

Karolina JĄDERKO
Barbara BIAŁECKA

**MODEL
TECHNOLOGICZNO-LOGISTYCZNY
PROCESU ENERGETYCZNEGO
WYKORZYSTANIA ODPADÓW**



Karolina JĄDERKO
Barbara BIAŁECKA

**MODEL
TECHNOLOGICZNO-LOGISTYCZNY
PROCESU ENERGETYCZNEGO
WYKORZYSTANIA ODPADÓW**

GLIWICE 2016

RECENZENCI:

dr hab. inż. Waldemar BOJAR, prof. UTP

dr hab. inż. Robert ULEWICZ, prof. P.Cz

Układ typograficzny autorów.

Projekt i opracowanie graficzne okładki: Michał ZASADZIENÍ

ISBN 978-83-65265-08-1

© Copyright by Publisher PA NOVA SA. Gliwice
ul. Górnych Wałów 42, 44-100 GLIWICE, POLAND
tel. +4832 400 41 02
fax. +4832 400 41 10

All rights reserved
Printed in Poland

Utwór w całości ani we fragmentach nie może być powielany, rozpowszechniany za pomocą urządzeń elektronicznych, mechanicznych, kopiujących, nagrywających i innych, w tym również nie może być umieszczany ani rozpowszechniany w postaci cyfrowej zarówno w Internecie, jak i w sieciach lokalnych bez pisemnej zgody posiadacza praw autorskich.

Gliwice 2016

SPIS TREŚCI

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH SKRÓTÓW	7
1. Wprowadzenie.....	9
1.1. Przedmiot badań.....	10
1.2. Metodyka badawcza.....	11
2. Odpady o potencjale energetycznym.....	14
2.1. Definicja i klasyfikacja odpadów.....	14
2.2. Właściwości palne odpadów.....	16
2.3. Wybrane grupy odpadów palnych	18
3. Uwarunkowania prawne obejmujące energetyczne wykorzystanie odpadów.....	21
4. Analiza łańcucha usuwania odpadów.....	26
4.1. Znaczenie logistyki w systemie gospodarki odpadami	29
5. Technologie energetycznego wykorzystania odpadów	31
6. Charakterystyka metod badawczych zastosowanych w monografii	41
6.1. Mapowanie procesów technologicznych i logistycznych	41
6.2. Wybrane techniki modelowania.....	43
6.3. Analiza wyselekcjonowanych wskaźników	44
6.4. Wybrane metody analizy wielokryterialnej	45
7. Istota problemu decyzyjnego.....	47
7.1. Wprowadzenie do problematyki podejmowania decyzji	47
7.2. Narzędzia analizy procesu decyzyjnego w gospodarce odpadami.....	49
7.3. Narzędzia wspomagające decyzje w gospodarce odpadami.	51
8. Systemy wspomagania procesów energetycznego wykorzystania odpadów	53
8.1. Cechy systemów wspomagania decyzji.....	55
8.2. Struktura systemów wspomagania decyzji	56
9. Podsumowanie badań literaturowych.....	59
10. Analiza i ocena systemu gospodarki odpadami w województwie śląskim	62
10.1. Charakterystyka systemu gospodarki odpadami województwa śląskiego	62
10.2. Przebieg procesu badawczego.....	68
10.3. Opracowanie wyników przeprowadzonego procesu ankietyzacji.....	71
10.3.1 Podsumowanie przeprowadzonego procesu ankietyzacji.....	81
10.4. Opracowanie wyników wywiadu.....	83
10.4.1. Podsumowanie przeprowadzonych wywiadów pogłębionych z Ekspertami.....	85
10.5. Identyfikacja problemów technologiczno - logistycznych systemu gospodarki odpadami	86
11. Analiza II Regionu Gospodarki Odpadami w województwie śląskim.....	88
11.1. Charakterystyka II RGO	88
11.2. Analiza ilościowo-jakościowa odpadów komunalnych systemu gospodarki odpadami II RGO	90
11.3. Infrastruktura technologiczna II RGO.....	95
11.4. Określenie potencjału energetycznego odpadów II RGO	101

12. Koncepcja modelu technologiczno-logistycznego procesu energetycznego wykorzystania odpadów.....	107
12.1. Model pojęciowy	107
12.2. Model matematyczny	110
12.3. Model obiektowy.....	117
12.4. Model wielokryterialnych analiz wariantowych procesu produkcji energii z odpadów	119
13. Opracowanie prototypu systemu wspomagania procesu energetycznego wykorzystania odpadów.....	127
13.1. Założenia budowy systemu informatycznego.....	127
13.2. Model funkcjonalny systemu informatycznego wspomagania decyzji	128
13.3. Weryfikacja prototypu	130
13.4. Walidacja prototypu	132
13.5. Ocena działania prototypu narzędzia wspomagającego i proponowane kierunki rozbudowy	135
14. Podsumowanie i wnioski	138
Załącznik.....	142
Streszczenie.....	158
Abstract.....	158
SPIS ILUSTRACJI	160
SPIS TABEL.....	161
BIBLIOGRAFIA	163

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH SKRÓTÓW

II RGO	Region II Gospodarki Odpadami
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i> (ang.) - wielokryterialna metoda hierarchicznej analizy problemu decyzyjnego
BAT	<i>Best available techniques</i> (ang.) – najlepsze dostępne techniki
BDO	Baza danych o odpadach
BPMN	<i>Business Process Modeling Notation</i> (ang.)
BPMS	<i>Business Process Management System</i> (ang.)
BREF	<i>Best available techniques reference document</i> (ang.) – dokument referencyjny na temat najlepszych technik
CEN	<i>Comité européen de normalization</i> (fr.) – Europejski Komitet Normalizacyjny
D1	Proces unieszkodliwiania odpadów – składowanie w gruncie lub na powierzchni ziemi (np. składowiska itp.)
D2	Proces unieszkodliwiania odpadów – przetwarzanie w glebie i ziemi (np. biodegradacja odpadów płynnych lub szlamów w glebie i ziemi itd.)
D3	Proces unieszkodliwiania odpadów – głębokie zatłaczanie (np. zatłaczanie odpadów w postaci umożliwiającej pompowanie do odwiertów, wysadów solnych lub naturalnie powstających komór itd.)
D4	Proces unieszkodliwiania odpadów – retencja powierzchniowa (np. umieszczanie odpadów ciekłych i szlamów w dołach, poletkach poletkach osadowych lub lagunach itd.)
D5	Proces unieszkodliwiania odpadów – składowanie na składowiskach w sposób celowo zaprojektowany (np. umieszczanie w uszczelnionych oddzielnych komorach, przykrytych i izolowanych od siebie wzajemnie i od środowiska itd.)
D6	Proces unieszkodliwiania odpadów – odprowadzanie do wód z wyjątkiem mórz i oceanów
D7	Proces unieszkodliwiania odpadów – odprowadzanie do mórz i oceanów, w tym lokowanie na dnie mórz
D8	Proces unieszkodliwiania odpadów – obróbka biologiczna, niewymieniona w innej pozycji, w wyniku której powstają ostateczne związki lub mieszanki, które są unieszkodliwiane za pomocą któregośkolwiek spośród procesów wymienionych w poz. D1 – D12
D9	Proces unieszkodliwiania odpadów – obróbka fizyczno-chemiczna, niewymieniona w innej pozycji, w wyniku której powstają ostateczne związki lub mieszaniny unieszkodliwiane za pomocą któregośkolwiek spośród procesów wymienionych w pozycjach D1 – D12 (np. odparowanie, suszenie, kalcynacja itp.)
D10	Proces unieszkodliwiania odpadów – przekształcanie termiczne na lądzie
D11	Proces unieszkodliwiania odpadów – przekształcanie termiczne na morzu
D12	Proces unieszkodliwiania odpadów – trwałe składowanie (np. umieszczanie pojemników w kopalniach itd.)
D13	Proces unieszkodliwiania odpadów – sporządzanie mieszanki lub mieszanie przed poddaniem odpadów któremukolwiek z procesów wymienionych w pozycjach D1 – D12
D14	Proces unieszkodliwiania odpadów – przepakowywanie przed poddaniem któremukolwiek z procesów wymienionych w punktach od D1 - D13
D15	Proces unieszkodliwiania odpadów – magazynowanie poprzedzające którykolwiek z procesów wymienionych w pozycjach D1 – D14 (z wyjątkiem wstępnego magazynowania u wytwórcy odpadów)
DFD	<i>Data Flow Diagram</i> (ang.) – diagram przepływu danych
ERD	<i>Entity-Relationship Diagram</i> (ang.) – diagram związków encji
GIS	<i>Geographic Information System</i> (ang.) – system informacji geograficznej
GOP	Górnośląski Okręg Przemysłowy

GUS	Główny Urząd Statystyczny
IDEF	<i>Integration Definition for Function Modeling</i> (ang.)
IED	Dyrektywa ws. emisji przemysłowych
IPPC	<i>Integrated Pollution Prevention and Control</i> (ang.) – Zintegrowane Zapobieganie i Ograniczanie Zanieczyszczeń
ITP	Instalacja termicznego przekształcania
KPGO	Krajowy Plan Gospodarki Odpadami
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i> (ang.) – środowiskowa ocena cyklu życia
LOI	Strata przy prażeniu
Ma	Mieszkaniec
MBP	Mechaniczno-biologiczne przetwarzanie
MCDA	<i>Multicriteria decision analysis</i> (ang.) – decyzyjna analiza wielokryterialna
NPV	<i>Net present value</i> (ang.) – wartość bieżąca netto
Os.	Osoba
OZE	Odnawialne źródła energii
PSZOK	Punkt Selektywnej Zbiórki Odpadów
R1	Proces odzysku odpadów – wykorzystanie głównie jako paliwa lub innego środka wytwarzania energii
R2	Proces odzysku odpadów – odzysk/regeneracja rozpuszczalników
R3	Proces odzysku odpadów – recykling lub regeneracja substancji organicznych, które nie są stosowane jako rozpuszczalniki (w tym kompostowanie i inne biologiczne procesy przekształcania)
R4	Proces odzysku odpadów – recykling lub odzysk metali i związków metali
R5	Proces odzysku odpadów – recykling lub odzysk innych materiałów nieorganicznych
R6	Proces odzysku odpadów – regeneracja kwasów lub zasad
R7	Proces odzysku odpadów – odzysk składników stosowanych do redukcji zanieczyszczeń
R8	Proces odzysku odpadów – odzysk składników z katalizatorów
R9	Proces odzysku odpadów – powtórna rafinacja oleju lub inne sposoby ponownego użycia olejów
R10	Proces odzysku odpadów – obróbka na powierzchni ziemi przynosząca korzyści dla rolnictwa lub poprawę stanu środowiska
R11	Proces odzysku odpadów – wykorzystywanie odpadów uzyskanych w wyniku któregośkolwiek z procesów wymienionych w pozycji R1 – R10
R12	Proces odzysku odpadów – wymiana odpadów w celu poddania ich któremukolwiek z procesów wymienionych w pozycji R1 – R11
R13	Proces odzysku odpadów – magazynowanie odpadów poprzedzające którykolwiek z procesów wymienionych w pozycji R1 – R12 (z wyjątkiem wstępnego magazynowania u wytwórcy odpadów)
RDF	<i>Refuse Derived Fuel</i> (ang.) – paliwo z odpadów
RGO	Region gospodarki odpadami
RIPOK	Regionalna Instalacja Przetwarzania Odpadów Komunalnych
s.m.	sucha masa
SIZ	Systemy Informacji Zarządczej
SRF	<i>Solid Recovered Fuel</i> (ang.) – paliwa wtórne z odpadów
SWD	System wspomagania decyzji
TOC	Zawartość ogólnego węgla organicznego
TPO	Termiczne przekształcanie odpadów
UCPG	Ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach
UE	Unia Europejska
UML	<i>Unified Modeling Language</i> (ang.) – zunifikowany język modelowania
W2E	<i>Waste to energy</i> (ang.) – energia z odpadów
WPGO	Wojewódzki Plan Gospodarki Odpadami

1. Wprowadzenie

Wraz z wejściem w życie nowej *Ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach* (UCPG) w istotny sposób zmieniło się dotychczasowe podejście do energetycznego wykorzystania odpadów. Dostępna infrastruktura i możliwości technologiczne termicznego przekształcania odpadów z odzyskiem energii wytyczyły nowy obszar badań nad wykorzystaniem odpadów palnych. W literaturze szeroko analizowano wykorzystanie paliw alternatywnych i formowanych [99, 163, 175, 178], procesy termicznej utylizacji odpadów [6, 59, 70, 75, 95, 109, 110, 111, 186, 188], a także oceniano potencjał energetyczny odpadów [10, 17, 56, 74, 84, 146, 158, 175, 182]. W ocenie autorek prace nad modelowaniem systemów gospodarki odpadami [2, 46, 80, 149] i poszukiwanie analogii do systemów biznesowych to nowy trend, szczególnie w Polsce, który powstał wraz z nałożonymi przez Unię Europejską (UE) restrykcyjnymi wymaganiami środowiskowymi. Podejście procesowe jest niezbędnym elementem budowy racjonalnego, zintegrowanego systemu gospodarki odpadami, opartego na filozofii zrównoważonego rozwoju. Zbiór wymagań, ograniczeń oraz potrzeb stawia przed zarządzającymi poważne zadanie optymalizacyjne, dlatego systemy wspomaganie decyzji stają się w sektorze gospodarki odpadami coraz bardziej pożądanym produktem.

Nadprodukcja odpadów jest jednym z kluczowych problemów społeczno-gospodarczych. Racjonalna gospodarka odpadami wymaga zatem od zarządzających systemowego podejścia [64], które uwzględniłoby prawidłowe postępowanie z odpadami według obowiązującej w UE hierarchii [36]. Na Śląsku, jak i w całej Polsce, dominujący sposób unieszkodliwiania odpadów nadal stanowi składowanie. W 2012, wg danych Eurostat [200], na mieszkańca Polski przypadło ok. 314 [kg] wytworzonych odpadów – z tego zagospodarowano 249 [kg], a z zebranej ilości odpadów aż 74% trafiło na składowiska, 13% zostało poddanych recyklingowi, 12% kompostowaniu, a tylko 1% został unieszkodliwiony poprzez spalanie.

W obecnym systemie gospodarki odpadami wyróżnia się wiele zjawisk, które mają negatywny wpływ na ekosystem – wiele z nich zostało wielokrotnie opisanych w literaturze branżowej [18, 19, 128, 129, 152, 156, 176]. Istotne staje się zatem opracowanie nowego sposobu gospodarowania odpadami, który by uwzględniał ich potencjał energetyczny i był odpowiedzią na nałożone przez UE wymagania energetyczne i środowiskowe. W świetle obligatoryjnych aktów prawnych [37, 40, 41, 77, 136, 138, 166, 168, 171] istnieje konieczność wykorzystania odpadów jako paliw alternatywnych bądź jako surowców do produkcji energii. Pozyskanie odpowiedniego, umożliwiającego podniesienie efektywności energetycznej, strumienia odpadów powinno być zatem ściśle związane z gospodarką odpadami realizowaną na danym terenie [117].

Dotychczasowa analiza stosowanych praktyk dowiodła, że wykorzystywane rozwiązania w zakresie energetycznego odzysku odpadów na terenie Polski nadal są niekompletne, nieskoordynowane i mało elastyczne [128, 129, 130]. Wstępne badania własne, przeprowadzone wśród podmiotów odpowiedzialnych za przetwarzanie odpadów, wykazały potrzebę wyodrębnienia tych łańcuchów logistycznych zagospodarowania odpadów, które będą stanowić potencjalne źródło energetyczne, a dodatkowo spełnią wymagania ekologiczno-ekonomiczne.

Należy podkreślić, że w literaturze przedmiotu brak modelu procesu energetycznego wykorzystania odpadów, który integrowałby zagadnienia technologiczne i logistyczne. Konieczność zaprojektowania nowego modelu, który połączyłby wspomniane procesy, wynika z potrzeby dostarczenia rekomendacji odnośnie do nowych technologii i dostosowanych do nich procesów logistycznych, a także zastosowania istniejących technologii i adaptowania istniejących uwarunkowań logistycznych zagospodarowania odpadów w celu odzysku energii.

Poruszone zagadnienia koncentrują się przede wszystkim na procesach logistycznych systemu gospodarki odpadami komunalnymi i na procesach technologicznych, uwzględniających odzysk energii z odpadów oraz badanie ich efektywności. Kluczowe kwestie przedstawiono podczas modelowania procesów, jak również w trakcie opracowania analizy hierarchicznej problemu. Silnie wyeksponowane zostały przy tym korzyści związane z wdrożeniem prezentowanego rozwiązania w ramach regionalnego systemu gospodarki odpadami. Przełożenie opracowanego modelu na płaszczyznę założeń budowy systemu informatycznego wspomagania procesu energetycznego wykorzystania odpadów może znacznie przyczynić się do poprawy obecnie funkcjonującej gospodarki odpadami.

W związku z powyższym uznano za ważne i konieczne stworzenie autorskiego modelu, a na jego podstawie również prototypowego systemu informatycznego, który docelowo wspomagał będzie przedsiębiorstwa gospodarujące odpadami (wliczając podmioty wykorzystujące odpady do celów energetycznych) i uwzględniał dostępne moce przerobowe instalacji oraz strukturę logistyczną łańcucha odpadów kalorycznych w całym badanym regionie.

Głównym celem monografii było opracowanie modelu wspomagającego proces energetycznego wykorzystania odpadów, którego osiągnięcie wymagało realizacji następujących etapów:

- analiza i ocena ilościowo-jakościowa strumieni odpadów o potencjale energetycznym;
- inwentaryzacja infrastruktury energetycznej umożliwiającej wykorzystanie paliw z odpadów w wybranym regionie województwa śląskiego;
- identyfikacja zmiennych, które pozwolą na zbudowanie modelu efektywnie wykorzystującego dostępny potencjał energetyczny odpadów;
- identyfikacja połączeń przyczynowo-skutkowych pomiędzy gospodarką odpadami komunalnymi, produkcją paliw z odpadów a energetycznym wykorzystaniem odpadów;
- opracowanie struktury przepływów materiałów i informacji w zakresie wykorzystania potencjału energetycznego odpadów, która pozwoliłaby na integrację elementów;
- analiza i ocena procesów logistycznych gospodarki odpadami będąca podstawą optymalizacji przepływów strumieni odpadów o potencjale energetycznym.
- budowa, na bazie opracowanego modelu, prototypu informatycznego systemu wspomagania procesu energetycznego wykorzystania odpadów i jego walidacja.

1.1. Przedmiot badań

Przedmiotem badań były czynniki warunkujące możliwość pozyskiwania strumieni odpadów o wysokiej wartości kalorycznej i ich termicznego przekształcania. Czynniki te zostały określone poprzez zastosowanie: analizy ilościowo-jakościowej strumieni odpadów, inwentaryzacji infrastruktury do zagospodarowania i energetycznego wykorzystania odpadów, a także badań ankietowych i wywiadów eksperckich.

Badania synergii elementów składowych systemu gospodarki odpadami, tj. łańcucha usuwania odpadów oraz technologii ich termicznego przekształcania, umożliwiają stworzenie właściwego modelu, będącego podstawą do budowy systemu informatycznego wspomagającego decyzje. System ten stanowić będzie cenne narzędzie dla podmiotów gospodarki odpadami, ze szczególnym uwzględnieniem producentów i odbiorców energii z odpadów.

Na bazie opracowanego modelu możliwy był wybór rozwiązania maksymalizującego efektywność pozyskiwania paliw z odpadów przeznaczonych do energetycznego wykorzystania. Wybór został dokonany na podstawie przyjętych kryteriów, uwzględniających ocenę wybranych wskaźników energetycznych, ekologicznych, ekonomicznych i społecznych. Możliwość

uzyskania optymalnych rozwiązań została ograniczona poprzez uwzględnienie regulacji prawnych gospodarki odpadami oraz infrastruktury energetycznej wybranego regionu gospodarki odpadami.

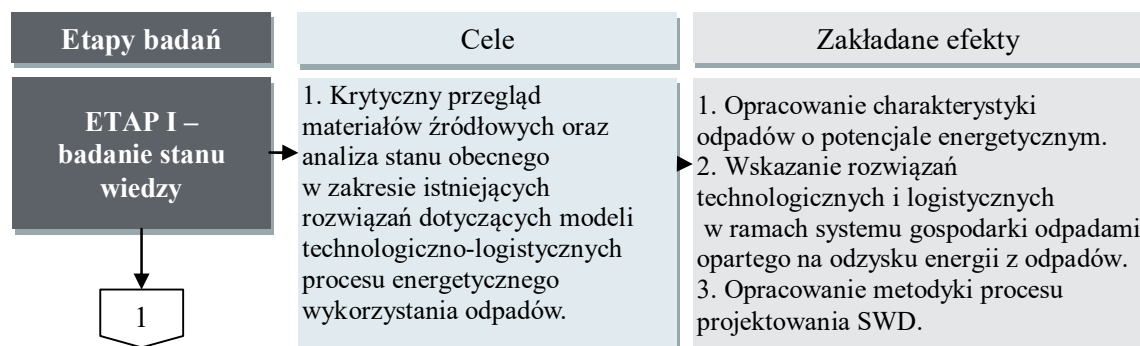
Zakres przedmiotowy prowadzonych badań obejmował odpady komunalne wytworzone na terenie Regionu II-ego gospodarki odpadami (II RGO), który równocześnie stanowi zakres przestrzenny monografii. Przez region gospodarki odpadami (RGO) rozumie się określony w wojewódzkim planie gospodarki odpadami obszar liczący co najmniej 150 000 mieszkańców (regionem gospodarki odpadami komunalnymi może być gmina licząca powyżej 500 000 mieszkańców). Województwo śląskie zostało podzielone na cztery RGO, z czego Region II-gi charakteryzuje się największą ilością mieszkańców (2 078 840), jak również największym jednostkowym wskaźnikiem wytwarzania odpadów (386 [kg/Ma]). Gminy wchodzące w skład Regionu II to: Kalety, Miasteczko Śląskie, Radzionków, Tarnowskie Góry, Krupski Młyn, Ożarówice, Świerklaniec, Tworóg, Zbrosławice, Bytom, Piekary Śląskie, Pyskowice, Rudziniec, Toszek, Wielowieś, Gliwice, Zabrze, Chorzów, Katowice, Mysłowice, Ruda Śląska, Siemianowice Śląskie, Świętochłowice, Dąbrowa Górnicza, Sosnowiec, Sławków, Będzin, Czeladź, Wojkowice, Bobrowniki, Mierzęcice, Psary, Siewierz i Łazy.

