie wskaźniki rozwoju i stabilne efekty, zarówno w warunkach stabilnych, jak i zmiennych na rynku.
- Wdrożenie rozwiązań informatycznych, mimo swojej istotności, nie przynosiło optymalnych rezultatów dla procesów logistycznych w badanej spalarni.
- Zwiększenie liczby pracowników oraz korzystanie z usług przedsiębiorstw optymalizujących nie są rekomendowanymi środkami usprawniającymi, jako że ich wpływ na efektywność procesów logistycznych jest minimalny.

W związku z powyższym, rekomendowane jest, aby spalarnia odpadów komunalnych INTEC skoncentrowała się na wdrożeniu rozwiązań automatyzacyjnych oraz systemu szkoleń dla pracowników, rezygnując jednocześnie z zwiększania liczby pracowników oraz korzystania z pomocy przedsiębiorstw optymalizujących.

6.3. Uwarunkowania do model zarządzania odpadami komunalnymi w spalarni odpadów

W zależności od źródła pochodzenia odpady są klasyfikowane na grupy, podgrupy oraz rodzaje, opisane specjalnymi kodami, które są zawarte w rozporządzeniu dotyczącym katalogu odpadów. Odpady komunalne, wraz z selektywnie zbieranymi frakcjami, są sklasyfikowane w grupie 20. W tej grupie znajduje się m.in. kategoria „niesegregowane (zmieszane) odpady komunalne” z kodem 20 03 01 (Rozporządzenie Ministra Klimatu, 2020).

Odpady, w tym komunalne, stanowią problem makroekonomiczny, który jest nierozzerwalnie związany z procesami produkcji, konsumpcji, inwestycji i podziału PKB. Odpady odgrywają istotną rolę na każdym etapie cyklu życia gospodarczego i społecznego, począwszy od pozyskiwania i wykorzystywania zasobów odnawialnych i nieodnawialnych, aż po

eksploatację zasobów naturalnych. Choć często postrzegane są jako źródło marnotrawstwa, odpady mogą również stanowić cenną okazję do ochrony zasobów, umożliwiając ich zachowanie dla przyszłych pokoleń. Mimo że całkowite wyeliminowanie odpadów jest niemożliwe, ich ilość można znacząco zmniejszyć poprzez podniesienie świadomości społecznej, zmiany w stylu życia oraz modyfikacje w strukturze konsumpcji, co obejmuje działania związane z zapobieganiem i prewencją.

Odpady stanowią nieodłączny element gospodarki, a jednocześnie mogą być cennym źródłem surowców wtórnych i paliw, co nadaje im wartość zarówno gospodarczą, jak i społeczną. Jednakże, wyjątek stanowią odpady niebezpieczne, które ze względu na swoje szkodliwe właściwości, takie jak toksyczność, rakotwórczość czy mutagenność, nie posiadają tych pozytywnych atrybutów i wymagają szczególnej uwagi oraz odpowiedzialnego zarządzania (Ustawa o odpadach, 2012).

Przekształcanie odpadów w użyteczne zasoby wymaga jednak nie tylko odpowiednich technologii, ale także zmian w podejściu do gospodarki odpadami. To podejście powinno obejmować całościowe zarządzanie odpadami, które uwzględnia zarówno minimalizację ich powstawania, jak i efektywne wykorzystanie tych, które już powstały. Edukacja społeczeństwa, wprowadzenie bardziej zrównoważonych praktyk konsumpcyjnych oraz inwestycje w nowoczesne technologie przetwarzania odpadów są kluczowymi krokami w kierunku zrównoważonej przyszłości, gdzie odpady przestaną być problemem, a staną się cennym zasobem.

Odpady komunalne są wyodrębniane na podstawie ich źródła, którym jest gospodarstwo domowe. Są one bezpośrednio związane z procesami konsumpcji osób fizycznych, które mają miejsce nie tylko w gospodarstwach domowych, ale także w działalności przemysłowej, usługowej i instytucjonalnej. Komunalne odpady stanowią jedną z grup odpadów, obok przemysłowych, niebezpiecznych, ścieków, odpadów medycznych itp.

Zarządzanie odpadami to wieloaspektowy proces, który obejmuje nie tylko planowanie, wdrażanie, ale także kontrolę różnorodnych działań i technologii związanych z gospodarką odpadami. W jego ramach uwzględnia się szereg istotnych zagadnień, takich jak:

- **Regulacje i normy prawne:** Obejmują one przepisy, wytyczne oraz standardy regulujące wytwarzanie, przetwarzanie i unieszkodliwianie odpadów, zapewniając zgodność z wymogami prawnymi.
- **Strategie gospodarki odpadami:** Opracowywane na poziomie lokalnym, regionalnym, krajowym i międzynarodowym plany, które mają na celu zrównoważone zarządzanie odpadami, dostosowane do specyficznych potrzeb i uwarunkowań każdego poziomu.
- **Sprawozdawczość i monitoring:** Dotyczy ona zbierania, analizowania i raportowania danych o ilości powstających odpadów, ich składzie oraz rodzajach, co jest kluczowe dla skutecznego zarządzania procesami.
- **Analiza odpadów:** Skupia się na szczegółowej charakterystyce odpadów, w tym ich składzie, potencjalnej toksyczności oraz prognozowaniu przyszłych ilości i rodzajów odpadów, co umożliwia lepsze planowanie działań.
- **Zbieranie i transport odpadów:** Dotyczy logistyki związanej z efektywnym zbieraniem odpadów i ich transportem do miejsc przetwarzania lub utylizacji, co jest kluczowe dla optymalizacji całego systemu zarządzania.
- **Przetwarzanie i recykling:** Obejmuje technologie i metody recyklingu, odzysku surowców oraz energii z odpadów, a także ich bezpiecznej utylizacji, co minimalizuje wpływ na środowisko naturalne.
- **Unieszkodliwianie odpadów:** Zajmuje się metodami składowania odpadów, zarządzaniem składowiskami oraz innymi formami unieszkodliwiania odpadów, które nie mogą zostać przetworzone w inny sposób (Wąsowicz, Famielec i Chełkowski, 2018).

Gospodarka odpadami może być rozpatrywana z dwóch perspektyw: procesowej i przedmiotowej. W perspektywie procesowej najważniejsze jest zapobieganie powstawaniu odpadów oraz ich minimalizacja, podczas gdy składowanie jest traktowane jako ostateczność. Celem jest wprowadzenie działań mających na celu redukcję ilości odpadów poprzez recykling i odzysk, co jest zgodne z zasadami zrównoważonego rozwoju.

W ujęciu przedmiotowym koncentruje się na klasyfikacji odpadów według ich pochodzenia i właściwości. Szczególną uwagę zwraca się na odpady komunalne, które powstają w gospodarstwach domowych oraz podobnych jednostkach, o ile nie zawierają odpadów

niebezpiecznych. Te odpady stanowią główny strumień w systemach zarządzania odpadami i wymagają szczególnego podejścia w kontekście ich przetwarzania i unieszkodliwiania.

Zarządzanie odpadami wymaga zintegrowanego podejścia, które uwzględnia nie tylko aspekty technologiczne, ale także regulacyjne i społeczne. Kluczowe znaczenie ma nie tylko skuteczne zarządzanie już istniejącymi odpadami, ale również ciągłe doskonalenie procesów, które mają na celu redukcję ich powstawania oraz promowanie zrównoważonej konsumpcji i produkcji.

Instytucjonalne aspekty gospodarki odpadami komunalnymi obejmują administrację samorządową i centralną oraz normy prawne. Kluczowymi podmiotami są:

- gmina,
- rada gminy,
- powiatowy inspektor sanitarny,
- wojewódzki inspektor ochrony środowiska,
- właściciel nieruchomości,
- podmiot (zakład gminny lub przedsiębiorca) odbierający odpady,
- minister środowiska, minister gospodarki, minister finansów,
- prawo o odpadach, prawo ochrony środowiska, prawo podatkowe, ordynacja podatkowa, ustawa o opłacie produktowej i depozytowej,
- ustawa o samorządzie gminnym,
- prawo antymonopolowe,
- zezwolenie na świadczenie usług i warunki udzielania takich zezwoleń,
- wymagane warunki, np. standardy UE (Wąsowicz, Famielec i Chełkowski, 2018).

Zarządzanie odpadami komunalnymi, obejmujące procesy zbierania, transportu oraz zagospodarowania, ma zarówno charakter publiczny, jak i rynkowy. Rynek w tym kontekście to zespół mechanizmów, które umożliwiają interakcję między producentami odpadów, takimi jak wytwórcy i recyklerzy, a nabywcami surowców wtórnych i odbiorcami odpadów. Kluczowym elementem efektywnego systemu gospodarki odpadami komunalnymi jest współpraca i porozumienie pomiędzy wszystkimi uczestnikami tego procesu.

Współpraca między podmiotami w systemie gospodarowania odpadami powinna prowadzić do osiągnięcia korzyści społecznych i finansowych dla większości, a najlepiej

wszystkich zaangażowanych stron. Ponadto, dobrze zorganizowany system gospodarki odpadami powinien przyczyniać się do korygowania niedoskonałości rynku oraz minimalizowania jego nieefektywności. Aby to osiągnąć, konieczne jest tworzenie odpowiednich struktur instytucjonalnych, w których aktywnie uczestniczą zarówno państwo, jak i samorządy lokalne.

Te struktury instytucjonalne muszą być dostosowane do różnorodnych uwarunkowań i integrować się z wieloma obszarami życia społeczno-gospodarczego. Zintegrowane podejście jest niezbędne, aby efektywnie zarządzać odpadami w sposób, który uwzględnia zarówno aspekty ekonomiczne, jak i środowiskowe, przy jednoczesnym spełnieniu oczekiwań społecznych.

Ostatecznym celem jest stworzenie systemu zarządzania odpadami, który jest nie tylko efektywny, ale również zrównoważony i przynoszący wymierne korzyści wszystkim uczestnikom. Dla jego sukcesu kluczowe jest również wspieranie innowacji, promowanie recyklingu oraz edukacja społeczna, które razem mogą przyczynić się do lepszego zrozumienia i akceptacji procesów związanych z gospodarką odpadami.

W obliczu rosnącej ilości odpadów komunalnych oraz zaostrzenia przepisów dotyczących ochrony środowiska, skuteczne zarządzanie odpadami stało się kluczowym elementem polityki ekologicznej i gospodarczej wielu krajów. Spalarnie odpadów komunalnych odgrywają ważną rolę w systemie gospodarowania odpadami, ponieważ pozwalają na zmniejszenie objętości odpadów trafiających na składowiska oraz odzysk energii (Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, 2021).

Model zarządzania odpadami komunalnymi w spalarniach odpadów jest złożony i obejmuje różnorodne aspekty społeczno-ekonomiczne, techniczne, środowiskowe, prawne oraz związane z zarządzaniem procesami. Poniższy diagram przedstawia kluczowe uwarunkowania, które mają wpływ na funkcjonowanie i efektywność spalarni odpadów.



Rysunek 43. Uwarunkowania ekonomiczno-społeczno-techniczne logistyki odpadów komunalnych w spalarni odpadów

Źródło: opracowanie własne

1. Uwarunkowania Środowiskowe

- Budowa spalarni z nowoczesnymi technologiami i wymogami środowiskowymi.

W projektowaniu i budowie spalarni odpadów kluczowe jest uwzględnienie nowoczesnych technologii, które minimalizują wpływ na środowisko naturalne. Nowoczesne spalarnie są wyposażone w zaawansowane systemy filtracji oraz oczyszczania spalin, które efektywnie redukują emisję szkodliwych substancji, takich jak dioksyny, furany, oraz tlenki azotu i siarki. Stosowanie najnowszych technologii zgodnych z rygorystycznymi normami ekologicznymi zapewnia, że spalarnie działają w sposób przyjazny dla środowiska, chroniąc powietrze, wodę i glebę przed zanieczyszczeniem.

- Energetyczny odzysk

Jednym z istotnych elementów funkcjonowania spalarni odpadów jest odzyskiwanie energii zawartej w odpadach komunalnych. Proces ten pozwala na przekształcenie odpadów w energię elektryczną oraz ciepłą, co nie tylko zmniejsza ilość odpadów składowanych na wysypiskach, ale również przyczynia się do zaspokajania lokalnych potrzeb energetycznych. Dzięki zastosowaniu technologii kogeneracyjnych (CHP - Combined Heat and Power), spalarnie są w

stanie jednocześnie produkować prąd i ciepło, co znacznie podnosi efektywność energetyczną procesu. Taki odzysk energii zmniejsza również emisję gazów cieplarnianych, zastępując energię pochodzącą z paliw kopalnych.

- Zarządzanie procesem spalania i eliminacja wąskich gardeł

Kluczowym aspektem efektywnego działania spalarni jest precyzyjne kontrolowanie procesu spalania. Optymalizacja parametrów takich jak temperatura, czas przebywania odpadów w piecu oraz dostarczanie powietrza pozwala na maksymalne wykorzystanie energii z odpadów przy minimalizacji emisji zanieczyszczeń. Wprowadzenie automatyzacji i zaawansowanych systemów monitorowania umożliwia stałą kontrolę i natychmiastową reakcję na wszelkie odchylenia od normy.

Wąskie gardła, czyli ograniczenia przepustowości, mogą być wyzwaniem w logistyce odpadów. Zwiększenie efektywności spalarni poprzez rozbudowę infrastruktury i optymalizację procesów transportu oraz przetwarzania odpadów pozwala na bardziej płynne funkcjonowanie systemu. Inwestycje w nowoczesne technologie i systemy zarządzania mogą znacząco zwiększyć przepustowość i elastyczność działania spalarni, co jest kluczowe w obliczu zmieniającej się ilości i różnorodności odpadów komunalnych.

2. Uwarunkowania Społeczna Edukacja i świadomość ekologiczna

- Edukacja i świadomość ekologiczna

Podnoszenie poziomu wiedzy ekologicznej oraz zwiększanie świadomości społecznej na temat zarządzania odpadami są kluczowymi elementami skutecznego systemu logistyki odpadów komunalnych. Poprzez kampanie edukacyjne, programy w szkołach oraz różne inicjatywy społeczne, mieszkańcy zdobywają wiedzę o korzyściach płynących z segregacji, recyklingu i innych proekologicznych działań. Wyższa świadomość ekologiczna sprzyja lepszym praktykom segregacji odpadów u źródła, co zwiększa efektywność dalszych procesów przetwarzania i spalania odpadów. Ponadto, wzrost świadomości społecznej prowadzi do większej akceptacji dla spalarni odpadów jako ważnego elementu systemu gospodarowania odpadami.

- Współpraca z przedsiębiorstwami

Efektywna współpraca z lokalnymi firmami jest nieodzowna w rozwijaniu logistyki odpadów komunalnych. Przedsiębiorstwa, które generują znaczne ilości odpadów, mogą współpracować z władzami lokalnymi oraz operatorami spalarni, aby wdrażać zrównoważone praktyki

zarządzania odpadami. Firmy te mogą wprowadzać innowacyjne rozwiązania w zakresie redukcji odpadów, recyklingu oraz optymalizacji transportu odpadów do spalarni. Partnerstwa z sektorem prywatnym umożliwiają także inwestycje w nowoczesne technologie i infrastrukturę, co przyczynia się do zwiększenia efektywności i wydajności systemu gospodarowania odpadami.

- Edukacja ekologiczna

Edukacja ekologiczna i współpraca z przedsiębiorstwami stanowią fundamenty, które wspierają rozwój zrównoważonej logistyki odpadów komunalnych w spalarniach. Poprzez integrację tych dwóch aspektów, możliwe jest osiągnięcie znaczących postępów w efektywności systemu, jednocześnie zmniejszając negatywny wpływ na środowisko i poprawiając jakość życia społeczności.

3. Uwarunkowania Techniczne

- Infrastruktura

Efektywne zarządzanie odpadami komunalnymi w spalarniach wymaga solidnej i dobrze zaplanowanej infrastruktury. Obejmuje ona budynki spalarni, magazyny, instalacje do przyjmowania, sortowania i przetwarzania odpadów oraz drogi wewnętrzne. Kluczowe jest, aby infrastruktura była nowoczesna i zgodna z najnowszymi standardami bezpieczeństwa oraz ochrony środowiska. Nowoczesne technologie i urządzenia, takie jak zaawansowane systemy filtracji i kontrola emisji, są niezbędne do minimalizacji negatywnego wpływu na środowisko. Elastyczność infrastruktury pozwala na dostosowanie się do zmieniających się ilości i rodzajów odpadów, co zwiększa efektywność operacyjną.

- Transport wewnętrzny spalarni

Transport wewnętrzny odpadów w obrębie spalarni jest kluczowy dla sprawnego funkcjonowania całego procesu. Efektywny system transportu, obejmujący taśmy przenośnikowe, wózki widłowe, dźwigi oraz inne urządzenia transportowe, umożliwia szybkie i bezpieczne przemieszczanie odpadów z miejsca odbioru do miejsc, gdzie są przetwarzane lub spalane. Optymalizacja tych procesów wpływa na zmniejszenie kosztów operacyjnych oraz zwiększenie bezpieczeństwa pracy. Automatyzacja transportu wewnętrznego, w tym wykorzystanie systemów informatycznych do zarządzania ruchem, może znacznie poprawić efektywność i precyzję operacji.

- Transport dalekobieżny międzymiastowy

Transport dalekobieżny odpadów między miastami stanowi wyzwanie logistyczne, wymagające precyzyjnego planowania i koordynacji. Wykorzystanie efektywnych i niezawodnych środków transportu, takich jak ciężarówki, kontenery czy pociągi, jest kluczowe dla przewozu dużych ilości odpadów na znaczne odległości. Planowanie tras transportowych ma na celu minimalizację czasu i kosztów podróży, a także redukcję emisji zanieczyszczeń. Wdrażanie nowoczesnych technologii, takich jak systemy GPS do monitorowania pojazdów i optymalizacji tras, może przyczynić się do bardziej ekologicznego i ekonomicznego transportu.

- Transport miejski

Transport odpadów w granicach miast wymaga szczególnej uwagi ze względu na wysoką gęstość zaludnienia i ograniczenia infrastrukturalne. Kluczowe jest, aby transport odbywał się w sposób minimalizujący zakłócenia ruchu miejskiego oraz hałas. Wykorzystanie pojazdów spełniających rygorystyczne normy emisji spalin oraz optymalizacja tras zbiórki odpadów może znacznie poprawić efektywność i ekologiczność miejskiego transportu odpadów. Dodatkowo, regularne szkolenia dla kierowców oraz wprowadzenie systemów monitorowania floty mogą przyczynić się do poprawy bezpieczeństwa i wydajności.

- Systemy informatyczne wspomagane AI

Zaawansowane systemy informatyczne, wspierane przez sztuczną inteligencję (AI), odgrywają kluczową rolę w zarządzaniu logistyką odpadów komunalnych. AI pozwala na monitorowanie i analizowanie danych operacyjnych w czasie rzeczywistym, co umożliwia optymalizację procesów i szybkie reagowanie na wszelkie problemy. Systemy te mogą zarządzać planowaniem tras, alokacją zasobów oraz kontrolą jakości, co prowadzi do zwiększenia efektywności i redukcji kosztów. AI może także przewidywać zapotrzebowanie na usługi oraz identyfikować potencjalne problemy zanim się pojawią, co pozwala na proaktywne podejście do zarządzania odpadami. Implementacja takich systemów zwiększa również transparentność i odpowiedzialność w całym procesie gospodarowania odpadami .(Aspekt, 2024).

4. Uwarunkowania Ekonomiczne

- Ceny za usługi wywozu odpadów dla jednego mieszkańca

Koszt wywozu odpadów komunalnych stanowi istotny element ekonomiczny, który wpływa na rozwój systemu gospodarowania odpadami. Opłaty te muszą być skalkulowane tak, aby pokrywać wszystkie koszty związane z zbieraniem, transportem, przetwarzaniem i spalaniem odpadów. Równocześnie ceny muszą być akceptowalne dla mieszkańców, aby nie stanowiły

zbyt dużego obciążenia finansowego. Wysokość opłat może również wpływać na zachowania konsumenckie; na przykład, systemy oparte na zasadzie "płacisz za to, co wyrzucasz" mogą skutecznie motywować mieszkańców do ograniczania ilości generowanych odpadów oraz lepszej segregacji.

- Regionalne ulgi podatkowe

Regionalne ulgi podatkowe są istotnym narzędziem wspierającym rozwój infrastruktury gospodarki odpadami. Mogą one obejmować różnego rodzaju zwolnienia lub obniżki podatków od nieruchomości, dochodowych, a także innych obciążeń fiskalnych dla firm zajmujących się gospodarką odpadami. Takie ulgi mogą zachęcać przedsiębiorstwa do inwestowania w nowoczesne technologie oraz rozbudowę infrastruktury. Efektem tego są bardziej efektywne i ekologiczne rozwiązania w zarządzaniu odpadami, co przynosi korzyści zarówno ekonomiczne, jak i środowiskowe. Ponadto, ulgi podatkowe mogą stymulować tworzenie nowych miejsc pracy w sektorze gospodarki odpadami, co pozytywnie wpływa na lokalną gospodarkę (Dz.U. 1996 nr 132 poz. 622).

- Systemy finansowania (dotacje, kaucje)

Systemy finansowania, takie jak dotacje i systemy kaucyjne, odgrywają kluczową rolę w ekonomicznym wsparciu gospodarki odpadami. Dotacje, które mogą pochodzić z funduszy rządowych lub międzynarodowych, umożliwiają realizację projektów związanych z modernizacją infrastruktury spalarni, wdrażaniem nowych technologii oraz edukacją ekologiczną. Takie wsparcie finansowe pozwala na realizację projektów, które w innym przypadku byłyby zbyt kosztowne. Systemy kaucyjne, polegające na zwrocie określonej kwoty za oddane opakowania i inne przedmioty, zachęcają konsumentów do recyklingu, zmniejszając tym samym ilość odpadów trafiających do spalarni.

- Wykorzystanie środków unijnych

Środki unijne stanowią ważne źródło finansowania projektów związanych z gospodarką odpadami. Fundusze takie jak Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego (EFRR) oraz Fundusz Spójności oferują wsparcie finansowe na inwestycje w nowoczesną infrastrukturę, badania i rozwój technologii oraz programy edukacyjne. Projekty wspierane przez fundusze unijne muszą spełniać określone kryteria, co zapewnia ich wysoką jakość i zgodność z normami ochrony środowiska. Dzięki funduszom unijnym możliwa jest realizacja dużych projektów infrastrukturalnych, które znacząco poprawiają efektywność systemu zarządzania odpadami,

redukuja emisje zanieczyszczeń i zwiększają efektywność energetyczną. Ponadto, środki unijne wspierają współpracę międzynarodową, umożliwiając wymianę doświadczeń i najlepszych praktyk między różnymi krajami członkowskimi.

5. Uwarunkowania Prawne

- Przepisy prawne Unii Europejskiej

Regulacje prawne Unii Europejskiej mają kluczowe znaczenie dla kształtowania polityki zarządzania odpadami komunalnymi w krajach członkowskich. Dyrektywa o Odpadach (2008/98/WE) stanowi fundament prawny, promując hierarchię postępowania z odpadami, która obejmuje zapobieganie powstawaniu odpadów, ponowne użycie, recykling, odzysk oraz unieszkodliwianie. Dyrektywa ta nakłada na państwa członkowskie obowiązek opracowania krajowych planów gospodarki odpadami oraz programów zapobiegania powstawaniu odpadów, co wymusza modernizację infrastruktury i technologii w zakresie gospodarki odpadami.

Dyrektywa w sprawie składowisk odpadów (1999/31/WE) zobowiązuje kraje członkowskie do ograniczenia ilości odpadów składowanych na wysypiskach, zwłaszcza odpadów biodegradowalnych. W rezultacie, spalarnie odpadów stają się kluczowym elementem systemu gospodarowania odpadami, ponieważ oferują alternatywne rozwiązanie dla składowania. Dyrektywa o opakowaniach i odpadach opakowaniowych (94/62/WE) wspiera recykling i odzysk materiałów z odpadów opakowaniowych, co wpływa na optymalizację logistyki odpadów komunalnych. Implementacja tych dyrektyw wymaga od państw członkowskich nie tylko dostosowania swojego prawa, ale również inwestycji w nowoczesne technologie i infrastrukturę. Regularne raportowanie postępów w realizacji celów unijnych mobilizuje kraje członkowskie do skutecznego wdrażania przepisów, co przyczynia się do rozwoju spalarni odpadów.