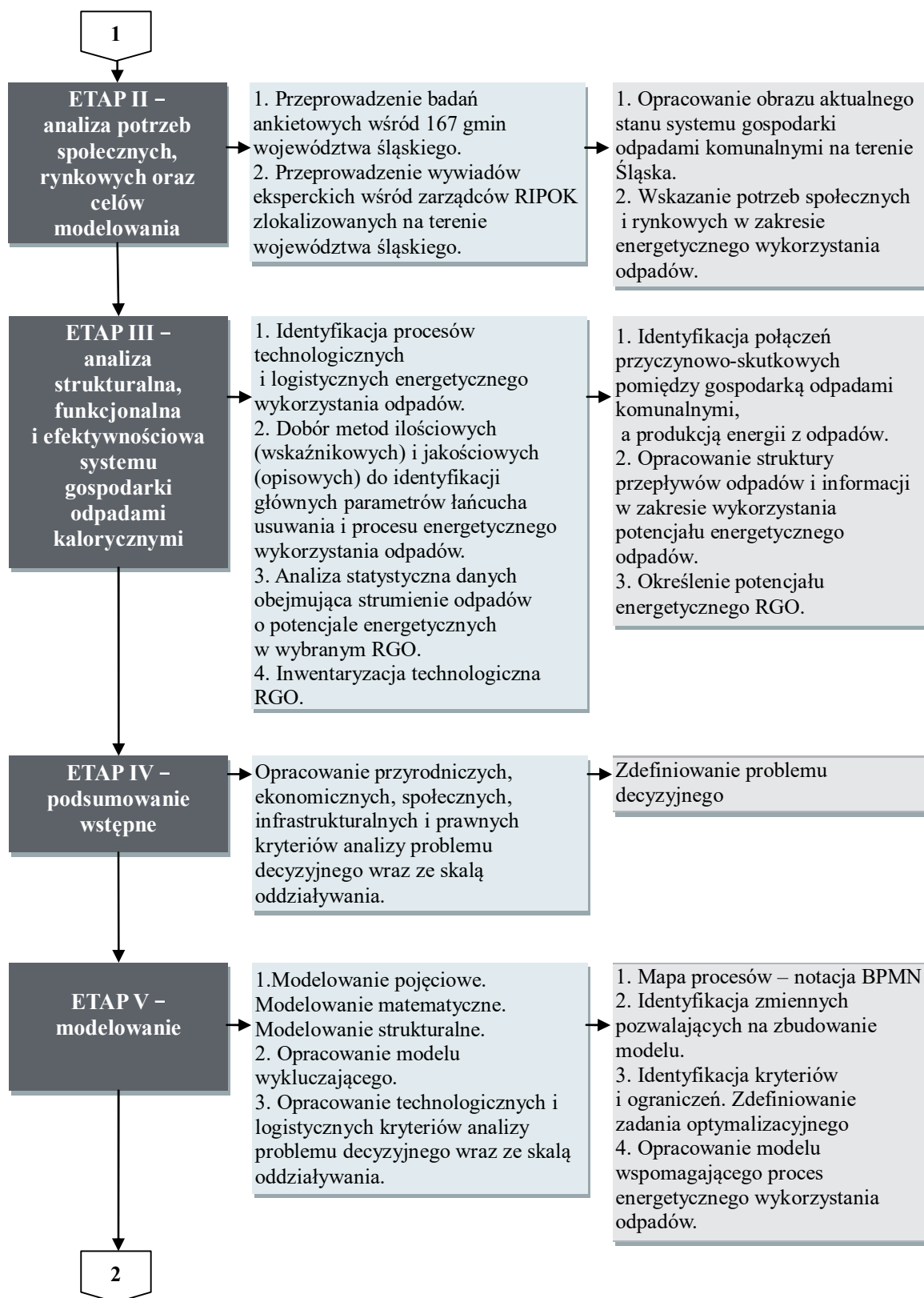
1.2. Metodyka badawcza

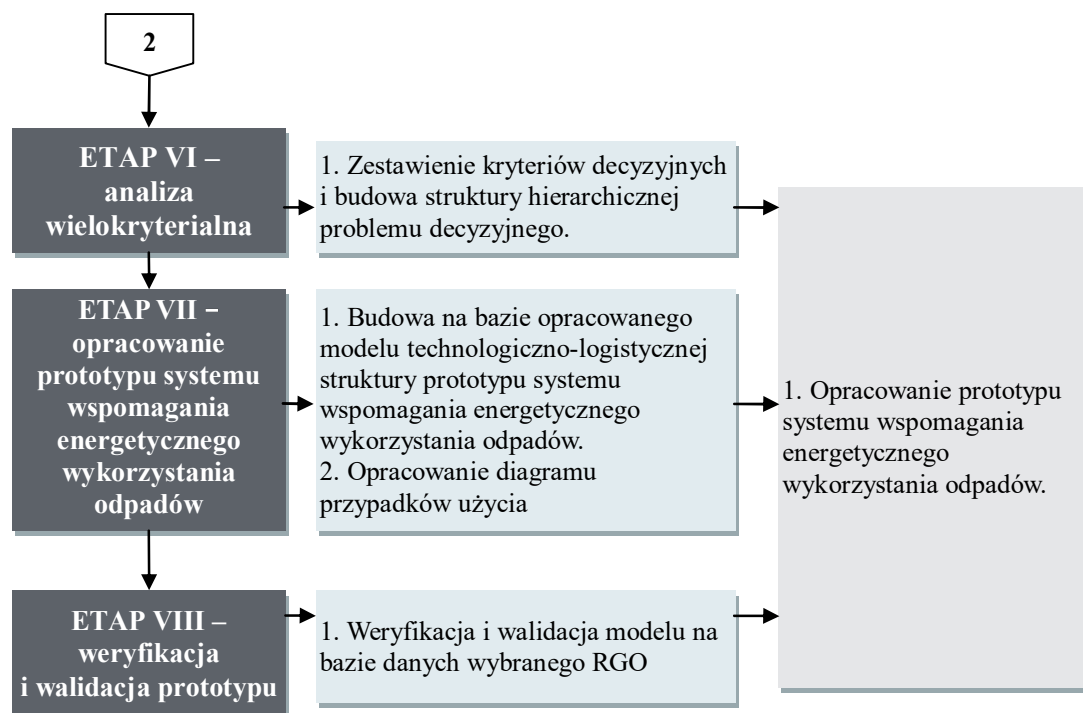
W niniejszej monografii zastosowane zostały następujące techniki i narzędzia badawcze:

- krytyczna analiza materiałów źródłowych obejmująca analizę aktów prawnych i programów gospodarki odpadami, a także publikacje dotyczące tematyki odpadów;
- dobór metod ilościowych (wskaźnikowych) i jakościowych (opisowych) do identyfikacji głównych parametrów łańcucha usuwania i procesu energetycznego wykorzystania odpadów;
- badania ankietowe;
- wywiady eksperckie;
- mapowanie procesów;
- analiza i modelowanie procesów logistycznych i technologicznych;
- modelowanie procesów logistycznych i technologicznych gospodarki odpadami z wykorzystaniem UML;
- analiza statystyczna danych – wykorzystanie podstawowych statystyk;
- zastosowanie metod optymalizacji i analizy wielokryterialnej (metody analizy hierarchicznej problemu).

Metody badawcze zastosowane w niniejszej monografii zostały przedstawione graficznie na rysunku 1.







Rysunek 1 Metodyka badań

Źródło: opracowanie własne

2. Odpady o potencjale energetycznym

2.1. Definicja i klasyfikacja odpadów

Definicja odpadu w prawie polskim kształtowała się przez wiele lat [40]. Miało to związek przede wszystkim z próbą odnalezienia wspólnego mianownika dla tych wszystkich różnorodnych substancji i przedmiotów, które potencjalnie stanowią odpad. Kluczowe dla sformułowania optymalnej definicji pojęcia *odpad* było przyjęcie instrumentarium prawnego nałożonego przez Unię Europejską. Dzięki temu możliwe stało się ujednolicenie przepisów krajowych i europejskich. Tym samym do polskiego systemu gospodarki odpadami wprowadzono pojęcie odpadu jako „każdej substancji lub przedmiotu, których posiadacz pozbywa się, zamierza się pozbyć lub do których pozbycia się jest zobowiązany” [168].

Najważniejszą cechą tej definicji jest uwzględnienie „posiadacza odpadu” jako podmiotu odpowiedzialnego za decyzję, która będzie, lub nie, czyniła wybrany przedmiot, wyrób bądź substancję odpadem.

Tabela 1 Grupy odpadów

Grupa	Typ odpadów
01	odpady powstające przy poszukiwaniu, wydobywaniu, fizycznej i chemicznej przeróbce rud oraz innych kopalin
02	odpady z rolnictwa, ogrodnictwa, upraw hydroponicznych, rybołówstwa, leśnictwa, łowiectwa oraz przetwórstwa żywności
03	odpady z przetwórstwa drewna oraz z produkcji płyt i mebli, masy celulozowej, papieru i tektury
04	odpady z przemysłu skórzanego, futrzarskiego i tekstylnego
05	odpady z przeróbki ropy naftowej, oczyszczania gazu ziemnego oraz pirolitycznej przeróbki węgla
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 (farb, lakierów, emalii ceramicznych), 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 z 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 (z wyłączeniem olejów jadalnych oraz grup 05, 12 i 19)
14	odpady z rozpuszczalników organicznych, chłodziw i propelentów (z wyłączeniem grup 07 i 08)
15	odpady opakowaniowe; sorbenty, tkaniny do wycierania, materiały filtracyjne i ubrania ochronne nieujęte w innych grupach
16	odpady nieujęte w innych grupach
17	odpady z budowy, remontów i demontażu obiektów budowlanych oraz infrastruktury drogowej (włączając glebę i ziemię z terenów zanieczyszczonych)
18	odpady medyczne i weterynaryjne (z wyłączeniem odpadów kuchennych i restauracyjnych niezwiązanych z opieką zdrowotną lub weterynaryjną)
19	odpady z instalacji i urządzeń służących zagospodarowaniu odpadów, z oczyszczalni ścieków oraz z uzdatniania wody pitnej i wody do celów przemysłowych
20	odpady komunalne łącznie z frakcjami gromadzonymi selektywnie

Źródło: [136]

Ze względu na różnorodność substancji traktowanych jako odpady, celowa staje się standaryzacja ich podziału. Podstawą dowolnej klasyfikacji są kryteria decydujące o szeregowaniu odpadów ze względu na kryteria odnoszące się do właściwości fizykochemicznych, biologicznych, technologicznych czy ekonomicznych, np. [65]:

- miejsce powstawania;
- stan skupienia;

- skład chemiczny;
- stopień toksyczności;
- wpływ na środowisko;
- możliwość wtórnego wykorzystania.

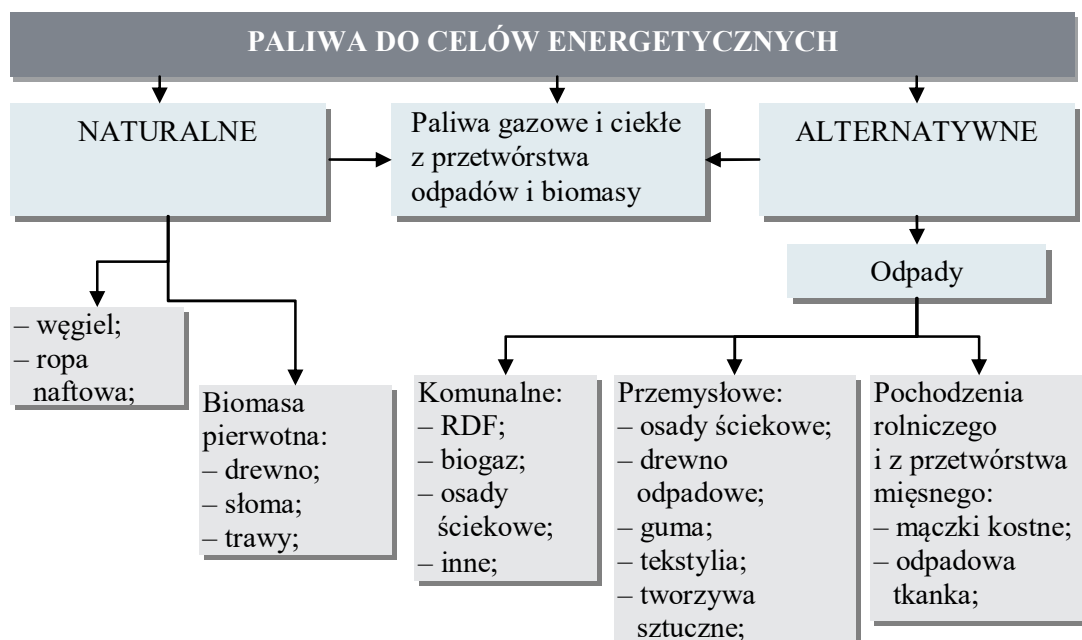
Najczęściej stosowane podziały i klasyfikacje odpadów biorą pod uwagę kryteria przyjęte w *Rozporządzeniu* [136]. Według nich odpady włącza się do odpowiedniej grupy, podgrupy i rodzaju odpadów, uwzględniając:

- źródło ich powstawania;
- właściwości i składniki, które powodują, że odpady są odpadami niebezpiecznymi (określone w załączniku nr 3 do *Ustawy o odpadach*).

Według ustanowionego w *Rozporządzeniu* [136] katalogu odpady zostały podzielone według źródła ich powstania, tworząc tym samym dwadzieścia oficjalnych grup odpadów, obowiązujących w krajowym prawodawstwie (tab. 1).

W większości przypadków odpady można uznać za cenny surowiec. Związane jest to z możliwością pozyskania dodatkowych korzyści poza tymi, które dany przedmiot – przed uzyskaniem statusu odpadu – pierwotnie przynosił. Podczas poszukiwań możliwości odzysku zwrócono uwagę na właściwości palne niektórych odpadów. Co za tym idzie, tak z ekonomicznego, jak i ekologicznego punktu widzenia mogłyby się one stać doskonałym surowcem energetycznym.

Badania branżowe [17, 52, 78, 128, 154, 182, 184] wykazują coraz większe zainteresowanie rynku odpadami komunalnymi, które ze względu na skład morfologiczny i wartość opałową są traktowane jako potencjalne źródło energii. Wykorzystanie właściwości palnych odpadów komunalnych w połączeniu z innymi komponentami może zastąpić cenne zasoby energii pierwotnej przy jednoczesnym zmniejszeniu ilości odpadów trafiających na składowiska. Klasyfikację paliw przedstawiono na rysunku 2.



Rysunek 2 Podział paliw wykorzystywanych do celów energetycznych

Źródło: [74]

W przypadku klasyfikacji paliw ze względu na technologię termicznego przekształcenia wyróżniamy [100]:

- paliwa naturalne, kopalne i biologiczne paliwa odnawialne (biomasa);
- paliwa odpadowe – rozumiane jako pozostałości odpadowe wybranych procesów technologicznych, które charakteryzują się dobrymi właściwościami paliwowymi, w tym np. odpady z procesu rafinacji czy trociny z procesu obróbki drewna;
- odpady – osady ściekowe i odpady komunalne, których morfologia umożliwia termiczne przekształcanie;
- paliwa z odpadów – RDF (ang. *Refuse Derived Fuel* – paliwo z odpadów), SRF (ang. *Solid Recovered Fuel* – paliwa wtórne z odpadów) i paliwa formowane.

Zgodnie z przedstawionym schematem (rys. 2), odpady zaliczane są do alternatywnych paliw stosowanych w energetyce. Potencjał energetyczny odpadów komunalnych i przemysłowych oraz odpowiednie warunki technologiczne umożliwiają zastąpienie paliw konwencjonalnych paliwami alternatywnymi, uzasadnionymi z ekologicznego i ekonomicznego punktu widzenia. Od kilku lat poziom energii pozyskiwanej z odpadów systematycznie wzrasta. Zakłady energetyczne i cementownie współpalają zużyte opony, odpadowe tworzywa czy tekstylia, wykorzystując ich wysoką wartość opałową, porównywalną z paliwami naturalnymi.

2.2. Właściwości palne odpadów

Charakterystyka odpadów komunalnych, które potencjalnie mogą stanowić surowiec energetyczny, zależy od wielu czynników. Są nimi między innymi: rodzaj zabudowy, nasycenie terenu obiektami niemieszkalnymi (w tym usługowymi), jak również wyposażenie techniczne budynków z uwzględnieniem sposobu ich ogrzewania [42, 120]. Równie istotny wpływ na skład tych odpadów mają takie elementy jak: stan zamożności mieszkańców, pory roku, przydomowe kompostowanie odpadów zielonych oraz prowadzona przez mieszkańców selektywna zbiórka odpadów wtórnych. Te i inne czynniki wpływają na skład morfologiczny odpadów komunalnych, a co za tym idzie – na ich wartość opałową. Ze składem materiałowym odpadów wiąże się zatem ich charakterystyka paliwowa. Każdy ze składników, badany osobno, charakteryzuje się takimi właściwościami jak [120, 177]:

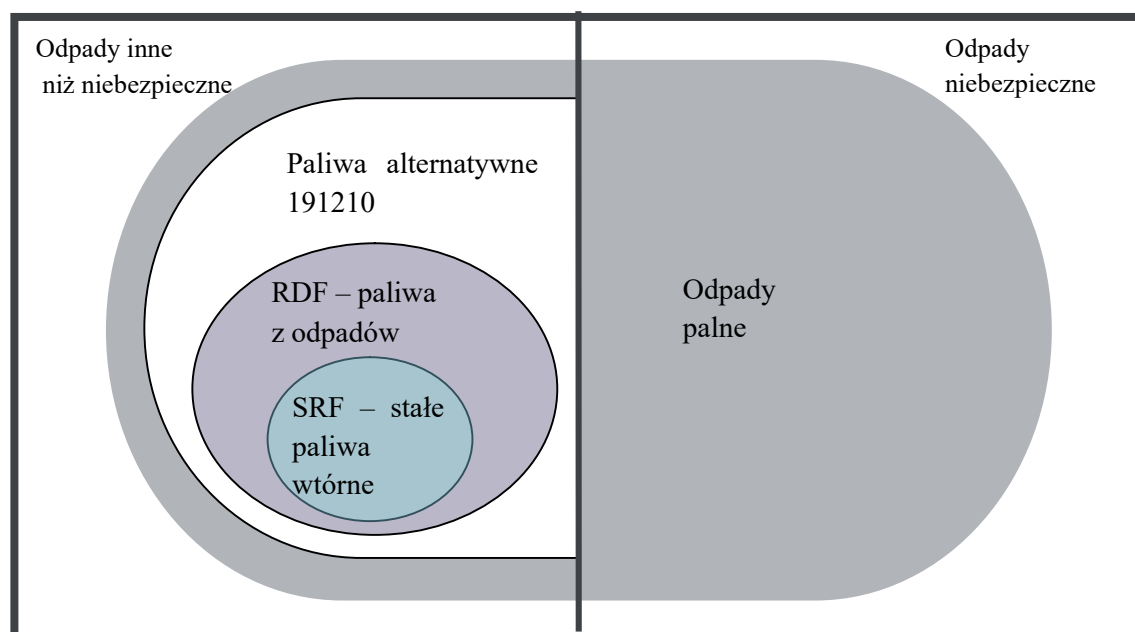
- określona wilgotność;
- zawartość substancji organicznej;
- wartość ciepła spalania.

Właściwości paliwowe odpadów można zgromadzić w jednym zbiorze, charakteryzującym się:

- zawartością wody;
- zawartością części palnych;
- zawartością części niepalnych;
- częściami lotnymi;
- ciepłem spalania;
- wartością opałową (w tym roboczą);
- składnikami agresywnymi (SO_2 , HCl , N_2O_5);
- składem elementarnym części palnych (w tym C, H, S, N, Cl, O).

Brak w literaturze przedmiotu oraz krajowym ustawodawstwie oficjalnej definicji odpadów palnych powoduje konieczność wyselekcjonowania zestawu właściwości i cech odpadów w ramach oceny ich potencjału energetycznego. Bazując na obowiązujących ustawach i rozporządzeniach [53, 134, 135, 168, 171], na potrzeby niniejszej monografii odpady palne (energetyczne lub wysokokaloryczne) będą definiowane jako wyodrębniona grupa odpadów niebezpiecznych lub innych niż niebezpieczne, komunalnych lub przemysłowych, stałych lub ciekłych, charakteryzujących się wysokimi właściwościami paliwowymi, które zapewniają

spełnienie warunków efektywności energetycznej, ekologicznej i ekonomicznej obiektów przekształcania termicznego odpadów. Próba wyselekcjonowania odpadów palnych z odpadów wytwarzanych została przedstawiona na rysunku 3 zgodnie ze sformułowaną definicją.



Rysunek 3 Odpady palne

Źródło: [8]

W tym miejscu należy zwrócić uwagę na jeszcze jedną kwestię, a mianowicie na frakcję kaloryczną. Została ona przywołana w *Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 8 stycznia 2013 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu* [139]. Zakaz składowania wyodrębnionej grupy odpadów kalorycznych dotyczy frakcji charakteryzujących się następującymi parametrami: ciepło spalania powyżej 6 [MJ/kg] s.m. (suchej masy), zawartość ogólnego węgla organicznego (TOC) powyżej 5% s.m., strata przy prażeniu (LOI) powyżej 8% s.m. Wyodrębnione właściwości odpadów umożliwiają zaliczenie ich do grupy odpadów palnych, stanowiących wsad do procesu termicznego przekształcania, stanowiąc proces odzysku R1 [38]. Załącznik nr 1 *Ustawy o odpadach* definiuje proces R1 jako wykorzystanie odpadów głównie jako paliwa lub innego środka wytwarzania energii, gdzie w przypadku przekształcania stałych odpadów komunalnych konieczne jest spełnienie warunku efektywności energetycznej obiektów przekształcania termicznego, równej lub większej niż [168]:

- 0,60 dla działających instalacji, które otrzymały zezwolenie zgodnie ze stosownymi przepisami wspólnotowymi obowiązującymi przed dniem 1 stycznia 2009 r.,
 - 0,65 dla instalacji, które otrzymały zezwolenie po dniu 31 grudnia 2008 r.,
- przy zastosowaniu następującego wzoru:

$$\text{Efektywność energetyczna} = \frac{E_p - (E_f + \dots)}{0,97 \times (E_w + E_f)} \quad (2.1)$$

gdzie:

E_p – oznacza ilość energii produkowanej rocznie jako energia cieplna lub elektryczna [GJ/rok],
 E_f – oznacza ilość energii wprowadzanej rocznie do systemu, pochodzącej ze spalania paliw biorących udział w wytwarzaniu pary [GJ/rok],

E_w – oznacza roczną ilość energii zawartej w przetwarzanych odpadach, obliczanej przy zastosowaniu dolnej wartości opałowej odpadów [GJ/rok],

E_i – oznacza roczną ilość energii wprowadzanej z zewnątrz z wyłączeniem E_w i E_f [GJ/rok].

Wzór efektywności energetycznej jest zgodny z dokumentem referencyjnym dotyczącym najlepszych dostępnych technik do spalania odpadów, znanym jako *Reference Document of Best Available Techniques for Waste Incineration* – BREF [27].

2.3. Wybrane grupy odpadów palnych

W ramach prowadzonych badań nad potencjałem energetycznym zmieszanych odpadów komunalnych na szczególną uwagę zasługuje również grupa 19 12 12, definiowana jako „Inne odpady (w tym zmieszane substancje i przedmioty) z mechanicznej obróbki odpadów, inne niż wymienione w 19 12 11” [136].

Wykonawcą badań nad potencjałem energetycznym odpadów na terenie województwa śląskiego był Główny Instytut Górnictwa w Katowicach. Wyniki analiz wybranych parametrów przedstawia tabela 2 [207].

Tabela 2 Wybrane parametry odpadów z MBP

Wilgotność [%]	Substancje palne [% s.m.]	Ciepło spalania [kJ/kg]	Ciepło spalania [MJ/kg]	Zawartość chloru [% s.m.]	Zawartość siarki [% s.m.]	Wartość opałowa [kJ/kg]	Wartość opałowa [MJ/kg]
Odpady komunalne zmieszane, frakcja sitowa > 90 mm							
37,39	81,68	19659	19,66	0,113	0,141	10779	10,78
Balast po kompostowaniu frakcji sitowej < 90 mm							
43,12	49,98	11750	11,75	0,534	0,289	5760	5,76
Balast po sortowaniu tworzyw sztucznych							
27,04	89,81	24119	24,12	0,096	0,146	16534	16,54

Źródło: [207]

Wyniki przeprowadzonych badań [207] potwierdzają tezę o wysokiej wartości opałowej frakcji nadsitowej pozyskanej po procesie mechaniczno-biologicznej przeróbki odpadów komunalnych zmieszanych. Dotychczas ta frakcja była deponowana na składowiskach lub przeznaczana do produkcji paliw alternatywnych. Średnia produkcja frakcji nadsitowej to ok. 4 mln ton rocznie w skali krajowej [201]. W wyniku przetwarzania odpadów w instalacjach regionalnych uzyskuje się znaczne ilości (ok. 30%–50%) frakcji nadsitowej o średniej kaloryczności od 10 do 14 [MJ/kg], co stanowi cenny surowiec energetyczny kraju.

Również produkcja paliw alternatywnych z wyselekcjonowanych odpadów palnych, które nie mogą być poddane recyklingowi, stale rośnie. Oszczędność paliw naturalnych, zmniejszenie emisji zanieczyszczeń, jak również możliwość wykorzystania istniejących kotłów energetycznych do odzysku energii z odpadów powoduje, że udział paliw alternatywnych w globalnym rynku energii jest znaczący. Odbiorcami tego źródła energii są głównie cementownie, które mają ograniczone moce przetwórcze odpadów wysokokalorycznych. W Polsce pracuje 11 zakładów cementowych, z czego paliwa z odpadów są współspalane w 9 zakładach, które w 2010 r. zużyły ok. 982 [tys. Mg] paliw alternatywnych, zastępując nimi 39% ciepła potrzebnego do procesu produkcyjnego [99, 163]. Prace nad dostosowaniem właściwości paliw do wymagań odbiorców spowodowały, iż w literaturze, a także w przepisach prawnych wyodrębniono grupy paliw alternatywnych, regulując ich zgodność z przyjętymi wymaganiami. Warto również zwrócić uwagę na fakt, że paliwa alternatywne w dalszym ciągu posiadają status odpadu, a średnia wartość opałowa wybranych frakcji została przedstawiona w tabeli 3.

Tabela 3 Właściwości paliwowe niektórych odpadów stosowanych jako paliwa alternatywne

Paliwa alternatywne	Wartość opałowa [MJ/kg]
Odpady drzewne	18,6
Odpady drewna	11,0–18,0
Trociny i wióry	14,0
Folie	41,6
Tworzywa sztuczne twarde	39,4
Papier	14,1
Tektura	16,2
Zużyte drewno	14,8
Tekstylia	14,7
Osady ściekowe	1,0
Odwodnione osady ściekowe	6,0
Mączki zwierzęce	12,0–16,0
Frakcje palne odpadów komunalnych przy zawartości wilgoci poniżej 10%	Powyżej 22,0

Źródło: [99]

Literatura przedmiotu często zamiennie używa pojęć: *paliwa alternatywne*, *paliwa RDF*, *paliwa SRF* czy *paliwa formowane*. Konieczne jest zatem uporządkowanie tych pojęć.

Paliwa RDF, według dokumentu Unii Europejskiej zatytułowanego *Refuse Derived Fuel. Current Practice and Perspectives* i dotyczącego spalania paliw alternatywnych, to wszystkie paliwa z odpadów. Zgodnie z definicją opracowaną na potrzeby wspomnianego dokumentu RDF obejmują szeroki zakres materiałów odpadowych, które zostały poddane obróbce w celu spełnienia konkretnych wymagań i specyfikacji oraz osiągnięcia wysokiej wartości opałowej. Paliwa odpadowe zaś zawierają pozostałości po mechaniczno-biologicznej obróbce, odpady przemysłowe / handlowe, osady ściekowe, odpady niebezpieczne przemysłowe, odpady biodegradowalne itp. Do paliw RDF zalicza się stałe odpady wtórne SRF [27, 30].

Paliwa SRF są to stałe odpady wtórne wytworzone z odpadów innych niż niebezpieczne, wykorzystywane dla odzysku energii w instalacjach spalania lub współspalania oraz spełniające wymagania klasyfikacji podane w PN-EN 15357:2011 [163]. Opracowane przez CEN (ang. *European Committee for Standardization*) dokumenty zawierające system klasyfikacji i jakości SRF pozwalają na jednoznaczne zaklasyfikowanie paliwa do konkretnej klasy, zależnej od jego właściwości fizyko-chemicznych [118].

Paliwa formowane to „substancje palne przeznaczone do realizacji określonego procesu termicznego, w określonych warunkach procesowych, utworzone w wyniku przemian fizycznych, fizyczno-chemicznych, biologicznych, biochemicznych i biotermicznych oraz termicznych, na bazie paliw naturalnych, sztucznych, substancji palnej różnego pochodzenia (w tym biologicznej pochodzenia roślinnego i zwierzęcego), produktów przetwarzania odpadów zarówno komunalnych, przemysłowych, odpadów medycznych i innych, w tym niebezpiecznych, uzyskiwane na drodze formowania mechanicznego, chemicznego, biologicznego, a także wszystkich dostępnych środków i technologii” [177].

W praktyce największą część odpadów wysokokalorycznych uzyskuje się w oparciu o dwa podstawowe procesy:

- sortowanie odpadów – pozostałości z selektywnie zebranych odpadów suchych, które nie nadają się do recyklingu (kryterium stanowi jakość materiału), są cennym surowcem energetycznym wykorzystywanym do produkcji RDF;
- mechaniczne przetwarzanie – przebiega ono w instalacjach typu MBP (instalacje mechaniczno-biologicznego przetwarzania), w ramach którego ze zmieszanych odpadów wydzielają się części mineralne organiczne. Pozostałości procesu, czyli frakcja nadsitowa, są zaliczane do frakcji „palnej”.

Zasady formowania paliw z wyselekcjonowanych odpadów opierają się na tym, by mieszać różne składniki w odpowiednich proporcjach w celu osiągnięcia wymaganych przez odbiorcę właściwości. Tak powstałe paliwo powinno również spełniać wymagania kwalifikujące je do energetycznego przetwarzania dla określonego typu paleniska. Z punktu widzenia efektywności energetycznej preferowane są paliwa niskoemisyjne, o obniżonej zawartości chloru, siarki i popiołu. Ponieważ proces tworzenia paliw z odpadów ma na celu uzyskanie założonego efektu, potencjalna wartość energetyczna tworzona jest już na etapie zbiórki, gdzie jakość odpadów bezpośrednio wpływa na kaloryczność odpadów i zapotrzebowanie na dodatkową obróbkę (np. suszenie, które umożliwiłoby podwyższenie kaloryczności odpadów).

3. Uwarunkowania prawne obejmujące energetyczne wykorzystanie odpadów

Ratyfikując w 2003 r. *Traktat Akcesyjny*, Polska oficjalnie zobowiązała się spełnić między innymi rygorystyczne unijne normy w dziedzinie gospodarki odpadami. Zmniejszenie ilości odpadów składowanych i osiągnięcie wymaganych poziomów odzysku i recyklingu to tylko część licznych zobowiązań, które były początkiem nadchodzących zmian w zarządzaniu odpadami na terenie naszego kraju. Realizacja systemu gospodarki odpadami w krajach Unii Europejskiej została szczegółowo uregulowana w prawodawstwie liczącym kilkadziesiąt decyzji, dyrektyw, komunikatów i strategii. Podejście, jakie przyjęła Wspólnota, odgrywa zasadniczą rolę w formułowaniu przepisów prawa polskiego. Prawo tymczasem już od kilkadziesiąt lat zmierza do realizacji najważniejszych celów strategicznych związanych z ochroną środowiska naturalnego, w tym do racjonalnego gospodarowania zasobami i odpadami.

Ogólne ramy prawne gospodarki odpadami opierają się na liście priorytetów, a przede wszystkim na często przywoływanej [36] hierarchii postępowania z odpadami. Kraje członkowskie przyjęły tę koncepcję jako podstawę opracowania wszystkich przepisów prawnych związanych z odpadami. Hierarchię postępowania z odpadami przedstawia rysunek 4.



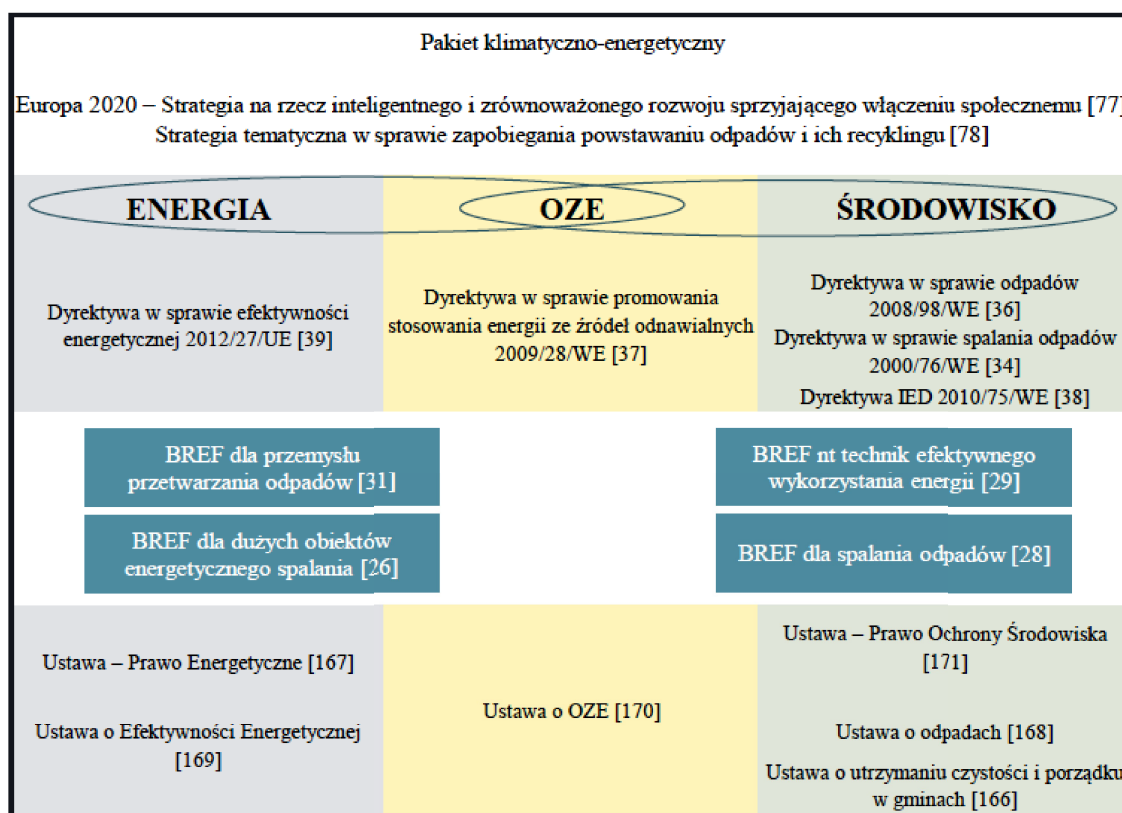
Rysunek 4 Hierarchia postępowania z odpadami

Źródło: [36]

Zrównoważony rozwój, racjonalne wykorzystanie zasobów, zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych czy promocja odnawialnych źródeł odnawialnych są obszarami szczególnego zaangażowania Unii Europejskiej. W okresie gdy nie istniały ramy prawne i wymagania stawiane krajom członkowskim, udział energii odnawialnej wzrastał średnio o 1,9% rocznie [198]. Brak znaczących postępów był bodźcem do określenia strategicznych celów ekologicznych, co w następstwie przyczyniło się do osiągnięcia 4,5% udziału OZE (odnawialnych źródeł energii). Takie przykłady są dowodem skuteczności wyzwań, które stawia przed krajami członkowskimi Komisja Europejska. Opracowane przez UE środki wykonawcze oraz instrumenty finansowe powinny zasadniczo umożliwić lub przynajmniej stymulować działania na rzecz spełnienia ambitnych celów w sprawie klimatu.

Przegląd przepisów prawa unijnego w ramach gospodarki odpadami i ich energetycznego wykorzystania umożliwił wyodrębnienie zbioru najważniejszych aktów, które regulują aktualny stan systemu. Wyszczególnione na rysunku 5 przepisy wspólnotowe oraz wynikające z nich

przepisy krajowe nie tylko określają najważniejsze zasady, warunki i wymagania, ale również wskazują na istotę odzysku energii odpadów jako jednej z możliwości spełnienia energetycznych i środowiskowych celów wspólnotowych.



Rysunek 5 Zestawienie regulacji prawnych z zakresu termicznego przekształcania odpadów
Źródło: opracowanie własne

Prawidłowe wdrożenie, stosowanie i egzekwowanie prawa UE w dziedzinie odpadów jest jednym z priorytetów polityki środowiskowej UE. Walory energetyczne odpadów, jak również rosnące zainteresowanie termicznym przekształcaniem, powodują, iż istnieje potrzeba sprecyzowania najważniejszych wymagań technicznych i środowiskowych dla tego typu przedsięwzięć. Uwzględniona na rysunku 5 dyrektywa IED (*Industrial Emissions Directive* – dyrektywa ws. emisji przemysłowych) zastępuje siedem aktualnie obowiązujących dyrektyw, w tym dyrektywę w sprawie zintegrowanego zapobiegania i ograniczania zanieczyszczeń (*Integrated pollution prevention and control* – IPPC), a jednym z jej celów jest wzmocnienie roli najlepszych dostępnych technik (ang. *Best Available Techniques* – BAT). Dokumenty referencyjne, które wyczerpująco opisują technologie dla wybranych sektorów, poruszają istotne kwestie środowiskowe oraz efektywnościowe sprzyjające ograniczeniu szkodliwych emisji. Głównym założeniem BAT jest zatem wskazanie potencjału poszczególnych instalacji, które przy założeniu zintegrowanego podejścia pozwolą tak kontrolować i monitorować procesy, aby zapewnić wysoki poziom ochrony środowiska.

Osobną kategorię prawną stanowią stałe paliwa wtórne (SRF). Należy zaznaczyć, iż właściwości wspomnianego paliwa SRF wynikają z zapisów Europejskiego Centrum Akredytacji (CEN). Z tego powodu te regulacje również wpisują się w ramy prawne opartej o odzysk energetyczny gospodarki odpadami. W dniu 26 sierpnia 2002 r. Komisja Europejska udzieliła CEN mandatu M/325 [150] na opracowanie norm obejmujących jakość, kwalifikacje i stosowanie paliw SRF. Zostało to uzasadnione potrzebą stabilnych dostaw odpadów, wstępnie

przetworzonych i zhomogenizowanych do określonych jakości paliw dla podmiotów współpalających SRF. Komisja Europejska uznała standaryzację za konieczną ze względu na wykluczenie z SRF odpadów palnych nieprzyjaznych dla środowiska, które w obrocie handlowym mogą stanowić znaczne zagrożenie.

Inwentaryzacja obowiązujących aktów prawnych [133, 134, 138] wykazała duże bariery w zastosowaniu RDF oraz SRF w przemyśle. W przypadku klasycznego termicznego przekształcania odpadów w spalarniach lub innych służących temu celowi obiektach podstawowe wymagania techniczne dla prowadzenia odzysku energii z odpadów obejmują m.in.:

- odpowiednią temperaturę procesu (850 lub 1100°C w zależności od zawartości chloru) i odpowiedni czas przebywania spalin w obszarze tej temperatury (co najmniej 2 sek.);
- wysoki stopień dopalenia żużli i popiołów paleniskowych (całkowita zawartość węgla organicznego <3% lub udział części palnych < 5%);
- obowiązek prowadzenia rozszerzonego monitoringu emisyjnego;
- obowiązek dotrzymywania podwyższonych standardów emisyjnych.

W przypadku współpalania odpadów (w tym paliw alternatywnych) producenci energii spotykają się z szeregiem utrudnień zarówno natury formalno-prawnej, jak i technicznej. Traktując SRF jako odpad, a nie paliwo, prawo polskie determinuje konieczność spełnienia przez instalację współpalania rygorystycznych wymagań, tak jak w przypadku instalacji dedykowanych wyłącznie termicznemu przekształcaniu odpadów. W związku z tymi barierami prawnymi zakład wykorzystujący tylko 1% paliw alternatywnych traktowany jest jako współspalarnia odpadów innych niż niebezpieczne. Należy również dodać, że podmiot prowadzący współpalanie odpadów zobowiązany jest do wywiązania się ze wszystkich obowiązków formalno-prawnych, jak w przypadku podmiotu spalającego odpady. Dotyczy to w szczególności ewidencji odpadów oraz sprawozdawczości wynikającej z działalności zagospodarowania odpadów. Cementownie i elektrociepłownie niejednokrotnie rezygnują z energetycznego wykorzystania paliw alternatywnych ze względu na szereg rygorystycznych wymagań związanych z ujęciem paliw alternatywnych jako odpadów.

Po zbadaniu i analizie zapisów prawnych związanych z odzyskiem energii z odpadów dojść można do wniosku, że istotną kwestię stanowi możliwość zakwalifikowania odpadów jako źródła energii odnawialnej. Włączenie przez Unię Europejską odpadów biodegradowalnych do zbioru odnawialnych źródeł energii (zielonej energii) było podstawą opracowania rozporządzenia, które reguluje tę kwestię. Wspomnianym aktem prawnym jest *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 2 czerwca 2010 r. w sprawie szczegółowych warunków technicznych kwalifikowania części energii odzyskanej z termicznego przekształcania odpadów komunalnych* [135]. Szczegółowo określa on frakcje odpadów oraz warunki techniczne, w jakich proces produkcji energii będzie uznany za pochodzący z odnawialnych źródeł. Praktyka krajów charakteryzujących się znaczącym udziałem termicznego przekształcania odpadów wskazuje, iż komunalne osady ściekowe, zmieszane odpady komunalne czy paliwa typu SRF, poddane procesowi spalania lub współpalania, w pewnej części mogą być uznane za źródło energii odnawialnej [183].

Ze względu na zakres tematyczny niniejszej monografii na szczególną uwagę zasługuje również *Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 8 stycznia 2013 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu* [139]. Ustanowiony w rozporządzeniu zakaz składowania dotyczy frakcji kalorycznej (omówionej w rozdziale 2.1), a dokładniej odpadów o:

- ciepła spalania powyżej 6 [MJ/kg] s.m.;
- zawartości ogólnego węgla organicznego (TOC) powyżej 5% s.m.;

- stracie przy prażeniu (LOI) powyżej 8% s.m.

Powyższe ograniczenia są odpowiedzią na rygorystyczne wymagania UE dotyczące odpowiednich poziomów odzysku odpadów (w tym energetycznego). Przedsięwzięcie działań mających na celu wykorzystanie potencjału energetycznego odpadów jest zatem konieczne. Powinno też zostać wpisane w lokalne plany gospodarki odpadami.

Trwające od kilkunastu lat zmiany w krajowym prawodawstwie zaczęto wdrażać dzięki analizie statystyk, które potwierdzają niską efektywność systemu gospodarki odpadami. Potrzeba zmian i dostosowania aktualnych warunków do restrykcyjnych wymagań UE była bodźcem do wprowadzenia szeregu usprawnień w przepisach prawnych obejmujących gospodarkę odpadami. I tak, nowelizacja *Ustawy o odpadach* z 2015 r. [168], wprowadziła m.in. obowiązek sporządzania przez zarządy województw planów inwestycyjnych w zakresie gospodarki odpadami komunalnymi oraz uznała spalarnie odpadów za ponadregionalne instalacje. *Ustawa o OZE* wprowadziła nowe zasady wspierania mikroinstalacji oraz zmieniła system wspierania OZE z systemu świadectw pochodzenia energii na system aukcyjny. Fundamentalne zmiany zapewniła jednak nowelizacja *Ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach* (UCPG), która zreorganizowała obowiązujący dotychczas system gospodarki odpadami.

Ustawa z dnia 1 lipca 2011 roku o zmianie ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach oraz niektórych innych ustaw (Dz. U. 2011 nr 152 poz. 897) w istotny sposób wpłynęła na funkcjonowanie dotychczasowego systemu gospodarki odpadami, delegując gminę jako organ będący jednostką nie tylko zarządczą, ale również operacyjną. Gminne jednostki administracyjne i samorządy zostały tym samym aktywowane do działań zmierzających do zapobiegania powstawaniu odpadów i ułatwiania ich ponownego wykorzystania [166]. W praktyce oznacza to gospodarowanie odpadami komunalnymi przez gminę, która do połowy roku 2013 była zobligowana do zorganizowania logistycznego systemu zbiórki odpadów [64]. Wymogi [166] dotyczące koordynacyjnej roli samorządów województw zostały skupione na opracowaniu szczegółowego planu gospodarki odpadami, który w sposób kompleksowy miałby opisywać podejście do problemu. Gminy, ustanawiając system gospodarki odpadami komunalnymi, są zobowiązane m.in. do :

- utrzymania odpowiednich instalacji i urządzeń przeznaczonych do zbierania, transportu i unieszkodliwiania odpadów;
- organizacji selektywnej zbiórki odpadów, osiągając przy tym określony poziom recyklingu i odzysku, jak również do ograniczania w sposób objęty przepisami masy odpadów komunalnych ulegających biodegradacji i przekazywanych do składowania.

Poza wspomnianymi, istotnymi z punktu widzenia organizacyjnego postulatami, *Ustawa* definiuje również długoterminowe cele, które gminy zobowiązane są osiągnąć. Są to:

- poziom recyklingu i przygotowania do ponownego użycia wybranych frakcji odpadów komunalnych (dla papieru, metali, tworzyw sztucznych i szkła w wysokości co najmniej 50% wagowo);
- poziom biodegradowalnych odpadów komunalnych trafiających na składowiska, które do dnia 16 lipca 2020 r. należy ograniczyć do 35 % całkowitej masy odpadów komunalnych wytworzonych w 1995 r.

Wspomniane regulacje mają za zadanie koordynować wszystkie działania związane ze zbiórką, unieszkodliwianiem i odzyskiem odpadów. Realizacja zaprezentowanych wyżej celów wymaga wypracowania efektywnej logistyki, która powinna uwzględniać hierarchię postępowania z odpadami, dostępne wydajności instalacji (w tym niezagospodarowane powierzchnie składowisk), a przede wszystkim realizować efektywny ekonomicznie, ekologicznie i społecznie przepływ odpadów komunalnych.

Wszystkie przywołane dokumenty prawne stanowią zbiór najistotniejszych, z punktu widzenia niniejszej monografii, przepisów regulujących kwestie energetycznego przekształcania odpadów. Krajowe dokumenty strategiczne, ustawy i rozporządzenia są reakcją na wymagania narzucone przez prawo unijne. Stosunkowo niewielkie doświadczenie Polski w zakresie termicznego przekształcania odpadów komunalnych to poważne wyzwanie dla podmiotów odpowiedzialnych za gospodarkę odpadami oraz inwestorów zainteresowanych tym sektorem gospodarki.

4. Analiza łańcucha usuwania odpadów

Racjonalne zarządzanie systemem gospodarki odpadami związane jest bezsprzecznie z procesami logistyki, które koordynują nie tylko przepływ materiałowy, ale również informacyjny. Zapewniona zostaje tym samym wymagana jakość przy minimalnych kosztach. Wraz z potrzebą dostosowania krajowego systemu gospodarki odpadami do wymagań unijnych konieczne stało się wprowadzenie proekologicznych metod zarządzania, które umożliwiałyby spełnienie oczekiwanych poziomów odzysku i recyklingu. Zgodnie z powszechnie znaną definicją logistyki, niezbędne są: planowanie, realizacja oraz kontrola sprawnego i ekonomicznie efektywnego przepływu dóbr od miejsca ich powstania do miejsca ich ostatecznego użytkowania zgodnie z wymaganiami klienta [155]. Transponując tę definicję na obszar gospodarki odpadami, mówimy o sprawnym i efektywnym ekonomicznie i ekologicznie przepływie odpadów od miejsca ich zbiórki do miejsc ich przetwarzania i ostatecznego unieszkodliwiania, przy założeniu maksymalizacji poziomu odzysku. Zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju logistyka odpadów powinna uwzględniać również aspekt społeczny podczas planowania i realizacji wszystkich przepływów. Skuteczny przepływ informacji, podwyższający świadomość proekologiczną wśród społeczeństwa, jest niezwykle istotny z punktu widzenia selektywnej zbiórki u źródła, będącej najbardziej skuteczną metodą zwiększania poziomu recyklingu surowców wtórnych. Z drugiej strony, planowanie tras i nowych obiektów powinno też uwzględniać wymagania gospodarki przestrzennej oraz oddziaływanie na środowisko naturalne.

Łańcuch usuwania jest logistyczną koncepcją takiej gospodarki odpadami, która opiera się na wszystkich zasadach przepływu odpadów pomiędzy mieszkańcem a podmiotem, ostatecznie unieszkodliwiającym pozostałości [12]. Procesy logistyczne związane z łańcuchem usuwania obejmują zbiórkę, odbiór, transport oraz przekształcanie odpadów zgodnie z obowiązującą hierarchią odpadów. Przed wejściem w życie nowej *Ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach* gospodarka odpadami miała charakter zróżnicowany i niezaplanowany. Właściciel odpadów wybierał i rozliczał się bezpośrednio z podmiotem, który zajmował się zbiórką i transportem odpadów do wskazanych w zezwoleniu miejsc odzysku i unieszkodliwiania odpadów (posiadających odpowiednią decyzję). Gminy nie miały wpływu na wybór przedsiębiorstw, do których trafiały odpady, a do ich zadań należało przede wszystkim ewidencjonowanie umów oraz ilości odpadów wywożonych.

Problematyczne staje się w tym wypadku wyodrębnienie zintegrowanej logistyki odpadów, kiedy brak systemowego podejścia opartego na współdziałaniu elementów, związanego z planowaniem i organizowaniem przepływu odpadów tak, aby osiągnąć wspólny cel: maksymalizowanie odzysku. W efekcie tych praktyk w 2008 r. w Polsce tylko 78,1% mieszkańców [82] było objętych system zbiórki odpadów, odnotowano brak wystarczających mocy przerobowych instalacji do mechaniczno-biologicznego i termicznego przekształcania, a przede wszystkim zaobserwowano niepokojąco niski poziom selektywnej zbiórki (6,8%). Reorganizacja systemu, którą zapoczątkowała nowelizacja *Ustawy* [166], miała na celu podniesienie efektywności i skuteczności gospodarki odpadami naszego kraju, usprawnienie przepływów, maksymalizowanie odzysku. Najważniejszym podjętym działaniem było natomiast objęcie systemem selektywnej zbiórki odpadów wszystkich mieszkańców i działanie na rzecz podniesienia świadomości proekologicznej.

Dla wypełnienia przewidzianych *Ustawą* [166] celów niezbędne było stworzenie założeń do logistycznego systemu gospodarki odpadami, który powinien uwzględniać poniższe kwestie:

- podział województwa na regiony zgodnie z WPGO;

- wyznaczenie regionalnych instalacji do przetwarzania odpadów komunalnych (RIPOK), a także instalacji przewidzianych do zastępczej obsługi regionu, z uwzględnieniem mocy przerobowych zapewniających przetworzenie wszystkich zmieszanych odpadów komunalnych i odpadów zielonych;
- plany budowy nowych instalacji zatwierdzone w planach inwestycyjnych WPGO. Plany te określają potrzebną infrastrukturę dotyczącą odpadów komunalnych, w tym odpadów budowlanych i rozbiórkowych wraz z mocami przerobowymi. Służyć ma ona zapobieganiu powstawaniu tych odpadów oraz gospodarowaniu nimi, i zapewnieniu osiągnięcia celów wyznaczonych w przepisach;
- zorganizowanie selektywnej zbiórki (odpady zmieszane, surowce wtórne i odpady ulegające biodegradacji), która obejmie 100% mieszkańców;
- tworzenie i utrzymanie punktów selektywnego gromadzenia odpadów (PSZOK);
- wyeliminowanie z systemu składowisk niespełniających wymagań technicznych i prawnych;
- zorganizowanie edukacji proekologicznej i kampanii informacyjnej w zakresie prawidłowego postępowania z odpadami i selektywnej zbiórki;
- monitoring i kontrolę realizacji działań podmiotów odpowiedzialnych za odbiór, transport, odzysk i unieszkodliwianie odpadów;
- opracowanie szeregu działań związanych z zapobieganiem powstawania odpadów oraz zwiększeniem udziału recyklingu.

Te i inne, bardziej szczegółowe, wymagania odnośnie do nowego systemu gospodarki odpadami komunalnymi regulują przepisy prawne. Na ich podstawie opracowano schemat systemu z podziałem na trzy główne podsystemy, tj. podsystem przepływu odpadów, podsystem zarządzania, monitoringu i kontroli oraz podsystem przepływów finansowych (rys. 6).

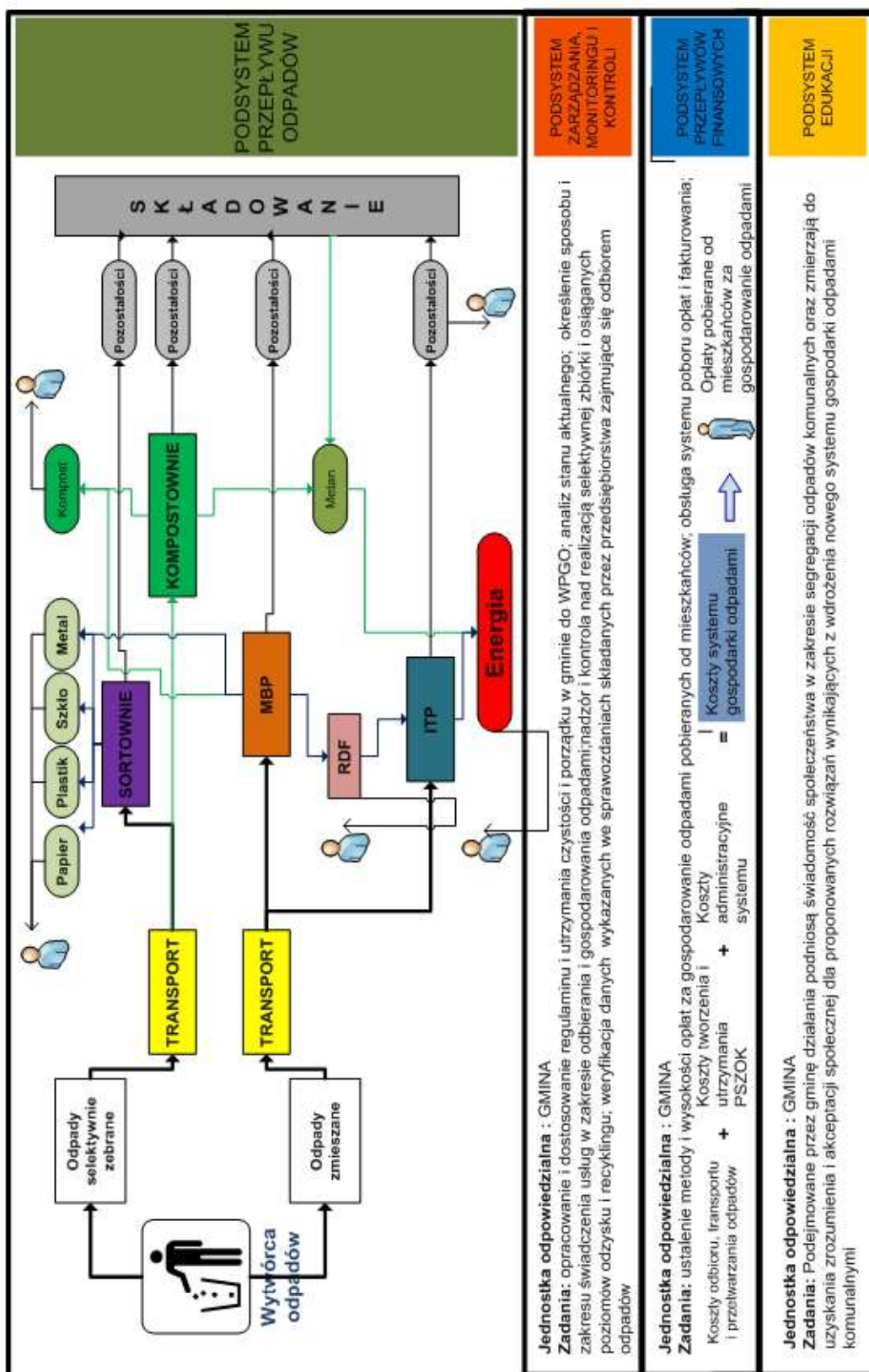
Określając rolę poszczególnych elementów gminnej gospodarki odpadami komunalnymi oraz przekładając ją na obszar myślenia o całości [112] i podejścia systemowego, należy zwrócić uwagę na strukturę podsystemów. Silna i wzajemna współzależność podsystemów sprawia, że tylko poprzez ich efektywne współdziałanie możliwe jest osiągnięcie głównych celów systemu, związanych z maksymalizowaniem poziomów odzysku i recyklingu. Można zatem mówić o występowaniu efektu synergicznego w systemie gospodarki odpadami.