- Przepisy prawne RP

Polskie przepisy dotyczące zarządzania odpadami komunalnymi są zgodne z regulacjami Unii Europejskiej i obejmują szereg istotnych aktów prawnych. Jednym z najważniejszych dokumentów jest Ustawa o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 roku (Dz.U. 2013 poz. 21), która precyzyjnie określa zasady zapobiegania powstawaniu odpadów oraz procedury związane z ich zbieraniem, transportem, przetwarzaniem i unieszkodliwianiem. Ustawa ta nakłada również

obowiązki na posiadaczy odpadów, zobowiązując ich do stosowania odpowiednich metod gospodarowania odpadami, które są zgodne z wymogami ochrony środowiska.

Równie istotna jest Ustawa o utrzymaniu czystości i porządku w gminach (Dz.U. 1996 nr 132 poz. 622), która nakłada na gminy obowiązek zapewnienia skutecznego systemu zarządzania odpadami komunalnymi. Ustawa ta szczegółowo reguluje zasady selektywnej zbiórki odpadów, co jest kluczowe dla zwiększenia efektywności recyklingu oraz minimalizacji ilości odpadów trafiających na składowiska. Ponadto, ustawa ta określa zasady finansowania systemu gospodarowania odpadami, zobowiązując gminy do opracowywania i realizacji lokalnych planów gospodarki odpadami, które muszą być zgodne z krajową polityką w tym zakresie.

W efekcie, polskie prawo nie tylko dostosowuje się do unijnych standardów, ale także precyzyjnie określa obowiązki i odpowiedzialność poszczególnych podmiotów, w tym gmin, w zakresie zarządzania odpadami. Wspólne działanie na poziomie lokalnym i krajowym, wsparte odpowiednimi przepisami, ma na celu stworzenie efektywnego, zrównoważonego systemu gospodarowania odpadami, który chroni środowisko i zdrowie publiczne.

Przepisy prawa ochrony środowiska (Dz.U. 2001 nr 62 poz. 627) oraz ustawa o zużytym sprzęcie elektrycznym i elektronicznym (Dz.U. 2005 nr 180 poz. 1495) mają istotne znaczenie dla zarządzania odpadami, w tym odpadami niebezpiecznymi. Regulacje te określają standardy dotyczące emisji zanieczyszczeń i wymagania technologiczne dla spalarni, co wpływa na wybór i wdrażanie odpowiednich technologii.

- Przepisy prawne regionalne i gminne

Na poziomie regionalnym i gminnym przepisy prawne mogą być dostosowane do specyficznych warunków lokalnych. Gminy są zobowiązane do tworzenia lokalnych planów gospodarki odpadami, które muszą być zgodne z krajowymi i unijnymi regulacjami, ale mogą być dostosowane do lokalnych potrzeb i uwarunkowań. Przepisy gminne często definiują szczegółowe zasady segregacji odpadów, harmonogramy odbioru oraz wysokość opłat za wywóz odpadów.

Regionalne ulgi podatkowe oraz programy wsparcia finansowego dla inwestycji w infrastrukturę do zarządzania odpadami mogą być regulowane przez przepisy lokalne. Gminy

mogą oferować różnego rodzaju zachęty dla mieszkańców i przedsiębiorstw, aby promować redukcję odpadów oraz recykling, co wspiera rozwój zrównoważonej logistyki odpadów.

Regionalne przepisy dotyczące ochrony środowiska mogą nakładać dodatkowe wymagania na spalarnie odpadów, takie jak limity emisji, standardy technologiczne oraz procedury monitoringu. Lokalne władze mogą również współpracować z przedsiębiorstwami, aby promować najlepsze praktyki w zakresie gospodarki odpadami, co przyczynia się do poprawy efektywności oraz zrównoważonego rozwoju systemu zarządzania odpadami komunalnymi.

6. Uwarunkowania Zarządzania procesem spalania odpadów

- Monitoring i kontrola

Efektywne zarządzanie procesem spalania odpadów komunalnych wymaga ciągłego monitoringu i precyzyjnej kontroli, aby zapewnić optymalne działanie spalarni oraz minimalizować negatywny wpływ na środowisko. Monitoring obejmuje systematyczne pomiary kluczowych parametrów operacyjnych, takich jak temperatura spalania, ciśnienie, skład spalin oraz poziomy emisji zanieczyszczeń. Zaawansowane technologie, w tym systemy informatyczne i sztuczna inteligencja (AI), umożliwiają bieżące śledzenie i analizę tych parametrów w czasie rzeczywistym. Taki ciągły nadzór pozwala na natychmiastowe reagowanie na wszelkie nieprawidłowości, co przekłada się na utrzymanie wysokiego standardu działania oraz zgodności z normami prawnymi i środowiskowymi.

- Zarządzanie ryzykiem

Zarządzanie ryzykiem w kontekście spalania odpadów obejmuje identyfikację, ocenę i kontrolę potencjalnych zagrożeń, które mogą wpłynąć na procesy operacyjne oraz na środowisko. Kluczowe ryzyka to awarie techniczne, przekroczenia norm emisji zanieczyszczeń, wypadki związane z transportem i magazynowaniem odpadów oraz kwestie bezpieczeństwa pracy. Skuteczne zarządzanie ryzykiem wymaga opracowania i wdrożenia strategii prewencyjnych, planów awaryjnych oraz systemów wczesnego ostrzegania. Regularne przeglądy i aktualizacje procedur zarządzania ryzykiem są niezbędne, aby dostosować się do zmieniających się warunków i technologii, zapewniając ciągłość działania i minimalizację ryzyka.

- Zarządzanie kadrami

Skuteczne zarządzanie kadrami jest kluczowe dla zapewnienia płynnego i bezpiecznego funkcjonowania spalarni odpadów. Pracownicy muszą posiadać odpowiednie kwalifikacje i

regularnie uczestniczyć w szkoleniach dotyczących najnowszych technologii oraz procedur bezpieczeństwa. Programy rozwoju zawodowego, szkolenia z zakresu zarządzania odpadami oraz bezpieczeństwa i higieny pracy (BHP) są niezbędne, aby zwiększyć kompetencje personelu i poprawić efektywność operacyjną. Dodatkowo, motywowanie pracowników poprzez systemy wynagrodzeń, benefity oraz możliwości awansu może zwiększyć ich zaangażowanie i lojalność, co jest kluczowe dla długoterminowego sukcesu spalarni.

- Analiza i rozwój

Systematyczna analiza danych operacyjnych oraz rozwój technologiczny są kluczowe dla ciągłego doskonalenia procesów spalania odpadów. Regularne analizy pozwalają na identyfikację obszarów wymagających usprawnień oraz ocenę efektywności wdrożonych rozwiązań. Inwestycje w badania i rozwój (R&D) mogą prowadzić do opracowania nowych technologii i metod, które zwiększają efektywność energetyczną, redukują emisje zanieczyszczeń oraz poprawiają ogólną wydajność spalarni. Współpraca z ośrodkami badawczymi, uniwersytetami oraz partnerami przemysłowymi może przynieść innowacyjne rozwiązania, które będą korzystne zarówno dla środowiska, jak i dla ekonomicznej strony działalności.

- Zwiększenie ilości punktów mechanicznej segregacji oraz spalarni

Rozbudowa infrastruktury, w tym zwiększenie liczby punktów mechanicznej segregacji odpadów oraz spalarni, jest niezbędna do skutecznego zarządzania rosnącą ilością odpadów komunalnych. Punkty mechanicznej segregacji umożliwiają bardziej efektywne oddzielanie różnych frakcji odpadów, co zwiększa efektywność recyklingu oraz zmniejsza ilość odpadów przeznaczonych do spalania. Zwiększenie liczby spalarni, wyposażonych w nowoczesne technologie, pozwala na lepsze rozłożenie obciążenia operacyjnego oraz skrócenie odległości transportu odpadów, co redukuje koszty i emisje związane z transportem. Dodatkowo, rozbudowa infrastruktury wspiera lokalne gospodarki poprzez tworzenie nowych miejsc pracy oraz promowanie zrównoważonego rozwoju.

Te uwarunkowania zarządzania procesem spalania odpadów są kluczowe dla zrównoważonego i efektywnego systemu gospodarowania odpadami komunalnymi. Zapewniają one nie tylko optymalne działanie spalarni, ale również minimalizują negatywny wpływ na środowisko oraz poprawiają ogólną wydajność i ekonomiczność systemu zarządzania odpadami.

Wnioski

Współczesne zarządzanie odpadami komunalnymi wymaga kompleksowego podejścia, które integruje różnorodne aspekty techniczne, ekonomiczne, prawne, społeczne i środowiskowe. Model zarządzania odpadami komunalnymi w spalarniach odpadów przedstawiony w niniejszym opracowaniu uwzględnia te wieloaspektowe uwarunkowania, zapewniając skuteczność i efektywność całego systemu. Wnioski płynące z analizy poszczególnych uwarunkowań wskazują na kluczowe elementy, które muszą być uwzględnione, aby system zarządzania odpadami działał zgodnie z założeniami zrównoważonego rozwoju oraz spełniał wymogi prawne i ekologiczne. Poniżej przedstawiono syntetyczne wnioski, które podsumowują najważniejsze spostrzeżenia i rekomendacje wynikające z analizy tego modelu.

1. Zwiększenie efektywności segregacji i recyklingu odpadów
 - Edukacja ekologiczna i współpraca z przedsiębiorstwami są kluczowe dla poprawy jakości segregacji odpadów.
 - Punkty segregacji odpadów powinny być wyposażone w nowoczesne technologie, które ułatwiają oddzielanie materiałów nadających się do recyklingu.
2. Modernizacja infrastruktury spalarniczej
 - Konieczna jest rozbudowa i modernizacja infrastruktury, w tym transportu wewnętrznego i dalekobieżnego, oraz zastosowanie zaawansowanych systemów informatycznych wspomaganych AI.
 - Wdrażanie nowoczesnych technologii i zgodność z wymogami środowiskowymi są niezbędne do poprawy efektywności operacyjnej spalarni.
3. Optymalizacja kosztów i wykorzystanie funduszy
 - Transparentne ustalanie cen za usługi wywozu odpadów oraz wprowadzenie regionalnych ulg podatkowych mogą zwiększyć akceptację społeczną i finansową stabilność systemu.
 - Efektywne wykorzystanie środków unijnych jest kluczowe dla finansowania inwestycji w infrastrukturę i technologie przetwarzania odpadów.
4. Zgodność z przepisami i regulacjami
 - Przestrzeganie krajowych i unijnych przepisów oraz lokalnych regulacji jest kluczowe dla legalności i skuteczności działań w zakresie zarządzania odpadami.
 - Stały monitoring i kontrola procesów są niezbędne dla zapewnienia zgodności z normami ekologicznymi.
5. Zrównoważone zarządzanie środowiskiem

- Budowa spalarni z uwzględnieniem nowoczesnych technologii i wymogów środowiskowych minimalizuje negatywny wpływ na środowisko.
- Odzysk energii z odpadów może przyczynić się do zrównoważonego rozwoju i redukcji kosztów operacyjnych.

6. Skuteczne zarządzanie operacjami

- Efektywne zarządzanie zasobami ludzkimi oraz ciągła analiza i rozwój procesów operacyjnych są kluczowe dla utrzymania wysokiej jakości usług.
- Zwiększenie liczby punktów mechanicznej segregacji oraz spalarni może poprawić efektywność całego systemu zarządzania odpadami.

6.4. Założenia modelu zarządzania logistycznego odpadami komunalnymi na przykładzie spalarni odpadów XYZ

Punktem wyjścia dla wdrożenia usprawnień jakie zostały skonkretyzowane w ramach projektu jest przedstawienie podstawowych założeń do prowadzonej analizy. Założenia te mogą być podzielone na kilka płaszczyzn, które zostaną krótko omówione.

Pierwsza z nich to założenia geograficzne. Badana spalarnia odpadów jest położona na terenie miasta ABC. Miasto to liczy 770 tysięcy mieszkańców. Wraz z okolicznymi gminami, teren obsługi klientów przez badaną spalarnię odpadów liczy około miliona. Spalarnia ta jest położona przy jednej z głównych dróg wjazdowych, na obrzeżach miasta. Zlokalizowanie instalacji spalania odpadów komunalnych przy jednej z głównych tras komunikacyjnych w mieście w zapewnia je relatywnie szybkie połączenie z innymi częściami aglomeracji. Podnosi to jakość i szybkość dostaw, które są realizowane z punktów odbioru odpadów bezpośrednio do spalarni XYZ. Uwarunkowania dotyczące dostarczania odpadów komunalnych do badanej spalarni od klientów należy ocenić bardzo dobrze. Nie będzie dochodziło do zatorów komunikacyjnych, kiedy będzie ona ewentualnie rozbudowana, czy też powiększy swoją odpowiedzialność. Warunki dostaw do analizowanej spalarni odpadów nie zostaną w przyszłości zatem zakłócone coraz większą liczbą pojazdów jakie będą dostarczały odpady komunalne do spalarni XYZ. Logistyka dostaw nie jest czynnikiem krytycznym, który może oddziaływać maksymalną efektywność wykorzystywania analizowanej spalarni.

W tym przypadku należy również wskazać, że najbliższe budynki mieszkalne są położone w odległości około 1,5 kilometra od spalarni odpadów komunalnych XYZ. Bliżej

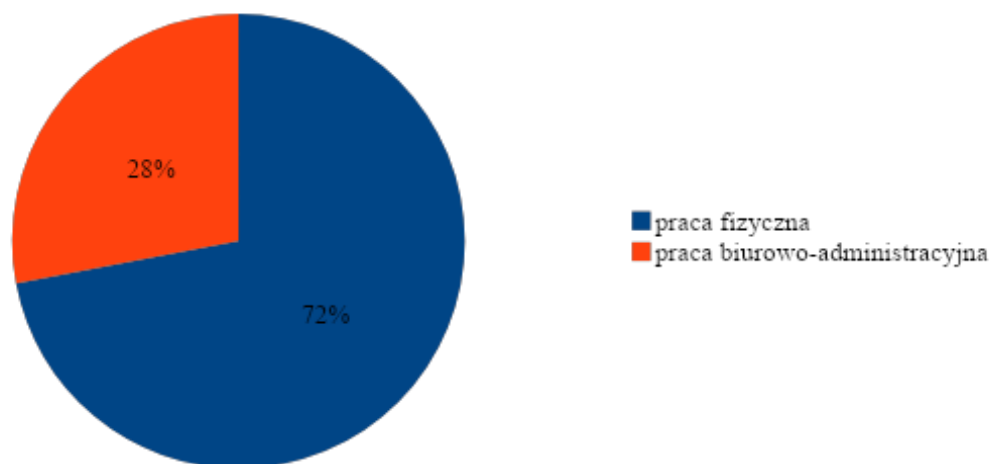
umiejscowiony jest obiekt usługowy, obiekty magazynowe oraz produkcyjne. Najbliżej zlokalizowana jest natomiast oczyszczalnia ścieków komunalnych (około 800 metrów od spalarni odpadów komunalnych XYZ). Wokół analizowanej instalacji znajdują się nieużytki rolne, które znajdują się we własności miasta ABC. Na tej podstawie można założyć, że ewentualna rozbudowa instalacji spalania odpadów komunalnych XYZ będzie mogła uwzględniać zwiększenie obszaru jaki jest zagospodarowany przez przez ten podmiot. Nie ma ograniczeń w tym zakresie co do przede wszystkim wymaganej odległości tworzenia spalarni odpadów komunalnych w pobliżu zabudowań mieszkalnych.

Poza uwarunkowania geograficznymi, można również podkreślić czynniki o charakterze społecznym. Należy przyjąć, że wszelkie zmiany w opisywanej spalarni odpadów komunalnych będą w bezpośredni sposób oddziaływać na kadrę pracowniczą. Zgodnie z danymi uzyskanymi z spalarni odpadów XYZ, na koniec czerwca 2023 roku, w podmiocie tym zorganizowanych było 75 etatów, z czego:

- 54 etaty dotyczyły pracowników fizycznych zajmujących się logistyką oraz bezpośrednią obsługą linii produkcyjnej (w tym dotyczy to służb utrzymania technicznego analizowanej instalacji),
- 21 etatów można określić jako pracownicy administracyjno – biurowi.

Struktura procentowa zatrudnionych pracowników (w przeliczeniu na pełne etaty) w opisywanej spalarni odpadów komunalnych XYZ jest przedstawiona na wykresie 7.

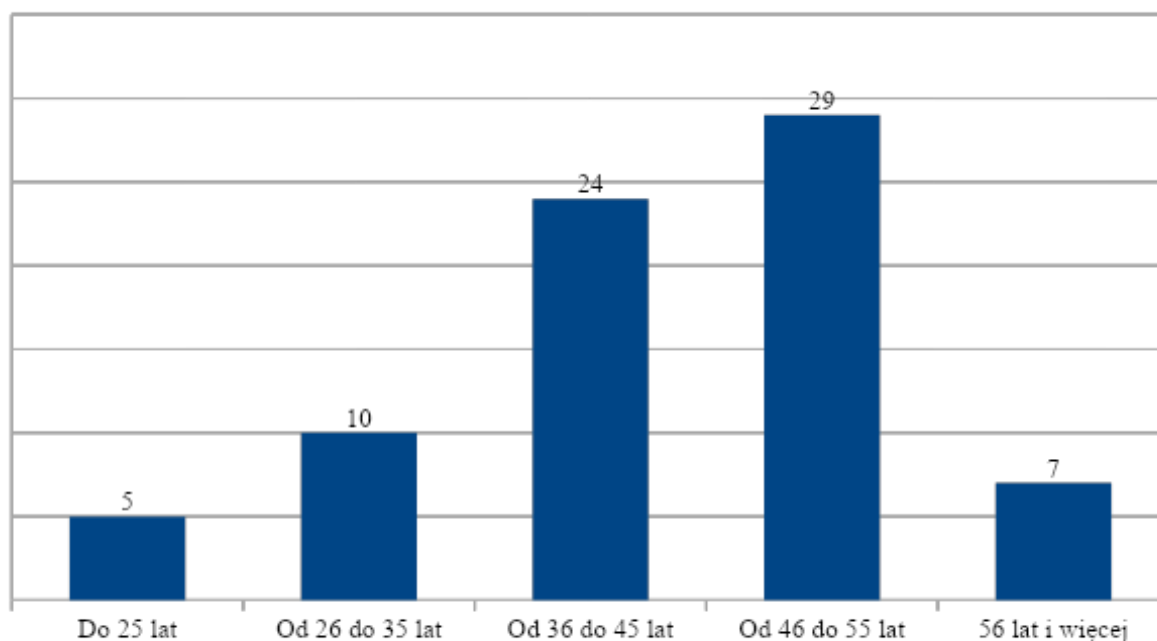
Wykres 7. *Struktura etatów w spalarni odpadów komunalnych XYZ w oparciu o kryterium rodzaju wykonywanej pracy*



Źródło: opracowanie własne

Zgodnie z przedstawionymi danymi należy wskazać, że zdecydowana większość pracowników obsługujących spalarnię odpadów komunalnych XYZ realizuje czynności fizyczne. Było to 72% wszystkich etatów w tym przedsiębiorstwie. Pozostałe 28% pracowników zajmuje natomiast etaty administracyjno – biurowe. Analizując uwarunkowania i założenia przygotowywanego modelu należy nadmienić również, że jednym z potencjalnych problemów jaki może spotkać wszelkie zmiany usprawniające w spalarni odpadów komunalnych XYZ są pracownicy, którzy będą stawiali przed nimi opór. W związku z tym, konieczne jest przedstawienie struktury wiekowej zatrudnionych pracowników. Jest ona zaprezentowana na wykresie 8.

Wykres 8. *Struktura wiekowa pracowników spalarni odpadów komunalnych XYZ (stan na koniec czerwca 2023 roku)*

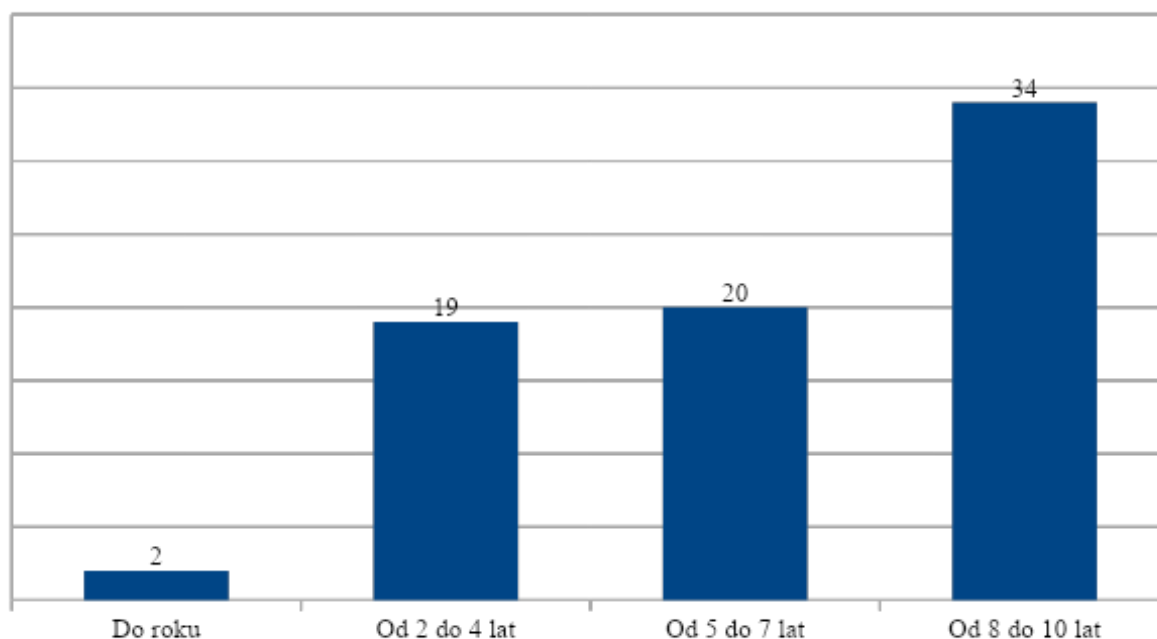


Źródło: opracowanie własne

Największa grupa pracowników w spalarni odpadów komunalnych XYZ to osoby znajdujące się w przedziale wiekowym od 46 do 55 lat. Stanowią oni 38% wszystkich etatów. Kolejne 32% etatów jest objętych przez osoby znajdujące się w wieku od 36 do 45 lat. W dalszej kolejności należy wskazać na 13% etatów, którzy mają wiek od 26 do 35 lat. Z kolei pracownicy mający 56 lat i więcej stanowią 9% wszystkich zatrudnionych w spalarni odpadów komunalnych XYZ. Pozostałe 6% pracowników to natomiast osoby znajdujące się w wieku do 25 roku życia.

Dla analizy ewentualnego oporu pracowników przed wdrażanymi zmianami należy również wskazać na doświadczenie zawodowe pracowników. W tym kontekście należy zastrzec, że spalarnia odpadów komunalnych XYZ funkcjonuje od 2013 roku. W związku z tym, maksymalny poziom doświadczenia zawodowego w momencie prowadzenia niniejszej analizy wynosi 10 lat. Struktura doświadczenia zawodowego wśród pracowników analizowanego przedsiębiorstwa (spalarni odpadów komunalnych XYZ) jest przedstawiona na wykresie 9.

Wykres 9. *Struktura doświadczenia zawodowego pracowników spalarni odpadów komunalnych XYZ (stan na koniec czerwca 2023 roku)*



Źródło: opracowanie własne

Najliczniejsza grupa pracowników analizowanej spalarni odpadów komunalnej XYZ to osoby z doświadczeniem zawodowym w tym podmiocie wynoszącym od 8 do 10 lat. Jest to 45% wszystkich zatrudnionych. Następne 26% zatrudnionych osób posiada doświadczenie zawodowe w tym podmiocie wynoszące od 5 do 7 lat. W dalszej kolejności należy wskazać na 25% pracowników, którzy w spalarni odpadów komunalnych XYZ pracują od 2 do 4 lat. Pozostałe 4% pracowników to z kolei osoby z doświadczeniem w tym podmiocie wynoszącym do roku.

Odnosząc się do powyższych danych należy przyjąć założenie, że zmiany usprawniające w badanym podmiocie będą posiadały określony wpływ na zatrudnionych pracowników. W związku z tym konieczne będzie podejmowanie odpowiednich działań w zakresie polityki personalnej.

Trzecia płaszczyzna z podejmowanej analizy założeń projektu usprawniającego to obszar finansowy. Jasne jest, że wszelkie zmiany organizacyjne, techniczne i strukturalne jakie będą podejmowane w ramach spalarni odpadów komunalnych XYZ wymagały będą odpowiedniego ich finansowania. Jednocześnie należy wskazać, że spalarnia ta jest zarządzana przez Holding Komunalny działający w formie spółki akcyjnej. Została ona powołana do istnienia przez radę miasta ABC w celu zoptymalizowania oraz zorganizowania wszelkich

spraw komunalnych na terenie miasta ABC w ramach jednej spółki. Dokładniej analizując dokumenty założycielskie tej spółki należy wskazać, że jest to (pod względem prawnym) jednoosobowa spółka Gminy Miejskiej ABC. Dla potrzeb prowadzonej analizy sprawdzić jak wyglądają wyniki finansowe tej spółki. Jest to ważne, z punktu widzenia możliwości finansowania zmian oraz inwestycji w badanej spółce odpadów komunalnych XYZ.

Na podstawie wyników finansowych opisywanego Holdingu Komunalnego ABC za rok 2022 należy wskazać, że:

- przychody ze sprzedaży netto w 2022 roku wynosiły 161,4 miliona złotych, z kolei w 2021 roku przychody netto ze sprzedaży były niższe i wynosiły 146,3 miliona złotych,
- zyski netto w 2022 roku wynosiły 14,3 miliona złotych, i były zdecydowanie niższe od tych w 2021 roku, kiedy to wynosiły 93,3 miliona złotych,
- koszty działalności o charakterze operacyjnym w badanej spółce w 2022 roku wynosiły 134,3 miliona złotych oraz były wyższe od tych z 2021 roku, kiedy wynosiły 119,4 milionów złotych, 3634
- aktywa razem w 2022 roku w badanej spółce wynosiły 3 176, 6 miliona złotych, zaś w roku 2021 były to mniej, ponieważ wówczas aktywa razem kształtowały się na poziomie 3 131, 6 miliona złotych,

To krótkie wyliczenie danych finansowych pokazuje, że sytuacja finansowa analizowanego podmiotu zarządzającego spalarnią odpadów komunalnych XYZ jest zadowalająca oraz pozwala na finansowanie różnego rodzaju inwestycji, które potencjalnie będą w stanie usprawnić funkcjonowanie (w tym efektywność).

Kolejnym wymiarem funkcjonowania spalarni odpadów komunalnych XYZ są uwarunkowania techniczne. Opisywany obiekt jest relatywnie nowoczesną linią technologiczną. Została ona uruchomiona w 2012 roku. W momencie tworzenia tej instalacji, wdrożone zostały nowoczesne na tę datę rozwiązania techniczne. Po dziesięciu latach funkcjonowania spalarni odpadów komunalnych XYZ pojawiać się zaczęły ograniczenia, które przejawiają się między innymi w problemach logistycznych.

Jednym z podstawowych uwarunkowań funkcjonowania spalarni odpadów komunalnych jest konieczność zachowania odpowiednich parametrów jakości dymów powstających w czasie spalania odpadów. Zgodnie z obowiązującymi przepisami, obowiązujące normy emisji poszczególnych gazów ze spalarni odpadów komunalnych są przedstawione w tabeli 34.

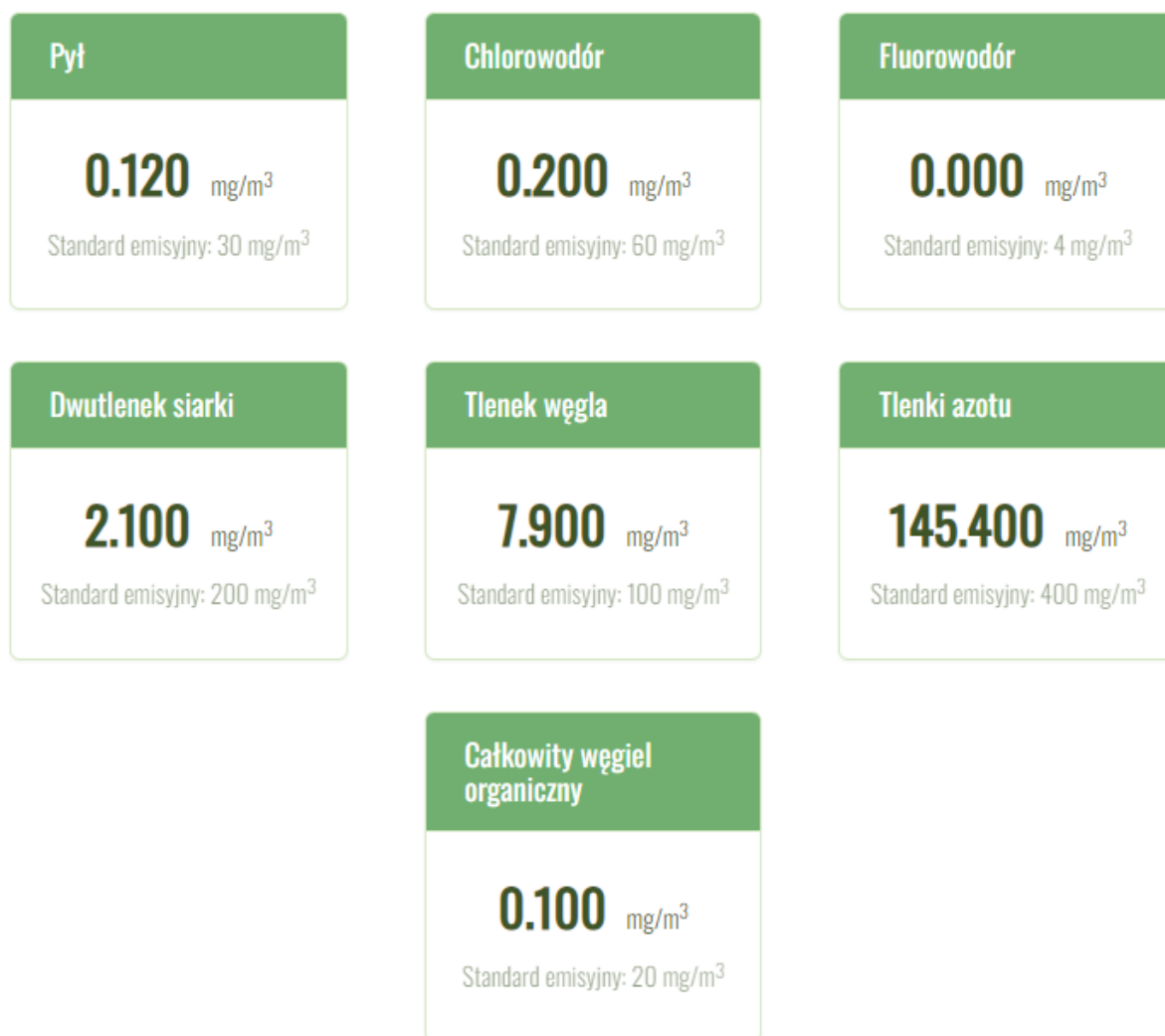
Tabela 34. *Dopuszczalne poziomy emisji gazów z proce przetwarzania odpadów w spalarniach odpadów komunalnych*

Rodzaj gazu emitowanego przez spalarnię	Dopuszczalna norma zgodnie z Dyrektywą 2010/75/UE
Ogólny pływ [c]	10
HF [c]	1
HCl [c]	10
TOC [c]	10
CO [c]	50
Dioksyn i furany [o], ngTEQ/m ³ u	0,1
Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V [o]	0,5
Cd + Tl [o]	0,05
Hg [c]	0,05
NH ₃ [c]	-
NO ₂ [c]	200
SO ₂ [c]	50

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dyrektywa 2010/75/UE.

Norm tych musi w pełni przestrzegać spalarnia odpadów komunalnych XYZ. W praktyce, jest to jedno z ważniejszych uwarunkowań jakie są realizowane w ramach analizowanej spalarni termicznego przekształcania odpadów komunalnych. W tym kontekście można wskazać na obecne parametry emisji szkodliwych związków chemicznych w związku ze spalaniem odpadów komunalnych. W tym miejscu konieczne jest poczynienie zastrzeżenia, że w analizowanej spalarni odpadów komunalnych w zależności od parametrów odpadów, wykorzystywane mogą być dwie różne linie technologiczne. Każda z nich cechuje się odmiennymi emisjami spalin. Różnice te wynikają przede wszystkim z rodzaju spalanych odpadów. Parametry dla pierwszej z tych linii technologicznych – zgodnie z informacjami uzyskanymi w analizowanym podmiocie gospodarczym - wyglądają w sposób następujący (wielkość stężenia obliczona przy zawartości 11% tlenu w gazach odlotowych – mg/m³ -, przeciętna 30-minutowa):

Linia 1

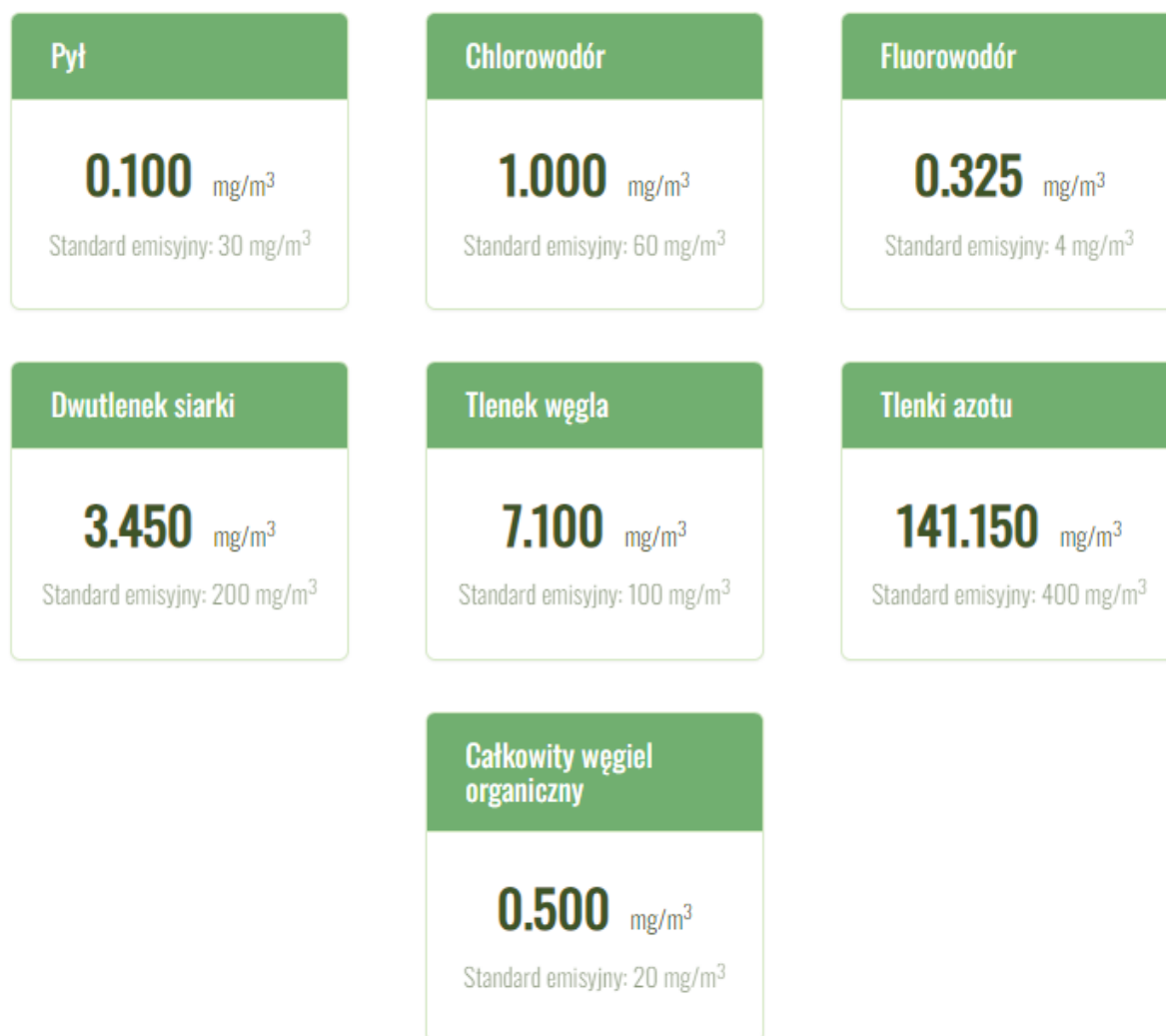


Rysunek 44. Parametry emisji spali dla pierwszej linii technologicznej (stan na 23 grudnia 2023 roku)

Źródło: materiały udostępnione przez badaną spalarnię odpadów komunalnych XYZ.

Parametry dla drugiej linii technologicznej wyglądają natomiast w następujący sposób:

Linia 2



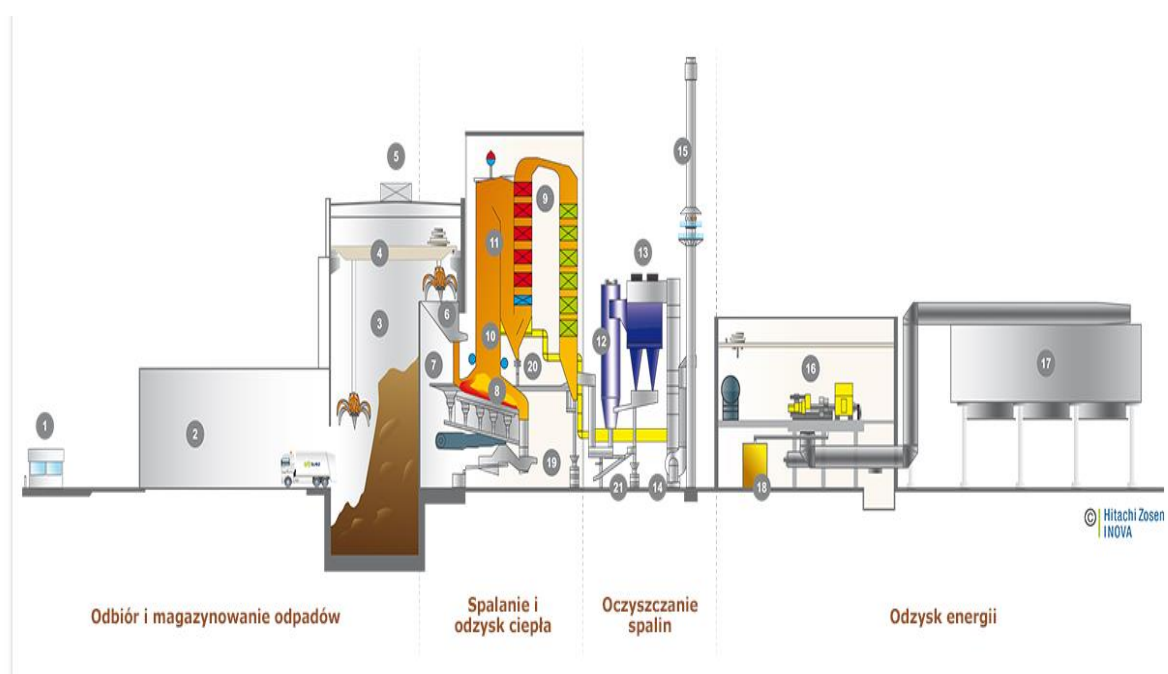
Rysunek 45. Parametry emisji spali dla drugiej linii technologicznej (stan na 23 grudnia 2023 roku)

Źródło: materiały udostępnione przez badaną spalarnię odpadów komunalnych XYZ.

Przedstawione dane spełniają standardy określone obowiązującymi przepisami prawa w zakresie emisji szkodliwych spalin w związku ze spalaniem odpadów komunalnych.

6.5. Opis modelu zarządzania logistycznego odpadami komunalnymi na przykładzie spalarni odpadów XYZ

Do analizy punktu wyjścia wobec prowadzonej analizy usprawniającej konieczne jest również przedstawienie ogólnego modelu zarządzania logistycznego odpadami komunalnymi, z czym ma się do czynienia spalarni odpadów komunalnych XYZ. W oparciu o informacje uzyskane w ramach badanej spalarni odpadów komunalnych XYZ można przedstawić ogólny schemat procesu termicznego, który w niej się odbywa. Jest on przedstawiony na rysunku 46.



Rysunek 46. Schemat procesu termicznego przetwarzania odpadów w spalarni odpadów komunalnych XYZ

Źródło: materiały badanego przedsiębiorstwa.

W modelu tym wyróżnić można kilka etapów pracy spalarni odpadów komunalnych XYZ. Są to:

- Odbiór oraz magazynowanie odpadów,
- Spalanie oraz odzysk ciepła,
- Oczyszczania spalin,

- Odzysk energii.

Biorąc pod uwagę kwestie logistyczne, należy wskazać, że odpady komunalne na teren opisywanej dla potrzeb niniejszej pracy dowożone są śmieciarkami. Zgodnie z informacjami jakie zostały uzyskane w analizowanym przedsiębiorstwie należy wskazać, że maksymalna liczba śmieciarek, które spalarnia odpadów komunalnych XYZ może obsłużyć w trakcie godziny to 9 pojazdów. Odpady komunalne są rozładowywane z tych śmieciarek na znajdujące się pod wiatą składowisko. W trakcie procedury ich odbioru wstępnie weryfikowany jest ich skład, jakość oraz waga. Należy w tym miejscu zaznaczyć, że pojazd wjeżdżając na teren spalarni odpadów komunalnych przejeżdża przez tak zwaną bramę radiometryczną w celu zmierzają istniejące poziome promieniowanie. Następnie, odpady te są wrzucane do tak zwanego bunkra. W tym celu wykorzystuje się różnego rodzaju spychaczy oraz ładowarek. Poza tym, przy pewności co do jakości odpadów znajdujących się w śmieciarkach, istnieje możliwość bezpośredniego zrzutu z nich odpadów do tego bunkra. Duże rozmiary bunkra sprawiają, że istnieje możliwość magazynowania w nim odpadów z około 6 dni.

W samym bunkrze zamontowanych jest kilka rozwiązań w zakresie transportu bliskiego. Mowa tutaj o różnego rodzaju chwytakach, suwnicach oraz taśmociągach, poprzez które odpady zmagazynowane w bunkrze mogą być przenoszone na linię przetwarzania termicznego. Różnego rodzaju chwytaki oraz suwnice są również wykorzystywane w procesie mieszania tych odpadów komunalnych, aby zapewnić im jak najbardziej jednolitą konsystencję (właściwości o charakterze fizyczno-chemicznym), co będzie miało duże znaczenie podczas ich spalania. Poza tym w bunkrze stosowana jest wentylacja podciśnieniowa. Ma to w praktyce zapewniać niwelowanie uciążliwości zapachowych związanych z gromadzeniem odpadów. Zamontowany w bunkrze chwytak przenosi odpady do tak zwanego leja zasypowego, poprzez jaki, następnie odpady te trafiają do kotła. Są one przesuwane za pomocą podajnika.

Proces termicznego przekształcania odpadów komunalnych w kotle obejmuje kilka kluczowych etapów, które można szczegółowo wyróżnić:

- **Suszenie:** W początkowej fazie, odpady komunalne są poddawane ogrzewaniu w strefie rusztu kotła. Dzięki promieniowaniu oraz konwekcji temperatura wzrasta powyżej 100°C, co prowadzi do odparowania wilgoci z odpadów.

- **Odgazowanie:** Kolejnym etapem jest odgazowanie, które następuje w wyniku dalszego ogrzewania odpadów do temperatury przekraczającej 250°C. W tym procesie wydzielane są lotne składniki, takie jak wilgoć oraz gazy wytłewne.
- **Spalanie:** W trzeciej części rusztu kotła następuje całkowite spalanie odpadów komunalnych. Strata prażenia, czyli ilość niespalonych substancji, wynosi w tej strefie poniżej 0,5% całkowitej masy odpadów.
- **Zgazowanie:** W procesie zgazowania lotne produkty spalania są utleniane przy udziale cząsteczkowego tlenu. Chociaż niewielka część tego procesu odbywa się na rusztach kotła, większość odpadów poddawana jest utlenianiu w górnej strefie komory paleniskowej, gdzie temperatura sięga 1000°C.
- **Dopalanie:** Etap dopalania ma na celu minimalizację ilości niespalonego tlenku węgla w spalinach. W tej strefie do spalin dodawane jest powietrze wtórne, co zapewnia całkowite spalanie pozostałości. Czas przebywania spalin w tej strefie wynosi co najmniej dwie sekundy, a temperatura utrzymywana jest na poziomie minimum 850°C.

Warto podkreślić, że utrzymanie tak wysokiej temperatury w komorze dopalania oraz odpowiedni czas przebywania spalin są możliwe dzięki precyzyjnie zaprojektowanej geometrii komory spalania. Taki sposób realizacji procesu spalania jest zgodny z wytycznymi zawartymi w rozporządzeniu Ministra Rozwoju z dnia 21 stycznia 2016 roku, które określa wymagania dotyczące prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów oraz postępowania z odpadami powstałymi w wyniku tego procesu.

Proces przekształcania termicznego odpadów w spalarni XYZ nie kończy się jednak na spalaniu. Kluczowym elementem dalszej pracy spalarni jest proces odzysku energii. Jak wynika z informacji uzyskanych w badanym zakładzie, podstawowym urządzeniem w układzie odzysku energii jest kocioł odzysknicowy walczakowy. Urządzenie to, wyposażone w naturalny obieg spalin, umożliwia efektywną wymianę ciepła, co jest kluczowe dla dalszego wykorzystania energii pochodzącej z procesu spalania odpadów. Szczegółowy schemat tego urządzenia został przedstawiony na rysunku 47.

Dzięki takim rozwiązaniom, spalarnia nie tylko przetwarza odpady, ale także efektywnie wykorzystuje energię, co wpisuje się w nowoczesne podejście do gospodarki odpadami, łączące minimalizację wpływu na środowisko z maksymalnym odzyskiem zasobów.



Rysunek 47. *Walczak kotła*

Źródło: materiały własne.

Po zakończeniu procesu spalania w komorze paleniskowej, spaliny przechodzą przez zaawansowany system schładzania, gdzie ich temperatura obniżana jest do około 180°C. W tym etapie, proces odzyskiwania ciepła służy do podgrzewania wody, która przepływa przez kocioł, zamieniając się w przegrzaną parę wodną. Ta para, osiągająca ciśnienie rzędu 40 barów i temperaturę 415°C, jest kierowana do tzw. Węzła Przetworzenia i Wyprowadzenia Energii, który składa się z turbozespołu parowego, turbiny, przekładni oraz generatora.

Wytwarzana w kotle odzysknicowym przegrzana para wodna jest bezpośrednio podawana na łopatki turbiny kondensacyjno-upustowej, gdzie ulega rozprężeniu, przekształcając się w kondensat. Turbina napędza generator, w którym produkowana jest energia elektryczna. Część tej energii jest zużywana na potrzeby własne zakładu, a pozostała część trafia do sieci elektroenergetycznej poprzez system transformatorów blokowych i rozdzielnię o napięciu 110 kV. W momentach, gdy istnieje zapotrzebowanie na energię cieplną, turbina działa w trybie kogeneracji, co pozwala na jednoczesną produkcję energii elektrycznej i cieplnej. Wytworzona

para upustowa podgrzewa wodę w wymiennikach ciepła, która następnie trafia do lokalnej sieci ciepłowniczej, dostarczając ciepło o temperaturze 135°C zimą i 70°C latem.

Technologia termicznego przekształcania odpadów zastosowana w badanym obiekcie charakteryzuje się wysoką efektywnością energetyczną oraz niskim zużyciem energii. Osiągnięcie tych parametrów pozwala na:

Maksymalizację wykorzystania odzyskanej energii: Dzięki temu instalacja może osiągnąć efektywność energetyczną na poziomie pozwalającym uzyskać status instalacji R1, co oznacza, że proces jest głównie ukierunkowany na odzysk energii (przynajmniej 0,65).

Spełnienie wymagań wysokosprawnej kogeneracji: Poziom PES jest utrzymywany poniżej 10%, co świadczy o efektywności procesu.

Wysoką sprawność cieplną: System palenisko-kocioł osiąga sprawność na poziomie minimum 85%.

Efektywny odzysk energii: Optymalizacja własnego zużycia energii pozwala na skuteczny odzysk zarówno energii elektrycznej, jak i cieplnej.

W wyniku spalania odpadów komunalnych, w spalarni powstają spaliny składające się głównie z dwutlenku węgla, tlenku węgla, pary wodnej, dwutlenku siarki oraz tlenków azotu. Dodatkowo, obecne są również niespalone lub częściowo spalony węglowodory, które występują zarówno w postaci gazowej, jak i pyłowej. Spaliny te przechodzą przez następujące etapy:

- **Kocioł odzysknicowy,**
- **Instalacja oczyszczania spalin,**
- **Wentylator wyciągowy,**
- **Komin odprowadzający.**

Aby sprostać rygorystycznym normom emisji spalin, w pierwszej kolejności stosowane są tzw. metody pierwotne redukcji emisji. Metody te obejmują rozwiązania konstrukcyjne, które już w fazie spalania ograniczają ilość zanieczyszczeń, co pozwala na uzyskanie korzystniejszego składu surowych spalin jeszcze przed ich oczyszczaniem. Do takich metod należą odpowiednia konstrukcja rusztu, podgrzewanie powietrza pierwotnego i wtórnego oraz właściwe rozmieszczenie stref spalania w komorze paleniskowej.