Podsystem przepływów odpadów jest najbardziej złożoną częścią systemu. Dlatego też wymaga on szczegółowej analizy. Składa się z procesów takich jak: zbiórka, odbiór, transport oraz przekształcenia odpadów, z którymi związani są wytwórcy, przedsiębiorstwa odpowiedzialne za odbiór i transport odpadów oraz przedsiębiorstwa zajmujące się ich przetwarzaniem. Przetwarzanie rozumiane jest jako procesy odzysku lub unieszkodliwiania obejmujące przygotowanie poprzedzające odzysk lub unieszkodliwianie.

Kluczowymi czynnikami wpływającymi na skuteczność podsystemu przepływu odpadów są:

- organizacja systemu gromadzenia odpadów;
- dobór obiektów przetwarzających, spełniających wymogi BAT, posiadających wystarczające moce przerobowe i zlokalizowanych w obrębie regionu gospodarki odpadami;
- optymalizacja tras przewozowych oraz wykorzystanych środków transportu.

W przypadku podsystemu zarządzania, monitoringu i kontroli, obowiązujące przepisy wymuszają szczegółowe działania, których celem jest prowadzenie monitoringu na szczeblu lokalnym i regionalnym.



Rysunek 6 System gospodarki odpadami

Źródło: opracowanie własne

Opracowanie zbioru mierzalnych wskaźników, które odpowiadają wybranym kryteriom oceny, bazujących na założeniach polityki gospodarki odpadami, jest niezbędnym elementem analizy stanu aktualnego. Przykładami takich wskaźników są:

- wskaźnik zamiany klimatu (wyrażony w kg równoważników CO₂);
- wskaźnik recyklingu i odzysku odpadów opakowaniowych;
- wskaźnik ilości składowanych odpadów;
- wskaźnik rocznego całkowitego kosztu systemu gospodarki odpadami na osobę / gospodarstwo domowe;
- wskaźnik zajęcia przestrzeni prywatnej przez system zbierania odpadów.

4.1. Znaczenie logistyki w systemie gospodarki odpadami

Aby racjonalnie gospodarować odpadami komunalnymi, należy podkreślić, iż logistycznie zorientowany model systemu gospodarki odpadami ma charakter dynamiczny [120, 122]. Jego elementy, jak również otoczenie cechują się silnym oddziaływaniem, dzięki czemu można uznać, iż zmienną jest nie tylko czas, ale również:

- dynamika powstawania odpadów;
- ograniczona wydajność i przepustowość instalacji, urządzeń i obiektów będących częścią łańcucha logistycznego;
- przestrzenne możliwości terenów objętych jednolitą gospodarką odpadami oraz dostępność obiektów wykorzystujących BAT w ramach unieszkodliwiania odpadów;
- aktualizacje ustaw, rozporządzeń i przepisów tworzących fundament systemu;
- światowy trend dotyczący koncepcji zagospodarowania odpadów.

Wymienione przykłady pokazują, jak bardzo złożonym systemem jest gospodarka odpadami komunalnymi i jak wiele elementów wpływa na efektywność jej funkcjonowania. Liczne obserwacje pokazują, że gminy w różnym stopniu planują system gospodarki odpadami komunalnymi, uznając za priorytetowe wywiązanie się z obligatoryjnych obowiązków przy minimalnych nakładach finansowych.

Przyjęcie podejścia logistycznego może znacząco usprawnić gospodarkę – planowanie, realizowanie i kontrolowanie przepływów odpadów w łańcuchu usuwania przynieść mogą duże korzyści ekologiczne przy jednoczesnym niewielkim zaangażowaniu zasobów i kapitału. Ze względu na możliwość powstania różnorodnych sieci powiązań między wszystkimi uczestnikami systemu, niezwykle istotne jest łączenie elementów w taki sposób, aby pomagały one efektywnie realizować wspólny cel. Logistyka traktuje łańcuch usuwania kompleksowo, jako jeden spójny system, oceniając efektywność poszczególnych ogniw oraz ich wpływ na efektywność całego systemu. Odpowiedni dobór pojemników, taboru samochodowego, optymalizacja tras oraz wydajność obiektów do przetwarzania odpadów istotnie przyczynia się do tworzenia zintegrowanej logistycznie gospodarki odpadami. Badania wykazują, że interdyscyplinarność logistyki jest jej główną zaletą, dzięki czemu możliwe staje się rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praktyk i doświadczeń innych dziedzin nauki [12, 122, 124].

Biorąc pod uwagę powyższe zależności oraz istotę transpozycji logistyki na grunt gospodarki odpadami, opracowano poniższe zestawienie, obejmujące zasadę 7W (tab. 4).

Przedstawienie analogii pomiędzy głównymi zasadami logistyki a gospodarką odpadami potwierdza zasadność złożonej koordynacji i synchronizacji procesów zbiórki, odbioru, transportu i przetwarzania odpadów. Istota logistyki w gospodarce odpadami nie ogranicza się wyłącznie do właściwej organizacji odbioru odpadów, ale przede wszystkim wpływa na poziom efektywności przepływów różnych strumieni odpadów w całym łańcuchu usuwania.

Tabela 4 Siedem zasad logistyki w gospodarce odpadami

Właściwy produkt – właściwy strumień odpadów
Grupy odpadów, z którymi związane jest indywidualne zarządzanie, to przede wszystkim: odpady ulegające biodegradacji; odpady opakowaniowe i surowce wtórne; odpady wielkogabarytowe; odpady zmieszane; odpady niebezpieczne; odpady pozostałe. Przyjęty podział bezpośrednio wpływa na dalszy sposób postępowania z odpadami – od realizacji zbiórki, przez transport do właściwego zutylizowania. Ważne jest w tym wypadku dokładne określenie procedur, które formalnie będą stanowiły o organizacyjnym fundamencie każdego z podsystemów.
Właściwe miejsce – właściwa instalacja odzysku lub unieszkodliwiania
Odpady, których powstaniu nie udało się zapobiec, według obowiązujących przepisów powinny być we właściwy sposób zebrane i przetransportowane do punktu odzysku lub unieszkodliwiania. W myśl obowiązującej Ustawy [168], odpady w pierwszej kolejności powinny zostać poddane procesowi recyklingu. Jeżeli taki proces nie jest możliwy, nastąpi ich transport do odpowiedniego obiektu, w którym da się wydzielić odpowiednie strumienie odpadów w celu poddania ich innym procesom odzysku lub unieszkodliwiania. Tymi obiektami mogą być np. sortownie, centra segregacji odpadów, punkty zbierania odpadów niebezpiecznych, spalarnie, kompostownie, składowiska lub zakłady produkcji paliw alternatywnych. Ważnym aspektem w wyborze miejsca unieszkodliwiania każdego strumienia odpadów jest zapis dotyczący wyboru miejsca przetwarzania jak najbliższego źródła powstania odpadu. Jest to zgodne z obowiązującą polityką ochrony środowiska, która uwzględniając wpływ zbiórki i transportu odpadów na otoczenie, ogranicza tym samym ich negatywne oddziaływanie. Właściwe miejsce przetwarzania odpadów powinno posiadać niezbędne pozwolenia oraz umożliwić przyjęcie odpadów i poddanie ich odpowiednim procesom przy uwzględnieniu wydajności instalacji.
Właściwy czas
Na drodze kalkulacji masy wytworzonych odpadów przez mieszkańców, jak również wielkości pojemników i dostępnej infrastruktury gmina i/lub przedsiębiorstwa odpowiedzialne za zbiórkę odpadów określają częstotliwości opróżniania pojemników. Ważna w tym przypadku jest nie tylko optymalizacja ekonomiczna, ale – w myśl zrównoważonego rozwoju – kwestia społeczna i środowiskowa. Zgodnie z przyjętym przez gminy regulaminem mieszkańcy muszą posiadać dostęp do informacji obejmujących harmonogram odbioru odpowiednich strumieni odpadów.
Właściwa ilość
W zależności od rodzaju zabudowań wytwórców odpadów i uwarunkowań logistyczno-technicznych wykorzystywane są różnego rodzaju rozwiązania, które kwalifikują pojemniki i pojazdy do obsługi zbiórki odpadów. Do zbiórki odpadów komunalnych zmieszanych wykorzystuje się przede wszystkim pojemniki 110 [I] lub 120/140 [I]. Poza tym w zabudowie wielorodzinnej, gdzie używany jest system donoszenia odpadów, zastosowanie mają kontenery lub pojemniki 1100 [I]. Wybór rozwiązania uwarunkowany jest przez liczbę obsługiwanych mieszkańców i średnią ilość wytworzonych przez nich odpadów. Według przepisów wytwórcy powinni zapobiegać powstawaniu odpadów, jednak statystyki pokazują, że z roku na rok średnia przypadająca na jednego mieszkańca się powiększa, stąd niezwykle istotna jest analiza aktualnego stanu systemu gospodarki odpadami oraz wprowadzanie zmian doskonalących, umożliwiających osiągnięcie wskazanego celu przy obecnych warunkach.
Właściwa jakość
Kwestia jakości w gospodarce odpadami może być rozpatrywana na wiele sposobów. Idąc za definicją jakości jako zgodności z wymaganiami, istotne jest gospodarowanie odpadami według obowiązującej zasady dotyczącej selektywnej zbiórki. Rozumie się przez to zbieranie, adekwatne do właściwości i cech odpowiedniego strumienia odpadów, które ze względu na specyficzny rodzaj unieszkodliwiania kierowane są w odpowiednie miejsce. Dzięki prawidłowej organizacji takiej zbiórki nie tylko możliwe stają się znaczny odzysk lub recykling, ale również wykorzystanie odpowiedniej frakcji w celach energetycznych. Istotną rolę odgrywa również czystość odpadów, od której zależy, czy będą one wymagały dodatkowego oczyszczenia (co wiąże się ze zwiększeniem kosztów), czy mogą być od razu poddane procesom odzysku.
Właściwy klient
Według najbardziej popularnej definicji <i>klient</i> to każda jednostka korzystająca z usług lub dóbr oferowanych na rynku. W związku z powyższym klientami systemu gospodarki odpadami komunalnymi są wytwórcy, którzy korzystają z usług odbioru, transportu i przetwarzania odpadów, gminy, które mogą korzystać z usług firm zajmujących się odbiorem, transportem i przetwarzaniem odpadów, jak również odbiorcy odpadów przetworzonych w ramach m.in. recyklingu czy odzysku energetycznego.
Właściwa cena – właściwy koszt gospodarowania odpadami
Na ogólne koszty systemu gospodarowania odpadami składa się wiele pozycji, a ich wielkość uzależniona jest od rzetelnych kalkulacji związanych z wyborem podmiotów obierających i transportujących odpady, jak również z wyborem technologii przekształcania odpadów. Za ponoszenie tych kosztów odpowiedzialni są mieszkańcy. Wysokość opłat zależy od wybranej metody zbiórki odpadów – segregowanych (opłaty niższe) albo zmieszanych (opłaty wyższe). Poważny problem aktualnego systemu gospodarki odpadami stanowi wybieranie rozwiązań najtańszych, które niekoniecznie są rozwiązaniami najlepszymi. Podejście logistyczne do gospodarki odpadami umożliwia opracowanie zbioru kryteriów wyboru najlepszego rozwiązania, które poza efektem ekonomicznym będzie również spełniać warunki ekologiczne i społeczne.

Zródło: opracowanie własne

5. Technologie energetycznego wykorzystania odpadów

Produkcja energii elektrycznej w Polsce jest w ok. 90% uzależniona od węgla, a stan techniczny obiektów energetycznych tworzy potrzebę modernizacji i znaczących inwestycji. W perspektywie do 2050 r. przewiduje się konieczność niemal całkowitej wymiany obecnych mocy wytwórczych, a inwestycje powinny być realizowane w najbliższym terminie. Poważny problem stanowi spełnienie wymagań unijnej dyrektywy, która określa nowe, rygorystyczne standardy emisji. Według danych Społecznej Rady ds. Narodowego Programu Redukcji Emisji [213] w związku z nowymi regulacjami do 2016 r. elektrownie wyłączą bloki o mocy ponad 6 [tys. MW]. W następnych latach również prognozuje się kolejne zamknięcia – do 2020 r. 3,1 [tys. MW], a do 2030 r. w sumie ponad 22 [tys. MW], co stanowi więcej niż 60% obecnego potencjału energetyki. Konieczne jest zatem stwarzanie możliwości do poszukiwań alternatywnych źródeł energii, które mogłyby pozwolić na zamknięcie bilansu energetycznego, m.in. dzięki wdrażaniu najlepszych dostępnych technologii OZE oraz dzięki rozwojowi małych elektrowni na biomasę, biogaz czy odpady.

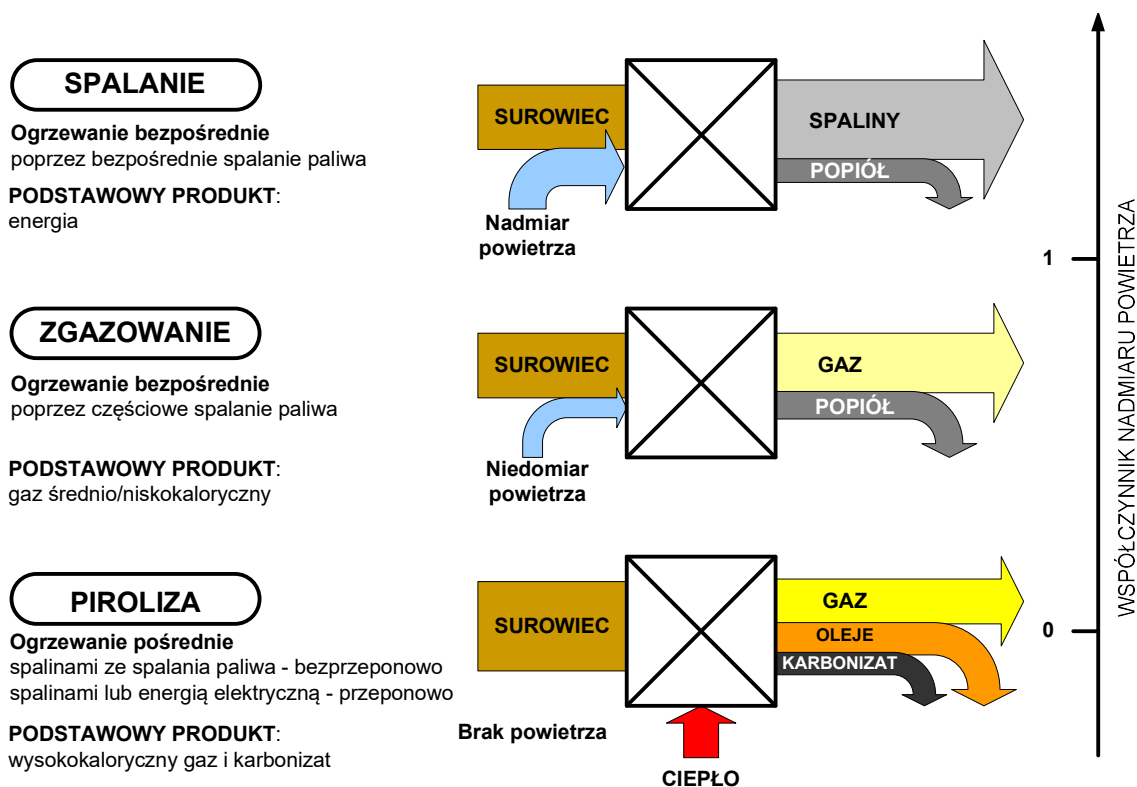
Korzystając z ustaleń dokumentu referencyjnego na temat najlepszych dostępnych technik spalania odpadów [27], sektor spalania można podzielić na poniższe główne podsektory:

- spalanie mieszanych odpadów komunalnych – obróbka zwykle mieszanych i w dużej mierze nieobrobionych odpadów z gospodarstw domowych, która czasami może obejmować część odpadów przemysłowych i komercyjnych (odpady przemysłowe i komercyjne są spalane także osobno w przeznaczonych do tego przemysłowych lub komercyjnych spalarniach odpadów bezpiecznych);
- spalanie wstępnie obrobionych odpadów komunalnych lub innych – instalacje do obróbki odpadów, które zostały posegregowane, wstępnie obrobione lub przygotowane w jakiś sposób, dzięki czemu różnią się one od odpadów mieszanych. Ten podsektor obejmuje specjalnie przygotowane spalarnie zasilane paliwem odpadowym;
- spalanie odpadów niebezpiecznych – dotyczy spalania w zakładach przemysłowych i w elektrowniach komercyjnych (zwykle obejmuje bardzo zróżnicowane odpady);
- spalanie osadów ściekowych – w niektórych miejscach osady ściekowe są spalane oddzielnie od innych odpadów w przeznaczonych do tego celu instalacjach, w innych miejscach tego typu odpady są łączone z innymi odpadami (np. z odpadami komunalnymi) w celu spalania;
- spalanie odpadów medycznych – instalacje przeznaczone do obróbki odpadów medycznych, zwykle gromadzonych w szpitalach oraz innych instytucjach opieki zdrowotnej, istnieją w formie scentralizowanych zakładów lub w szpitalach itp. Czasami niektóre odpady medyczne poddawane są obróbce w innych instalacjach, na przykład razem z mieszanymi odpadami komunalnymi lub odpadami niebezpiecznymi.

Mimo iż spalanie jest zdecydowanie najbardziej rozpowszechnionym procesem, dokument BAT dla spalania odpadów wyróżnia w sumie trzy podstawowe procesy termicznego przekształcania odpadów:

- piroliza – termiczna degradacja materiałów organicznych w warunkach beztlenowych;
- gazyfikacja – częściowe utlenianie;
- spalanie – spalanie z pełnym utlenianiem.

Graficzną prezentację wyżej wspomnianych procesów przedstawia rysunek 7.



Rysunek 7 Procesy termicznego przekształcania odpadów

Źródło: [153]

Istnieją zasadnicze różnice między wymienionymi procesami termicznej obróbki odpadów, które determinują wielokryterialną analizę możliwości zastosowania wybranej technologii w danej lokalizacji. Poniżej podjęto próbę zestawienia najważniejszych informacji dotyczących technologii przetwarzania odpadów z odzyskiem energii z uwzględnieniem wad i zalet wdrożenia instalacji (tab. 5).

Tabela 5 Porównanie technologii termicznego przekształcania odpadów

Technologia	Spalanie rusztowe		
Wsad:	– stałe odpady komunalne (w tym biomasa) – 100%; – energia wspomagająca; – woda (do generatora pary).	Produkty:	Energia: – energia elektryczna (procent odzysku energii z termicznego przekształcania odpadów w pełnej kondensacji – przy produkcji samej energii elektrycznej – wynosi ok. 22%); – energia elektryczna i energia cieplna (w kogeneracji przy produkcji ciepła i energii elektrycznej sprawność odzysku energii wynosi ok. 80%). Pozostałości poprocesowe: – żużle (ok. 25% masy wprowadzanych do procesu odpadów komunalnych); – popioły (do 3% masy wprowadzanych do procesu odpadów komunalnych); – spaliny (4500–6000 [m³] na tonę wsadu); – woda (z generatora pary).
Wady:	– wysokie koszty inwestycyjne; – konieczna jest wstępna obróbka obejmująca oczyszczenie wsadu z materiałów niepożądanych; – instalacja jest technicznie przygotowana do przekształcania wyłącznie odpadów; – brak możliwości utylizacji odpadów ciekłych, mazistych, pylistych; – podczas procesu termicznej utylizacji powstaje odpad żużlowy, który jest trudny do utylizacji; – konieczność instalacji drogich technik oczyszczania spalin; – kosztowny proces oczyszczania spalin na zewnątrz kotła; – zawartość części palnych w żużlu i popiele może dochodzić do 50% udziału masowego.		

Zalety:	– sprawdzona i szeroko stosowana technologia; – systemy oczyszczania spalin stosowane w tego typu obiektach gwarantują sprostanie surowym wymogom w zakresie emisji do atmosfery, przekształceniu wszystkich rodzajów odpadów stałych bez konieczności segregacji oraz wstępnego rozdrobnienia, jak również RDF; – odzysk energii w kogeneracji na wysokim poziomie; – redukcja od 20 do 30% początkowej masy odpadów; – redukcja do ok. 10% początkowej objętości; – odzysk metali; – powstający żużel nie jest odpadem niebezpiecznym i po waloryzacji może być użyty jako materiał budowlany.		
Przykłady:	Obiekty, m.in.: – Magdeburg Rothensee, DE; – TREA Breisgau, DE. Producenci, m.in.: – Oschatz GmbH; – Rafako S.A., PL; – SEFAKO, PL; – Karrena Sp. z o.o., PL.		
Technologia	Spalanie fluidalne		
Wsad:	– stałe odpady komunalne (w tym biomasa) – 100%; – energia wspomagająca; – woda (do generatora pary); – piasek / substancje obojętne.	Produkty	Energia: – energia elektryczna (procent odzysku energii z termicznego przekształcania odpadów w pełnej kondensacji, czyli przy produkcji samej energii elektrycznej, wynosi ok. 20%), – energia elektryczna i energia cieplna (w kogeneracji przy produkcji ciepła i energii elektrycznej sprawność odzysku energii wynosi ok. 60%). Pozostałości poprocesowe: – żużle (mniej niż 0,5% masy wprowadzanych do procesu odpadów komunalnych); – popioły (denne i z cyklonu); – pyły kotłowe; – spaliny (4500–55000 [m³] na tonę wsadu); – woda (z generatora pary).
Wady:	– konieczna jest wstępna obróbka obejmująca oczyszczenie wsadu z materiałów niepożądanych (ceramiki, kamieni, szkła, metali,); – konieczność rozdrobnienia wsadu do frakcji niższej niż 100 [mm]; – nie można utylizować odpadów ciekłych, mazistych, pulp; – wysoka awaryjność i niska sprawność eksploatacyjna; – konieczność instalacji drogich technik oczyszczania spalin; – kosztowny proces oczyszczania spalin na zewnątrz kotła; – niższa moc przerobowa w porównaniu z innymi technologiami.		
Zalety:	– elastyczność paliwowa; – możliwość spalania osadów ściekowych; – mniejsza wrażliwość na zmienne wartości opałowe wsadu; – niska emisja NOx z uwagi na niską temperaturę złoża (850°C) i etapowe spalanie; – wysoka sprawność spalania ze względu na mieszanie turbulentne i długi czas przebywania cząstek w złożu cyrkulacyjnym; – niewielkie zabrudzenie powierzchni kotłów; – niska emisja węglowodorów; – znaczna redukcja (ok. 80%) emisji SO₂ do atmosfery.		