System oczyszczania spalin w analizowanej spalarni składa się z kluczowych elementów:

Odazotowanie spalin: Wykonywane za pomocą metod pierwotnych i wtórnych, w tym selektywnej niekatalitycznej redukcji tlenków azotu (SNCR) z wtryskiem 25%-owego roztworu mocznika.

Oczyszczanie spalin metodą półsuchą: Z wykorzystaniem wtrysku zawiesiny mlecza wapiennego oraz metody strumieniowo-pyłowej z aktywnym węglem, co pozwala na redukcję kwaśnych zanieczyszczeń, metali ciężkich, pyłów oraz dioksyn i furanów.

Odpylanie spalin: Za pomocą filtra tkaninowego, co pozwala na skuteczne usunięcie cząstek stałych.

W ramach tego systemu zastosowano również podsystem suchego doczyszczania spalin oraz recyrkulację części zebranych resztek, co zmniejsza zużycie reagentów i umożliwia produkcję pozostałości z oczyszczania spalin.

Proces oczyszczania spalin rozpoczyna się już w komorze paleniskowej, przed kotłem odzysknicowym. W tym miejscu spaliny poddawane są redukcji stężenia tlenków azotu (NO_x) poprzez selektywną niekatalityczną redukcję (SNCR) z wtryskiem roztworu mocznika. Gazy spalinowe są następnie kierowane do reaktora półsuchego, gdzie mleczo wapienne absorbuje zanieczyszczenia, takie jak HCl, HF oraz SO₂, jednocześnie obniżając temperaturę spalin do około 140°C. Schemat węzła oczyszczania spalin w tej spalarni przedstawiono na rysunku 48.

Dzięki zaawansowanym technologiom i procesom zastosowanym w tej instalacji, możliwe jest skuteczne zarządzanie odpadami komunalnymi, minimalizacja ich wpływu na środowisko oraz efektywne wykorzystanie energii odzyskanej podczas procesu spalania.

Rysunek 48. Węzeł oczyszczania spalin w spalarni odpadów komunalnych XYZ



Źródło: materiały własne.

Spaliny po przejściu przez półsuchy absorber są dalej kierowane przez kanał, w którym wprowadzany jest węgiel aktywny. Jego główną funkcją jest zmniejszenie poziomu metali ciężkich oraz obniżenie stężenia dioksyn i furanów (PCDD/F). Następnie spaliny trafiają do stacji filtrów workowych, gdzie dochodzi do redukcji pyłów.

Stacja ta pełni również rolę drugiego etapu oczyszczania spalin, ze względu na powstający na workach filtracyjnych "placek filtracyjny". Ten filtracyjny osad, składający się z produktów częściowych reakcji, niewykorzystanych absorbentów, popiołów lotnych oraz aktywnego węgla, działa jako dodatkowa bariera, która absorbuje resztki SO_2 oraz redukuje zawartość metali ciężkich i PCDD/F.

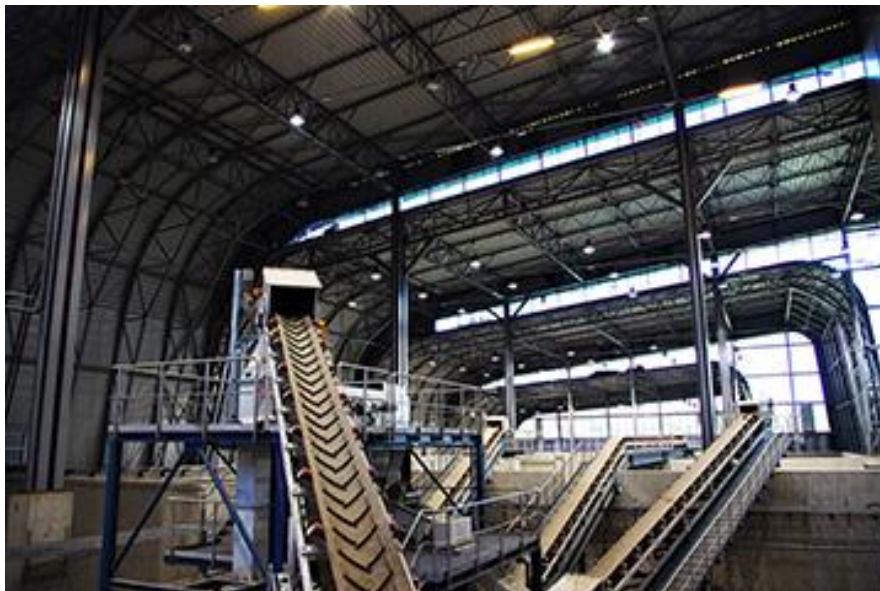
Spaliny są następnie wyprowadzane do atmosfery za pomocą wentylatorów wyciągowych przez osobne kominy, które w analizowanej spalarni odpadów komunalnych mają wysokość 70 metrów i średnicę na wylocie wynoszącą 1,6 metra dla każdego ciągu technologicznego w obrębie jednego płaszcza zewnętrznego. Temperatura gazów na wylocie z komina wynosi około 140°C .

Proces termicznego przekształcania odpadów komunalnych generuje następujące odpady:

- żużel oraz popioły paleniskowe,
- pyły kotłowe, popioły lotne oraz stałe pozostałości z oczyszczania spalin.

Pozostałości po procesie termicznego przekształcania odpadów stanowią około 25% masy wejściowej odpadów. W spalarni za odbiór i zagospodarowanie tych odpadów odpowiedzialne są zewnętrzne podmioty posiadające wymagane prawem zezwolenia. Żużel i popioły paleniskowe, które nie są klasyfikowane jako odpady niebezpieczne, podlegają waloryzacji w działającym przy spalarni Węźle Waloryzacji Żużla. Ten żużel zawiera głównie substancje niepalne, takie jak tlenki glinu, krzemiany oraz żelazo, które są nierozpuszczalne w wodzie.

Na rysunku 49 przedstawiono Węzeł Waloryzacji Żużla w analizowanej spalarni odpadów komunalnych.



Rysunek 49. Węzeł Waloryzacji Żużla w analizowanej spalarni odpadów komunalnych XYZ

Źródło: materiały własne.

Pierwszym etapem waloryzacji żużla jest jego wstępne sezonowanie, które odbywa się na utwardzonej, szczelnej powierzchni w magazynie wewnątrz budynku. Celem tego procesu jest odwodnienie i stabilizacja materiału. Po około dwóch tygodniach sezonowania, żużel poddawany jest dalszej obróbce, w trakcie której zostają wydzielone frakcje o odpowiedniej granulacji. Równocześnie, metale żelazne i nieżelazne są oddzielane z materiału za pomocą separatorów magnetycznych i indukcyjnych. Następnie, odseparowane frakcje trafiają do

magazynów przeznaczonych na sezonowanie żużla. W analizowanej instalacji, maksymalna zdolność przerobowa wynosi około 70 tysięcy ton rocznie.

Żużel może zostać wykorzystany jako materiał budowlany dopiero po uzyskaniu odpowiednich aprobat technicznych. Aby zapobiec rozprzestrzenianiu się pyłów podczas obróbki oraz utrzymać odpowiednie warunki pracy, budynek, w którym odbywa się ten proces, jest wyposażony w system wentylacji generujący podciśnienie. Dodatkowo, wewnątrz budynku znajduje się specjalistyczny filtr workowy, który wspomaga oczyszczanie powietrza. Graficzna prezentacja filtrów workowych znajduje się na rysunku 50.



Rysunek 50. Worki na filtrach workowych w spalarni odpadów komunalnych XYZ

Źródło: materiały własne.

Pył jest odsysany bezpośrednio do filtra workowego za pomocą specjalnych odciągów stanowiskowych, a następnie transportowany do silosów popiołu w ramach Węzła Stabilizacji i Zestawienia. W tym procesie kotłowe pyły oraz popioły lotne, jak również inne stałe pozostałości powstałe w wyniku oczyszczania spalin, są przesyłane za pomocą transportera pneumatycznego do trzech silosów zlokalizowanych w pomieszczeniach Węzła Stabilizacji i Zestawienia. Schemat tego węzła został przedstawiony na rysunku 51.



Rysunek 51. Węzeł Stabilizowania oraz Zestalania w analizowanej spalarni odpadów komunalnych

Źródło: materiały własne.

Na tym etapie odpady poddawane są procesom stabilizacji i zestalania, których głównym celem jest przekształcenie odpadów niebezpiecznych w odpady o charakterze innym niż niebezpieczne lub neutralne. Jest to osiągane przez ich zmieszanie z odpowiednimi dodatkami oraz hydraulicznymi spoiwami. Proces stabilizacji i zestalania składa się z dwóch kluczowych faz, mających na celu zmniejszenie rozpuszczalności zawartych w odpadach substancji, szczególnie związków nieorganicznych i toksycznych metali ciężkich.

W pierwszej fazie, stabilizacji, tworzy się wewnętrzna bariera, która zapobiega wypłukiwaniu się rozpuszczalnych związków metali ciężkich. W drugiej fazie, zestalaniu, powstaje dodatkowa, zewnętrzna bariera dzięki zastosowaniu różnych spoiw hydraulicznych, takich jak cement. Spoiwa te tworzą chemiczne wiązania, które dodatkowo wzmacniają ochronę przed uwalnianiem szkodliwych substancji.

Produkty procesu stabilizacji i zestalania, takie jak pyły kotłowe, popioły lotne i stałe resztki z procesu oczyszczania spalin, spełniają normy pozwalające na ich składowanie na wysypiskach przeznaczonych dla odpadów innych niż niebezpieczne lub obojętne, zgodnie z obowiązującymi przepisami. Dodatkowo, istnieje możliwość wykorzystania systemu

załadunku cystern z silosów magazynujących te odpady do ich transportu w luzie, przeznaczonego do dalszej obróbki lub zagospodarowania w innych specjalistycznych instalacjach. Możliwa jest także opcja ich składowania w głębokich wyrobiskach po kopalniach soli, co jest praktykowane między innymi w Niemczech.

6.6. Cele modelu i narzędzia ich realizacji

W oparciu o przedstawione wcześniej badanie stanu zastanego należy wskazać, że w analizowanym podmiocie gospodarczym (spalarni odpadów komunalnych) powinny zostać podjęte działania mające za cel podniesienie znaczenia automatyki w obszarze logistyki oraz przeszkolenie pracowników. Dokładniejsza analiza procesów logistycznych w spalarni odpadów komunalnych INTEC pozwala na stwierdzenie, że w całym procesie obsługi logistycznej linii technologicznej do spalania pojawiają się wąskie gardła, które ograniczają efektywność tego zakładu. Zgodnie z dostępnymi materiałami, obecna wydajność linii przemysłowej do termicznego przetwarzania odpadów w energię cieplną kształtuje się na poziomie 230 tysięcy ton rocznie odpadów komunalnych stałych. Należy w tym kontekście zaznaczyć również całość linii przemysłowej została zgodnie z decyzją środowiskową przewidziana na 250 tysięcy ton rocznie. Przy uwzględnieniu odpowiednich modyfikacji, całość infrastruktury będzie w stanie jednak przetworzyć około 300 tysięcy ton odpadów komunalnych.

Na tej podstawie można wskazać, że pojawia się w opisywanej spalarni odpadów pewnego rodzaju luka, która nie pozwala na pełne wykorzystywanie potencjału tego zakładu przetwórczego. Jednocześnie potencjał w zakresie „niejako” dostaw surowca do spalarni (czyli odpadów komunalnych) jest zdecydowanie wyższy niż możliwości przerobowe omawianego zakładu. Ograniczenie doprowadzające do zaistnienia tej luki wykazane zostało w obszarze załadunku odpadów komunalnych na linię sortowniczą, która poprzedza właściwą linię technologiczną do spalania odpadów komunalnych. Zgodnie z przyjętym w badanej organizacji systemem logistycznym można wyróżnić następujące główne etapy procesu dostarczania wsadu do instalacji przetwórstwa termicznego:

- Przywóz odpadów komunalnych na teren spalarni z wykorzystaniem samochodów ciężarowych,

- Zgromadzenie odpadów komunalnych na terenie spalarni odpadów na przygotowanym do tego składowisku,
- Przewiezienie odpadów komunalnych między składowiskiem a sortownią zakładową,
- Przewiezienie odpadów komunalnych między sortownią zakładową a linią termicznego spalania odpadów,
- Proces spalarni odpadów.

Tak wąskie gardła w tych procesach pojawiają się w dwóch miejscach. Pierwsze z nich dotyczy przewożenia ładunku odpadów komunalnych między składowiskiem a linią sortowni zakładowej. Drugim krytycznym punktem jest przewiezienie tak zwanego wsadu z linii sortowni bezpośrednio na linię przemysłową (instalację) spalarni. Transport w obu tych punktach charakteryzuje się wykorzystaniem odmiennych rozwiązań. Mianowicie, załadunek linii sortowni zakładowej odbywa się z wykorzystaniem pojazdów – ładowarek i podnośników teleskopowych. Transport pomiędzy sortownią a instalacją do przetwarzania termicznego realizowany jest natomiast z wykorzystaniem przenośnika taśmociągowego. Problemem okazuje się jednak przepustowość tych środków transportu. Praktyka działania analizowanej instalacji spalania odpadów komunalnych pokazuje, że wydajność tych obszarów jest zbyt niska, jeżeli porównuje się ją do możliwości przetwórczy omawianego zakładu przetwórczego.

Dokładniejsza analiza w tym zakresie wymaga poczynienia obliczeń odnośnie obecnej i potencjalnej wydajności systemu przesyłania ładunku / wsadu odpadów komunalnych w analizowanej sortowni. W tym kontekście należy wskazać, że:

Faktyczna wydajność linii:

- 230 000 ton odpadów rocznie
- 630,14 ton odpadów dziennie

Potencjalna możliwość wydajność linii wygląda następująco:

- 250 000 ton odpadów rocznie
- 684,93 ton odpadów dziennie

W związku z tym oczekuje się, że dzięki wprowadzeniu usprawnienia, system logistyczny badanej spalarni będzie bardziej efektywny. Wydajność systemu logistycznego dostarczania wsadów do spalarni odpadów komunalnych ma być na wyższym poziomie. Jest

to podstawowy cel modelu usprawniającego przyjęty dla niniejszej pracy. Nie oczekuje się jednak, że potencjalna wydajność zostanie wykorzystana od razu w pełni. Oczekuje się, że do maksymalnej wydajności, opisywana spalarnia odpadów komunalnych będzie dochodziła stopniowo.

Celem tym jest w tym przypadku: usprawnienie systemu przemieszczania odpadów komunalnych między składowiskiem i sortownią oraz między sortownią oraz linią przetwarzania termicznego w taki sposób, aby do końca 2024 roku osiągnąć poziom 240 tysięcy ton odpadów przetworzonych rocznie i poziom 250 tysięcy ton odpadów przetworzonych rocznie do zakończenia 2025 roku.

Aby to było możliwe, procesy logistyczne podejmowane w badanym zakładzie termicznego przetwarzania odpadów komunalnych poddane zostaną wyższemu poziomowi automatyzacji, a jeżeli ta jest już po części stosowana, wdrożone będą nowe rozwiązania, które zwiększą efektywność do tej pory wykorzystywanych rozwiązań technicznych. W tym kontekście należy wskazać, że dojdzie tutaj do modernizacji taśmociągu podającego odpady z sortowni do instalacji spalarni. Będzie on miał zapewnić wyższy poziom wydajności przesyłania odpadów komunalnych. Należy tutaj jednak zaznaczyć, że kluczowe znaczenie będzie miała nie tylko zwiększenie przepustowości podajnika, ale przede wszystkim wprowadzenie nowego systemu załadunku na transporter. Praca człowieka w tym kontekście ma zostać ograniczona do minimum. Sam załadunek możliwy będzie dzięki zastosowaniu podajnika ślimakowego.

Kolejną kwestią, która ma zostać wprowadzona w analizowanym przypadku, jaka pozwoli na usprawnienie podejmowanego procesu jest usprawnienie pracy sortowni. Polegało to będzie na zamontowaniu dodatkowych automatycznych wylapywaczy elementów metalowych z przygotowywanych do spalania odpadów komunalnych. W tym przypadku należy zaakcentować, że błędy przy sortowaniu mogą doprowadzić do tego, iż do instalacji termicznego przetwarzania odpadów dostaną się takie materiały, które przyczynią się do awarii. Sytuacja takiej awarii nie miała do tej pory jeszcze miejsca, ale samo ryzyko zaistnienia opisywanego zdarzenia wymusza podjęcie odpowiednich działań zaradczych. Wylapywacze elementów metalowych pozwolą na ograniczenie ryzyka awarii w przyszłości, która w zasadzie całkowicie ograniczyłaby wydajność całej instalacji spalarni.

Dla potrzeb zapewnienia sprawnego wykorzystywania nowych rozwiązań konieczne jest także odpowiednie przeszkolenie zatrudnionego personelu pracowniczego. Szkolenie to

będzie dotyczyło nie tylko efektywnego wykorzystywania nowych urządzeń, ale całości procesów logistycznych, jakie są podejmowane w ramach analizowanej spalarni odpadów komunalnych. Szkoleniem tym objęci zostaną wszyscy pracownicy produkcyjni przedsiębiorstwa. Proces szkoleniowy ma zostać zrealizowany w oparciu o zasoby własne tej spalarni.

Tak więc, poza wskazanym już wcześniej celem głównym modelu, należy także wskazać następujące cele dodatkowe:

- **Przeprowadzenie szkoleń wśród pracowników badanego obiektu w zakresie efektywności obsługi logistycznej linii termicznego przetwarzania odpadów komunalnych.**
- **Wprowadzenie automatycznych wylapywaczy detali metalowych na linii sortowni odpadów komunalnych.**

Rozdział VII. Model usprawnienia zarządzania logistycznego odpadami komunalnymi na przykładzie spalarni odpadów INTEC

7.1. Zespół projektowo-wdrożeniowy

Dla potrzeb wdrożenia zmian usprawniających w badanym obiekcie (spalarni) powołany zostać ma zespół projektowo-wdrożeniowy, który zajmował się będzie ich wprowadzeniem. Zespół projektowy składać się ma z pięciu osób. Osoby zaliczane do tego zespołu projektowego są zdefiniowane w tabeli 35.

Tabela 35. Skład zespołu projektowego ustalonego w badanej spalarni odpadów w celu wprowadzenia zmian usprawniających

Członek zespołu projektowego	Zakres odpowiedzialności	Zadania postawione przed członkiem zespołu projektowego
Lider zespołu projektowego – Przedstawiciel kadry kierowniczej wyższego szczebla spalarni	Całość działań podejmowanych w ramach zespołu projektowego	Organizacja zespołu projektowego, zatwierdzenie decyzji podejmowanych przez zespół, koordynowanie prac jakie są podejmowane przez poszczególnych członków zespołu projektowego, kontrola wprowadzanych zmian oraz podjęcie decyzji o podjęciu dodatkowych prac.
I członek zespołu projektowego - Osoba zatrudniona w badanym przedsiębiorstwie (spalarni) zajmująca	Kwestie finansowe badanego przedsiębiorstwa	Zaplanowanie budżetu wdrożonych zmian, zabezpieczenie źródeł finansowania zmian o charakterze usprawniającym, kontrola wydatkowania środków

się księgowością		finansowych na zmiany usprawniającym
II członek zespołu projektowego – Przedstawiciel jednostki samorządowej	Kwestie współpracy badanej spalarni z jednostką samorządu terytorialnego	Koordynowanie współpracy między opisywaną spalarnią a jednostką samorządu terytorialnego, na terenie której działa to przedsiębiorstwo. Zapewnienie koordynacji prawnej przeprowadzania zmian usprawniających, które odpowiadały będą wymogom prawa zamówień publicznych oraz prawa finansów publicznych.
III członek zespołu projektowego - Osoba zatrudniona w badanym przedsiębiorstwie (spalarni) zajmująca się inwestycjami	Sprawy związane z wyborem sposobu przeprowadzenia inwestycji, prawem zamówień publicznych oraz wdrożeniem zmian usprawniających	Ogłoszenie przetargu na modernizację linii przemysłowej, wybór oferenta, zaplanowanie harmonogramu zmian usprawniających, kontrolowanie przebiegu prac, odebranie przeprowadzonych prac nad zmianami usprawniającymi w kwestiach technicznych.
IV członek zespołu projektowego - Osoba zatrudniona w badanym przedsiębiorstwie (spalarni) zajmująca się HR	Sprawy związane ze szkoleniem pracowników z obsługi nowych rozwiązań technicznych oraz całego systemu logistycznego	Organizacja szkolenia dla pracowników, przeprowadzenie szkolenia w zakresie systemu logistycznego, ewaluacja przeprowadzonego szkolenia pracowników opisywanej spalarni.

Źródło: (opracowanie własne).

7.2. Harmonogram i budżet zmian usprawniających

W oparciu o założenia projektowe przyjmuje się, że prace zespołu projektowego rozpoczęte zostać mają w lutym 2023 roku. Zmiany te mają zostać zakończone w marcu 2024 roku. Następnie wdrożone mają zostać działania związane z oceną wdrażanych zmian o charakterze usprawniającym.

W ramach całego modelu zmian usprawniających w analizowanym podmiocie gospodarczym wyróżnić można następujące etapy prac:

- Powołanie zespołu projektowego
- Analiza problemów w badanym podmiocie
- Dostosowanie zmian usprawniających do ustalonych problemów
- Zapewnienie budżetowania wprowadzonych zmian
- Ustalenie harmonogramu zmian
- Ogłoszenie przetargu na dostawę i montaż rozwiązań technicznych w spalarni
- Wybór oferenta rozwiązań technicznych – usprawniających
- Przeprowadzenie zmian technicznych w badanym przedsiębiorstwie
- Zaplanowanie szkolenia dla pracowników
- Przeprowadzenie szkolenia dla pracowników
- Przeprowadzenie testów nowych rozwiązań technicznych
- Rozpoczęcie właściwej pracy linii przemysłowej
- Kontrola wprowadzonych zmian
- Rozliczenie finansowe zmian usprawniających
- Wdrożenie ewentualnych zmian.

Do poszczególnych tych działań przeanalizowany zostanie podmiot (członek zespołu projektowego) ponoszący odpowiedzialność. Analiza ta jest przedstawiona w tabeli 36.

Tabela 36. Członkowie zespołu projektowego ponoszący odpowiedzialność za poszczególne działania w ramach projektu usprawniającego

Działanie	Członek zespołu projektowego odpowiedzialny za konkretne działanie
Powołanie zespołu projektowego	Lider zespołu projektowego
Analiza problemów w badanym	Lider zespołu projektowego

podmiocie	
Dostosowanie zmian usprawniających do ustalonych problemów	Osoba zatrudniona w badanym przedsiębiorstwie (spalarni) zajmująca się inwestycjami
Zapewnienie budżetowania wprowadzonych zmian	Osoba zatrudniona w badanym przedsiębiorstwie (spalarni) zajmująca się księgowością, przedstawiciel samorządu terytorialnego
Ustalenie harmonogramu zmian	Lider zespołu projektowego, przedstawiciel samorządu terytorialnego
Ogłoszenie przetargu na dostawę i montaż rozwiązań technicznych w spalarni	Lider zespołu projektowego
Wybór oferenta rozwiązań technicznych – usprawniających	Lider zespołu projektowego
Przeprowadzenie zmian technicznych w badanym przedsiębiorstwie	Osoba zatrudniona w badanym przedsiębiorstwie (spalarni) zajmująca się inwestycjami
Zaplanowanie szkolenia dla pracowników	Osoba zatrudniona w badanym przedsiębiorstwie (spalarni) zajmująca się HR
Przeprowadzenie szkolenia dla pracowników	Osoba zatrudniona w badanym przedsiębiorstwie (spalarni) zajmująca się HR
Przeprowadzenie testów nowych rozwiązań technicznych	Lider zespołu projektowego
Rozpoczęcie właściwej pracy linii przemysłowej	Lider zespołu projektowego
Kontrola wprowadzonych zmian	Lider zespołu projektowego
Rozliczenie finansowe zmian usprawniających	Lider zespołu projektowego
Wdrożenie ewentualnych zmian	Lider zespołu projektowego

Źródło: (opracowanie własne).

Zmiany te należy w odpowiedni sposób rozłożyć w czasie. Harmonogram ten jest przedstawiony w tabeli 37. Posiada on formę tak zwanego wykresu Gantta.

Tabela 37. Zaplanowany harmonogram wprowadzonych zmian usprawniających w badanym przedsiębiorstwie

Czynność / działanie	2023												2024				2025
	Lut y	Marze c	Ma j	Kwieci eń	Ma j	Czerwi ec	Lipie c	Sierpie ń	Wrzesi eń	Październ ik	Listop ad	Grudzi eń	Stycze ń	Lut y	Marz ec	Od kwietn ia do grudni a	
Powołanie zespołu projektowego																	
Analiza problemów w badanym podmiocie																	
Dostosowanie zmian usprawniających do ustalonych problemów																	

Zapewnienie budżetowania wprowadzonych zmian																	
Ustalenie harmonogramu zmian																	
Ogłoszenie przetargu na dostawę i montaż rozwiązań technicznych w spalarni																	
Wybór oferenta rozwiązań technicznych – usprawniających																	
Przeprowadze																	

nie zmian technicznych w badanym przedsiębiorst wie																
Zaplanowanie szkolenia dla pracowników																
Przeprowadze nie szkolenia dla pracowników																
Przeprowadze nie testów nowych rozwiązań technicznych																
Rozpoczęcie właściwej pracy linii przemysłowej																

Kontrola wprowadzonych zmian																	
Rozliczenie finansowe zmian usprawniających																	
Wdrożenie ewentualnych zmian																	

Źródło: (opracowanie własne).

Charakter podejmowanych zmian odpowiada wyjmowanemu terminarzowi prac. W przypadku pojawienia się jednak potencjalnych problemów z realizacją projektu usprawniającego ustalone zostały również odpowiednie terminy rezerwowe. Maksymalna ich długość określona została w sposób określony w tabeli 38.

Tabela 38. Czas możliwego (akceptowalnego) opóźnienia dla poszczególnych czynności w ramach modelu zmian usprawniających

Działanie	Akceptowalny czas opóźnienia
Powołanie zespołu projektowego	7 dni
Analiza problemów w badanym podmiocie	7 dni
Dostosowanie zmian usprawniających do ustalonych problemów	14 dni
Zapewnienie budżetowania wprowadzonych zmian	14 dni
Ustalenie harmonogramu zmian	7 dni
Ogłoszenie przetargu na dostawę i montaż rozwiązań technicznych w spalarni	14 dni
Wybór oferenta rozwiązań technicznych – usprawniających	31 dni
Przeprowadzenie zmian technicznych w badanym przedsiębiorstwie	31 dni
Zaplanowanie szkolenia dla pracowników	7 dni
Przeprowadzenie szkolenia dla pracowników	31 dni
Przeprowadzenie testów nowych rozwiązań technicznych	14 dni
Rozpoczęcie właściwej pracy linii przemysłowej	14 dni
Kontrola wprowadzonych zmian	14 dni
Rozliczenie finansowe zmian usprawniających	14 dni
Wdrożenie ewentualnych zmian	21 dni

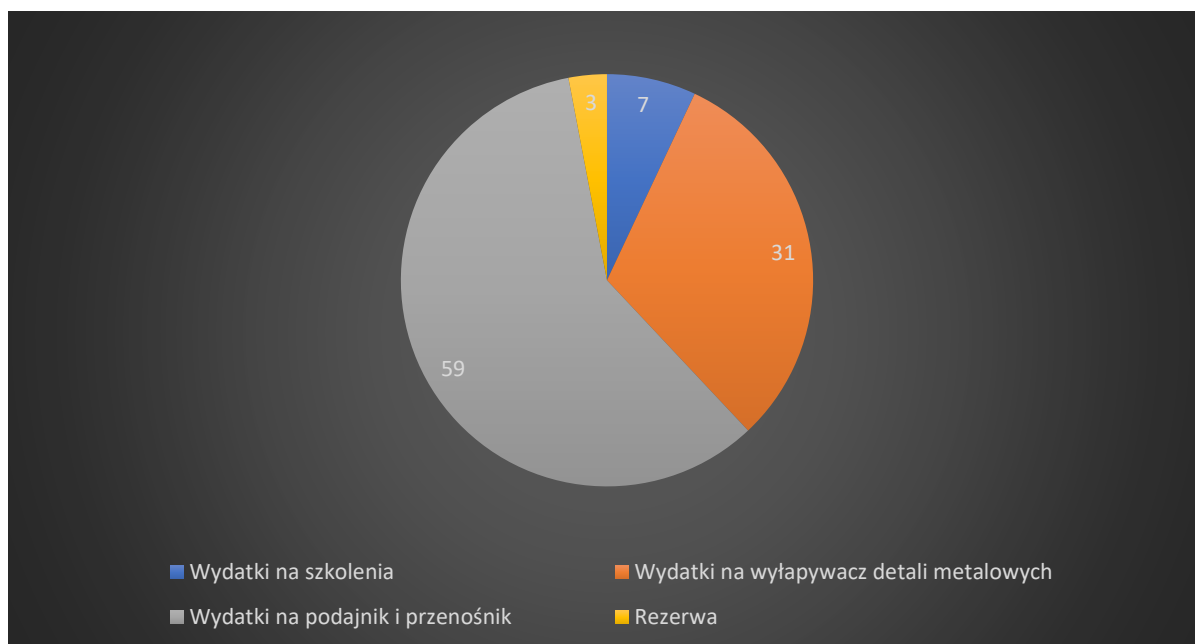
Źródło: (opracowanie własne).

Całość inwestycji podejmowanej w ramach opisywanego modelu oszacowana została na poziomie 3,5 miliona złotych. Struktura wydatków budżetowych uwzględnia następujące kategorie:

- Wydatki na szkolenie,
- Wydatki na wylapywacz detali metalowych z sortowni,
- Wydatki na podajnik i taśmociąg podający odpady do spalarni,
- Rezerwa budżetowa.

Struktura w ujęciu procentowym jest przedstawiona na wykresie 10.

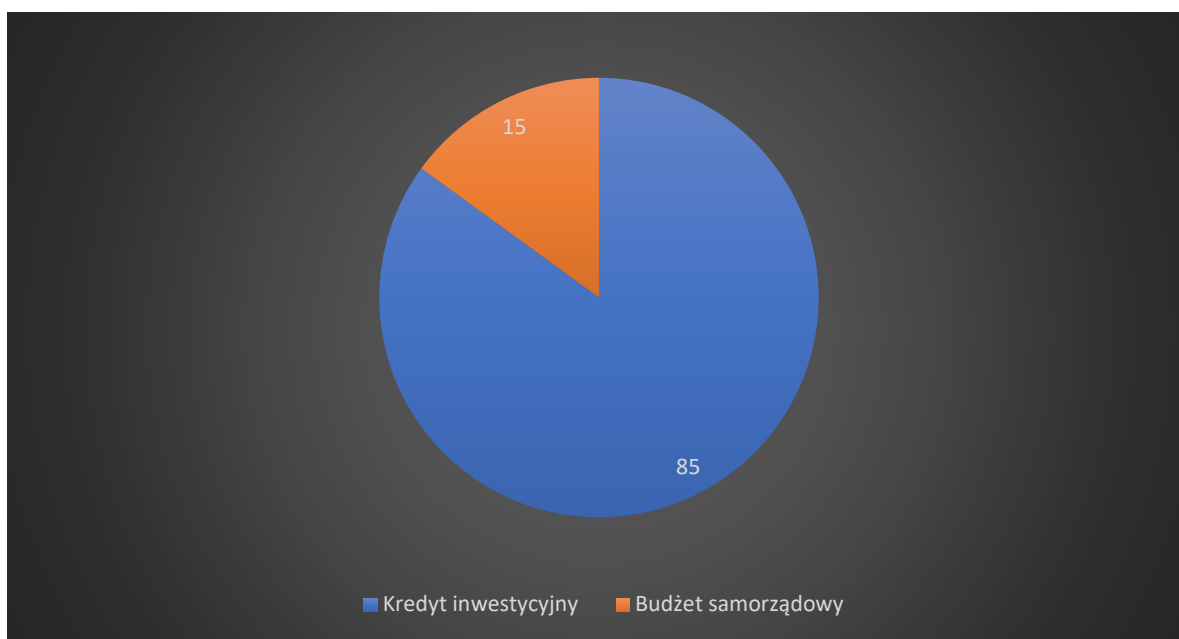
Wykres 10. Struktura wydatków w ramach modelu usprawniającego w %



Źródło: (opracowanie własne).

Budżet podejmowanych zmian sfinansowany zostanie z dwóch źródeł. Mowa tutaj o kredycie inwestycyjnym, który zaciągnięty zostanie przez opisywaną spalarnię odpadów komunalnych oraz z budżetu jednostki samorządowej, której gospodarkę komunalną spalarnia ta obsługuje. Struktura źródeł finansowania jest przedstawiona na wykresie 11.

Wykres 11. Struktura źródeł finansowania inwestycji podejmowanych w badanej spalarni odpadów komunalnych w %



Źródło: (opracowanie własne).

Kredyt inwestycyjny zostanie zaciągnięty w banku, który do tej pory obsługuje rachunki przedsiębiorstwa. Zaciągnięty on zostanie na okres 8 lat.

7.3. Ocena realizacji wdrożenia modelu

Ocena realizacji wdrożenia modelu do realizacji skupiona zostanie na poziomie wydajności spalarni po wdrożonych zmianach, zgodnie z postawionymi wcześniej celami. W związku z tym, oczekuje się, że projekt będzie w pełni zrealizowany jeżeli:

- Wydajność linii spalarni odpadów komunalnych rocznie do końca 2024 roku będzie wynosiła 240 tysięcy ton.
- Wydajność linii spalarni odpadów komunalnych rocznie do końca 2025 roku będzie wynosiła 250 tysięcy ton.

W realizacji tych celów mogą jednak pojawić się pewne bariery. Bariery jakie zdiagnozowane są w analizowanym modelu wyglądają następująco:

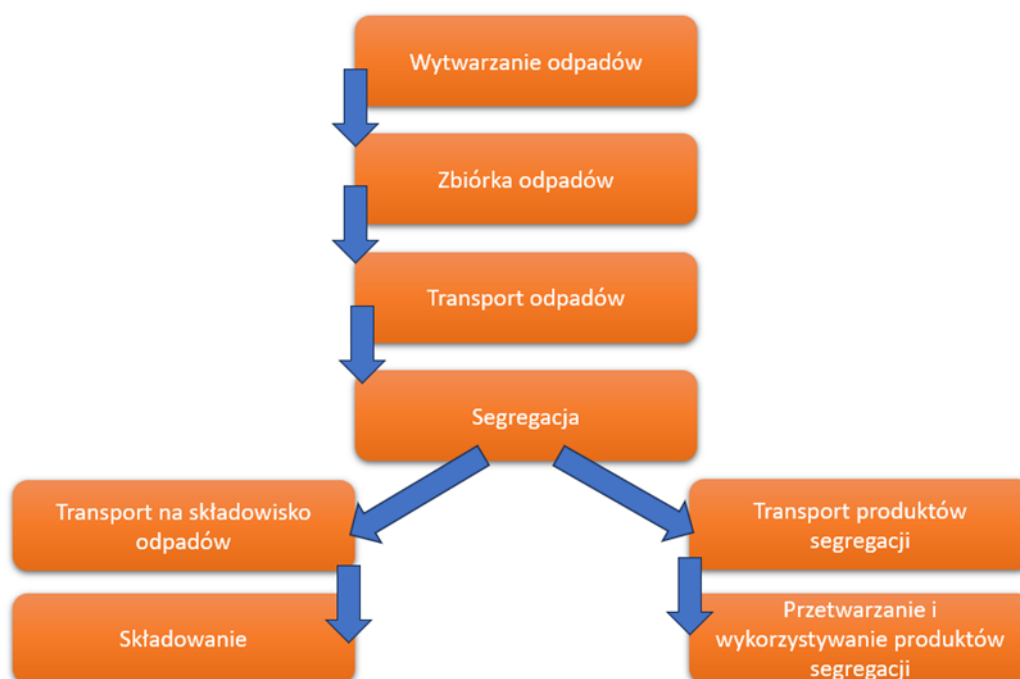
Bariery związane z oporem pracowników przed ewentualnymi zmianami w systemie logistycznym badanego przedsiębiorstwa – bariera ta będzie pokonana poprzez przeprowadzony w opisywanej spalarni system szkoleń,

- Bariery związane z finansowaniem inwestycji – zakłada się, że całość budżetowania zmian inwestycyjnych przygotowana będzie przed podjęciem prac właściwych w zakresie wprowadzanych zmian, zaś w samym budżecie wyznaczona jest również rezerwa na nieprzewidziane wydatki.

7.4. Możliwości usprawnienia modelu zarządzania logistyką odpadów komunalnych w Polsce z uwzględnieniem wybranej spalarni odpadów

Usprawnienia jakie zostały poczynione w wybranej spalarni odpadów można odnieść do całego modelu zarządzania logistyką odpadów komunalnych, która jest rozwijana w Polsce. Przede wszystkim należy wskazać na zwiększenie przepustowości całościowego łańcucha logistycznego zarządzania odpadami komunalnymi, jakie będzie wprost wynikało z poprawienia wydajności badanej spalarni odpadów. W tym kontekście należy wskazać, że cały mechanizm logistyki gospodarowania odpadami komunalnymi stanowi pewnego rodzaju system naczyń połączonych. Doprowadzenie do wyższej wydajności jednego elementu wpływa na całą strukturę.

Całociowy, ogólny model zarządzania logistyką odpadów komunalnych w Polsce jest przedstawiony na rysunku 52.



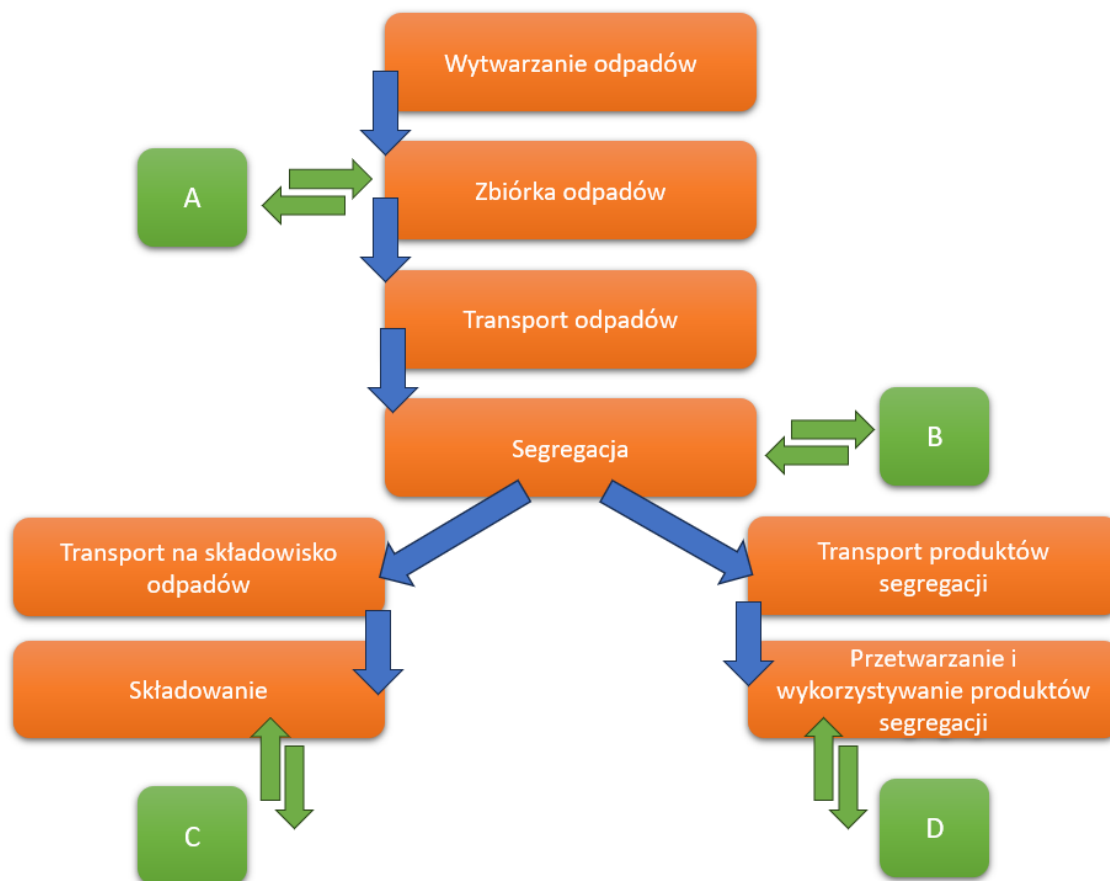
Rysunek 52. Model logistyki gospodarowania odpadami komunalnymi w Polsce

Źródło: opracowanie własne.

W kontekście przedstawionej struktury należy umiejscowić spalarnie odpadów komunalnych. Należy poczynić w tym zakresie dwa zastrzeżenia. Pierwsze z nich dotyczy tego, że umiejscowienie spalarni odpadów komunalnych w praktyce może zaistnieć na różnych poziomach prezentowanego schematu (rysunek 45).

Drugie zastrzeżenie dotyczy tego, że w Polsce istnieje obok siebie kilkadziesiąt struktur logistyki odpadami komunalnymi. Przedstawiony wyżej model dotyczy poszczególnych miast albo gmin (często związków gmin). W sąsiednich gminach czy też miastach funkcjonuje kolejna struktura logistyki odpadów komunalnych. Jednostki te są obsługiwane przez inne firmy zajmujące się transportem odpadów komunalnych, funkcjonują inne składowiska odpadów, czy też wreszcie działają inne spalarnie odpadów.

I tak, potencjalne miejsca zlokalizowania i wykorzystywania spalarni odpadów komunalnych w analizowanej strukturze są przedstawione na kolejnym rysunku. Miejsca te zostały oznaczone kolorem zielonym. Poniżej znajdzie się bardziej szczegółowa analiza tych lokalizacji. Należy zaznaczyć w tym miejscu, że wykorzystywanie wszystkich tych potencjalnych punktów, gdzie może zostać zainstalowana spalarnia odpadów komunalnych dotyczy sytuacji idealnej, gdzie występują najlepsze warunki otoczenia.



Rysunek 53. Model logistyki gospodarowania odpadami komunalnymi w Polsce z wykorzystaniem spalarni odpadów komunalnych w maksymalnym potencjalnym zakresie (idealne, najbardziej sprzyjające uwarunkowania otoczenia)

Źródło: opracowanie własne.

Schemat przedstawiony na rysunku 53 obejmuje cztery potencjalne obszary, gdzie mogą być zastosowane spalarnie odpadów komunalnych. W kontekście każdej z tych lokalizacji w systemie logistyki odpadów komunalnych można mówić o innej strategii funkcjonowania spalarni odpadów komunalnych, która to pozwala na zwiększenie efektywności całego łańcucha logistycznego.

Lokalizacja A – spalarnia odpadów pojawia się już na poziomie zbiórki odpadów. Dotyczy to w praktyce dużych przedsiębiorstw, które produkują znaczącą ilość odpadów. W związku z tym, efektywne będzie w ich przypadku samodzielne utrzymywanie spalarni odpadów komunalnych z dwóch przesłanek. Po pierwsze, przedsiębiorstwo nie będzie ponosiło kosztów związanych z utylizowaniem, czy też składowaniem odpadów przez podmioty zewnętrzne. Po drugie, energia wytwarzana w ramach spalarni odpadów będzie mogła być wykorzystana dla

potrzeb własnych tego podmiotu gospodarczego. Jako przykład można wymienić w tym przypadku wykorzystywanie energii cieplnej otrzymywanej podczas spalania odpadów dla ogrzania zakładu produkcyjnego, czy też utrzymywania linii technologicznych. Taka strategia nie jest przeznaczona dla gospodarstw domowych, które mimo tego, że wytwarzają odpady, to jednak skala tego wytwarzania w przypadku pojedynczego domostwa jest zdecydowanie niska, aby możliwe było funkcjonowanie spalarni odpadów.

Lokalizacja B – lokalizacja spalarni odpadów znajduje się po etapie segregacji. Należy zauważyć, że nie wszystkie odpady mogą zostać przetworzone w spalarni odpadów komunalnych. Segregacja pozwala na rozdzielenie tych odpadów, które mogą od razu zostać spalone, a także na takie, jakie muszą zostać zutyliczowane albo przetworzone w inny sposób (bądź wymagają zastosowania innej technologii spalania). Działalność tej spalarni jest w praktyce podejmowana przez organizatora gospodarki odpadami komunalnymi na danym terenie (to jest właściwe władze samorządu terytorialnego).

Lokalizacja C – lokalizacja spalarni jest umiejscowiona przy składowiskach odpadów komunalnych. Warto podkreślić, że spalarnie odpadów mogą być w ramach tej strategii uruchamiane zarówno przy już istniejących składowiskach odpadów komunalnych (starych), jak również przy nowo tworzonych. W związku z tym, rozwiązanie to może przyczynić się do poprawy stanu składowisk, które na początku swojej działalności nie prowadziły segregacji. Może to być zatem sposób na likwidację wieloletnich zaniedbań odnośnie braku odpowiedniego zarządzania gospodarką odpadów na danym terenie. W przypadku uruchamiania spalarni odpadów przy nowych składowiskach możliwe jest właściwe zarządzanie gospodarką odpadami od początku ich funkcjonowania. Działania w tym zakresie są podejmowane przez podmiot, który zarządza gospodarką komunalną na danym terenie. Zgodnie z obowiązującymi przepisami prawa, kluczową rolę będzie tutaj odgrywał zatem lokalny samorząd.

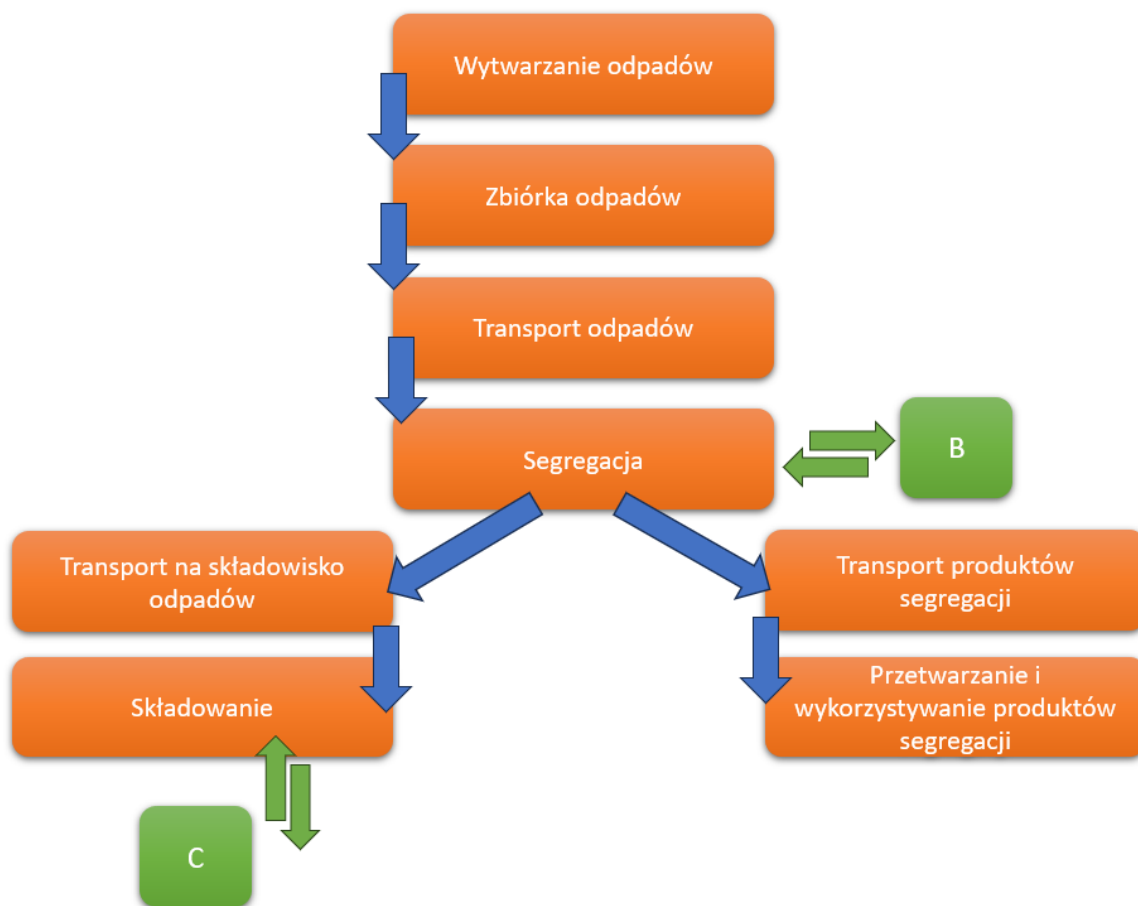
Lokalizacja D – lokalizacja spalarni jest umiejscowiona w miejscach, gdzie dochodzi do przetwarzania oraz wykorzystywania produktów z segregacji. Nie wszystkie odpady po procesie segregacji mogą zostać ponownie wykorzystywane. Ponownie wykorzystana zostanie część z nich. Pozostała z kolei musi zostać albo w odpowiedni sposób składowana albo zutyliczowana. W związku z tym, instalacja spalarni w powyższym miejscu struktury modelu zarządzania logistyką odpadów komunalnych pozwoli na ograniczenie tych odpadów, które nie

będą mogły zostać ponownie wykorzystane. Inicjatywa oraz działania z tym związane będą podejmowane w szczególności przez miejscowe władze samorządu terytorialnego.