Przykłady:	Obiekty, m.in.: – TEV Neumunster, DE; – Instalacja w Lenzing, Austria. Producenci, m.in.: – BAMAG, DE; – Alstom Deutschland AG, DE; – Rafako S.A., PL; – SEFAKO, PL; – Karrena Sp. z o.o., PL.		
Technologia	Zgazowanie odpadów		
Wsad:	Odpady: – biomasa w postaci stałej, rośliny energetyczne (np. wierzba, topola itp.), zasoby i odpady rolnicze – odpady z leśnictwa i przemysłu drzewnego; – odpady komunalne (np. plastik); – RDF; – osady ściekowe. Czynnik zgazowujący: tlen lub powietrze, ale także para wodna, wodór albo dwutlenek węgla.	Produkty:	Energia: – gaz syntezowy (syngaz) jako mieszanina gazów (H_2, CO, CO_2, CH_4, H_2O, N_2) o określonej wartości opałowej. Pozostałości: – popiół; – smoła (w przypadku zgazowania biomasy); – szkło i metale (w zależności od składu odpadów) oraz ewentualne pozostałości ciekłe w postaci wody w przypadku zastosowania mokrego systemu oczyszczania spalin; – spaliny ze spalania gazu.
Wady:	– posiada niską wydajność masową; – wymagają doprowadzenia dodatkowej energii; – słabe wskaźniki ekonomiczne inwestycji oraz wysoki koszt eksploatacji instalacji zgazowania; – odpady muszą być przygotowane przed podaniem ich do jednostki zgazowującej (rozdrobnieniu i mieleniu, aby ich skład został maksymalnie ujednolicony); – gaz syntetyczny zawiera śladowe ilości smoły oraz toksyczne i rakotwórcze cząstki, które mogą zanieczyszczać wodę wykorzystywaną do jego oczyszczania; – skomplikowane i kosztowne oczyszczanie gazu do użytku w silnikach; – spalanie gazu syntetycznego w piecu powoduje emisję NOx; – stałe pozostałości mogą zawierać niespalony węgiel organiczny.		
Zalety:	– zgazowanie pozwala na efektywniejszą niż w przypadku klasycznego spalania utylizację szerokiej gamy odpadów, doprowadzając do redukcji masy odpadów o ok. 80%; – jest to proces, którym można skutecznie sterować, zachowując wszelkie normy środowiskowe; – wytworzony gaz syntetyczny może być magazynowany do późniejszego użytku; – mniejszy strumień spalin niż w klasycznym spalaniu przekłada się na niższą emisję spalin do powietrza; – proces jest dobrze przystosowany do unieszkodliwiania zanieczyszczonego drewna; – wdrażanie tej technologii jest kilkakrotnie tańsze w porównaniu do budowy spalarni odpadów.		
Przykłady:	Obiekty, m.in.: – największa instalacja zgazowania odpadów w Europie – w Karlsruhe, DE; – technologia zgazowania SVZ Schwarze Pumpe na terenie zakładów chemicznych Schwarze Pumpe, DE.		
Technologia	Piroliza odpadów (odgazowanie)		
Wsad:	Odpady: – zmieszane odpady komunalne, plastiki, zużyte opony oraz wysokoenergetyczna frakcja otrzymywana z odpadów (RDF).	Produkty:	Energia: – gaz pizolityczny (para wodna, CO_2, CO, H_2, CH_4, wyższe węglowodory alifatyczne – C_2 do C_4, smoła wytłевна); – faza stała – koks pirolityczny (unieszkodliwiany przez współspalanie). Pozostałości: – faza ciekła – mieszanina olejów i smół, woda, składniki organiczne; – karbonizat, zawierający głównie C-fix oraz inne składniki nieorganiczne.

Wady:	– posiada niską wydajność masową; – wymagają doprowadzenia dodatkowej energii; – oleje / smoły pirolityczne zawierają toksyczne i rakotwórcze związki; – koks pirolityczny nie spełnia norm UE i polskich dla składowania ze względu na dużą zawartość węgla; – koks pirolityczny zawiera dużą ilość metali ciężkich; – brak długoterminowych doświadczeń z działających zakładów o dużej przepustowości; – zmieszane odpady komunalne przed podaniem ich do komory reakcyjnej muszą być poddane wstępnemu przygotowaniu, czyli rozdrobnieniu i mieleniu, aby ich skład został ujednolicony, – odpady muszą mieć bardzo małą wilgotność, ponieważ jej zbyt wysoka zawartość skutkuje powstawaniu dużej ilości wody poprocesowej.		
Zalety:	– zmniejszenie objętości i ciężaru odpadów przy jednoczesnym zmagazynowaniu ich właściwości kalorycznej w produktach rynkowych (gaz i koks); – wytwarzanie gazu pirolitycznego o wartości opałowej 5–30 [MJ/mn³], który może być spalony w komorze paleniskowej; – mniejsza objętość powstających spalin ze spalania gazu pirolitycznego niż przy termicznym przekształcaniu w piecu/kotle rusztowym/fluidalnym; – brak formowania się dioksyn i furanów; – proces jest dobrze przystosowany do przekształcania frakcji odpadów z dużą zawartością substancji lotnych, jak np. odpady plastikowe.		
Przykłady:	– instalacja firmy Siemens AG oparta na pirolizie w technologii Schwel-Brenn-Verfahren we Fürth k. Norymbergii, DE; – instalacja oparta na pirolizie w technologii Thermoselect (odpady sprasowane i pozbawione powietrza)		
Technologia	Biogazownia		
Wsad:	Wsad w produkcji biogazu stanowić mogą: – nawozy naturalne; – surowce pochodzące z przemysłu przetwórczego: wysłodziny browarniane, wywar zbożowy, wywar ziemniaczany itp.; – surowce organiczne pochodzące z obiektów komunalnych: resztki pożywienia i resztki produkcji spożywczej, odpady sklepowe; – surowce pochodzące z procesu oczyszczania ścieków: osady ściekowe; – rośliny energetyczne (kiszonka kukurydza, żyto); – odpowiednio dobrana mieszanka powyższych surowców.	Produkty:	– energia elektryczna; – ciepło (lokalnie); – biometan (po oczyszczeniu); – produkty pofermentacyjne (nawóz lub odpad).
Wady:	– konieczność ścisłego przestrzegania reżimów procesu fermentacji (temperatury, pH, hermetyczności); – duże nakłady inwestycyjne na budowę zbiorników, fermentatorów, kupno silnika, prądnicy i aparatury kontrolno-pomiarowej.		
Zalety:	– biogaz powstający w procesie fermentacji metanowej biomasy lub biodegradowalnej części odpadów jest jednym z biopaliw; – biopaliwa stanowią alternatywę dla powszechnie używanych paliw kopalnych (OZE); – wysokosprawne wytwarzanie „zielonej” energii w skojarzeniu – 85% wykorzystania energii pierwotnej; – sprawność wytwarzania energii elektrycznej wynosi ok. 40%, sprawność wytwarzania energii cieplnej 45% (klasyczne elektrownie węglowe mają sprawność wytwarzania energii elektrycznej rzędu 35%); – energia odnawialna i czysta, która nie zanieczyszcza środowiska; – mniejszy wpływ na efekt cieplarniany dwutlenku węgla uzyskanego ze spalania biogazu; – zdecentralizowana produkcja tej energii nie wymaga budowy linii transmisyjnych i nie występują straty spowodowane jej przesyłaniem.		
Przykłady:	Obiekty, m.in.: – biogazownia GICON Bioenergie GmbH, DE.		

Technologia		Współspalanie odpadów (RDF, SRF)	
Wsad:	– paliwa RDF; – odpady z przemysłu rafineryjnego i produkty odpadowe pochodzenia naftowego lub pozyskane z nich paliwa; – różnego rodzaju zużyte lub przeterminowane chemikalia, rozpuszczalniki organiczne oraz odpady z produkcji farb i lakierów; – zużyte opony samochodowe; – odpady z tworzyw sztucznych; – odpady komunalne i pozyskane z nich paliwo. Współspalanie następuje z węglem kamiennym lub brunatnym. W elektrowniach poziom wymiany paliw konwencjonalnych na odpady wynosi między 5% a 25% mocy termicznej kotłów, a w cementowniach stopień ten sięga ponad 60% zapotrzebowania cieplnego zakładu.	Produkty:	– energia; – substancje mineralne pod postacią żużli, popiołów, pyłów kotłowych, piasku ze złoża fluidalnego. Popioły ze spalania wchodzi w skład klinkieru i cementu, w wyniku czego nie ma prawie żadnych pozostałości.
Wady:	– współspalanie niektórych rodzajów odpadów z węglem może powodować również szybszą korozję wysokotemperaturową; – współspalanie odpadów w kotłach energetycznych często powoduje obniżenie sprawności kotła; – spełnienie norm emisji zanieczyszczeń może być problemem utrudniającym spalanie (współspalanie) odpadów w energetyce.		
Zalety:	– zastępuje pierwotne źródła energii (oraz zapewnia oszczędność finansową lub nawet dochody z utylizacji paliwa RDF); – niższe koszty obsługi w porównaniu ze spalarniami; – dodanie do węgla uzasadnionych technicznie i ekonomicznie ilości odpadów (do 5%) nie powoduje znaczących zmian w wielkości emisji i nie stwarza problemów ruchowych; – możliwość kwalifikowania części energii odzyskanej z odpadów jako energii „zielonej” powoduje zainteresowanie energetyki zawodowej współspalaniem odpadów; – proces bezodpadowy – popiół dodawany jest do klinkieru cementowego; – warunki temperaturowe i czasowe są wystarczające do całkowitego spalania wielkocząsteczkowych węglowodorów, odchlorowania dioksyn i zniszczenia pierścieni benzenowych; – wysoka temperatura fazy gazowej – temperatura płomienia 1800–2000°C gwarantuje całkowite spalanie wszystkich organicznych związków; – bardzo duża pojemność cieplna – duża masa wypalanego klinkieru oraz ciągłość procesu gwarantują stabilność termiczną procesu; – proces współspalania w piecach cementowych zmniejsza ilość składowanych odpadów, oszczędza naturalne surowce energetyczne, np. złoża węgla; – badania nie stwierdziły różnic w emisji zanieczyszczeń przy współspalaniu odpadów z węglem w porównaniu do emisji przy spalaniu wyłącznie węgla ani też ujemnego wpływu na jakość cementu.		
Przykłady:	Obiekty, m.in.: Górażdże Cement SA, PL.		
Technologia		Technologie plazmowe	
Wsad:	Plazma znajduje zastosowanie w przypadku unieszkodliwiania odpadów, których trwałość jest silnie uzależniona od temperatury, jak np.: – odpady chemiczne i przemysłowe; – odpady wojskowe. – inne odpady o wysokim stopniu zagrożenia (np. skażona gleba). Technologia utylizuje większość odpadów organicznych i wszelkich odpadów nieorganicznych (w tym radioaktywnych); – substancje stabilizujące.	Produkty:	– plazma – zjonizowany gaz; – spiek, żużel, szkło o małej wymywalności; – dwutlenek węgla, para wodna, tlenki siarki, tlenki azotu, chlorowodów, H₂, CO, CO₂, CH₄, H₂O, N₂.

Wady:	– wysokie koszty eksploatacyjne; – wysokie zużycie energii elektrycznej.		
Zalety:	– przyjazna dla środowiska; – możliwość odzyskania 90% wsadu; – neutralizacja i likwidacja szkodliwych substancji zawartych w odpadach (dzięki wysokiej temperaturze).		
Przykłady:	Obiekty, m.in.: – Shinminato Clear Energy Center w Chiba, Japonia; – instalacja plazmowa do utylizacji odpadów komunalnych firmy Startech, USA. Producenci, m.in.: – Arc-technology, USA; – Onim, Francja; – Aerospitale, Francja; – Retach, USA.		
Technologia	Technologie fluidalno - pirolityczne typu "K"		
Wsad:	– mieszanina różnorodnych odmian morfologicznych odpadów komunalnych; – biomasa. Można samodzielnie termicznie utylizować dowolne odpady lub spalać w dowolnych mieszankach z biomasą i stałymi paliwami kopalnymi. Technologia typu „K” umożliwia termiczną utylizację dowolnych odpadów o łącznej zawartości wilgoci do 90% udziału masowego.	Produkty:	– etanol i energia odnawialna (ciepła i elektryczna w skojarzeniu) z wywaru i innych substratów organicznych; – prefabrykowane materiały budowlane.
Wady:	– brak możliwości zagospodarowania nadmiaru energii cieplnej; – brak możliwości zagospodarowania CO₂ z agregatów prądotwórczych; – emisja CO₂ do atmosfery; – agregat prądotwórczy jest źródłem hałasu.		
Zalety:	– możliwość termicznej utylizacji rozdrobnionej frakcji odpadów < 100 [mm], oczyszczonej z ceramiki, kamieni, szkła i metali odpadów, będących mieszaniną dowolnych odmian morfologicznych w stanie stałym, pylistym, ciekłym, mazistym i w stanie pulpy; – można neutralizować zawarte w odpadach związki siarki, chloru, par metali ciężkich oraz ograniczyć zawartość NO_x, CO w spalinach opuszczających komorę poniżej dopuszczalnych norm; – zawartość części palnych w popiele dennym jest bliska zeru, co powoduje, że popiół ten nie jest odpadem, ale cennym surowcem budowlanym; – sprawność termiczna instalacji osiąga blisko 90%; – instalacja „wtórnego” oczyszczania spalin na wyjściu z kotła nie zawiera kosztownych urządzeń neutralizujących zanieczyszczenia znajdujące się w spalinach; – ilość wydzielonych stałych substancji szkodliwych we „wtórnym” układzie oczyszczania spalin jest znikoma, na poziomie niższym niż 0,5% masy odpadów pierwotnych i nie stanowi problemu ekonomicznego; – sprawność ekologiczna jest bardzo wysoka, a ilość emitowanych do otoczenia zanieczyszczeń jest znacznie mniejsza od dopuszczalnych norm, ani nie stanowi żadnego zagrożenia ekologicznego dla otoczenia w odniesieniu do atmosfery i gleby.		
Przykłady:	Zakład konwersji odpadów komunalnych na energię elektryczną i ciepłą, Wągrowiec, woj. wielkopolskie, Zapolice, woj. łódzkie, PL.		

Źródło: opracowanie własne na podstawie [35, 38, 71, 97, 148, 190]

Jak zostało już wcześniej wspomniane, wybór technologii termicznego przekształcania odpadów jest zadaniem złożonym i wymaga zastosowania analiz wielokryterialnych. Determinanty społeczne, ekologiczne, ekonomiczne czy prawne bezpośrednio wpływają na możliwość wybudowania instalacji, dlatego też w przypadku analizy efektywności energetycznej należy uwzględnić dodatkowe elementy. W związku z tym, iż niniejsze opracowanie ma na celu uwzględnienie wszystkich wymaganych przez przepisy prawne czynników, konieczne jest szczegółowe przedstawienie kluczowych wymagań BAT. Czynniki zewnętrzne wpływające na

efektywność energetyczną instalacji termicznego przekształcania odpadów, które należy uwzględnić, to [27]:

a) typ i charakter odpadów. Chemiczne i fizyczne właściwości dostarczanych do instalacji odpadów determinują wybór właściwych technik, a także stopień, w jakim możliwe będzie efektywne odzyskanie energii. Podczas wyboru procesu brane są pod uwagę zarówno umowy z dostawcami odpadów (np. przemysłowe odpady dodane do odpadów komunalnych) oraz ewentualna konieczność wewnętrznej lub zewnętrznej obróbki odpadów lub wymogi dotyczące zbiórki i separacji;

b) wpływ lokalizacji zakładu na proces odzyskiwania energii. Oprócz jakości odpadów oraz aspektów technicznych na efektywność procesu termicznego przekształcania odpadów w dużym stopniu wpływ mają sposoby odbioru wyprodukowanej energii. Najwyższa efektywność utylizacji energii z odpadów jest osiągana zwykle wtedy, gdy ciepło pozyskane z procesu termicznego przekształcania może być stale dostarczane do sieci ciepłowniczej (lub jako para technologiczna itp.) albo w połączeniu z wytwarzaniem energii elektrycznej. Jednakże wdrożenie takich systemów w dużej mierze zależy od lokalizacji zakładu, a w szczególności od dostępności wiarygodnych odbiorców dostarczanej energii;

c) czynniki uwzględniane podczas wyboru planu cyklu energetycznego. Dokument referencyjny [27] determinuje czynniki przedstawione w tabeli 6, które należy uwzględniać podczas określania lokalnych uwarunkowań projektu nowego zakładu termicznego przekształcania odpadów;

Tabela 6 Czynniki determinujące wybór planu cyklu energetycznego

Czynniki do rozważenia	Szczegółowe aspekty do rozważenia
Dostarczane odpady	– ilość i jakość; – dostępność, regularność, zróżnicowanie dostaw w zależności od pory roku; – możliwość zmiany zarówno jakości, jak i ilości odpadów; – skutki oddzielenia odpadów i recyklingu.
Możliwość sprzedaży energii	Ciepło: – do wspólnot, np. sieci grzewczych; – do prywatnych przedsiębiorstw; – wykorzystanie ciepła, np. procesowe, grzewcze; – ograniczenia geograficzne, dostępność rurociągów dostawczych; – trwałość popytu, czas trwania kontraktów na dostawy; – obowiązki dostępności dostaw - czy istnieje inne źródło ciepła w przypadku zamknięcia spalarni?; – sezonowa krzywa popytu; – subsydia mogą znacząco wpłynąć na warunki ekonomiczne; – udział odbiorców ciepła w finansowaniu zakładu, bezpieczeństwo umów na dostawy. Elektryczność: – krajowa lub przemysłowa (rzadziej) sieć, konsumpcja własna zakładu, własna konsumpcja klientów (w zakładach oczyszczających osady ściekowe); – ceny elektryczności znacząco wpływają na inwestycję; – subsydia lub pożyczki na preferencyjnych warunkach mogą zwiększać inwestycje; – wymagania techniczne: woltaż, moc, dostępność połączenia z siecią dystrybucyjną.
Warunki lokalne	– wybór środka chłodzącego: powietrze lub woda; – warunki meteorologiczne w czasie: temperatura, higrometria; – akceptowalność „słupów” odparowujących wodę (chłodnie kominowe); – dostępność źródła zimnej wody.
Inne	– dopuszczalne poziomy hałasu (chłodnice powietrzne); – dostępna przestrzeń; – ograniczenia architektoniczne.

Źródło: [27]

d) wydajność energetyczna spalarni odpadów. Aby umożliwić porównanie wydajności energetycznej różnych spalarni odpadów, konieczne jest zapewnienie spójnej metody porównawczej. W szczególności niezbędne jest dokonanie standaryzacji: zakresu oceny, czyli tego, jakie elementy są włączone / wyłączone; metody obliczeniowej; sposobu radzenia sobie z różnymi typami zasilania i pozyskanej energii, takimi jak np. ciepło, para, elektryczność, paliwa podstawowe, recykulacja energii wygenerowanej na miejscu itp.;

e) nakłady energetyczne spalarni odpadów. Oprócz energii zawartej w odpadach w spalarniach stosowane są także inne substraty, które muszą zostać uwzględnione podczas rozważania wydajności energetycznej zakładu jako całości. Nakłady energetyczne, nakłady pary / gorącej wody, paliwa, nakłady paliwowe (np. węgiel lub koks oprócz odpadów) mogą także być stosowane w instalacjach gazyfikujących, aby wspomóc produkcję gazu syntezowego o pożądanym składzie chemicznym i wartości energetycznej;

f) energia wyprodukowana w spalarni odpadów. Obliczenia mogą uwzględniać produkcję energii elektrycznej z uwzględnieniem elektryczności zużywanej podczas procesu termicznego przekształcania. Paliwo (np. gaz syntezowy) może być eksportowane lub spalane na miejscu, tak jak w przypadku pary / gorącej wody, którą da się wykorzystać na potrzeby własne instalacji lub przekazać zewnętrznym odbiorcom.

Umiejscowienie termicznego wykorzystania odpadów w lokalnym systemie gospodarki odpadami nie w każdym wypadku może być uznane za racjonalne rozwiązanie. Podczas planowania niezbędne jest dokonanie szczegółowej analizy celowości takiego rozwiązania, które powinno obejmować [111]:

- zgodność z głównymi założeniami prawa krajowego oraz UE, które uwzględniają racjonalność systemu gospodarki odpadami oraz jej realizację zgodnie z hierarchią odpadów. Jeżeli istnieje możliwość wdrożenia innej metody przetwarzania odpadów, która charakteryzowałaby się większą akceptacją społeczną, możliwością wdrożenia, skutecznością ekologiczną i efektywnością ekonomiczną, to uzasadnione byłoby odstąpienie od wdrożenia termicznego przekształcania odpadów;
- bilans ilościowo-jakościowy generowanych odpadów na danym terenie zaprojektowanego systemu. Wynik zestawienia umożliwi odpowiedź na pytanie, czy w ogóle istnieje potrzeba wdrożenia nowej instalacji, jeżeli obecna jest wystarczająca do przetworzenia wytwarzanych odpadów;
- uzasadnienie, które wynikałoby z analizy aktualnej sytuacji i możliwości osiągnięcia wymaganych poziomów odzysku, recyklingu oraz ograniczenia składowania odpadów w obecnym systemie.

Modelowe podejście do racjonalnego systemu gospodarki odpadami wymaga zatem zintegrowania efektywnych ekologicznie i ekonomicznie metod przetwarzania odpadów oraz kompleksowego podejścia do przepływów odpadów pomiędzy uczestnikami łańcucha logistycznego odpadów. Przyjęcie takiego kierunku działań umożliwia spełnienie obligatoryjnych wymagań związanych m.in. z poziomami odzysku, recyklingu, ograniczeniami składowania oraz wdrożenie termicznego przekształcania odpadów z odzyskiem energii w uzasadnionych sytuacjach. Uwzględniając nadrzędną wartość zapobiegania powstaniu odpadów oraz recyklingu, odzysk energetyczny pomimo pozytywnych przesłanek związanych z jego wdrożeniem zasadny jest w przypadku niewystarczających wydajności istniejących obiektów gospodarki odpadami oraz wykazanej wysokiej wartości opałowej wytwarzanych odpadów. W praktyce [111] kluczową rolę spełnia szczegółowa analiza charakterystyki danego regionu i możliwość zapewnienia minimum 60000 [Mg] wysokokalorycznych odpadów, co stanowi dolną granicę wydajnościową technologii konwencjonalnych termicznego przekształcania odpadów, zapewniającą ekonomiczną

opłacalność. Autorska próba wyszczególnienia silnych relacji, jakie występują pomiędzy procesami technologicznymi i logistycznymi w gospodarce odpadami, potwierdza możliwość uzyskania zwiększonych korzyści dzięki racjonalnemu połączeniu tych składowych. Złożoność problematyki skłania do wielokryterialnych analiz oraz zastosowania właściwie dobranych metod i narzędzi. Te, ze względu na charakter systemu gospodarki odpadami, powinny gwarantować optymalne rozwiązanie problemu oraz osiągnięcie wyznaczonych celów.

6. Charakterystyka metod badawczych zastosowanych w monografii

Nawiązując do opracowanej metodyki badawczej niniejszej monografii (rozdział 1.4), która zgodnie z założeniami inżynierii produkcji uwzględnia specyfikę badanego systemu, poniżej omówiono wybrane metody. Szczegółowość opracowania została uwarunkowana potrzebą wykorzystania technik i narzędzi badawczych, które zagwarantują osiągnięcie postawionych celów.

6.1. Mapowanie procesów technologicznych i logistycznych

Do graficznej prezentacji zidentyfikowanych procesów służy narzędzie, którym jest mapa procesów. Technika ta pozwala pokazać najważniejsze elementy działalności organizacji lub procesu, uszczegóławiając istotne części oraz wskazując ich wpływ na zachowanie się systemu.

Procesy logistyczne wspomagają funkcjonowanie przepływów w systemie oraz zapewniają jego skuteczność i efektywność. Obejmują one przede wszystkim te działania, które związane są z przygotowaniem infrastruktury, tworzeniem systemów informacyjnych, a przede wszystkim koordynacją elementów tak, by te ze sobą współdziałały. Realizacja procesów logistycznych wymaga zatem sterowania przydzielonymi zasobami i informacjami w sposób umożliwiający osiągnięcie zamierzonego celu.

Do zadań procesów logistycznych należy odpowiednia transformacja przedmiotów pracy, w wyniku których realizacji powstaje użyteczność czasu i miejsca [76].

Proces logistyczny ma z reguły charakter dynamiczny, w związku z czym sterowanie procesem nie zawsze może przynieść oczekiwany efekt. W literaturze [12, 80, 154, 155] pojawia się wiele przykładów metod i technik optymalizujących procesy logistyczne, począwszy od metod matematyczno-statystycznych po budowanie modeli decyzyjnych. Konieczność poszukiwania niezgodności procesowych oraz elementów uniemożliwiających osiągnięcie wyznaczonych celów potwierdza słuszność graficznego odwzorowania przebiegu działań wraz z wyznaczonymi punktami kontrolnymi. Identyfikacja uszkodzeń jest pierwszym krokiem do wdrażania zabiegów doskonalących, jednak aby takie wdrożenie mogło nastąpić, konieczne jest wprowadzenie działań monitorujących, a następnie diagnozujących. W pierwszej kolejności uzyskuje się zbiór danych w czasie rzeczywistym. Dane te stają się podstawą do odpowiedniej interpretacji, są też niezbędne w procesie decyzyjnym. Należy jednak zaznaczyć, że są to przedsięwzięcia złożone, które w zestawieniu z dynamicznym charakterem procesów logistycznych wymagają od właścicieli wiele dodatkowych prac. W praktyce dąży się zatem do automatyzacji zarówno procesów diagnozowania, jak również procesów decyzyjnych. Wykorzystanie systemów informatycznych i metod sztucznej inteligencji opartych na modelach i mapach procesów pozwala integrować procesy, nie zważając na stopień ich złożoności.

W ramach realizowanych procesów technologicznych, zgodnie z założeniami, następuje zamiana właściwości fizycznych (kształt, wielkość) formy występowania lub właściwości chemicznych określonej substancji (materiału, surowca).

Wyłaniające się na rynku nowe technologie charakteryzują się ogromnym potencjałem innowacyjnym, co proporcjonalnie zwiększa prawdopodobieństwo wdrożenia tego typu instalacji. Ważne jest zatem szerokie spojrzenie na obecne technologie i krytyczna analiza nowych koncepcji zorientowanych na przyszłość. Opracowanie aktualnego, wyjściowego stanu do analizy potrzeb danego sektora pozwala wskazać możliwe trendy technologiczne oraz przedstawić przypuszczalne oddziaływanie otoczenia w kontekście ekonomicznym, a często jeszcze w aspekcie społecznym i ekologicznym. Niektóre innowacyjne technologie mogą również silnie

oddziaływać z obecnie stosowanymi, wchodząc tym samym w relacje z nimi i mogąc powodować zakłócenia. Dlatego też zastosowanie różnych ujęć i metod diagnozujących stan bieżący infrastruktury technologicznej jest w stanie dostarczyć cennych informacji na ten temat.

Mapowanie technologii jest jedną z najbardziej spójnych zidentyfikowanych metod diagnostycznych, pokrewną z mapowaniem procesów technologicznych. Główne założenie tej koncepcji opiera się na wizualizacji stanu bieżącego przy uwzględnieniu relacji z elementami pochodzącymi z jej otoczenia. Mapa, w odróżnieniu od modelu, pokazuje statyczny stan analizowanego przedmiotu badań, stąd podczas ich opracowywania uwzględnia się również lokalizację przestrzenną technologii.