Należy przypomnieć, że jednoczesne występowanie czterech spalarni odpadów w tym modelu logistyki odpadami komunalnymi będzie możliwe przy najbardziej sprzyjających uwarunkowaniach. W ramach tych bardzo optymalnych uwarunkowań / okoliczności należy wskazać przede wszystkim na:

- istnienie bardzo dużego przedsiębiorstwa wytwarzającego odpady, które jednocześnie będzie w stanie uruchomić własną spalarnię, a także wykorzystać (spożytkować) produkowaną w taki sposób energię ciepłą.
- władze samorządowe są zainteresowane oraz posiadają możliwości jednoczesnego stosowania kilku różnych strategii związanych z gospodarowaniem odpadami komunalnymi,
- lokalne społeczeństwa posiadają dużą świadomość w zakresie segregacji odpadów komunalnych, zaś władze samorządowe w odpowiedni sposób stworzą system odbioru odpadów komunalnych.

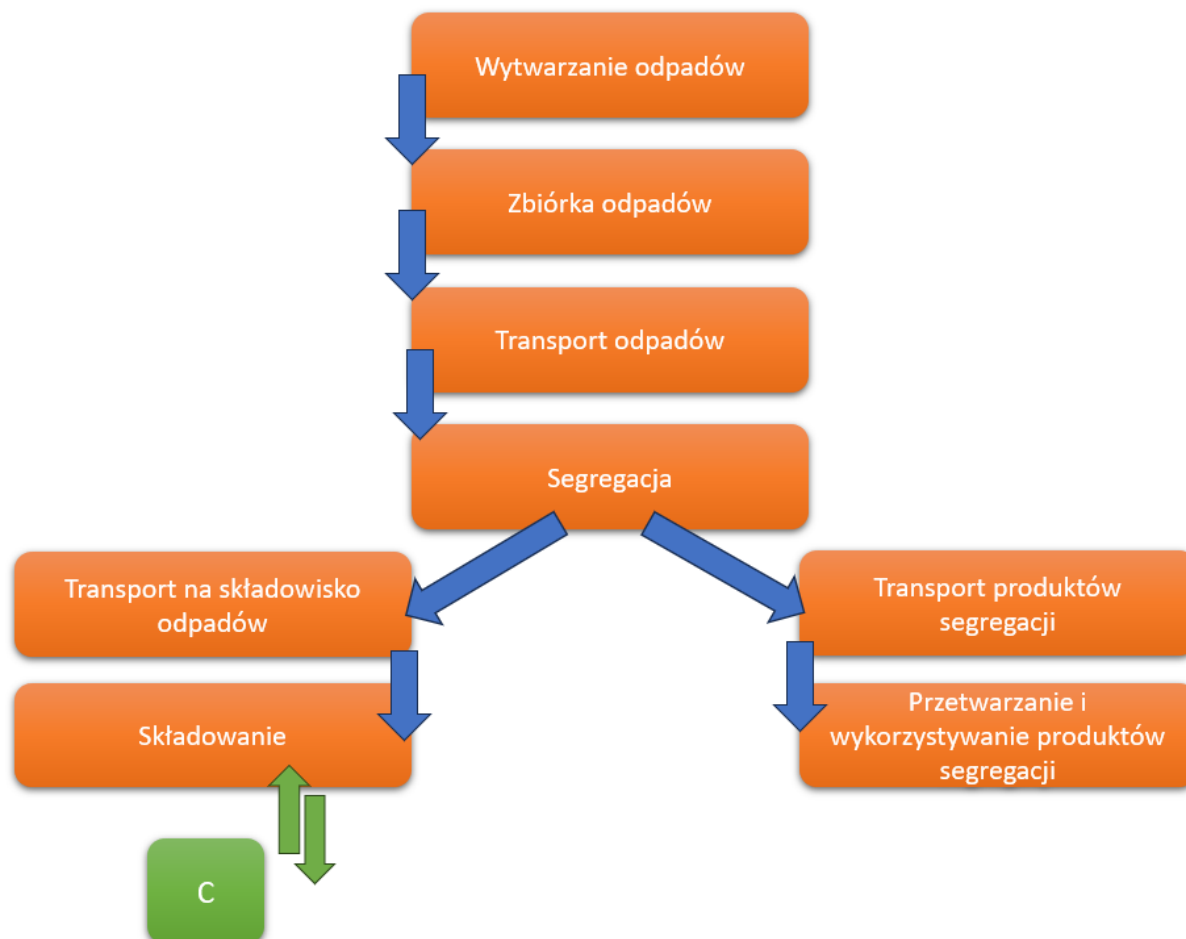
W praktyce uwarunkowania takie nie będą jednak za każdym razem spełnione. W kontekście poszczególnych władz samorządu terytorialnego trudno dojść do sytuacji, że uruchomionych będzie kilka spalarni odpadów komunalnych. O ile przypuszczać należy, że społeczeństwo zmienia swoje nastawienie do segregowania odpadów i w przyszłości proces ten będzie pogłębiany, to jednak mało prawdopodobne będzie to, że spalarnie będą organizowane przez każdego z dużych przedsiębiorców, a jednocześnie samorząd uruchamiać będzie kilka nowych (albo modernizował obecne) spalarni. W związku z tym, model najbardziej prawdopodobny rozwoju i funkcjonowania spalarni w łańcuchu logistycznym gospodarki odpadami komunalnymi będzie przedstawiał się w sposób zaprezentowany na poniższym rysunku 54.



Rysunek 54. Model logistyki gospodarowania odpadami komunalnymi w Polsce z wykorzystaniem spalarni odpadów komunalnych w najbardziej prawdopodobnym zakresie (najbardziej prawdopodobne uwarunkowania otoczenia)

Źródło: opracowanie własne.

W ramach najbardziej prawdopodobnego rozwiązania spalarnie będą istniały jedynie na poziomie segregacji odpadów oraz w odniesieniu do składowisk tych odpadów komunalnych. Może jednak dojść w praktyce również do sytuacji, gdzie uwarunkowania wdrożenia spalarni odpadów komunalnych do modelu logistyki odpadów komunalnych będą szczególnie trudne. W takiej sytuacji, lokalne społeczeństwo nie będzie chciało podejmować działań związanych z segregowaniem odpadów komunalnych. W związku z tym, spalarnie będą rozwijane wyłącznie przy składowiskach. Taka struktura dla szczególnie krytycznych uwarunkowań jest przedstawiona na rysunku 55.



Rysunek 55. Model logistyki gospodarowania odpadami komunalnymi w Polsce z wykorzystaniem spalarni odpadów komunalnych w najbardziej krytycznym zakresie (najbardziej krytyczne, negatywne uwarunkowania otoczenia)

Źródło: opracowanie własne.

7.5. Sztuczna inteligencja w systemach zarządzania spalarnią odpadów

Sztuczna inteligencja (SI) odnosi się do dziedziny informatyki, która zajmuje się tworzeniem systemów komputerowych zdolnych do wykonywania zadań, które zwykle wymagają ludzkiej inteligencji (Russell & Norvig, 2009, s.2). Obejmuje ona różne techniki, takie jak uczenie maszynowe, przetwarzanie języka naturalnego, rozpoznawanie wzorców i planowanie (Luger & Stubblefield, 2004). SI ma na celu symulację procesów myślowych, uczenia się oraz podejmowania decyzji, co umożliwia maszynom wykonywanie zadań, które zwykle wymagałyby ludzkiego zaangażowania.

Znaczenie SI w zarządzaniu:

SI odgrywa coraz większą rolę w dzisiejszym świecie biznesu, również w sektorze zarządzania odpadami. Główne znaczenie SI w zarządzaniu można podsumować następująco (Sharda, Delen & Turban, 2020):

Automatyzacja procesów: SI umożliwia automatyzację wielu rutynowych procesów, co prowadzi do zwiększenia efektywności operacyjnej i redukcji kosztów. W przypadku zarządzania spalarnią odpadów, automatyzacja może obejmować monitorowanie parametrów procesu, kontrolę jakości oraz optymalizację zużycia energii.

Analiza danych: SI umożliwia zaawansowaną analizę dużych zbiorów danych generowanych przez systemy zarządzania, co pozwala na identyfikację trendów, wzorców oraz anomalii. Analiza danych przy użyciu SI może dostarczyć cennych informacji na temat efektywności procesów, zapotrzebowania na surowce czy preferencji klientów.

Optymalizacja decyzji: Za pomocą technik SI, systemy zarządzania mogą podejmować lepiej poinformowane decyzje, uwzględniając różnorodne czynniki i zależności. Algorytmy uczenia maszynowego mogą być wykorzystane do prognozowania wyników operacji, optymalizacji harmonogramów produkcji oraz minimalizacji ryzyka wystąpienia problemów.

Personalizacja usług: SI umożliwia dostosowanie oferowanych usług do indywidualnych potrzeb i preferencji klientów. Poprzez analizę danych dotyczących zachowań i preferencji klientów, systemy zarządzania mogą personalizować ofertę, dostosowując ją do konkretnych oczekiwań.

Zastosowania SI w zarządzaniu spalarnią odpadów:

Monitorowanie i diagnostyka: SI może być wykorzystywana do monitorowania parametrów procesów w spalarni odpadów oraz diagnozowania potencjalnych problemów. Systemy SI mogą automatycznie analizować dane z czujników i wczesnie ostrzegać o ewentualnych nieprawidłowościach w funkcjonowaniu urządzeń (Han, Kamber & Pei, 2011).

Optymalizacja procesów: SI może pomóc w optymalizacji różnych procesów w spalarni odpadów, takich jak segregacja odpadów, kontrola jakości czy planowanie transportu. Algorytmy uczenia maszynowego mogą analizować dane operacyjne i generować rekomendacje dotyczące optymalizacji procesów (Goodfellow, Bengio & Courville, 2016).

Prognozowanie zapotrzebowania: SI może być wykorzystywana do prognozowania zapotrzebowania na energię, surowce oraz inne zasoby w spalarni odpadów. Modele predykcyjne mogą uwzględniać różne czynniki, takie jak sezonowe zmiany, trendy rynkowe

czy zmiany regulacyjne (Hastie, Tibshirani & Friedman, 2009). Zarządzanie odpadami: SI może wspierać zarządzanie odpadami poprzez identyfikację najlepszych praktyk segregacji, recyklingu oraz utylizacji. Algorytmy uczenia maszynowego mogą analizować dane dotyczące składu chemicznego odpadów i sugerować optymalne sposoby ich przetwarzania (Chen & Zhang, 2014).

Zarządzanie energią: SI może być wykorzystywana do optymalizacji zużycia energii w spalarni odpadów. Systemy SI mogą analizować dane dotyczące zużycia energii i generować rekomendacje dotyczące optymalnego zarządzania produkcją energii (Faisal, Saif & Sandhu, 2015).

Obsługa klienta: SI może wspierać obsługę klienta poprzez personalizację oferty, dostosowywanie ofert do indywidualnych potrzeb oraz automatyzację procesów obsługi klienta (Perner, 2010). Planowanie i zarządzanie zasobami: SI może pomóc w planowaniu i zarządzaniu zasobami w spalarni odpadów, takimi jak surowce, personel oraz maszyny. Algorytmy uczenia maszynowego mogą analizować dane operacyjne i generować rekomendacje dotyczące optymalizacji wykorzystania zasobów (Alpaydin, 2020).

Kontrola jakości: SI może być wykorzystywana do automatycznego monitorowania jakości produktów i procesów w spalarni odpadów. Systemy SI mogą analizować dane dotyczące parametrów jakościowych i wczesne ostrzegać o ewentualnych nieprawidłowościach (Bishop, 2006).

Wprowadzenie SI do zarządzania spalarnią odpadów ma potencjał przyniesienia licznych korzyści, takich jak zwiększenie efektywności operacyjnej, redukcja kosztów, poprawa jakości produktów oraz zwiększenie satysfakcji klientów. Jednakże, aby zrealizować pełen potencjał SI, konieczne jest przezwyciężenie różnych wyzwań, takich jak integracja z istniejącymi systemami, zapewnienie odpowiedniej infrastruktury IT oraz zagwarantowanie bezpieczeństwa danych. Dalsze badania nad zastosowaniem SI w zarządzaniu spalarnią odpadów mogą skupić się na rozwoju bardziej zaawansowanych algorytmów uczenia maszynowego, analizie danych w czasie rzeczywistym oraz integracji z systemami IoT (Internetu rzeczy).

Przegląd różnych typów algorytmów uczenia maszynowego:

- **Algorytmy uczenia maszynowego** można podzielić na kilka głównych kategorii, z których każda ma swoje specyficzne zastosowania w różnych dziedzinach, w tym także w zarządzaniu spalarnią odpadów (Goodfellow, Bengio & Courville, 2016) :
- **Uczenie nadzorowane:** W tym rodzaju uczenia algorytm jest uczony na podstawie zbioru danych zawierającego pary wejście-wyjście, co oznacza, że model jest w stanie przewidzieć odpowiedź na nowe dane. Przykłady algorytmów to regresja liniowa, drzewa decyzyjne, oraz algorytmy oparte na sieciach neuronowych.
- **Uczenie nienadzorowane:** W tym przypadku model jest trenowany na danych bez etykiet, a jego zadaniem jest wykrywanie wzorców i struktur w danych. Przykłady algorytmów to klasteryzacja, analiza składowych głównych (PCA), oraz algorytmy grupowania hierarchicznego (Hastie, Tibshirani & Friedman, 2009).
- **Uczenie ze wzmocnieniem:** W tym rodzaju uczenia model uczy się na podstawie interakcji z otoczeniem, podejmując decyzje i dostając odzwierciedlenie w postaci nagród lub kar. Przykłady algorytmów to Q-learning, metoda Monte Carlo, oraz algorytmy genetyczne (Chen & Zhang, 2014).

Przykłady konkretnych planowanych zastosowań algorytmów uczenia maszynowego w procesach zarządzania analizowanym modelem spalarni:

1. **Procesy monitorowania i diagnostyki:** Algorytmy uczenia nadzorowanego będą wykorzystane do monitorowania parametrów procesów w spalarni odpadów oraz do diagnozowania potencjalnych problemów. Na przykład, algorytmy regresji liniowej mogą przewidywać zużycie energii na podstawie danych operacyjnych.
2. **Optymalizacja procesów:** Algorytmy uczenia maszynowego będą wykorzystane do optymalizacji różnych procesów w spalarni odpadów, takich jak segregacja odpadów, kontrola jakości czy planowanie transportu. Przykładowo, algorytmy klasteryzacji mogą pomóc w identyfikacji grup odpadów o podobnych właściwościach chemicznych.
3. **Prognozowanie zapotrzebowania:** Algorytmy uczenia maszynowego będą wykorzystywane do prognozowania zapotrzebowania na energię, surowce oraz inne zasoby w spalarni odpadów. Na przykład, metody regresji mogą przewidywać ilość odpadów generowanych w określonym okresie czasu.
4. **Zarządzanie energią:** Algorytmy uczenia maszynowego będą wykorzystywane do optymalizacji zużycia energii w spalarni odpadów. Na przykład, algorytmy uczenia ze wzmocnieniem

mogą dostosowywać ustawienia maszyn do zmieniających się warunków pogodowych, minimalizując zużycie energii.

5. **Kontrola jakości:** Algorytmy uczenia maszynowego będą wykorzystywane do automatycznego monitorowania jakości produktów i procesów w spalarni odpadów. Na przykład, algorytmy detekcji anomalii mogą identyfikować nieprawidłowości w procesach produkcji.

Automatyzacja procesów zarządzania w spalarni odpadów to kluczowy element wykorzystujący potencjał sztucznej inteligencji (SI) w optymalizacji działań. Poniżej przedstawiono różne aspekty automatyzacji procesów zarządzania oraz przykłady ich zastosowania w kontekście spalarni odpadów.

1. Monitorowanie procesów:

- SI będą wykorzystywana do monitorowania parametrów procesów w spalarni odpadów, takich jak temperatura, wilgotność, ciśnienie, czy poziom emisji (Russell & Norvig, 2009).
- Systemy SI będą analizować dane z czujników w czasie rzeczywistym i wczesne wykrywać ewentualne nieprawidłowości lub awarie w funkcjonowaniu urządzeń (Russell & Norvig, 2009).

Przykład: Algorytmy uczenia maszynowego będą (brosze wszędzie zamienić na to, że procesy te będą zastosowane w analizowanym modelu spalarni) analizować dane z czujników termometrycznych w spalarni, aby monitorować temperaturę procesów spalania i w razie potrzeby dostosować parametry.

2. Planowanie procesów:

- SI będą wspierać planowanie różnych procesów w spalarni odpadów, takich jak planowanie produkcji energii, zarządzanie dostawami, czy harmonogramowanie prac konserwacyjnych (Alpaydin, 2014).
- Algorytmy uczenia maszynowego będą analizować dane historyczne oraz bieżące, aby prognozować zapotrzebowanie na energię lub surowce oraz optymalizować harmonogramy produkcji (Alpaydin, 2014).

Przykład: System SI w przyszłości będą analizować dane dotyczące zużycia energii w określonych okresach czasu i generować rekomendacje dotyczące optymalnego planowania produkcji energii (Bengio, Goodfellow & Courville, 2017).

3. Optymalizacja procesów:

- SI będzie mógł pomóc w optymalizacji różnych procesów w spalarni odpadów, takich jak segregacja odpadów, recykling, czy utylizacja (Flach, 2012).

- Algorytmy uczenia maszynowego będą analizować dane operacyjne oraz parametry procesów, aby identyfikować obszary wymagające optymalizacji i generować rekomendacje dotyczące poprawy efektywności (Bishop, 2006).

Przykład: System SI w przyszłości będzie analizować dane dotyczące składu chemicznego odpadów i sugerować optymalne sposoby ich przetwarzania w celu maksymalizacji wydajności (Russell & Norvig, 2009).

Analiza danych i prognozowanie

Analiza danych i prognozowanie przy wykorzystaniu sztucznej inteligencji (SI) stanowi kluczowy element efektywnego zarządzania spalnią odpadów. Poniżej przedstawiono rolę SI w analizie danych oraz prognozowaniu trendów i efektywności procesów w kontekście spalarni odpadów.

1. Rola SI w analizie danych:

- SI będzie umożliwiać zaawansowaną analizę dużych zbiorów danych generowanych przez spalnię odpadów, takich jak dane dotyczące zużycia energii, parametrów procesów czy jakości produktów.
- Algorytmy uczenia maszynowego będą wykorzystane do identyfikacji trendów, wzorców oraz anomalii w danych, co umożliwi lepsze zrozumienie procesów zachodzących w spalarni (Russell & Norvig, 2009).

Przykład: System SI będzie analizować dane dotyczące zużycia energii w różnych okresach czasu i identyfikować czynniki wpływające na jej zmienność.

2. Zastosowanie SI do prognozowania:

- SI w przyszłości będzie wykorzystywana do prognozowania różnych parametrów związanych z działalnością spalarni odpadów, takich jak zapotrzebowanie na energię, ilość generowanych odpadów czy skład chemiczny odpadów.
- Algorytmy predykcyjne będą analizować historyczne dane operacyjne oraz czynniki zewnętrzne, takie jak zmiany regulacyjne czy trendy rynkowe, aby prognozować przyszłe zdarzenia i tendencje (Murphy, 2012).

Przykład: System SI będzie prognozować zapotrzebowanie na energię w określonych okresach czasu na podstawie danych dotyczących produkcji i zużycia energii w przeszłości.

Systemy decyzyjne oparte na sztucznej inteligencji (SI)

Systemy decyzyjne oparte na sztucznej inteligencji będą odgrywać istotną rolę w zarządzaniu spalarnią odpadów, umożliwiając podejmowanie optymalnych decyzji w dynamicznie zmieniających się warunkach. Poniżej przedstawiono opis tych systemów oraz przykłady ich zastosowań.

1. Opis systemów decyzyjnych wykorzystujących SI:

- Systemy decyzyjne oparte na SI będą wykorzystywać zaawansowane algorytmy uczenia maszynowego do analizy danych i generowania rekomendacji decyzyjnych.
- Te systemy będą integrować różnorodne dane operacyjne, parametry procesów oraz czynniki zewnętrzne, takie jak zmiany regulacyjne czy trendy rynkowe, aby wspierać podejmowanie decyzji na różnych poziomach zarządzania (Russell & Norvig, 2009).

Przykłady: Systemy decyzyjne będą wykorzystywane do optymalizacji harmonogramów produkcji, planowania zaopatrzenia czy zarządzania ryzykiem.

2. Zastosowania SI w podejmowaniu optymalnych decyzji:

- SI w przyszłości będzie wykorzystywana do podejmowania optymalnych decyzji w warunkach dynamicznie zmieniających się, gdzie tradycyjne metody podejmowania decyzji mogą być niewystarczające.
- Algorytmy uczenia maszynowego będą analizować dane w czasie rzeczywistym i generować rekomendacje decyzyjne, uwzględniając różnorodne czynniki i zależności (Murphy, 2012).

Przykłady: Systemy decyzyjne będą automatycznie dostosowywać strategię zarządzania produkcją w zależności od aktualnych warunków rynkowych, zapotrzebowania klientów czy dostępności surowców.

Predykcyjna konserwacja i utrzymanie ruchu

Wykorzystanie sztucznej inteligencji (SI) do predykcyjnej konserwacji i utrzymania ruchu w spalarni odpadów ma kluczowe znaczenie dla minimalizacji czasu przestoju i zwiększenia niezawodności urządzeń. Poniżej przedstawiono opis tych zagadnień oraz przykłady ich zastosowania.

1. Wykorzystanie SI do przewidywania awarii i konserwacji maszyn:

- SI w przyszłości będzie wykorzystywana do analizy danych sensorycznych z maszyn i systemów w spalarni odpadów w celu identyfikacji wzorców wskazujących na możliwe awarie(Russell & Norvig, 2009).
- Algorytmy uczenia maszynowego będą analizować dane dotyczące parametrów pracy maszyn, wskazując na potencjalne problemy i umożliwiając podejmowanie działań prewencyjnych przed wystąpieniem awarii(Murphy, 2012).

Przykłady: Systemy monitorowania stanu technicznego maszyn będą wykorzystywać techniki uczenia maszynowego do prognozowania momentu wystąpienia awarii i planowania konserwacji.

2. Przykłady zastosowania SI w minimalizacji czasu przestoju i zwiększeniu niezawodności urządzeń:

- SI w przyszłości będzie wspierać minimalizację czasu przestoju poprzez prognozowanie awarii i zaplanowanie działań konserwacyjnych w odpowiednim czasie, minimalizując negatywne skutki nieplanowanych przestojów. (Murphy, 2012).
- Algorytmy uczenia maszynowego będą analizować dane historyczne dotyczące awarii i wydajności maszyn, umożliwiając identyfikację czynników wpływających na ich niezawodność i efektywność(Murphy, 2012).

Przykłady: Systemy oparte na SI będą automatycznie generować harmonogramy konserwacji, uwzględniając różne czynniki, takie jak obciążenie maszyn, warunki środowiskowe czy obecność potencjalnych zagrożeń.

Personalizacja interakcji i obsługa klienta

Wykorzystanie sztucznej inteligencji (SI) do personalizacji interakcji z klientami spalarni odpadów jest kluczowe dla zwiększenia satysfakcji klientów i poprawy jakości obsługi. Poniżej przedstawiono opis tych zagadnień oraz przykłady ich zastosowania.

1. Jak SI będzie wykorzystana do personalizacji interakcji z klientami spalarni odpadów:

- SI będzie analizować dane dotyczące preferencji i zachowań klientów, umożliwiając dostosowanie oferty i interakcji do indywidualnych potrzeb.
- Algorytmy uczenia maszynowego będą identyfikować wzorce w zachowaniu klientów, umożliwiając personalizację komunikacji i ofert.

Przykłady: Systemy rekomendacyjne oparte na SI w przyszłości będą proponować klientom spalarni odpadów najbardziej odpowiednie usługi i produkty na podstawie analizy ich historii zakupów i preferencji (Goodfellow, Bengio, i Courville ,2016).

2. Przykłady zastosowań SI w dostosowywaniu oferty, obsłudze klienta i reagowaniu na indywidualne potrzeby:

- SI w przyszłości będzie wykorzystywana do automatycznego dostosowywania oferty i cen do zmieniających się preferencji klientów oraz warunków rynkowych.
- Algorytmy uczenia maszynowego będą analizować dane dotyczące interakcji klientów z systemem obsługi klienta i generować rekomendacje dotyczące optymalizacji procesów obsługi (Camacho et al., 2019).

Przykłady: Chatboty oparte na SI w przyszłości będą zapewniać szybką i efektywną obsługę klientów, odpowiadając na ich pytania i udzielając informacji na temat oferty spalarni odpadów.

Wyzwania i perspektywy rozwoju

Wdrażanie sztucznej inteligencji (SI) w zarządzaniu spalarnią odpadów wiąże się z szeregiem wyzwań, ale także niesie ze sobą obiecujące perspektywy rozwoju. Poniżej omówione są główne wyzwania oraz możliwości dalszego wykorzystania SI w optymalizacji procesów i poprawie efektywności zarządzania.

1. Główne wyzwania związane z wdrażaniem SI w zarządzaniu spalarnią odpadów:

- **Integracja z istniejącymi systemami:** Integracja nowych systemów SI z istniejącymi rozwiązaniami IT będzie trudna i wymagać dostosowania istniejącej infrastruktury.
- **Bezpieczeństwo danych:** Wprowadzenie SI może narazić na ryzyko bezpieczeństwa danych, zwłaszcza jeśli chodzi o poufność i integralność informacji dotyczących procesów zarządzania.
- **Brak zasobów ludzkich:** Wdrożenie skomplikowanych systemów SI wymaga odpowiedniej wiedzy i umiejętności personelu, co będzie stanowić wyzwanie w przypadku braku specjalistów ds. SI.
- **Zgodność regulacyjna:** Zarządzanie odpadami podlega rygorystycznym przepisom i regulacjom, co będzie komplikować wdrażanie nowych technologii, w tym SI (Weske, 2012).

2. Perspektywy rozwoju i możliwości dalszego wykorzystania SI:

- **Rozwój zaawansowanych algorytmów:** Kontynuacja badań nad nowymi technikami uczenia maszynowego może prowadzić do opracowania bardziej zaawansowanych algorytmów, zdolnych do skuteczniejszej analizy danych i podejmowania lepszych decyzji.
- **Analiza danych w czasie rzeczywistym:** Rozwój technologii umożliwiających analizę danych w czasie rzeczywistym będzie pozwalać na szybsze reagowanie na zmiany w środowisku oraz lepsze monitorowanie procesów.
- **Integracja z Internetem rzeczy (IoT):** Wykorzystanie SI w połączeniu z systemami Internetu rzeczy będzie umożliwić bardziej kompleksową i zintegrowaną analizę danych oraz zarządzanie procesami na wielu poziomach.
- **Rozwój narzędzi wspomagających decyzje:** Kontynuacja prac nad systemami wspomagającymi decyzje opartymi na SI będzie prowadzić do opracowania bardziej intuicyjnych i efektywnych narzędzi, które wspierają zarządzanie spalarnią odpadów (Camacho et al., 2019).

Podsumowanie:

Wdrażanie sztucznej inteligencji (SI) w zarządzaniu spalarnią odpadów przynosi liczne korzyści, takie jak automatyzacja procesów, analiza danych, optymalizacja decyzji oraz personalizacja interakcji z klientami. Główne obszary zastosowań SI w zarządzaniu obejmują automatyzację procesów, analizę danych, systemy decyzyjne, predykcyjną konserwację, personalizację interakcji oraz wyzwania i perspektywy rozwoju.

Wnioski:

1. Wdrożenie w przyszłości SI w zarządzaniu spalarnią odpadów wymaga starannej integracji z istniejącymi systemami, zapewnienia bezpieczeństwa danych oraz odpowiedniego przeszkolenia personelu.
2. Perspektywy rozwoju SI w zarządzaniu spalarnią obejmują kontynuację prac nad zaawansowanymi algorytmami, integrację z Internetem rzeczy, rozwój narzędzi wspomagających decyzje oraz analizę danych w czasie rzeczywistym.
3. Pomimo wyzwań, SI ma potencjał przyniesienia znaczących korzyści w efektywnym zarządzaniu procesami w spalarniach odpadów, poprawiając jakość usług, redukując koszty oraz zwiększając satysfakcję klientów.

Podsumowanie, wnioski, synteza badań

Kończąc tę analizę należy wyraźnie nadmienić, że problematyka odpadów, gospodarowania nimi, a także zarządzania logistyką w zakresie odpadów komunalnych wydaje się w chwili obecnej niezwykle aktualna. W mniejszym bądź większym zakresie dotyka każdego członka społeczeństwa. Z pewnością jest ona ważnym elementem funkcjonowania każdego z samorządów terytorialnych. Jednocześnie należy nadmienić, że ilość odpadów komunalnych stale rośnie. Konieczne jest zatem wdrażanie takich rozwiązań, które pozwolą na jak najefektywniejsze zarządzanie nimi, by możliwe było ich właściwe zagospodarowanie. Proces zagospodarowania odpadów, w tym tych o charakterze komunalnym, może odbywać się na różnych płaszczyznach i uwzględniając rozmaite rozwiązania technologiczne, które pozwolą na ich odpowiednie pod względem jakościowym i proekologicznym przetworzenie. Jednym z rozwiązań, które można w tym kontekście wykorzystać są spalarnie odpadów komunalnych. Właśnie ten aspekt stanowił przedmiot analiz podejmowanych w niniejszej pracy.

Wnioski z pracy:

1. Wprowadzenie nowoczesnych rozwiązań informatycznych, takich jak systemy automatyzacji i szkolenia pracowników, może znacząco poprawić efektywność procesów logistycznych w spalarni odpadów komunalnych INTEC.
2. Wdrożenie rozwiązań z zakresu automatyzacji i systemów szkoleń dla pracowników wykazało się wysokimi wskaźnikami rozwoju we wszystkich stanach rozwoju rynku, co przekłada się na stabilne i pozytywne efekty wpływające na procesy logistyczne.
3. Zwiększenie liczby pracowników oraz korzystanie z pomocy przedsiębiorstw optymalizujących nie przyniosło oczekiwanych rezultatów i nie wpłynęło znacząco na efektywność procesów logistycznych w spalarni odpadów komunalnych INTEC.
4. Wymogi prośrodowiskowe są kluczowym czynnikiem ograniczającym logistykę odpadów komunalnych w spalarni, co podkreśla konieczność kontynuowania działań w celu dostosowania się do tych wymogów oraz ich skutecznego spełniania.
5. Stały rozwój technologii, zwłaszcza związany z automatyzacją linii technologicznej spalarni, może stanowić istotne wsparcie dla zarządzania logistycznego odpadami komunalnymi, prowadząc do usprawnienia procesów.
6. Skoncentrowanie się na rozwiązaniach informatycznych oraz doskonalenie kompetencji pracowników poprzez systemy szkoleń może przyczynić się do efektywniejszego

zarządzania logistyką odpadów komunalnych, co jest kluczowe dla poprawy efektywności procesów w spalarni.

W podsumowaniu niniejszej pracy badawczej udało się skutecznie rozwiązać stawiany problem badawczy poprzez analizę różnych czynników wpływających na efektywność logistyki odpadów komunalnych w spalarni śmieci. W ramach badania postawionego problemu badawczego, przeprowadzono kompleksową analizę różnorodnych czynników wpływających na logistykę odpadów komunalnych w spalarni śmieci. Poprzez zbieranie danych, analizę literatury oraz wywiadów z ekspertami, udało się zidentyfikować główne przeszkody oraz potencjalne możliwości usprawnienia procesów zarządzania odpadami.

Przede wszystkim, dokładnie przeanalizowano wymogi środowiskowe, które okazały się kluczowym czynnikiem ograniczającym logistykę odpadów komunalnych w spalarni. Poprzez identyfikację tych wymogów oraz analizę ich wpływu na procesy logistyczne, możliwe było zrozumienie głównych barier w efektywnym zarządzaniu odpadami.

W dalszej kolejności, przeprowadzono analizę roli rozwoju technologicznego oraz wprowadzenia rozwiązań automatyzacyjnych i systemu szkoleń dla pracowników. Badania potwierdziły, że te czynniki mogą istotnie wspierać zarządzanie logistyką odpadów komunalnych poprzez zwiększenie efektywności operacyjnej oraz poprawę jakości procesów.

Następnie, na podstawie zebranych danych i analizy wyników, sformułowano propozycje rozwiązań mających na celu usprawnienie zarządzania logistyką odpadów komunalnych w spalarni. Wskazano konkretne kroki, które mogą być podjęte w celu przeciwdziałania identyfikowanym problemom oraz wykorzystania wykrytych możliwości usprawnień.

W rezultacie przeprowadzonych badań, udało się nie tylko zidentyfikować główne czynniki wpływające na logistykę odpadów komunalnych w spalarni, ale również zaproponować konstruktywne rozwiązania, które mogą być wdrożone w praktyce w celu poprawy efektywności procesów zarządzania odpadami. W rezultacie przeprowadzonych badań potwierdzono hipotezę główną, wskazującą na wymogi środowiskowe jako kluczowy czynnik ograniczający logistykę odpadów. Ponadto, hipotezy pomocnicze dotyczące roli

rozwoju technologii oraz wprowadzenia rozwiązań automatyzacyjnych i systemu szkoleń dla pracowników zostały potwierdzone. Wnioski płynące z badań wskazują na osiągnięcie celu głównego, którym było zidentyfikowanie czynników wpływających na efektywność logistyki odpadów komunalnych w spalarni, oraz celów pomocniczych, takich jak wskazanie sposobów usprawnienia procesów logistycznych poprzez wykorzystanie nowoczesnych technologii oraz odpowiednie szkolenie personelu. Dzięki temu możliwe będzie lepsze zarządzanie odpadami komunalnymi w spalarni, co przyczyni się do poprawy efektywności i zrównoważonego rozwoju tego sektora.

Logistyka w zakładach zajmujących się przetwarzaniem odpadów komunalnych jest ważnym obszarem, gdzie mogą być podejmowane działania, jakie będą zmierzały do usprawnienia całej gospodarki komunalnych. Łańcuchy logistyczne w zakresie odpadów komunalnych charakteryzują się znaczącym poziomem skomplikowania oraz wpływają na nią rozmaite uwarunkowania. W związku z tym, podjęcie działań naprawczych, które mają zwiększać efektywność i sprawność przemieszczania odpadów, na przykład w celu ich utylizacji w spalarniach odpadów komunalnych musi cechować się szczególnymi wytycznymi. Dotyczy to na przykład konieczności spełniania często mocno „wyśrubowanych” przepisów prawa w zakresie ochrony środowiska naturalnego, czy też wymogów co do efektywności i bezpieczeństwa pracy osób, które zatrudnione są w spalarniach odpadów komunalnych. Mimo tych ograniczeń, to cały czas istnieje szereg możliwości zwiększenia sprawności gospodarki odpadami.

Duże znaczenie posiada w tym zakresie stały postęp technologiczny. Przykładowo na rynku spalarni wdrażane są coraz to nowe rozwiązania techniczne, które mają zapewnić wzrost efektywności działania takich instalacji. Należy zaznaczyć w tym kontekście, że Polska nie jest w wystarczającym zakresie pokryta spalarni odpadów komunalnych. Programy z tym związane w kraju dopiero są rozwijane. W innych państwach Europy zachodniej liczba podobnych instalacji technologicznych jest zdecydowanie wyższa. Jednocześnie ich poziom innowacyjności jest co do zasady wyższy aniżeli w kraju. Uzasadnione staje się zatem w wielu przypadkach zaczerpnięcie z rozwiązań zagranicznych przez polskie podmioty, aby tworzyć efektywne i sprawne spalarnie odpadów komunalnych. Stosowanie tak zwanych „dobrych praktyk” jest w tym racjonalnym rozwiązaniem, które pozwoli na przeniesienie innowacyjnych rozwiązań na grunt polski. Sytuacja ta w przyszłości może się okazać podstawą dla tworzenia i rozwoju już w pełni polskich rozwiązań na jakich opierają się współczesne spalarnie odpadów komunalnych.

Jednocześnie należy wskazać, że dla sprawnej gospodarki czy też logistyki odpadami komunalnymi w ramach na przykład działających w Polsce spalarni odpadów komunalnych znaczenie ma nie tylko wykorzystywanie innowacyjnych rozwiązań technologicznych. Dużą rolę odgrywa także odpowiednie zorganizowanie pracy bądź przepływów ładunków w ramach danej instalacji. Dostęp nawet do najlepszych rozwiązań technicznych nie będzie spełniał stawianych przed nim celów, jeżeli ich zastosowanie nie będzie we właściwy sposób zorganizowane. Odpowiednia organizacja spalarni odpadów komunalnych będzie w istotny sposób przekłada się na efektywność dokonywanych procesów, nawet jeżeli zastosowana technologia będzie należała do tych starszych. Bardzo dobrze widoczne jest to na płaszczyźnie zarządzania logistyką odpadów komunalnych. Kwestie te zostały poruszone właśnie w przedkładanej pracy.

Wyniki badań przeprowadzonych dla niniejszej pracy wyraźnie wskazują, że długość na efektywność łańcucha dostaw odpadów komunalnych wpływ ma wiele różnych czynników. Jednym z nich jest długość łańcucha. W związku z tym, im będzie on krótszy, tym cały system zarządzania gospodarką odpadów komunalnych w gminach zwiększy swoją efektywność. W całym procesie gospodarki komunalnej w odniesieniu do odpadów, która w Polsce jest realizowana na poziomie poszczególnych jednostek samorządu gminnego. Eliminacja zbędnych ogniw w łańcuchu gospodarowania odpadami komunalnymi przynosi wiele korzyści. W niniejszej pracy wskazano na kilka z nich. Przede wszystkim dochodzi do ograniczenia kosztów oraz czasów funkcjonowania gospodarki odpadami komunalnymi.

Odnosząc to do analizowanych w niniejszej pracy instalacji termicznego przerobu odpadów komunalnych należy nadmienić, że koszty są ograniczane między innymi poprzez krótszy czas składowania odpadów komunalnych. Okres od ich odbioru od klienta, to termicznego przerobu powinien być optymalnie krótki. Konieczna jest tutaj odpowiednia segregacja tych odpadów, jednak spalarnie odpadów komunalnych wydają się jednym z najefektywniejszych rozwiązań, które mogą być wykorzystane w procesie racjonalizacji zarządzania gospodarką komunalną w kontekście odpadów. Pewne wzorce w tym zakresie do Polski przychodzą z Europy Zachodniej. Na przykład w Niemczech, czy też w Hiszpanii, historia funkcjonowania spalarni odpadów komunalnych jest zdecydowanie dłuższa niż w Polsce. W związku z tym, istnieją już tam odpowiednie doświadczenia nie tylko w zakresie samej technologii, która jest wykorzystywana w spalarniach odpadów komunalnych, ale i również obowiązują efektywniejsze rozwiązania o charakterze organizacyjnym dla łańcuchów logistycznych tych odpadów.

Analizy przeprowadzone w treści niniejszej pracy dają jednak do zrozumienia, że mimo jasnych korzyści z funkcjonowania w łańcuchach logistycznych odpadów komunalnych

spalarni, ich liczba w Polsce cały czas jest dość niska. Podejmowane są kolejne inwestycje w tym zakresie, jednak i tak, rynek nie jest jeszcze dość nasycony tego rodzaju rozwiązaniami technicznymi. W przyszłości należy się spodziewać, że liczba spalarni odpadów komunalnych w kraju będzie się dynamicznie podnosić. Jednocześnie, zwiększała się będzie również liczba produkowanych przez społeczeństwo i przedsiębiorstwa odpadów. Inną kwestią jest natomiast coraz wyższych wymogów w zakresie segregacji odpadów komunalnych. Należy spodziewać się, że skala tej segregacji, a także frakcje na jakie odpady będą dzielone również ulegnie zwiększeniu. To również będzie miało znaczenie dla efektywności działania poszczególnych łańcuchów logistycznych odnoszących się do odpadów komunalnych w Polsce.

Bibliografia

1. *100 Jahre Müllverbrennung in Hamburg*, Stadtreinigung, Hamburg 1996.
2. Adamkiewicz – Drwiłło H., *Współczesna metodologia badań ekonomicznych*, Wydawnictwo TNOiK Dom Organizatora, Toruń 2008.
3. *Advanced Conversion Technologies*, Juniper Consultancy Services, London 2007.
4. Allesch, A., Brunner, P. H., & Rechberger, H. (1997). *Waste incineration with energy recovery: a climate neutral source of electricity and heat?* Journal of Industrial Ecology, 1(2), 71-93.
5. Andersen, J. K., Boldrin, A., & Christensen, T. H. (2009). *Carbon footprint of waste incineration – a review*. Waste Management & Research, 27(8), 789-799
6. Apanowicz J., *Metodologia ogólna*, Gdynia 2002
7. Alpaydin, C. (2014). *Introduction to Machine Learning*. MIT Press.
8. Alpaydin, E. (2020). *Introduction to machine learning*. MIT Press.
9. Aspekt, (2024). *Sztuczna inteligencja w logistyce i magazynowaniu*.
10. Azapagic, A., Perdan, S., & Clift, R. (2005). *Sustainable development in practice: case studies for engineers and scientists*. John Wiley & Sons
11. Bengio, Y., Goodfellow, I., & Courville, A. (2017). *Deep Learning*. MIT Press
12. Bergier T., Kronenberg J., *Wyzwania zrównoważonego rozwoju w Polsce*, Fundacja Sendzimira, Kraków 2010.
13. Bishop, C. M. (2006). *Pattern recognition and machine learning*. Springer.
14. Bławat F., *Podstawy analizy ekonomicznej*, Wydawnictwo CEDEWU, Warszawa 2011.
15. Borys T., *Przedmiot i podział statystyki i ekonometrii – artykuł dyskusyjny*, Wiadomości Statystyczne, 1982, nr 5.
16. Brunner, P. H., & Rechberger, H. (2015). *Handbook of material flow analysis: For environmental, resource, and waste engineers*. CRC Press.
17. Camacho, E., García-Costa, M., & González, R. (2019). "A Comprehensive Survey on Predictive Maintenance and Machine Learning Techniques: From Theory to Industry Practices." Expert Systems with Applications.
18. Chen, C. P., & Zhang, C. Y. (2014). "Data-intensive applications, challenges, techniques and technologies: A survey on Big Data." Information Sciences, 275, 314-347.

19. Chen, H.-W., Chang, N.-B., Chen, J.-C., & Tsai, S.-J. (2010). *Environmental performance evaluation of large-scale municipal solid waste incinerators using data envelopment analysis*. Waste Management, 30(7), 1371-1381.
20. Chimenos, J.M., Segarra, M., Fernández, M.A., & Espiell, F. (1999). *Characterization of the bottom ash in municipal solid waste incinerator*. Journal of Hazardous Materials, 64(3), 211-222.
21. Colangelo, F., Cioffi, R., Montagnaro, F., Santoro, L., Janssen, M., & van der Sloot, H. (2013). *A review of bottom ash utilization in high-added value applications*. Waste Management, 33(4), 725-737.
22. Cooper, D. R., & Schindler, P. S. (2013). *Business research methods*. McGraw-Hill Education.
23. Cossu, R., Lai, T., & Sandrolini, F. (2009). *Management of bottom ash from WTE plants: an overview*. Waste Management, 29(10), 2854-2868.
24. De Titto, E., & Savino, A. (2019). *Environmental and health risks related to waste incineration*. Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy, 37(10).
25. D'Obyrn K., Szalińska E., *Odpady komunalne - zbiórka, recykling, unieszkodliwianie*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2005.
26. Domański T., *Marketing dla menadżerów*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1998.
27. Drucker P.F., *Innowacje i przedsiębiorczość. Praktyka i zasady*, PWE, Warszawa 1992.
28. Ducharme C., Themelis N., *Analysis of thermal plasma - assisted waste to energy processes*, Proceedings of the 18th Annual North American Waste-to-Energy Conference NAWTEC18, Orlando 2010.
29. Elliott, D. C., & Sealock Jr, L. J. (2008). *Industrial plasma technology: applications from environmental to energy technologies*. Wiley-VCH.
30. *Encyklopedia Popularna PWN – wydanie szóste*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1982.
31. European Commission. (2014). *Waste management outlook for mountain regions: Sources and solutions*. Publications Office
32. *Evaluation of New and Emerging Solid Waste Management Technologies*, Alternative Resources, Inc, vol I. 2004, vol. II, 2008.
33. Faisal, M., Saif, U., & Sandhu, K. S. (2015). "A survey of big data architectures and machine learning algorithms in healthcare." Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences.

34. Fienko R., „*Gospodarka odpadami w obliczu integracji Polski z Unią Europejską*” w Eko Technika, nr 3/15/2000.
35. Flach, P. (2012). *Machine Learning: The Art and Science of Algorithms that Make Sense of Data*. Cambridge University Press.
36. Folmer, H., Gabel, L., & Opschoor, H. (1996) *Ekonomia środowiska i zasobów naturalnych*. Warszawa: Wydawnictwo Krupski i S-ka.
37. Gambuś F., *Statystyka w zarządzaniu*, PWE, Warszawa 1999
38. *Gasification Processes for Generating Syngas*, Juniper Consultancy Services, London 2009.
39. Gaska, K., Generowicz, A., Ocioń, P., & Stelmach, S. (2021). *Location of the waste incineration plant with particular emphasis on the environmental criteria*. Journal of Cleaner Production, 303, 126887
40. Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). *Production, use, and fate of all plastics ever made*. Science Advances, 3(7), e1700782
41. Gnitecki J., *Zarys metodologii badań w pedagogice empirycznej*, Zielona Góra 1989.
42. Gomez E., Amutha Rani D., Cheeseman C.R., Deegan D., Wise M., Boccaccini A.R., *Thermal plasma for the treatment of wastes. A critical review*, Journal of Hazardous materials, 2009, nr 161.
43. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT press.
44. Goriszowski W., *Badania pedagogiczne w zarysie*, Warszawa 1996.
45. Gorzelak G., *Statystyczna analiza porównawcza – teoria a praktyka*, Wiadomości statystyczne, 1981, nr 8.
46. Górski M., *Prawo ochrony środowiska*, Wydawnictwo Wolters Kluwer Polska Sp. z o. o., Warszawa 2009.
47. Graczyk, A. (2013) *Instrumenty rynkowe polityki ekologicznej. Teoria i praktyka*. Wrocław: Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu.
48. Grabowska A., *Klasyfikacja i właściwości odpadów. Materiały wykładowe*, AGH, Kraków 2012.
49. Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2011). *Data mining: concepts and techniques*. Elsevier.
50. Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). *The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction*. Springer Science & Business Media.
51. Hellwig Z., *Zastosowanie metody taksonomicznej do typologicznego podziału krajów ze względu na poziom ich rozwoju oraz zasoby i strukturę wykwalifikowanych kadr*, Przegląd Statystyczny, 1968, nr 4.