Mapa procesów ma wiele zalet i liczne korzyści płyną z jej wdrażania, co wynika przede wszystkim z prostoty i przejrzystości tej metody. Podczas badania obszarów tworzących wartość oraz analizowania ich wpływu na całokształt systemu konieczne jest porządkowanie wiedzy i informacji. Mapa procesów uwzględnia podział dokonany w oparciu o wcześniej przyjęte kryteria oraz pozwala wyodrębnić te elementy, które nie dodają wartości i powinny zostać wyeliminowane.

Kluczową przesłanką przy transpozycji techniki mapowania na grunt gospodarki odpadami jest traktowanie gospodarki odpadami jako systemu składającego się z zależnych i współdziałających elementów. Pierwsza próba przedstawienia systemu gospodarki odpadami i jego granic z uwzględnieniem przynależnych podsystemów została zaprezentowana w rozdziale 2.3, gdzie opisywane były procesy logistyczne, regulacyjne, kontrolne oraz informacyjne.

Za przydatnością mapowania w systemie gospodarki odpadami przemawia wiele argumentów, wśród nich można wyróżnić te najważniejsze:

- gminy zgodnie z nowelizacją UCPG są zobowiązane do utworzenia systemu gospodarki odpadami. Tym samym stają się odpowiedzialne za przepływy strumieni odpadów komunalnych od wytwórcy do punktu przetworzenia. Zastosowanie mapy pozwoli wyodrębnić najważniejsze działania, powiązania oraz zależności pomiędzy różnymi obszarami na drodze do realizacji określonego celu;
- mapa pozwala śledzić zarówno przepływy materiałowe, jak również przepływy pracy z wyodrębnieniem obiektów odpowiedzialnych. Przy określonym stopniu uszczegółowienia, zdeteminowanym zamierzonym zastosowaniem mapy, możliwe jest graficzne i przejrzyste przedstawienie aktualnego stanu gospodarki odpadami oraz wyodrębnienie punktów kontrolnych;
- porządkowanie informacji za pomocą mapowania może w istotny sposób wpłynąć na proces doskonalenia poszczególnych działań. Zastosowanie zbioru wybranych parametrów dostarczy istotnych danych, które poddane analizie będą stanowiły o konieczności wprowadzania działań zaradczych.

Te i inne zalety graficznej reprezentacji funkcjonowania systemu gospodarki odpadami są wykorzystywane rzadko, mimo dużych możliwości, jakie otwierają się dzięki stosowaniu tej techniki. Powodem takiego stanu rzeczy jest negatywny wydźwięk, jaki przyjmuje temat odpadów. Dlatego też pojawiła się potrzeba zmiany świadomości w tym zakresie oraz zwiększenia wiedzy na temat możliwości gospodarowania odpadami. Potrzeba została poparta nowymi aktami prawnymi. W rezultacie, w ramach przepływu odpadów od wytwórcy do obiektów przetwarzania, maksymalizuje się recykling tych odpadów oraz ich odzysk.

W przestrzeni gospodarczej stwierdzenie, że procesy należy stale udoskonalać, można określić jako truizm. Rzetelnie przedstawiona struktura systemu pozwala wyodrębnić te elementy, które generują wartość dodaną i które stanowią podstawę planowania strategicznego. Procesy,

które nie wspierają systemu gospodarczego, są realizowane nieefektywnie, dlatego też poszukuje się metod i narzędzi służących ich usprawnieniu.

6.2. Wybrane techniki modelowania

Pierwszym etapem modelowania systemów lub procesów jest identyfikacja głównych elementów oraz istniejących relacji.

Mapy procesu pokazują zależności pomiędzy elementami, kiedy tymczasem model ma na celu przedstawienie funkcjonowania procesu. Dlatego też następstwem identyfikacji elementów modelowanej struktury (systemu) jest wybór techniki modelowania. W teorii modelowania zasadniczo wyróżnia się dwa podejścia – strukturalne i obiektowe.

Podstawowym założeniem klasycznego podejścia strukturalnego jest modelowanie funkcji. W tym celu wykorzystuje się diagram przepływu danych (DFD), który w graficzny sposób określa funkcje wykonywane przez analizowany obiekt. Modelowanie danych w klasycznym podejściu nie stanowiło głównego obszaru zainteresowań. Współczesna koncepcja podejścia strukturalnego, która kładzie nacisk na potrzeby informacyjne, zainicjowała rozwój nowych narzędzi modelowania umożliwiających modelowanie systemów ze złożonymi powiązaniami między danymi.

Zasadniczą cechą odróżniającą podejście obiektowe od podejścia strukturalnego jest to, że analiza danych i procesów traktowana jest jako całość. W analizie obiektowej podstawową jednostką analizy jest *obiekt*, rozumiany jako „egzemplarz należący do klasy – szczególna rzecz, która ma szczególne atrybuty i operacje” [144]. Najbardziej znaną notacją modelowania obiektowego jest UML (ang. *Unified Modeling Language* – zuniifikowany język modelowania), który dostarcza wielu elementów graficznych przedstawionych w postaci diagramów. Celem diagramów jest przedstawienie statycznego i dynamicznego obrazu systemu. Rozwinięciem wykorzystania notacji UML jest modelowanie procesów biznesowych. Wynika to z szerokiej znajomości tej notacji, dzięki czemu możliwe stało się rozpowszechnienie ustandaryzowanej wizualnej prezentacji procesu wśród szerszego grona odbiorców.

Tabela 7 Podejścia do modelowania

Wyszczególniona cecha	Podejście strukturalne	Podejście obiektowe	Podejście procesowe
Sposób modelowania	Dane i procesy modelowane osobno.	Dane i procesy modelowane łącznie.	Nie modeluje przepływu danych, a jedynie przepływ sterowania (dane mogą być opisywane dodatkowo).
Przeznaczenie modelowania	Statyczne opisy danych i procesów. Dobrze dostosowane do relacyjnego modelu danych.	Dynamiczne opisy danych i procesów. Dostosowane do obiektowego modelu danych.	Przepływ procesu i informacji (komunikatów) pomiędzy różnymi procesami.
Podstawowe techniki/ notacje	– Tablice Decyzyjne; – Drzewa Decyzyjne; – Diagramy przepływu danych (DFD); – Relacyjne diagramy danych (ERD).	– Notacja UML.	– Notacja BPMN; – Notacja IDEF; – Notacja BPMS; – Architektura ARIS.
Pierwotne zastosowanie	Modelowanie systemów informatycznych – z podziałem na modele danych i modele funkcji.	Modelowanie systemów informatycznych.	Modelowanie procesów biznesowych.
Dodatkowe zastosowanie	Modelowanie procesów biznesowych.	Modelowanie procesów biznesowych.	Przy wykorzystaniu dodatkowych technik obiektowych możliwe modelowanie wspomaganych komputerowo systemów informacyjnych.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [106]

Zestawienie najistotniejszych cech prezentujących różnice wspomnianych podejść zaprezentowano w tabeli 7. We wspomnianym zestawieniu zawarto również podejście procesowe, które wymaga szczególnej uwagi. BPMN (ang. *Business Process Model and Notation* – Notacja i Model Procesu biznesowego) jest jedną z najbardziej znanych graficznych notacji, służącą do opisywania procesów biznesowych. Jest to notacja, która powstała z potrzeby opracowania jednolitego standardu graficznego służącego wyłącznie procesom biznesowym. Najbardziej uniwersalne i elastyczne diagramy notacji UML, które wykorzystywane były w analizie procesowej, okazały się ograniczeniem. Ma to związek z podejściem obiektowym do przedstawienia danych. Z uwagi na fakt, że BPMN jest dedykowany procesom biznesowym, natomiast UML służy projektowaniu systemów informatycznych, można stwierdzić, że obie te notacje są względem siebie komplementarne – pokazują różne perspektywy modelowania danego obiektu.

6.3. Analiza wyselekcjonowanych wskaźników

Podczas funkcjonowania systemu możliwy jest monitoring i kontrola podstawowych jego elementów. Aspekty ekonomiczne, technologiczne, logistyczne, jak również informacje o wpływie systemu na środowisko mogą zostać przedstawione liczbowo, w związku z czym istnieje możliwość wizualizacji wybranych parametrów i analizy dynamiki ich zmian.

Tabela 8 Wybrane wskaźniki gospodarki odpadami

Oznaczenie	Wskaźnik	Jednostka
A. Środowiskowe		
A.1	Masa odpadów komunalnych zebranych ogółem.	[mln Mg/rok]
A.2	Odsetek masy odpadów zebranych poddanych procesom odzysku – R.	%
A.3	Odsetek masy odpadów zebranych poddanych procesom unieszkodliwiania – D.	%
A.4	Odsetek mieszkańców segregujących odpady „u źródła”.	%
A.5	Osiągnięty poziom recyklingu, przygotowania do ponownego użycia następujących frakcji odpadów: papieru, metali, tworzyw sztucznych i szkła.	%
A.6	Osiągnięty poziom ograniczenia masy odpadów komunalnych ulegających biodegradacji, kierowanych do składowania.	%
A.7	Całkowite emisje zanieczyszczeń.	[kg/rok]
B. Technologiczne		
B.1	Liczba instalacji zagospodarowania odpadów komunalnych w RGO/województwie.	[szt.]
B.2	Moce przerobowe instalacji zagospodarowania odpadów komunalnych w RGO/województwie.	[mln Mg/rok]
C. Logistyczne		
C.1	Masowy wskaźnik nagromadzenia odpadów komunalnych.	[kg/Ma/rok]
C.2	Poziom wykorzystania instalacji zagospodarowania odpadów w RGO/województwie.	%
C.3	Odsetek mieszkańców objętych zorganizowanym systemem zbierania/ odbierania odpadów komunalnych.	%
D. Ekonomiczne		
D.1	Koszty systemu gospodarki odpadami komunalnymi.	[zł/rok]
D.2	Oplaty za gospodarowanie odpadami komunalnymi.	[zł/Ma]
D.3	Nakłady inwestycyjne na system gospodarki odpadami komunalnymi.	[mln zł]
E. Energetyczne		
E.1	Potencjał energetyczny odpadów komunalnych.	[MWh/rok]
E.2	Efektywność energetyczna instalacji termicznego przekształcania odpadów na terenie RGO/województwa.	[GJ/rok]
E.3	Całkowite emisje zanieczyszczeń do powietrza instalacji TPO.	[g/Mg]
E.4	Energia elektryczna uzyskana ze spalania odpadów.	[MWh/rok]
E.5	Odsetek wykorzystania potencjału energetycznego odpadów.	%

Źródło: opracowanie własne

Wskaźniki gospodarki odpadami oceniają stopień funkcjonowania systemu na wielu płaszczyznach. Odpowiedni dobór tych wskaźników, w zależności od zakładanego celu analizy, pomaga w przedstawieniu aktualnego stanu gospodarki odpadami oraz wyodrębnia obszary problemowe. Z racji prostoty i jasności zastosowania tej metody, analizy wskaźnikowe są wykorzystywane w każdym systemie gospodarki odpadami i stanowią element sprawozdawczy, składany wojewódzkim i krajowym jednostkom nadzorującym.

Tabela 8 przedstawia autorski zestaw wskaźników, które mogą być wykorzystane w celu analizy aktualnego stanu systemu gospodarki odpadami. Wyselekcjonowane wskaźniki zostały wykorzystane na potrzeby niniejszej monografii. Stanowiły też punkt odniesienia do opracowania zintegrowanych wskaźników modelu technologiczno-logistycznego procesu energetycznego wykorzystania odpadów.

Zaproponowane wskaźniki mogą być dobrowolnie rozbudowywane na wybrane obszary analizy. Porównanie wielkości otrzymanych wyników stanowi cenne źródło informacji na temat nowych potrzeb doskonalenia systemu, jak również efektów wprowadzonych zmian. Opracowanie zbioru wskaźników ma zatem za zadanie oceniać funkcjonowanie całego systemu gospodarki odpadami oraz wspierać kontrolę poszczególnych jego elementów.

6.4. Wybrane metody analizy wielokryterialnej

Ze względu na szeroki wybór metod wspomagających analizę problemu decyzyjnego konieczne jest opracowanie zestawienia wad, zalet i ograniczeń dla wybranych technik, które najbardziej wpisują się w obszar badawczy i cele niniejszej monografii.

Istnieje wiele metod i technik wspomagających decyzje, a ich wybór zależy od przedmiotu oraz potrzeb analizy.

W ramach niniejszej analizy reprezentujące metody wybrano na podstawie najczęściej stosowanego podziału metod wielokryterialnych, tj. [76]:

- metod bazujących na agregacji ocen do postaci funkcji użyteczności (AHP);
- metod bazujących na relacjach przewyższania (ELECTRE);
- pozostałych metod – w tym metod odległościowych, jak np. metoda TOPSIS.

Wybór ten został podyktowany potrzebą wykorzystania metody, która pozwoli w sposób najbardziej prosty i czytelny poddać analizie obszerny zbiór kryteriów oraz wskazać na satysfakcjonujące rozwiązanie optymalne. Tabela 9 przedstawia autorskie porównanie metod w ramach realizacji problemu badawczego niniejszej monografii.

Tabela 9 Wybrane metody wielokryterialnej analizy - porównanie

	Metoda ELECTRE	Metoda TOPSIS	Metoda AHP
Kategoria problemów	Metoda znajduje zastosowanie przede wszystkim w ramach rankingowania wariantów, uporządkowania zbioru wariantów ze względu na preferencje decydenta oraz w wyborze najlepszego rozwiązania (wariantu decyzyjnego) z punktu widzenia kryteriów.	Metodę stosuje się do modelowania preferencji, które przedstawia się w postaci rozwiązania idealnego i antyidealnego. Wybór najlepszego wariantu decyzyjnego następuje w wyniku rankingu rozwiązań i określeniu odległości od rozwiązania idealnego i antyidealnego. Optymalne rozwiązanie zgodnie z założeniami metody powinno mieć najdłuższą odległość od rozwiązania antyidealnego i najkrótszą od idealnego.	Metoda AHP jest narzędziem służącym do definiowania wag poszczególnych kryteriów na wszystkich szczeblach hierarchicznej struktury podejmowania decyzji.
Główne założenia	Metoda oparta na relacji przewyższania.	Metoda odległościowa – wykorzystująca punkty referencyjne.	Metoda oparta na wieloatrybutowej teorii użyteczności.

	Metoda ELECTRE	Metoda TOPSIS	Metoda AHP
Korelacja wyników z innymi metodami	Wysoka korelacja otrzymanych wyników z pozostałymi metodami (AHP, TOPSIS, ELECTRE) – w ramach numerycznej postaci atrybutów.		
Zalety	– użyteczne narzędzie optymalizacyjne; – precyzyjne modelowanie preferencji i wag decydena względem każdego z kryteriów; – wykorzystuje się rzeczywiste wartości ocen kryterialnych dla poszczególnych wariantów; – stosunkowo niska czasochłonność etapu modelowania preferencji przez decydena; – umożliwia wykorzystanie kryteriów jakościowych i ilościowych.	– prostota obliczeniowa; – łatwość interpretacji otrzymanych wyników; – możliwość uogólnienia na zmienne lingwistyczne, przedziałowe czy liczby rozmyte; – umożliwia przeprowadzenie oceny z wykorzystaniem nieograniczonej liczby kryteriów; – jako metoda matematyczna umożliwia zaprezentowanie wyników w formie liczbowej; – duży potencjał aplikacyjny w ramach różnorodnych problemów decyzyjnych.	– systemowe podejście do rozwiązywanego problemu; – dzięki metodom grupowania danych według odpowiednich kryteriów i poziomów ważności, otrzymany „model decyzyjny” jest ustrukturyzowany w postaci hierarchii; – dekompozycja problemu, wyrażanie opinii przez porównania i hierarchiczna kompozycja (synteza) priorytetów; – uniwersalne narzędzie do rozwiązania problemów o różnorodnym charakterze; – łączy kryteria ilościowe i jakościowe; – prostota i przystępność dla wszystkich użytkowników; – możliwość łączenia z innymi technikami obliczeniowymi i wspomagającymi proces decyzyjny.
Wady	– wymaga od analityków wiedzy na temat analizowanego problemu decyzyjnego i umiejętności potrzebnych do wyznaczenia progów; – analiza ma charakter subiektywny, gdyż zależy od opinii decydena; – metoda wrażliwa na zmianę liczby wariantów, które determinują siłę preferencji pomiędzy określonymi wariantami.	– trudność w zachowaniu spójności nadawania wag podczas uwzględnienia dodatkowych atrybutów.	– ocena wariantów ma charakter subiektywny i zależy od opinii decydenów; – opinie wyrażane dotychczas słownie należy przedstawić w postaci numerycznej; – ma złożoną procedurę obliczeniową, która komplikuje się przy większej ilości kryteriów; – ograniczenia stosowania z góry określonej skali (od 1 do 9).

Źródło: opracowanie własne na podstawie [76, 164, 172]

W literaturze brak jest jednoznacznych odniesień do zakresu zastosowania metod analiz wielokryterialnych. Przyjmuje się, że metoda ELECTRE szczególnie zalecana jest dla problematyki lokalizacyjnej, a metoda AHP dla lokalizacyjnej i środowiskowej [76]. Dokładne rozpoznanie problemu decyzyjnego oraz dostępnych metod analizy umożliwia zastosowanie możliwie najlepszej metody obliczeniowej, która pozwoli rozwiązać analizowany problem. Z punktu widzenia problemu badawczego podstawionego w niniejszej monografii złożony problem decyzyjny – uwzględniający kwestie doboru technologii oraz lokalizacji jej wdrożenia – wymaga zastosowania niezawodnych metod, które przyniosą oczekiwany rezultat. W związku z powyższym preferuje się zastosowanie metody AHP, która niejednokrotnie została zastosowana w obszarze gospodarki odpadami [81, 194].

7. Istota problemu decyzyjnego

7.1. Wprowadzenie do problematyki podejmowania decyzji

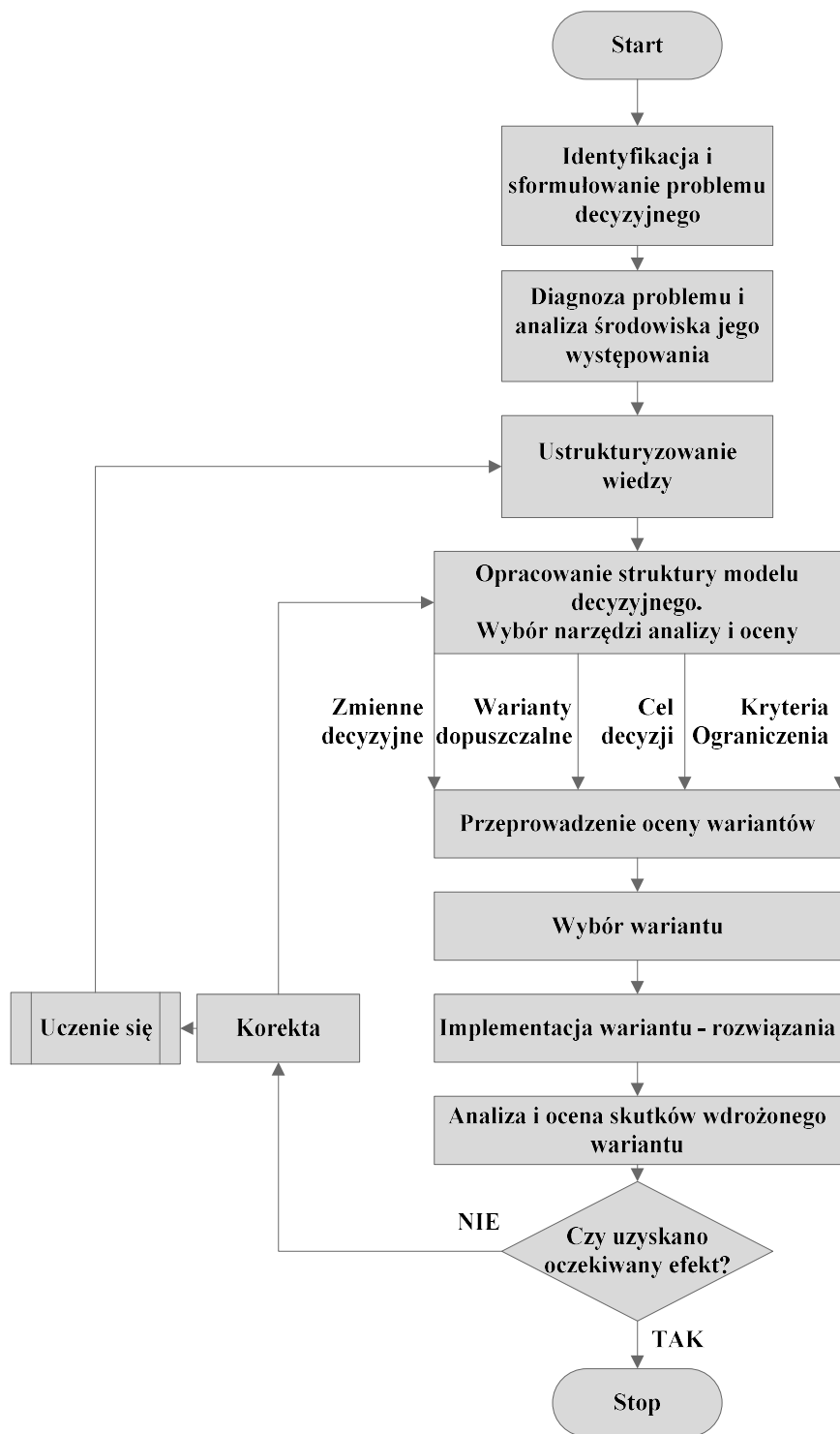
Postęp w rozwoju technologii oraz wykorzystanie procesów poznawczych sprawiły, że podejmowanie decyzji jest znacznie sprawniejsze niż kiedyś. Na przestrzeni lat pojawiły się różne definicje tego procesu. Według J. Kurnal [141] podejmowanie decyzji to „akt świadomego wyboru jednego z rozpoznanych i dostępnych wariantów działania”. Podobną definicję przedstawia A.K. Koźmiński [55]. Píše on, że jest to „świadomy, nielosowy wybór jednego z rozpoznawanych i uznanych za możliwe wariantów przyszłego działania”, co potwierdza istotę podejmowania decyzji jako wyboru.

Istnieje wiele czynników komplikujących proces wyboru. Do najważniejszych należy zaliczyć stopień ryzyka decyzyjnego, który odpowiada za dostęp decydenta do niezbędnych informacji. Podejmowanie decyzji w warunkach pewności oznacza dla decydenta sytuację najbardziej komfortową, ponieważ wiąże się ona z pełnym dostępem do informacji. Możliwość podejmowania decyzji w warunkach ryzyka jest kategorią odwrotną, co oznacza, że decydent zakłada tylko pewne prawdopodobieństwo efektywności wyników swoich decyzji. Z kolei podejmowanie decyzji w warunkach niepewności związane jest przede wszystkim z decyzjami na poziomie strategicznym, charakteryzującymi się długim horyzontem czasowym. W takim wypadku właściwy dostęp do informacji oraz szacowanie prawdopodobieństwa nie jest wystarczające do przewidzenia skutków decyzji.

Problem decyzyjny w najprostszym znaczeniu oznacza sytuację problemową (decyzyjną), w której występują co najmniej dwa warianty rozwiązania. Pojęcie to, ze względu na swój uniwersalny charakter, często jest używane zarówno na płaszczyźnie życia prywatnego decydenta, jak i zawodowego. W związku z powyższym problem decyzyjny powinien być scharakteryzowany przez następujące składowe [20]:

- podmiot decyzji – osobę decydenta;
- cel przeprowadzania procesu decyzyjnego (jak np. minimalizacja nakładów, maksymalizacja efektów);
- przedmiot decyzji – płaszczyznę, w której znajduje się zbiór możliwych wariantów wyboru;
- przestrzeń decyzji – zbiór warunków w jakich podejmowana jest decyzja (np. stopień niepewności, pewności, ryzyka; możliwość dostępu do informacji);
- zakres decyzji – zbiór możliwych wariantów decyzyjnych;
- metody decyzji – kryteria oceny decyzji z uwzględnieniem sposobu redukowania liczby możliwych wariantów;
- wynik decyzji – rezultat przeprowadzonego procesu decyzyjnego (decyzja optymalna).

Na podstawie inwentaryzacji literatury przedmiotu możliwe było stworzenie schematu procesu podejmowania decyzji. Stanowi on graficzną prezentację metodologii działań przedprojektowych w ramach budowy systemów wspomagania decyzji (rys. 8).



Rysunek 8 Schemat procesu podejmowania decyzji

Źródło: opracowanie własne

Przedstawiony schemat blokowy procesu podejmowania decyzji (rys. 8) stanowił punkt wyjścia do opracowania założeń budowy prototypu informatycznego systemu wspomagania procesu energetycznego wykorzystania odpadów, będącego celem niniejszej monografii.

7.2. Narzędzia analizy procesu decyzyjnego w gospodarce odpadami

Praktyka wskazuje, że badanie rzeczywistości za pomocą metod modelowania dostarcza wielu użytecznych informacji, zapewniając czytelność i elastyczność analiz. Również modelowanie systemów gospodarki odpadami pozwala w wystarczającym stopniu symulować procesy elementarne systemu. Duży stopień złożoności gospodarki odpadami wymaga jego dekompozycji, co ma kluczowe znaczenie podczas projektowania modelu matematycznego i jego analizy.

Przegląd literatury umożliwił wyodrębnienie kluczowych podziałów modeli systemów gospodarki odpadami. Zdaniem K. Gaski [46] modele systemów gospodarki odpadami da się podzielić na:

- modele oparte na rachunku efektywności ekonomicznej CBA (Cost Benefit Analysis);
- modele oparte na ekologicznej ocenie cyklu życia LCA (Life Cycle Assessment);
- modele oparte na wielokryterialnej analizie cyklu decyzyjnego MCDA (Multicriteria Decision Analysis).

Każdy z wymienionych modeli posiada odrębną metodykę opartą na analizie rozwiązań systemów gospodarki odpadami i wyborze wariantów. Może być też dopasowany do wyodrębnionych procesów elementarnych.

Bardziej rozbudowany podział instrumentów analizy pojawił się w opracowaniu *Solid waste management in European countries: A review of systems analysis* [116]. Jest to kompleksowe przedstawienie tematu modelowania systemów gospodarki odpadami, prezentujące kwalifikacje narzędzi oceny. Cennym elementem podejścia Ni-Bin Chang [116] jest pokazanie za pomocą schematu trendów i perspektyw w zakresie stosowanych metod oceny.

Klasyfikacja Ni-Bin Chang (rys. 9) bazuje na głównym podziale technik analizy systemów gospodarki odpadami, który obejmuje:

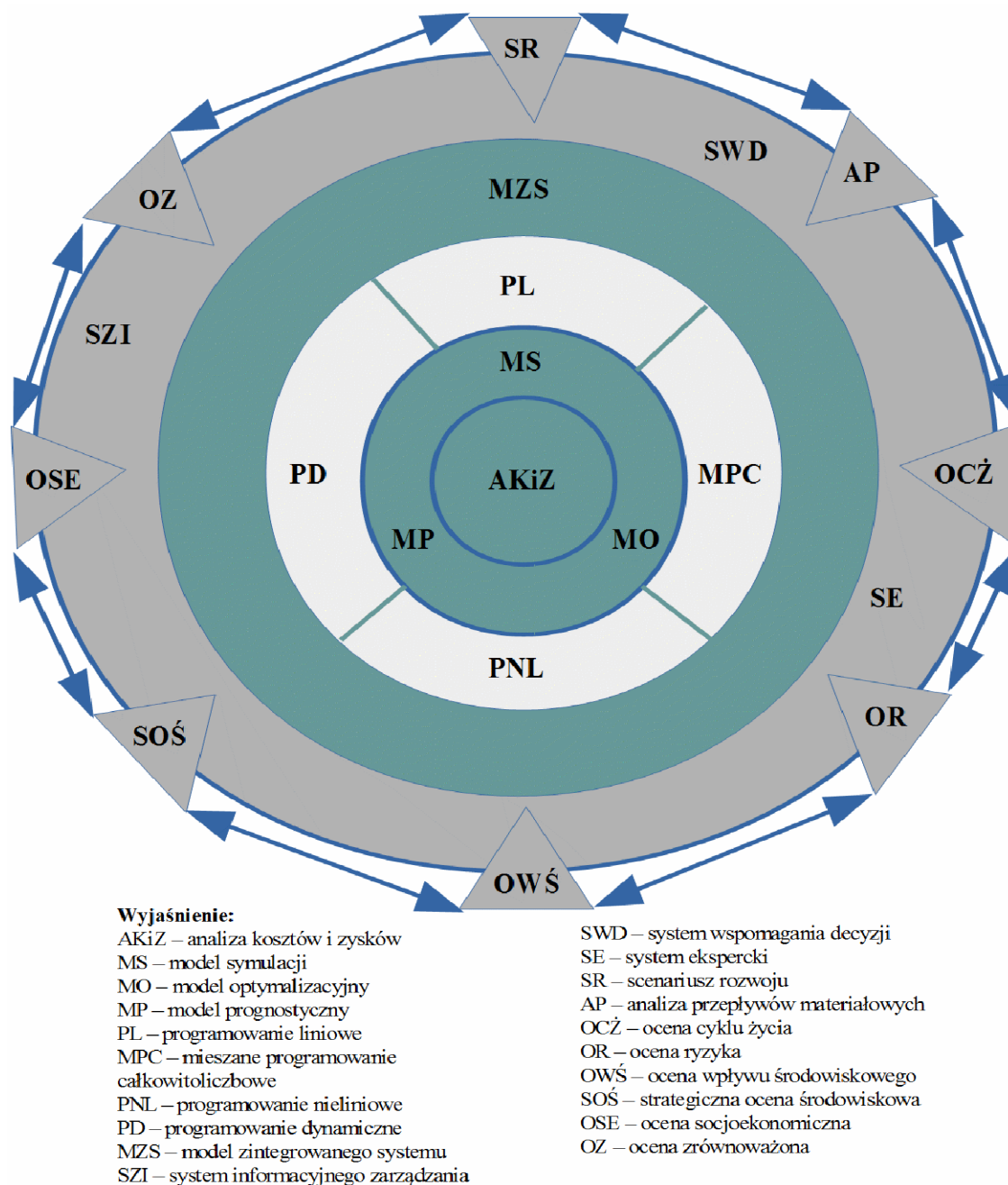
- modele inżynierii systemu;
- narzędzia analizy systemu.

Do pierwszej grupy zaliczane są:

- analiza kosztów i zysków (AKIZ, ang. *cost benefit analysis* – CBA);
- model prognostyczny (MP, ang. *forecasting model* – FM);
- model symulacji (MS, *simulation model* – SM);
- model optymalizacyjny (MO, ang. *optimization models* – OM) oraz
- model zintegrowanego systemu (MZS, ang. *integrated modeling system* – IMS).

Do narzędzi analizy systemu zaliczamy:

- system informacyjnego zarządzania (SZI, ang. *management information system* – MIS);
- system wspomagania decyzji (SWD, ang. *decision support system* – DSS);
- system ekspercki (SE, ang. *expert system* – ES);
- scenariusz rozwoju (SR, ang. *scenario development* – SD);
- analizę przepływów materiałowych (AP, ang. *material flow analysis* – MFA);
- ocenę cyklu życia (OCŻ, ang. *life cycle assessment* – LCA);
- ocenę ryzyka (OR, ang. *risk assessment* – RA);
- ocenę wpływu środowiskowego (OWŚ, ang. *environmental impact assessment* – EIA);
- strategiczną ocenę środowiskową (SOŚ, ang. *strategic environmental assessment* – SEA);
- ocenę socjoekonomiczną (OSE, ang. *socioeconomic assessment* – SoEA)
- ocenę zrównoważoną (OZ, ang. *sustainable assessment* – SA).



Rysunek 9 Centralizacja technologii systemu gospodarki odpadami

Źródło: [116]

Rysunek 9 przedstawia holistyczny obraz współzależności pomiędzy modelami inżynierii systemu a narzędziami jego analizy. Da się zauważyć, że modele inżynierii stanowią rdzeń technologiczny, który może stanowić fundament każdego systemu wspomagania decyzji. Charakterystyczną cechą zintegrowanego modelowania systemów gospodarki odpadami jest elastyczne podejście do wykorzystania różnych modeli programowania matematycznego. Można zatem w podejściu Ni-Bin Chang wyróżnić: wspomniane wcześniej programowanie liniowe (PL), mieszane programowanie całkowitoliczbowe (MPC), programowanie nieliniowe (PNL) oraz programowanie dynamiczne (PD).

Bez wątpienia przedstawiona kompozycja, na której można oprzeć strukturę budowanego systemu gospodarki odpadami, stanowi zbiór kluczowych modeli i narzędzi analizy. Należy przy tym zwrócić uwagę na to, że choć zbiór możliwości wykorzystania dostępnych technologii jest

obszerny, to architektura systemu wspomagania powinna charakteryzować się wyważoną strukturą opartą na analizach ekonomicznych, ekologicznych, społecznych i technologicznych.

W literaturze [46, 52] można odnaleźć wiele pojedynczych zagadnień na temat modelowania w ramach zintegrowanych systemów gospodarki odpadami. Do tych zagadnień zaliczamy m.in.:

- planowanie wariantów realizacji systemu gospodarki odpadami różnych grup;
- analizę, zarządzanie, optymalizację procesów elementarnych systemu gospodarki odpadami;
- identyfikację i klasyfikację danych opisujących zachowanie się procesów elementarnych systemu;
- planowanie lokalizacji pod budowę nowych obiektów systemu gospodarki odpadami.

Rozwój technologiczny i wdrażanie nowoczesnych rozwiązań technologicznych pozwala nie tylko nadawać kształt modelom, ale przede wszystkim poddawać badane zjawiska symulacji komputerowej. Bazujący na modelu matematycznym model symulacyjny umożliwia manipulowanie zmiennymi w celu oceny ich wyników. W pracach inżynierskich modele symulacji odnalazły zastosowanie w ramach różnych obszarów badawczych. W gospodarce odpadami model symulacji komputerowej wykorzystano m.in. do optymalizacji procesów sortowania ręcznego, realizowanych w przedsiębiorstwie zajmującym się zagospodarowaniem odpadów.

Zastosowanie modeli symulacji przy wykorzystaniu dostępnych narzędzi informatycznych nie tylko w znacznym stopniu ułatwia analizę badanych zjawisk, co również pozwala szacować skutki podejmowanych decyzji.

7.3. Narzędzia wspomagające decyzje w gospodarce odpadami.

Dynamiczny rozwój oprogramowań wspomagających proces decyzyjny okazał się inspirujący dla twórców systemów komputerowych działających w obszarze gospodarki odpadami. Tabela 10 przedstawia wybrane przykłady systemów wspomagania decyzji w gospodarce odpadami, które stosuje się do realizacji określonych celów. Można zauważyć szerokie zastosowanie różnego rodzaju metod we wspomaganiu procesu decyzyjnego w ramach procesów systemu gospodarki odpadami [62].

Niewątpliwie, zastosowanie systemów informacji przestrzennej służy wspomaganiu decyzji związanych z wyborem lokalizacji obiektów gospodarki odpadami. Dodatkowe wykorzystanie wybranej metody analizy wielokryterialnej (temat szerzej omówiony w rozdziale 6.4) pozwala porównywać warianty decyzyjne na podstawie ocen i wag kryteriów. Tego typu rozwiązania znalazły dotychczas zastosowanie w wyborze lokalizacji składowisk, gdzie złożoność problemu wymaga zastosowania wyselekcjonowanych, sprawdzonych narzędzi. Modele optymalizacyjne i dynamiczne wykorzystywane są przede wszystkim w obszarze planowania łańcucha usuwania poszczególnych grup odpadów. O efektywności procesów logistycznych systemu gospodarki odpadami decyduje zależność nakładów od efektów. Dlatego właśnie zastosowanie modeli optymalizacyjnych umożliwia sformułowanie funkcji celu, która odpowiadałaby minimalizacji kosztów obsługi systemu oraz maksymalizacji poziomów odzysku. W ramach gospodarki odpadami szerokie zastosowanie znajduje również model LCA. Zapewnia on analizę potencjalnych zagrożeń ekologicznych w ramach pełnego cyklu życia danego wyrobu. W tym kontekście model LCA sprawdza się podczas analizy wybranej grupy odpadów, np. plastikowych, uwzględniając przy tym źródła powstawania tego odpadu. Interesującym rozwinięciem zastosowania LCA jest aplikacja IWM-PL, która poddaje analizie cały system gospodarki odpadami i tym samym wspomaga proces planowania i modelowania wpływu

gospodarki odpadami komunalnymi na środowisko, jak również umożliwia ocenę ekonomiczną danego systemu.

Tabela 10 Wybrane przykłady SWD w gospodarce odpadami

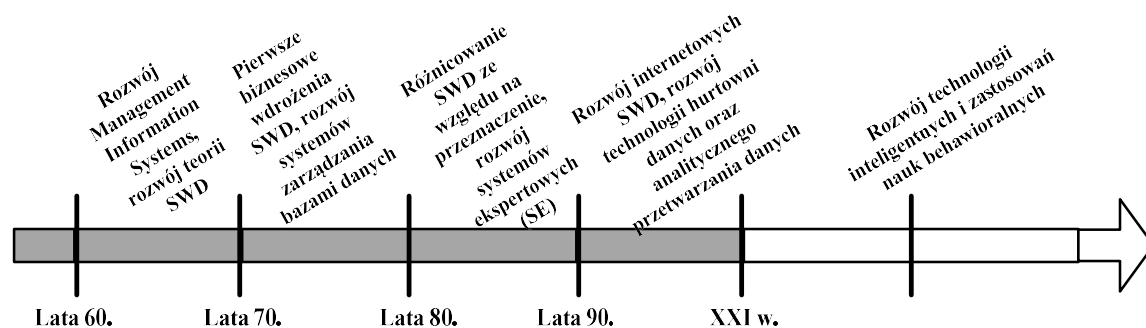
Lp.	Nazwa systemu, kraj pochodzenia / twórcy	Metody wykorzystane do wspomagania decyzji	Zastosowanie	Źródło
1	<i>Municipal Solid Waste Management System Planning</i> [DSS] Kanada, Winnipeg	Baza wiedzy Arkusz kalkulacyjny Modele optymalizacji i symulacji	Prognozowanie ilości i jakości powstających odpadów komunalnych. Ocena technologii zbiórki, przeróbki i unieszkodliwiania odpadów. Szacowanie kosztów planowanych rozwiązań. Prognozowanie wielkości i czasu inwestycji związanych z gospodarką odpadami.	[52]
2	<i>Spatial Decision Support System</i> [SDSS] Grecja	AHP GIS	Wyznaczanie lokalizacji składowiska odpadów na wyspie Lesbos.	[52]
3	<i>Spatial Decision Support System</i> [SDSS] Tajlandia	AHP GIS Logika rozmyta	Wyznaczanie wstępnej lokalizacji składowisk odpadów w Tajlandii.	[52]
4	<i>DSS for Landfill Design, Evaluation and Monitoring</i> LDEM-DSS	GIS System ekspercki Model symulacji	Projektowanie, ocena i monitorowanie składowisk odpadów.	[52]
5	SIGOP, Polska	Baza wiedzy	Bazy danych systemu SIGOP wykorzystywane są przy opracowywaniu programów gospodarki odpadami dla zakładów przemysłowych i usługowych, planów gospodarki odpadami dla gmin, powiatów, województw, a także przy ocenach ekologicznych odpadów, w szczególności do określania sposobów postępowania z odpadami. Na podstawie zgromadzonych w bazie informacji emitowane są standardowe raporty.	[52]
6	EcoSolver IP-SSK Szwajcaria	Model LCA Model dynamiczny Model symulacji	Planowanie rozdziału strumieni o odpadów plastikowych z uwzględnieniem obiektów recyklingu, mechanicznego przetwarzania i odzysku energetycznego dla wybranych regionów.	[174]
7	W2E Software	Model matematyczny Model symulacji	Analiza i ocena możliwości utylizacji osadów ściekowych w procesie odzysku energetycznego – wybór najlepszego rozwiązania.	[114]
8	ReFlows, Grecja	Model matematyczny Model symulacji	Symulacja przepływów fizycznych i finansowych w różnych scenariuszach systemu gospodarki odpadami, opartych na maksymalizacji odzysku i recyklingu stałych odpadów komunalnych.	[1]
9	IWM-PL, Polska	Model LCA	Analiza cyklu życia dla systemu gospodarki odpadami komunalnymi dla Krakowa.	[104]

Źródło: opracowanie własne

8. Systemy wspomagania procesów energetycznego wykorzystania odpadów

Konieczność podejmowania decyzji na polu niepewności jest nieodłącznym elementem procesu analizy sytuacji problemowej, w której występują co najmniej dwie drogi dalszego postępowania. Na pozór jest to proces intuicyjny, który dotyczy każdego decydenta, jednak w profesjonalnym zarządzaniu zasobami wymaga odpowiednich procedur i przygotowania. Według definicji W.T. Bieleckiego [16] podjęcie decyzji poprzedzają identyfikacja problemu, zebranie odpowiednich informacji, zgromadzenie wiedzy eksperckiej, a na końcu opracowanie wariantów rozwiązań, które poddane ocenie i selekcji umożliwią dokonanie wyboru. Praktyka gospodarcza spowodowała informatyzację tych działań, dzięki czemu stworzone zostały podwaliny systemów wspomagania decyzji dla wszystkich sektorów działalności przedsiębiorstw.

Za podwaliny systemów wspomagania decyzji uznaje się systemy informacyjne zarządzania (SIZ, ang. MIS), których stosowanie rozpropagowano w połowie lat 60. [20]. Aplikacja tych narzędzi umożliwiała tworzenie raportów, opracowanie podstawowych zestawień statystycznych opartych na danych transakcyjnych i finansowych wprowadzanych do systemów. Liczne i intensywne badania prowadzone na SIZ doprowadziły do powstania pierwszego opracowania naukowego, które oficjalnie po raz pierwszy opisuje koncepcję systemów wspomagania decyzji. Przytoczoną publikacją jest wydana w 1971 r., a powstała w 1967 r., praca doktorska M.S. Scotta-Mortona, pt.: *Systemy wspomagania decyzji zarządczych. Komputerowe wspomaganie podejmowania decyzji* [20]. Jej autor definiuje oraz implementuje SWD, będąc przy tym zorientowanym na model koordynujący planowanie zaopatrzenia pralni. Rozwój SWD na przestrzeni lat prezentuje rysunek 10.



Rysunek 10 Rozwój SWD na przestrzeni lat

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [159]

Gospodarka odpadami, ze względu na swój wielopłaszczyznowy charakter, również doczekała się szeregu systemów wspomagania, które mają umożliwić efektywną realizację procesu decyzyjnego o dużym stopniu złożoności. Szeroki zakres informacji i danych obejmujących kwestie logistyczne, technologiczne, środowiskowe, społeczne i prawne możliwy jest do przetworzenia przy pomocy wielokryterialnych analiz i z wykorzystaniem specjalistycznych systemów wspomagania.

Pierwsze koncepcje systemów wspomagania decyzji służących gospodarce odpadami znalazły odzwierciedlenie w pracy Chang i Wang (w 1996 r.). Opracowany przez autorów system został stworzony w odpowiedzi na zwiększającą się ilość zamykanych składowisk, w związku z czym pojawiła się potrzeba reorganizacji strumieni odpadów. System ten przy użyciu dedykowanego interfejsu optymalizował przepływy odpadów, bazując na kosztach oraz mocach

przerobowych obiektów recyklingu odpadów. Według oceny autorów publikacji [9] jakkolwiek jest on prosty w obsłudze, uniemożliwia dokładne analizy tras oraz w bardzo wąskim zakresie nawiązuje do energetycznego przetwarzania odpadów. Model termicznego przekształcenia odpadów systemu wspomaganie Chang i Wang opiera się wyłącznie na jednym przykładzie kotła oraz nie uwzględnia możliwości produkcji RDF.

W tym samym roku po raz pierwszy dokonano też próby rozszerzenia SWD o system informacji geograficznej (ang. *Geographic Information System*) oparty o technologię SDSS (ang. *Spartial Decision Support System*). Dynamiczny rozwój oprogramowań bazujących na GIS aktualnie wspomaga jednostki samorządowe w zarządzaniu gospodarką przestrzenną, wodno-ściekową oraz odpadami, umożliwiając budowanie infrastruktury informacji przestrzennej na różnych poziomach administracyjnych [45]. W takim ujęciu GIS stanowi cenny komponent SWD podczas planowania przestrzennego przepływów odpadów oraz lokalizacji obiektów odzysku i unieszkodliwiania odpadów. Opracowany przez MacDonalda (w 1996 r.) SDSS, oparty na modelu matematycznym, umożliwiał opracowanie scenariuszy systemu gospodarki odpadami, jak również optymalizację procesów. System bazował na danych obejmujących aspekt ekonomiczny, ekologiczny oraz społeczny, prezentując tym samym alternatywne ujęcia problemu decyzyjnego.

Wzrost zainteresowania termicznym przekształcaniem odpadów jako jedną z metod zagospodarowania odpadów miał swój początek w różnych okresach, w zależności od badanego terytorium. W Niemczech wprowadzenie w 1993 r. „technicznych wskazówek w sprawie odzysku, przetwarzania oraz pozostałych form utylizacji odpadów komunalnych” oraz ustawy o „wspieraniu gospodarki obiegowej oraz zapewnieniu przyjaznej dla środowiska utylizacji odpadów” z 1996 r. diametralnie zmieniło podejście do gospodarki odpadami. Na podstawie wspomnianych dokumentów opracowano propagowaną w UE pięciostopniową hierarchię odpadów, w której w pierwszej kolejności należy unikać wytwarzania odpadów, a w dalszej – ponownie je przetwarzać oraz poddawać recyklingowi oraz na końcu przetwarzać termicznie.

W Polsce za początek okresu przemian można uznać rok 2001, kiedy to po 12 latach nieprzerwanych prób wdrożenia inwestycji wybudowano pierwszą spalarnię odpadów w Warszawie [218]. Można zatem zauważyć, że potrzeba badań nad systemami wspomaganie procesu energetycznego odpadów kształtowała się równolegle, wraz z rosnącym zainteresowaniem odzyskiem energii z odpadów. Literatura odnotowuje pierwsze SWD nawiązujące do termicznego przekształcania odpadów w roku 2003. Autorzy pochodzenia włoskiego, Fiorucci i in. (w 2003 r.) oraz Costi i in. (w 2004 r.), opracowali aplikacje służące wspomaganie decyzji w ramach gospodarki stałymi odpadami komunalnymi. Model matematyczny wykorzystywany na potrzeby realizacji procesu decyzyjnego opierał się na minimalizacji kosztów związanych z transportem, unieszkodliwianiem i odzyskiem odpadów. Uwzględniał przy tym możliwość sprzedaży energii z termicznego przekształcania odpadów komunalnych. W pracy zawarto również propozycję poszerzenia narzędzia o aspekt ekologiczny i przestrzenny.

W połowie 2003 r. do struktury SWD wprowadzono analizę wielokryterialną, która miała na celu wybór optymalnej lokalizacji składowiska, a także alokację modelu przepływu odpadów przy równoczesnym minimalizowaniu kosztów. Zastosowanie wielokryterialnej oceny w przypadku wyboru lokalizacji składowisk zostało również wykorzystane przez Kirkeby i in. (w 2007 r.) oraz Liangsanguan i in. (w 2008 r.). W ramach tej pracy poddano analizie odcieki ze składowisk odpadów, emisję zanieczyszczeń oraz możliwość odzysku energii z gazu składowiskowego [9].

Interesującym przykładem dla SWD w obszarze energetycznego wykorzystania odpadów jest system ORWARE (ang. *ORganic WASTE REsearch*). Ten stworzony pod koniec lat 90. w Szwecji system, wykorzystujący model symulacyjny, opierał się na analizie wpływu

środowiskowego systemu gospodarki odpadami w ramach zdefiniowanych scenariuszy. Początkowo narzędzie uwzględniało wyłącznie odpady biodegradowalne oraz możliwe metody ich zagospodarowania (w tym energetycznego). Jednak wraz ze wzrostem zainteresowania nim uwzględniono również pozostałe strumienie odpadów, tworząc tym samym kompleksowe narzędzie oceny środowiskowej [62].

Na uwagę zasługuje również narzędzie Balkwaste. System wspomagania decyzji opracowany w 2011 r. w Rumunii miał na celu wdrożenie zrównoważonego planowania gospodarki odpadami poprzez rozwój dedykowanego narzędzia informatycznego. Co istotne, system Balkwaste opiera się na wybranych wskaźnikach, które w ramach benchmarkingu porównywane są w krajach bałkańskich. System generuje scenariusze dla zidentyfikowanych możliwości zagospodarowania odpadów oraz umożliwia ich ocenę poprzez wielokryterialną analizę aspektów ekologicznych, społecznych, legislacyjnych, technologicznych i ekonomicznych.

8.1. Cechy systemów wspomagania decyzji

Szerokie zastosowanie oraz korzyści płynące z zastosowania SWD spowodowały szybki rozwój różnego rodzaju narzędzi, których mianownikiem są określone przez S. Altera (w 1980 r.) wymagania stanowiące o istocie systemów wspomagania. Wymagania brzmią następująco [20]:

- a) SWD są projektowane w celu wspomagania procesu podejmowania decyzji;
- b) SWD powinny wspierać, a nie automatyzować wspomaganie decyzji;
- c) SWD powinny być na tyle elastyczne, aby płynnie dostosować się do ciągle zmieniających się wymagań osób podejmujących decyzje.

Analiza podstawowych właściwości systemów wspomagania decyzji pod kątem ich wykorzystania w procesach energetycznego wykorzystania odpadów pozwoliła opracować autorski zbiór charakterystycznych cech (tab. 11).