52. Hoornweg, Daniel, Perinaz Bhada-Tata, and Chris Kennedy. "Waste production must peak this century." *Nature* 502.7473 (2013): 615-617.
53. *Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration*, European Commission, Brussels, August 2006.
54. Iwaniuk A., *Vademecum ogrodnika*, Wyd. Bellona, Warszawa 2008.
55. Iwasiewicz A., *Zarządzanie jakością. Podstawowe problemy i metody*, Wydawnictwo PWN, Warszawa 1999.
56. Izba Branży Komunalnej (2022) *In-house w Polsce – bilans 5 lat obowiązywania przepisów. Wpływ i konsekwencje na gospodarkę odpadami, samorzady i przedsiębiorców*.
57. Jankiewicz – Siwek A., *Syntetyczne miary oceny zdolności kredytowej przedsiębiorstw (propozycja dla banków)*, [w:] E. Nowak, M. Urbanek, *Ekonometryczne modelowanie danych finansowo - księgowych*, Wydawnictwo UMCS, Lublin 1996.
58. Jarocka M., *Zastosowanie wybranych metod wielowymiarowej analizy porównawczej w hierarchizacji polskich uczelni*, *Economics and Management*, 2012, nr 4.
59. Jędrzak A., Szpadt R., *Określenie metodyki badań składu sitowego, morfologicznego i chemicznego odpadów komunalnych*, Kamieniec Wr. - Zielona Góra 2006.
60. Kisiel P., *Wpływ zmian w systemie zarządzania produkcją na systemy transportu wewnętrznego i magazynowania*, *Automatyka*, Kraków, 2011.
61. Kotlicki T., Wawszczak A., *Spalanie odpadów w kotłach energetycznych*, *Górnictwo i Geoinżynieria*, 2011, r. 35, nr 3.
62. Kurkiewicz J., Pociecha J., Zając K., *Metody wielowymiarowej analizy porównawczej w badaniach rozwoju demograficznego*, Szkoła Główna Handlowa, Instytut Statystyki i Demografii, Monografie i Opracowania 336, Warszawa 1991.
63. Lewandowska A., Foltynowicz Z., *Ekoprojektowanie nowoczesny trend w opakowalnictwie. Innowacyjność w opakowalnictwie*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Poznań 2007.
64. Lewis H., Sweatman A., Morelli N., Grant T., Gertsakis J., *Design + environment: a global guide to designing greener goods*, Greenleaf, Sheffield 2001.
65. Lofland J., Snow D., Anderson L., Lofland L., *Analiza układów społecznych*, Wydawnictwo Naukowe SCHOLAR, Warszawa 2009.
66. Lorek A., *Ocena efektywności gospodarki odpadami komunalnymi w Polsce i krajach UE*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. K. Adamieckiego, Katowice 2007.
67. Luger, G. F., & Stubblefield, W. A. (2004). *Artificial intelligence: structures and strategies for complex problem solving*. Pearson Education

68. Łatka U., *Technologia i towaroznawstwo*, WSiP, Warszawa 2003.
69. Łobocki M., *ABC wychowania*, Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie - Skłodowskiej, Lublin 2003.
70. Malkow T., *Novel and innovative pyrolysis and gasification technologies for energy efficient and environmentally sound MSW disposal*, Waste Management, 2004, nr 24.
71. Mikula J., Łach M., *Zagospodarowanie odpadów poprocesowych z termicznego przekształcania odpadów komunalnych*, Nowa Energia, 2018, nr 4/64.
72. Morf, L. S., Brunner, P. H., & Spaun, S. (2002). *Effect of operating conditions and input variations on the partitioning of metals in a municipal solid waste incinerator*. Waste Management and Research.
73. Murphy, K. (2012). *Machine Learning: A Probabilistic Perspective*. MIT Press.
74. Nikodem W., *Zgazowanie odpadów komunalnych*, Polityka Energetyczna, 2007, nr 10/2..
75. *Nowa Encyklopedia Powszechna PWN – tom 4*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1997.
76. Okoń W., *Słownik pedagogiczny*, Wydawnictwo PWN, Warszawa 1992.
77. Orzełowski S., *Naprawa i obsługa pojazdów samochodowych*, WSiP, Warszawa 1969.
78. Ostrowiecki D., *Rola i miejsce spalarni odpadów w systemie gospodarowania odpadami komunalnymi na tle realizacji zrównoważonego rozwoju*, Przegląd Prawa Ochrony Środowiska, 2012, nr 4.
79. Pająk T., *Współczesne technologie termicznej utylizacji różnych grup odpadów*, Ogólnopolska Konferencja „UTY-EKO’98”, Bydgoszcz, kwiecień 1998.
80. Panepinto, D., Senor, A., & Genon, G. (2016). *Energy recovery from waste incineration: economic aspects*. Clean Technologies and Environmental Policy, 18, 517-527.
81. Perner, P. (2010). *Machine learning and data mining in pattern recognition*. Springer Science & Business Media.
82. Pilch T., *Zasady badań pedagogicznych*, Wydawnictwo Żak, Warszawa 1998.
83. *Plasma Gasification*, Dovetail Partners Inc., 2010.
84. *Poradnik ogrzewanie i klimatyzacja z uwzględnieniem chłodnictwa i zaopatrzenia w ciepłą wodę*, EWFE – wydanie 1, Gdańsk 1994.
85. Przywarska R., *Podstawy oczyszczania miast i terenów wiejskich*, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Ekonomii i Administracji, Bytom 2003.
86. Rada Ministrów, *Krajowy Plan Gospodarki Odpadami*, Warszawa, dnia 29 października 2002 roku.
87. Radecki W., *Ustawa o odpadach*, Wolters Kluwer Polska, Warszawa 2008.

88. Reimann D.O., Hämmerli H., *Verbrennungstechnik für Abfälle in Theorie und Praxis*, Schriftenreihe. Umweltschutz, Bamberg, 1995.
89. *Review of small scale waste to energy conversion systems*, CSIRO Energy Technology, 2004.
90. Rogall, H. (2010) *Ekonomia zrównoważonego rozwoju. Teoria i praktyka*. Poznań: Wydawnictwo Zysk i S-ka.
91. Rosik – Dulewska Cz., *Podstawy Gospodarki Odpadami*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.
92. Russell, S. J., & Norvig, P. (2009). *Artificial intelligence: a modern approach*. Pearson Education.
93. Sabbas, T., Poletini, A., Pomi, R., Astrup, T., Hjelmar, O., Mostbauer, P., ... Lechner, P. (pHOENIX working group on Management of MSWI Residues). (2002). *Management of municipal solid waste incineration residues*. Waste Management
94. Sakai, S.-i., & Hiraoka, M. (2000). *Municipal solid waste incinerator residue recycling by thermal processes*. Waste Management, 20(2–3), 249-258.
95. Sharda, R., Delen, D., & Turban, E. (2020). *Decision Support and Business Intelligence Systems*. Pearson Education.
96. Shilkina, S., & Niyazov, A. (2018). *Financial and economic model of waste incineration plant construction*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 365(6), 062024.
97. *Small to medium scale EfW systems for processing MSW*, Juniper Consultancy Services, London 2009.
98. Szołtysek J., *Logistyka zwrotna, Reverse logistics*, ILiM, Poznań, 2009.
99. Stachak S., *Podstawy metodologii badań ekonomicznych*, Wydawnictwo Książka i Wiedza, Warszawa 2006.
100. Strzelczyk F., Wawszczak A., *Spalanie i współspalanie odpadów w energetyce*, Materiały Jubileuszowej Konferencji Kociołowej. Szczyrk, 13-15.10.2009 rok.
101. Sztumski J., *Wstęp do metod i technik badań społecznych*, Wydawnictwo PWN, Warszawa 1984.
102. Tanner R., *Die Entwicklung der Von Roll Müllverbrennungsanlagen*, Schweizerische Bauzeitung, Heft 16, 1965.
103. Tavares, G., Zsigraiová, Z., & Semiao, V. (2011). *Multi-criteria GIS-based siting of an incineration plant for municipal solid waste*. Waste Management, 31(9–10), 1960-1972.
104. Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. A. (1993). *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. McGraw-Hill, Inc

105. Tendler M., Rutberg P., van Oost G., *Plasma based waste treatment and energy production*, Plasma Physics and Controlled. Fusion, 2005, nr 47.
106. *The Viability of Advanced Thermal Treatment of MSW in the UK*, Fichtner Consulting Engineers Ltd., 2004.
107. *Thermal Conversion of Solid Wastes and Biomass to Energy*, US Environmental Protection Agency, Cincinnati 2007.
108. *Thermochemical conversion of waste for energy*, CSIRO Energy Technology, 2003.
109. Thome-Kozmiensky K.J., *Thermische Abfallbehandlung*. EF-Verlag für Energie und Umwelttechnik, Berlin 1994.
110. Tschobanoglous, G., & Kreith, F. (2002). *Handbook of Solid Waste Management*. McGraw-Hill, Inc.
111. Van Gerven T., zevenhoven R., *Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review*, Waste Management, 2009, nr 29
112. *Waste Incineration and Heat Recovery: A Review of European and Global Markets and Trends*, European Council for Packaging and the Environment, 2008
113. *Waste to Energy. A Technical Review of Municipal Solid Waste Thermal Treatment Practices*, Stantec 2010.
114. *Waste-to-Energy Plants*, Global Energy Network Institute, 2010.
115. Wąsowicz, K., Famielec, S. i Chełkowski, M. (2018) *Gospodarka odpadami komunalnymi we współczesnych miastach*. Kraków: Wydawnictwo Fundacja Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie.
116. Weske, M. (2012). *Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures*. Springer.
117. Wielgosinski G., *Emisja dioksyn z procesów termicznych i metody jej ograniczania*, Wydawnictwo: Polska Akademia Nauk, Oddział w Łodzi, Łódź 2009.
118. Wielgościński G., *Przegląd technologii termicznego przekształcania odpadów*, Nowa Energia, 2011, nr 1.
119. Wielgościński G., Czerwińska J., *Spalarnie odpadów komunalnych w Polsce*, Nowa Energia, 2019, nr 4.
120. Zaczyński W., *Praca badawcza nauczyciela*, WSIP, Warszawa 1995.
121. Zarzycki R., Imbierowicz M., Stelmachowski M., *Wprowadzenie do inżynierii i ochrony środowiska*, Warszawa 2007.
122. Żabicki P., Gardziejczyk W., *Zagadnienia normalizacji kryteriów w analizach wielokryterialnych w projektowaniu dróg*, Budownictwo i Architektura, 2014, nr 13/4.

Akty prawne

1. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 roku o odpadach (Dz. U. z 2001 r., Nr 62, poz. 628 ze zmianami).
2. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 roku o odpadach (Dz. U. z 2016 roku, poz. 1987 ze zmianami).
3. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 roku w sprawie katalogu odpadów (Dz. U. z 2001 r., Nr 112, poz. 1206).
4. Rozporządzenie Ministra Klimatu z dnia 2 stycznia 2020 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. z 2020 r., poz. 10)
5. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 kwietnia 2003 roku w sprawie sporządzania planów gospodarki odpadami (Dz. U. 2003 r., Nr 66, poz. 620 ze zmianami).
6. Rozporządzenie (WE) nr 1013/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 14 czerwca 2006 r. w sprawie przemieszczania odpadów (Dz.U. L 190 z 12.7.2006)
7. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 3 grudnia 2009 r. w sprawie rocznych poziomów zbierania zużytych baterii przenośnych i zużytych akumulatorów przenośnych (Dz. U. z 2009 r. nr 215, poz. 1671)

Netografia

1. www1

[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Waste_generation_by_economic_activities_and_households,_2016_\(%25\).png](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Waste_generation_by_economic_activities_and_households,_2016_(%25).png) (dostęp: 1.12.2022 rok).

2. www2

https://sdr.gdos.gov.pl/Documents/Wizyty/Niemcy/Studienreise%2024-25.06.2014_7_3b.Workshop%20Polen.pdf (dostęp: 1.12.2022 rok).

3. www3

<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/podrecznik.pdf> (dostęp: 1.12.2022 rok).

4. www4

<https://spalarnie-odpadow.pl/spalarnie-w-polsce-i-na-swiecie/> (dostęp: 18.10.2022 rok).

5. **www5**
<https://www-umweltbundesamt-de/> (dostęp: 2.03.2023 rok).
6. **www6**
<https://portalkomunalny.pl/spalarnie-odpadow-na-swiecie-oto-najwieksze-zaklady-zdjecia-406474/> (dostęp: 1.03.2023 rok).
7. **www7**
<https://portalkomunalny.pl/spalarnie-odpadow-na-swiecie-oto-najwieksze-zaklady-zdjecia-406474/> (dostęp: 1.03.2023 rok).
8. **www8**
[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Waste_generation_by_economic_activities_and_households,_2016_\(%25\).png](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Waste_generation_by_economic_activities_and_households,_2016_(%25).png) (dostęp: 1.12.2022 rok).
9. **www9**
<https://sdr.gdos.gov.pl/Documents/GO/Hiszpania%208-12.04.2019/Zapobieganie%20powstawaniu%20odpad%C3%B3w.pdf> (dostęp: 1.12.2022 rok).
10. **www10**
<https://odpady.org/zbiorke-odpadow-w-hispanii/> (dostęp: 1.12.2022 rok).
11. **.www11**
<https://portalkomunalny.pl/spalarnie-odpadow-na-swiecie-oto-najwieksze-zaklady-zdjecia-406474/> (dostęp: 1.03.2023 rok).
12. **www12**
<https://siegl.cz/blog/likvidace/jak-funguji-spalovny-odpadu-a-kde-je-v-cr-najdete> (dostęp: 2.03.2023 rok).
13. **www13**
<https://arnika.org/odpady/nase-temata/spalovani-odpadu/spalovny-v-ceske-republice> (dostęp: 1.03.2023 rok).
14. **www14**
https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2019/4/Statistika-EVO-2018_1.pdf (dostęp: 1.03.2023 rok).
15. **www15**
https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2019/4/Statistika-EVO-2018_1.pdf (dostęp: 1.03.2023 rok).
16. **www16**

https://research-and-innovation.ec.europa.eu/statistics/performance-indicators/european-innovation-scoreboard_en (dostęp: 1.12.2022 rok).

17. www17

<http://www.sejm.gov.pl/> (dostęp: 25.10.2022 rok).

18. www18

<https://www.norcalcompactors.net/waste-management-solutions/> (dostęp: 25.10.2022 rok).

19. www19

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=DD:13:13:31994L0062:PL:PDF> (dostęp: 25.10.2022 rok).

20. www20

<http://utylizacja.legnica.pl/blog1/metody-unieszkodliwiania-odpadow> (dostęp: 25.10.2022 rok).

21. www21

<https://www.aspekt.net.pl/aktualnosci/baza-wiedzy/sztuczna-inteligencja-w-logistyce-i-magazynowaniu> (dostęp: 10 czerwca 2024).

Spis tabel

Tabela 1. Zalety i wady technologii recyklingu papieru stosowanych w Niemczech	40
Tabela 2. Potencjał czeskich spalarni odpadów komunalnych.....	64
Tabela 3. Wyniki Niemiec na tle średniej dla 27 krajów Unii Europejskiej w rankingu Innovation Union Scoreboard	69
Tabela 4. Wyniki Polski na tle wyników Niemiec w rankingu Innovation Union Scoreboard	71
Tabela 5 Klasyfikacja odpadów	75
Tabela 6 Podział odpadów według rodzajów zgodny z założeniami Rozporządzenia w sprawie katalogu odpadów	76
Tabela 7 Nowe stawki opłat za umieszczenie odpadów na składowisku.....	112
Tabela 8 Odpady wytworzone.....	120
Tabela 9. Struktura odpadów wytworzonych według rodzajów w 2022 r.....	123
Tabela 10. Odpady wytworzone i dotychczas składowane (nagromadzone) według sekcji Polskiej Klasyfikacji Działalności w 2022 r.	125
Tabela 11. Odpady wytworzone według województw w 2022 r z wyłączeniem odpadów komunalnych	127
Tabela 12. Tereny składowania odpadów, według województw w 2022 r.....	129
Tabela 13. Odpady komunalne wytworzone według województw w 2022 r.	131
Tabela 14. Odpady komunalne wytworzone według sposobów zagospodarowania w krajach europejskich w 2021 r	133
Tabela 15. Odpady komunalne zebrane selektywnie	135
Tabela 16. Struktura selektywnie zebranych odpadów komunalnych według frakcji	136
Tabela 17. Składowiska kontrolowane według województw w 2022 r.	137
Tabela 18. Import odpadów do krajów europejskich w 2021 r.....	140
Tabela 19. Eksport odpadów z krajów europejskich w 2021 r	142
Tabela 20. Wymagany i osiągnięty poziom recyklingu odpadów opakowaniowych w 2021 r	143
Tabela 21. Wytwarzanie i recykling odpadów opakowaniowych w krajach europejskich.	145
Tabela 22. Wprowadzony na rynek oraz zebrany zużyty sprzęt elektryczny i elektroniczny w krajach europejskich w 2020 r.....	147
Tabela 23. Ostateczny skład gazu powstającego podczas procesu pirolizy (wyrażony w procentach objętościowych) jest ściśle uzależniony od temperatury, w jakiej ten proces przebiega, szczególnie gdy chodzi o przetwarzanie odpadów komunalnych.	164

Tabela 24. Całkowita ilość produktów uzyskiwanych w procesie pirolizy zmienia się w zależności od temperatury, w której przebiega ten proces, szczególnie w kontekście przetwarzania odpadów komunalnych	165
Tabela 25. Wybrane z metod, odpowiadające im techniki oraz narzędzia badawcze.....	202
Tabela 26. Etapy analizy podejmowanej w przedsiębiorstwie – spalarnia odpadów komunalnych XYZ.....	204
Tabela 27. Szacunkowe dane (wskaźniki) zmiennych dla wdrażanych rozwiązań - stymulanty	215
Tabela 28. Wskaźniki dynamiki spadku reklamacji działań realizowanych w ramach zarządzania logistycznego w przedsiębiorstwie INTEC - destymulanty	216
Tabela 29. Wartości poszczególnych stymulant i destymulant w zakresie wskaźników rozwoju badanych sposobów usprawnienia efektywności działalności logistycznej.....	218
Tabela 30. Suma stymulant oraz destymulant poszczególnych wskaźników porównywanych sposób usprawnień efektywności działalności logistycznej.....	219
Tabela 31. Ranking wybranych usprawnień dla efektywności procesów logistycznych w spalarni INTEC	221
Tabela 32. Suma stymulant oraz destymulant wskaźników badanych rodzajów usprawnień w różnych okresach rozwoju gospodarczego.....	222
Tabela 33. Ranking wybranych usprawnień dla procesów logistycznych w spalarni INTEC dla różnych stanów rynku	224
Tabela 34. Dopuszczalne poziomy emisji gazów z proce przetwarzania odpadów w spalarniach odpadów komunalnych	247
Tabela 35. Skład zespołu projektowego ustalonego w badanej spalarni odpadów w celu wprowadzenia zmian usprawniających	264
Tabela 36. Członkowie zespołu projektowego ponoszący odpowiedzialność za poszczególne działania w ramach projektu usprawniającego.....	266
Tabela 37. Zaplanowany harmonogram wprowadzonych zmian usprawniających w badanym przedsiębiorstwie.....	268
Tabela 38. Czas możliwego (akceptowalnego) opóźnienia dla poszczególnych czynności w ramach modelu zmian usprawniających	272

Spis rysunków

Rysunek 1 Kroki systematycznego przeglądu literatury	15
Rysunek 2 Wykonanie wyszukiwania na portalu Web of Science	20
Rysunek 3 Wyniki wyszukiwania zapisane w aplikacji Zotero	21
Rysunek 4 Wyniki wyszukiwania zapisane w aplikacji Mendeley	21
Rysunek 5 Usuwanie duplikatów w aplikacji Mendeley	22
Rysunek 6 Formularz oceny jakości JBI Critical Appraisal Tool dla badań obserwacyjnych	24
Rysunek 7 Formularz oceny jakości CASP Checklist dla badań przypadków	25
Rysunek 8. <i>Zadania kraju w kontekście gospodarki odpadami komunalnymi</i>	36
Rysunek 9. <i>Zadania gmin w kontekście gospodarki odpadami komunalnymi</i>	37
Rysunek 10. <i>Schemat cyklu znakowania pojemników</i>	38
Rysunek 11. <i>Schemat uzyskiwania surowca z makulatury</i>	39
Rysunek 12. <i>Schemat przetwarzania odpadów szklanych w Niemczech</i>	42
Rysunek 13. <i>Schemat recyklingu odpadów z tworzyw sztucznych</i>	43
Rysunek 14. <i>Recykling opakowań wielomateriałowych w Niemczech</i>	43
Rysunek 15. <i>Przeładowanie odpadów ze śmieciarki bezpośrednio na pojazd transportu dalekobieżnego</i>	45
Rysunek 16. <i>Przeładowanie odpadów ze śmieciarki na pojazd transportu dalekobieżnego przy wykorzystaniu taśmociągu</i>	45
Rysunek 17. <i>Przeładunek odpadów wraz z ich kompresją (przeładunek pośredni)</i>	46
Rysunek 18. <i>Schemat optymalizacji gospodarki odpadami w idealnych warunkach</i>	47
Rysunek 19. <i>Spalarnia odpadów komunalnych w Monachium</i>	49
Rysunek 20. <i>Hiszpańska strategia gospodarki o obiegu zamkniętym</i>	54
Rysunek 21. <i>Schemat działania stacjonarnego systemu pneumatyczne zbiórki odpadów</i>	56
Rysunek 22. <i>Schemat działania mobilnego systemu pneumatyczne zbiórki odpadów</i>	56
Rysunek 23. <i>Punkty zrzutu (zewnętrzne) dedykowane pneumatycznym systemom zbiórki transportu</i>	57
Rysunek 24. <i>Pojazd do próżniowej zbiórki odpadów</i>	57
Rysunek 25. <i>Pojemniki na odpady segregowane w Hiszpanii</i>	58
Rysunek 26. <i>Kosze na odpady segregowane rozmieszczone na jednej z plaż Hiszpanii</i>	59
Rysunek 27. <i>Spalarnia odpadów komunalnych na Majorce</i>	60
Rysunek 28. <i>Lokalizacja spalarni odpadów w Czechach</i>	63

Rysunek 29 Hierarchia postępowania z odpadami.....	80
Rysunek 30 Identyfikacja metod unieszkodliwiania odpadów.	85
Rysunek 31 Ogniwa systemu logistyki odpadów komunalnych.....	88
Rysunek 32 Zarządzania odpadami komunalnymi w Polsce	105
Rysunek 33 Ogniwa systemu logistyki odpadów komunalnych w Polsce	106
Rysunek 34. Schemat nowoczesnego składowiska odpadów	118
Rysunek 35. Przykładowa instalacji do zgazowania odpadów komunalnych	162
Rysunek 36. Bilans procesu pirolizy w zakresie odpadów komunalnych	166
Rysunek 37. Warszawska spalarnia odpadów komunalnych.....	181
Rysunek 38. Schemat o charakterze technologiczno-funkcjonalnym spalarni odpadów komunalnych w Krakowie	184
Rysunek 39. Schemat o charakterze technologiczno-funkcjonalnym spalarni odpadów komunalnych w Poznaniu	185
Rysunek 40. Schemat budowy przykładowej spalarni odpadów komunalnych w oparciu o rozwiązania przedsiębiorstwa INTEC SG Series	188
Rysunek 41. Strefa rozładunku i bunkier odbiorczy spalarni odpadów komunalnych	189
Rysunek 42. Proces kondycjonowania odpadów	190
Rysunek 43. Uwarunkowania ekonomiczno-społeczno-techniczne logistyki odpadów komunalnych w spalarni odpadów	231
Rysunek 44. Parametry emisji spali dla pierwszej linii technologicznej (stan na 23 grudnia 2023 roku)	248
Rysunek 45. Parametry emisji spali dla drugiej linii technologicznej (stan na 23 grudnia 2023 roku)	249
Rysunek 46. Schemat procesu termicznego przetwarzania odpadów w spalarni odpadów komunalnych XYZ.....	250
Rysunek 47. Walczak kotła	253
Rysunek 48. Węzeł oczyszczania spalin w spalarni odpadów komunalnych XYZ.....	256
Rysunek 49. Węzeł Waloryzacji Żużla w analizowanej spalarni odpadów komunalnych XYZ	257
Rysunek 50. Worki na filtrach workowych w spalarni odpadów komunalnych XYZ	258
Rysunek 51. Węzeł Stabilizowania oraz Zestalania w analizowanej spalarni odpadów komunalnych	259
Rysunek 52. Model logistyki gospodarowania odpadami komunalnymi w Polsce	275

Rysunek 53. Model logistyki gospodarowania odpadami komunalnymi w Polsce z wykorzystaniem spalarni odpadów komunalnych w maksymalnym potencjalnym zakresie (idealne, najbardziej sprzyjające uwarunkowania otoczenia)	277
Rysunek 54. Model logistyki gospodarowania odpadami komunalnymi w Polsce z wykorzystaniem spalarni odpadów komunalnych w najbardziej prawdopodobnym zakresie (najbardziej prawdopodobne uwarunkowania otoczenia)	280
Rysunek 55. Model logistyki gospodarowania odpadami komunalnymi w Polsce z wykorzystaniem spalarni odpadów komunalnych w najbardziej krytycznym zakresie (najbardziej krytyczne, negatywne uwarunkowania otoczenia)	281

Spis wykresów

Wykres 1. Struktura wytworzenia odpadów w Niemczech w kontekście źródła ich powstawania (dane w %)	33
Wykres 2. Struktura zagospodarowania odpadów komunalnych w Niemczech	34
Wykres 3. Struktura powstawania odpadów w Hiszpanii wg źródeł ich pochodzenia (dane w %)	51
Wykres 4. Struktura zagospodarowania odpadów komunalnych w Hiszpanii (dane w %)	52
Wykres 5. Wartości badanych wskaźników (suma)	221
Wykres 6. Wartości wskaźników	223
Wykres 7. Struktura etatów w spalarni odpadów komunalnych XYZ w oparciu o kryterium rodzaju wykonywanej pracy	243
Wykres 8. Struktura wiekowa pracowników spalarni odpadów komunalnych XYZ (stan na koniec czerwca 2023 roku)	244
Wykres 9. Struktura doświadczenia zawodowego pracowników spalarni odpadów komunalnych XYZ (stan na koniec czerwca 2023 roku)	245
Wykres 10. Struktura wydatków w ramach modelu usprawniającego w %	273
Wykres 11. Struktura źródeł finansowania inwestycji podejmowanych w badanej spalarni odpadów komunalnych w %	274