Tabela 11 Cechy SWD dedykowanego gospodarce odpadami

Cecha	Opis
Zakres zastosowania	Projektowany system powinien koncentrować się na konkretnym problemie. Zastosowane narzędzia analizy, bazy danych oraz instrumenty oceny powinny być wyspecjalizowane w obszarze wybranego problemu decyzyjnego, jak np. wybór procesu energetycznego przetwarzania, wybór lokalizacji instalacji, analiza scenariuszy zastosowania wybranej technologii, możliwości adaptacji technologii w wybranych regionie. Ograniczenie zastosowania systemu w ramach dedykowanej specjalizacji umożliwia efektywnie zaprojektować moduł przetwarzania danych. W konsekwencji system wspomagania dopasowany jest do indywidualnych potrzeb użytkowników.
Wykonywanie złożonych analiz	Podczas analizy procesu energetycznego wykorzystania odpadów niezbędne jest wykonywanie obliczeń związanych z potencjałem energetycznym. Badania te, oprócz danych ilościowych (obejmujących przepływy odpadów kalorycznych, ich właściwości oraz parametry technologicznego wybranego procesu termicznego przetwarzania), powinny uwzględnić analizy oddziaływania procesu na środowisko i społeczność. W zależności od zakresu zastosowania systemu niezbędne jest również uwzględnienie aspektu legislacyjnego, który tworzy fundament systemu gospodarki odpadami. Kluczowym zadaniem jest zatem stworzenie takich algorytmów obliczeń, które uwzględnią wszystkie wymagane aspekty analizy problemu decyzyjnego.
Przetwarzanie dużej ilości danych	Analiza dużych zbiorów danych jest jedną z charakterystycznych cech systemów wspomagania decyzji. Wykorzystanie tej właściwości na polu gospodarki odpadami o potencjale energetycznym umożliwia przetwarzanie danych obejmujących cały łańcuch przepływu odpadów. Z uwagi na zakres zastosowania dane o odpadach mogą dotyczyć wybranej jednostki terytorialnej (np. gminy), jak również większego obszaru na poziomie województwa lub kraju.
Popieranie i przetwarzanie danych z różnych źródeł	SWD powinien pozwalać na integrację danych z jak największej liczby źródeł. Dostęp do danych środowiskowych został umożliwiony dzięki <i>Ustawie z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko</i> . I choć stwarza to wiele możliwości pozyskania wymaganych informacji, to wiąże się przetwarzaniem szerokiego zbioru danych do

	wymaganego formatu (arkusz kalkulacyjny lub inny format związany z oprogramowaniem). Praktyka potwierdza też, że dane dotyczące masy wytworzonych / zebranych odpadów obarczone są dużym błędem, w związku z czym istnieje ryzyko uzyskania nieprecyzyjnych wyników obliczeń. Jednym z problemów związanych ze zgodnością pozyskanych danych jest kwestia kwalifikowania odpadów w ramach wybranej grupy katalogów odpadów. W efekcie subiektywna interpretacja opisu grupy odpadów prowadzi do błędnej prezentacji potencjału energetycznego. Wymagane jest zatem opracowanie zbioru założeń, które pozwalają na minimalizowanie błędów obliczeń.
Elastyczność i adaptacja	Systemy wspomagania dedykowane wybranym obszarom gospodarki odpadami powinny płynnie dostosowywać się do zmian, jakie zachodzą w otoczeniu użytkownika / decydenta. Możliwość konfiguracji systemu do indywidualnych potrzeb oraz uwarunkowań niewątpliwie umożliwia dostosowanie narzędzia do zmieniających się wymagań dotyczących chociażby wymaganych poziomów recyklingu i odzysku odpadów opakowaniowych. Dodatkowo, możliwość ustalania reprezentacji danych na potrzeby tworzonych raportów pozwala na wielopłaszczyznową analizę problemu. Pracując na dedykowanych SWD, decydenci mogą dostosować format do indywidualnych wymagań, jak również zestawiać dane według wybranych założeń analizy. Właściwości adaptacyjne SWD powinny umożliwić instalację systemu zarówno dla pojedynczego stanowiska oraz dla grupy decydentów przy zachowaniu podstawowych zasad bezpieczeństwa danych.
Tworzenie raportów i prezentacja danych	Reprezentacja otrzymanych danych stanowi niewątpliwie jeden z najważniejszych elementów systemów. Przejrzysty przekaz prezentowany w wybranej formie (np. w postaci tekstu, wykresów, map) pozwala na łatwiejszą interpretację wyników. W zależności od grupy użytkowników generowane raporty są zazwyczaj standaryzowane. W przypadku systemów dedykowanych gospodarce odpadami informacje prezentowane w raportach odpowiadają wymaganiom sprawozdawczości środowiskowej. Nawiązując do gwarantowanego dostępu społeczeństwa do informacji o środowisku, prezentowane informacje powinny charakteryzować się czytelnym i jednoznacznym przekazem.
Orientacja na dane tekstowe i graficzne	Wykorzystanie na potrzeby SWD danych różnorodnych formatów danych jest poważnym problemem projektantów systemów. Doświadczenia praktyków związanych z systemem gospodarki odpadami wykazują, że istotne jest uwzględnienie danych informacji przestrzennej, które pozwalają nanieść zarówno dane ilościowe (masa odpadów), jak również jakościowe (np. topografia terenu) na analizowany obszar badawczy. Istnieje zatem potrzeba zorientowania systemu na wykorzystanie danych tekstowych i graficznych oraz na prezentację wyników w tychże formatach.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [20, 52]

8.2. Struktura systemów wspomagania decyzji

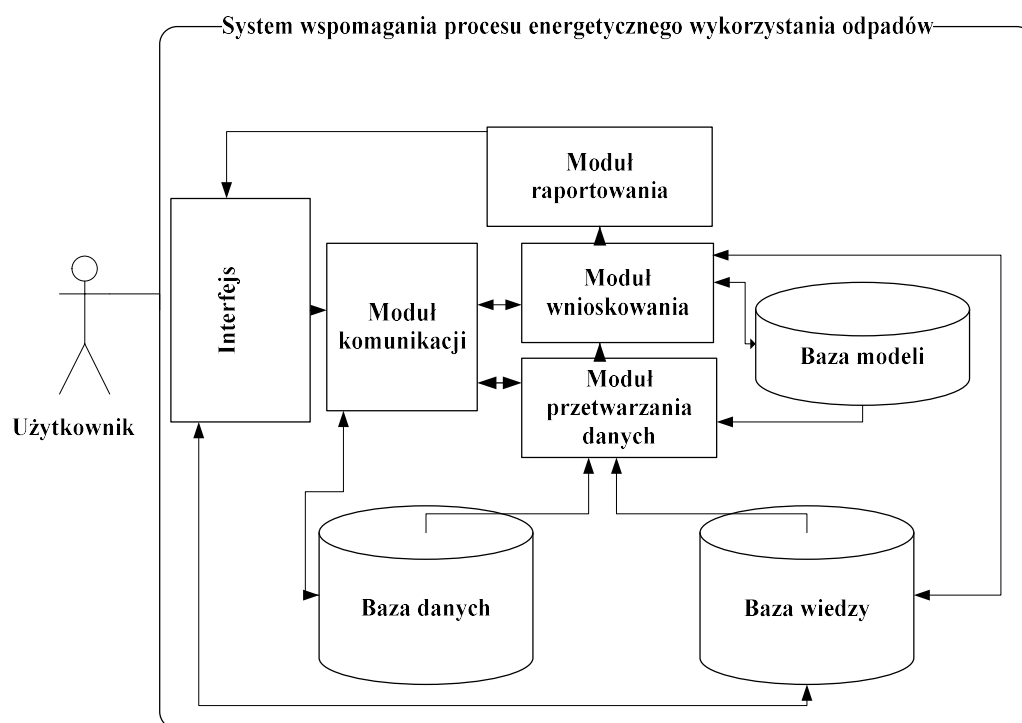
Systemy wspomagania decyzji w obszarze energetycznego przetwarzania odpadów tworzone są z myślą o rozwiązaniu konkretnych problemów decyzyjnych. W związku z powyższym niełatwym zadaniem jest stworzenie uniwersalnej architektury systemu o wymaganym stopniu dokładności. Silnie zróżnicowana struktura bezpośrednio wiąże się z preferencjami użytkowników, dla których ten system ma zostać zaprojektowany.

Podczas projektowania narzędzi wspomagania decyzji konieczne jest szczegółowe przygotowanie, obejmujące analizę jego warunków użytkowych. Systemy powinny być przede wszystkim adekwatne, przez co rozumie się zgodność potrzeb operacyjnych z zawartymi danymi i regułami wnioskowania. Od SWD wymaga się również dostępności, co związane jest z poprawnym procesem komunikacji i jednoznaczną interpretacją wyników [62].

Jednoznaczny cel zastosowania SWD wynika z definicji SWD jako rozwiązania informatycznego wspierającego biznesowe i organizacyjne czynności decyzyjne, umożliwiające określenie optymalnego rozwiązania [20]. Pomimo trudności w opracowaniu elastycznego szablonu architektury systemu, wspomniany wyżej cel umożliwił wyodrębnienie głównych elementów struktury systemu, tj. bazy danych, bazy modeli, modułu komunikacji oraz interfejsu użytkownika. Przekładając to na potrzeby gospodarki odpadami kalorycznymi, opracowano ramowy schemat budowy SWD (rys. 11).

Zgodnie z graficzną reprezentacją systemu, wyróżniamy kilka podstawowych modułów, takich jak:

- Baza danych – zawiera aktualne dane o masie wytworzonych odpadów z podziałem na rodzaje oraz z uwzględnieniem sposobu ich unieszkodliwiania. Dane powinny obejmować cały system gospodarki odpadami tak, aby możliwe było przetwarzanie danych (w tym przestrzennych) zgodnie z wymaganiami decydenta. Poza ilościowymi danymi przepływu odpadów w systemie niezbędne jest również uwzględnienie parametrów wydajnościowych instalacji termicznego przekształcania odpadów zlokalizowanych na wyodrębnionym obszarze badawczych.
- Baza wiedzy – literatura [20] wyróżnia następujące rodzaje baz wiedzy: bazy tekstów, danych, reguł, modeli oraz wiedzy nieformalnej. W zależności od potrzeb systemu wykorzystywane są wyżej wyszczególnione bazy, które w ogólnym znaczeniu dotyczą udowodnionych faktów analizowanego obiektu (w tym wypadku systemu gospodarki opartego na energetycznym przetwarzaniu odpadów). Baza wiedzy stanowi zatem zbiór niepodważalnych formuł i zależności, z których korzysta moduł przetwarzania danych i moduł wnioskujący (reguł wnioskujących).



Rysunek 11 Graficzna prezentacja SWD

Źródło: opracowanie własne

- Baza modeli – modele wspierają proces decyzyjny przez możliwe dokładne odwzorowanie obiektu, umożliwiając tym samym symulację jego zachowania przy wykorzystaniu zmiennych decyzyjnych. Dlatego też, poza wspomnianą bazą danych, stanowią fundament SWD, na bazie którego generowane są dopuszczalne rozwiązania.
- Moduł przetwarzania danych – jest tym elementem SWD, który jest bezpośrednio odpowiedzialny za selekcję danych, wykorzystanie odpowiednich formuł obliczeniowych oraz za przetworzenie wprowadzonych zmiennych decyzyjnych. W przypadku narzędzi przeznaczonych dla gospodarki odpadami stanowi rdzeń systemu, generujący wyniki w zależności od przyjętych wartości zmiennych, kryteriów, ograniczeń lub/i funkcji celu.
- Moduł wnioskowania – jest elementem systemu opartym na modelu decyzyjnym i na regułach wnioskowania. Podstawą treści decyzji jest zbiór wyselekcjonowanych

wariantów stanowiących wyjście modułu przetwarzania danych. Moduł wnioskowania jest silnie powiązany z modułem komunikacji, dzięki któremu możliwa jest wzajemna interakcja pomiędzy systemem a użytkownikiem. Decydent w tym wypadku jest ekspertem, który podczas analiz wielokryterialnych może określić indywidualne wagi kryteriów lub też wykorzystać dane pochodzące z bazy wiedzy.

- Moduł raportowania – pozwala na prezentację danych według wymaganych przez użytkownika zaleceń. Przedstawia wybrane wyniki obliczeń oraz wynik decyzji rozumianych jako pojedynczy wyselekcjonowany wariant. Elastyczność dopasowania formy oraz obrazu wyników do stawianych przez użytkownika wymagań stanowi jedno z kluczowych wymagań stawianych systemom wspomagania decyzji.
- Moduł komunikacji – zapewnia możliwość udziału w procesie decyzyjnym zarówno użytkowników systemu, decydentów, jak również ekspertów. Niezwykle istotna jest w tym wypadku rola osób, które nie tylko są odpowiedzialne za sterowanie formułami obliczeniowymi, ale przede wszystkim mają możliwość modyfikacji wag wybranych kryteriów oceny. Moduł komunikacji, często pomijany w ramowej strukturze SWD, stanowi niezbędny element struktury systemu wspomagania decyzji procesu energetycznego wykorzystania odpadów opartego na analizie wielokryterialnej.
- Interfejs użytkownika SWD – jest to strona internetowa lub tekstowa bądź graficzna część oprogramowania, odpowiedzialna za interakcję z użytkownikiem. Ze względu na różnorodność SWD problematyka projektowanych interfejsów szeroko rozpatruje jego wymagania funkcjonalne oraz eksploatacyjne. Budowa interfejsu zgodnie z zaleceniami C.M. Olszak [20], poza dokładną analizą zadań i celów systemów, powinna uwzględniać realizację poziomu leksykalnego oraz semantycznego.

9. Podsumowanie badań literaturowych

Krytyczny przegląd materiałów źródłowych był wstępnym etapem zrealizowanych badań. Zakładany cel niniejszej monografii warunkował wybór źródeł literaturowych, których odpowiednia klasyfikacja i selekcja były podstawą do precyzyjnego omówienia wielokontekstowego problemu badawczego związanego z tematem monografii. Przegląd literatury, zgodnie z postawionymi celami, obejmował nie tylko analizę treści, ale także relację i konteksty różnych badaczy w ramach wybranego zagadnienia. Przedstawienie stanu obecnego problemu badawczego umożliwiło identyfikację luk oraz wskazanie naukowej zasadności badanego problemu.

W efekcie możliwe było opracowanie zestawienia najważniejszych wniosków warunkujących kolejne etapy realizacji monografii (tab. 12).

Krytyczna analiza literatury przedmiotu [18, 67, 79, 100, 127, 158] pozwala na stwierdzenie, że modelowanie procesowe może być metodą, która w sposób całościowy pozwoli na uzyskanie optymalnego efektu odzysku energii z odpadów. Stanie się tak po dekompozycji systemu gospodarki odpadami, analizie i ocenie stanu jej elementów oraz syntezie wielokryterialnych wariantów rozwiązania, w odpowiednich do tego warunkach.

Dla budowy technologiczno-logistycznego modelu gospodarki odpadami z odzyskiem energii konieczne było określenie możliwości wydzielenia z łańcucha logistycznego sfery utylizacji odpadów – strumieni odpadów wysokokalorycznych oraz możliwości ich termicznej destrukcji.

Szczegółna uwaga została zwrócona na materialne czynniki procesu, w tym na: przygotowanie odpadów, urządzenia kotłowe, ich wydajność oraz dostępne moce przerobowe, a także niezbędne surowce i materiały (wraz z ich charakterystyką). Praktyka technologiczna i eksploatacyjna wskazują na konieczność optymalizacji kaloryczności paliwa z odpadów celem uzyskania najwyższej sprawności odzysku energii [46].

Opracowywany model powinien dostarczyć odpowiedzi na pytanie, jakie procesy technologiczne należy zastosować (ekonomiczno-ekologiczne kryteria wyboru technologii z zachowaniem zasady bliskości), aby efektywność odzysku energii z odpadów była maksymalna. Jednocześnie analiza procesów logistycznych dostarcza istotnych danych z punktu widzenia dynamicznego charakteru modelu i istotnych parametrów logistycznych, w tym m.in. przepustowości węzłów, relacji między węzłami oraz organizacji procesów transportowych.

Właściwie zorganizowany system gospodarki odpadami komunalnymi jest w ostatnich latach poważnym wyzwaniem, przed którym stoją wyodrębnione jednostki gmin. Reorganizacja, jaką spowodowała nowelizacja *Ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach*, wywołała duże zamieszanie. Co więcej, do dnia dzisiejszego w większości przypadków nie osiągnęła ona pożądanego kształtu. Stworzenie modelu, który wspomagałby dopasowanie przepływów strumieni odpadów do aktualnie panujących warunków, znacząco pomogłoby uporządkować procesy i wpłynąć na poprawę ich efektywności.

Niniejsza monografia obejmuje szeroki zakres tematyczny, jakim jest system gospodarki odpadami. Konieczność wieloaspektowego podejścia do problemu determinowała potrzebę opracowania założeń, które umożliwiłyby osiągnięcie celu głównego – stworzenia dokładnego opisu modelu. Podstawowe założenia niniejszej monografii obejmują następujące zagadnienia:

1. W modelowaniu zostało wykorzystane zarówno podejście diagnostyczne (fotografia stanu aktualnego), jak i prognostyczne (analizowanie strumieni odpadów, ich prognoza itp.). W ramach modelowania relacji procesów technologicznych i logistycznych gospodarki odpadami konieczna była zatem szczegółowa analiza ilościowo-jakościowa aktualnej sytuacji gospodarki odpadami na analizowanym obszarze, a także analiza aktualnej infrastruktury energetycznej regionu.

Tabela 12 Wybrane wnioski podsumowania literaturowego

Lp.	Obszar badawczy	Wybrane wnioski
1.	Odpady o potencjale energetycznym	Właściwości fizykochemiczne, biologiczne, technologiczne i ekonomiczne warunkują sposób przekształcania odpadów, w związku z czym wartość opału nie jest jedynym wskaźnikiem decydującym o możliwości termicznej destrukcji odpadu. Rosnące zainteresowanie wykorzystaniem odpadów palnych nie jest wyłącznie determinowane zakazem ich składowania. Ważną rolę odgrywa tu także możliwość zakwalifikowania ich do odnawialnych źródeł energii. Ekologiczne i ekonomiczne przesłanki wykorzystania potencjału energetycznego odpadów wpływają na rozwój rynku termicznego przekształcania odpadów w Polsce.
2.	Uwarunkowania prawne obejmujące energetyczne wykorzystanie odpadów	Dynamiczny proces zmian w gospodarce odpadami zapoczątkowało wejście w życie <i>Ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach</i> , wymuszając budowę nowych systemów. Dodatkowo nałożone przez UE wymagania związane z poziomami odzysku i recyklingu, a także postulaty BAT dla spalania odpadów, stanowią zbiór wytycznych i ograniczeń dla wszystkich podmiotów gospodarki odpadami. Należy zatem uznać, że fundamentem każdego racjonalnego systemu gospodarki odpadami są przepisy prawne z zakresu ekologii, efektywności energetycznej i odnawialnych źródeł energii.
3.	Analiza łańcucha usuwania odpadów	Transpozycja logistyki na grunt gospodarki odpadami bez wątpienia sprzyja efektywnej koordynacji przepływów wszystkich grup odpadów wewnątrz systemu. Analiza problemów badawczych na polu opracowanego, logistycznie zorientowanego modelu systemu gospodarki odpadami może znacząco usprawnić przepływy i prawidłowe zagospodarowanie odpadów. Uzasadnieniem zastosowania tego podejścia jest przede wszystkim dynamiczny charakter systemu, ograniczona wydajność i przepustowość instalacji, przestrzenne możliwości terenów oraz wytyczne i ograniczenia ustanowione przez przepisy prawne.
4.	Technologie energetycznego wykorzystania odpadów	Uwzględnienie termicznego przekształcania odpadów w regionalnym systemie gospodarki odpadami jest uzasadnione wyłącznie na podstawie wyników analizy aktualnej sytuacji i bilansu jakościowo-ilościowego. Zapewnienie wykorzystania dostępnych wydajności instalacji zgodnie z hierarchią postępowania odpadów musi być uwzględnione podczas oceny możliwości wybudowania nowych obiektów termicznego przekształcania odpadów.
5.	Podstawy modelowania procesów	Przełożenie modeli systemu gospodarki odpadami na modele procesów logistycznych i technologicznych może przynieść istotne korzyści. Mapowanie strumienia wartości, przy założeniu analizy wartości kalorycznej odpadów, identyfikuje wszystkie czynności, które przynoszą wartość. Przełożenie przepływu strumienia odpadów komunalnych na mapę może znacznie ułatwić wyszczególnienie odpadów kalorycznych oraz wskazanie punktów, które mogą obniżyć efektywność energetyczną zastosowanej technologii. Przegląd literatury przedmiotu umożliwił dodatkowo zestawienie stosowanych podejść do modelowania wraz z dedykowanymi im technikami oraz przeznaczeniem. Uwzględniając potrzeby modelowania związane z celem niniejszej monografii, przyjmuje się, iż przedstawienie modeli procesów technologicznych i logistycznych powinno być dokonane z wykorzystaniem notacji BPMN, przy czym przedstawienie założeń modelowego systemu wspomagania decyzji energetycznego wykorzystania odpadów powinno być przedstawione za pomocą notacji UML.
6.	Istota problemu decyzyjnego	Krytyczna analiza literatury umożliwiła opracowanie uniwersalnej procedury analizy procesu decyzyjnego w gospodarce odpadami. Przegląd narzędzi stosowanych do oceny gospodarki odpadami potwierdził wielodyscyplinarność zagadnienia. Konieczna jest zatem wielokryterialna analiza problemów związanych z termicznym przekształcaniem odpadów w celu odzysku energii. Analiza AHP, która odnalazła zastosowanie w gospodarce odpadami, dotychczas nie została wykorzystana w technologiczno-logistycznym podejściu, będącym podstawą niniejszej monografii. Uzasadnione jest zatem wykorzystanie wspomnianej metody przy uwzględnieniu zbioru wybranych kryteriów i podejścia technologiczno-logistycznego do problemu.
7.	Systemy wspomagania procesów energetycznego wykorzystania odpadów	Na przestrzeni kilkudziesięciu lat rosło zainteresowanie systemami informatycznymi i systemami wspomagania decyzji, dzięki czemu zaistniała możliwość dopasowania ich do różnych obszarów gospodarki i do różnych wymagań stawianych przez odbiorców. SWD znalazły również szerokie zastosowanie w gospodarce odpadami, w ramach której trwają nieprzerwane próby optymalizowania wybranych aspektów systemu gospodarki odpadami. Pomimo tych tendencji krytyczna analiza materiałów źródłowych nie wykazała obecności na rynku prototypu informatycznego systemu wspomagania procesu energetycznego wykorzystania odpadów opracowanego na bazie modelu logistyczno-technologicznego. Istnieją produkty oraz koncepcje SWD, które uwzględniają procesy energetycznego wykorzystania odpadów, jednak nie stanowią one głównej przesłanki problemu decyzyjnego. W związku z rosnącym zainteresowaniem wdrażania technologii W2E oraz obowiązkiem ustanowienia racjonalnego systemu gospodarki odpadami, istnieje potrzeba nowego podejścia do problemu.

Źródło: opracowanie własne

2. Opracowany w monografii model został zweryfikowany na przykładzie danych zebranych w województwie śląskim. Województwo śląskie jest jednym z tych obszarów Polski, gdzie według danych GUS z 2013 r. wytworzono największą ilość odpadów – 38497,9 [tys. Mg.] [208]. Termicznie unieszkodliwiono 4,8 [tys. Mg] odpadów, co stanowi trzeci wynik wśród województw charakteryzujących się najniższym poziomem przekształcania termicznego odpadów. Znaczny udział odpadów, które zostały zdeponowane na składowiskach, powoduje, że Śląsk jest interesującym obiektem badawczym ze względu na możliwości wdrożenia nowych instalacji odzyskujących energię z odpadów oraz wykorzystujących wysokoenergetyczne odpady. Na potrzeby analizy danych, walidacji i weryfikacji modelu został wybrany Region II gospodarki odpadami województwa śląskiego. Charakterystyczną cechą RGO jest funkcjonowanie na jego obszarze instalacji przewidzianych dla zagospodarowania odpadów komunalnych powstałych w granicach danego regionu (odpadów zmieszanych, zielonych i pozostałości z sortowania), tzw. RIPOK – szerzej omówionych w rozdziale 10.1.

3. Potencjał energetyczny został określony dla strumienia odpadów komunalnych, rozumianych jako „odpady powstające w gospodarstwach domowych, z wyłączeniem pojazdów wycofanych z eksploatacji, a także odpady niezawierające odpadów niebezpiecznych, pochodzące od innych wytwórców odpadów, które ze względu na swój charakter lub skład są podobne do odpadów powstających w gospodarstwach domowych” [168]. Źródłem informacji o masie odpadów komunalnych były sprawozdania gmin z realizacji zadań z zakresu gospodarki odpadami komunalnymi.

Wyniki badań zrealizowanych w niniejszej monografii pozwoliły na opracowanie modelu, a na jego podstawie także prototypowego informatycznego systemu wspomagającego decyzje, dedykowanego energetycznemu obszarowi gospodarki odpadami o potencjale energetycznym i stanowiącego cenne narzędzie dla podmiotów gospodarki odpadami, ze szczególnym uwzględnieniem producentów i odbiorców energii z odpadów.

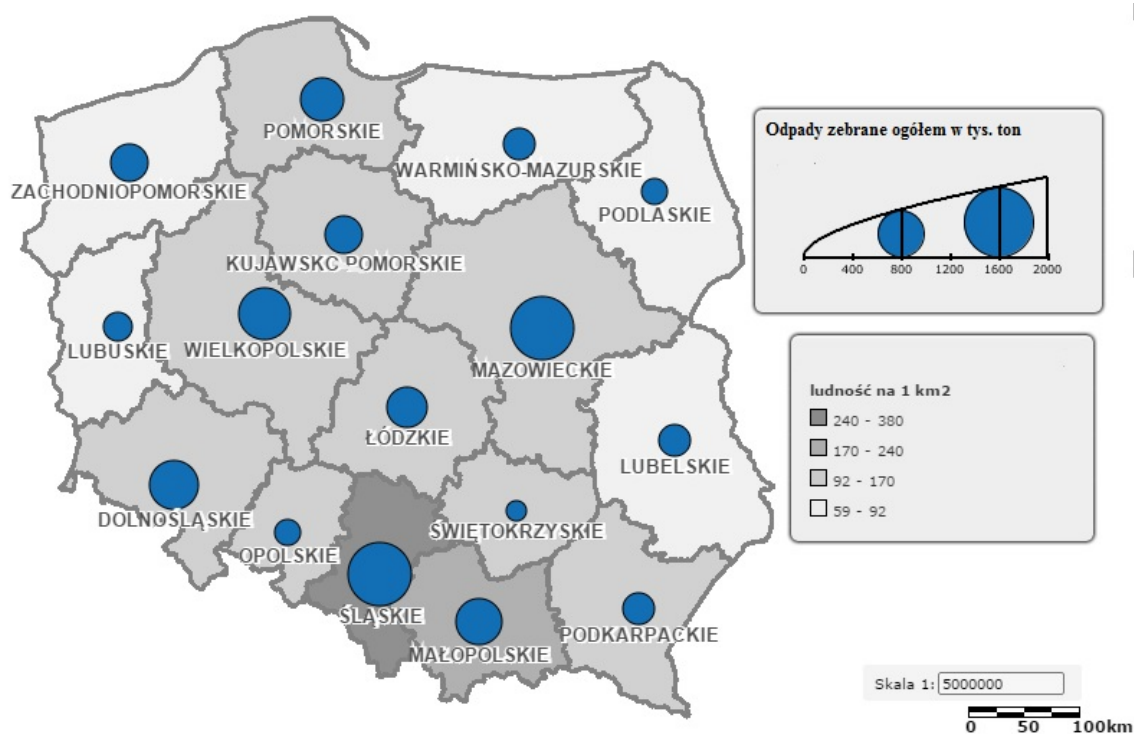
10. Analiza i ocena systemu gospodarki odpadami w województwie śląskim

10.1. Charakterystyka systemu gospodarki odpadami województwa śląskiego

Województwo śląskie jest najbardziej uprzemysłowionym regionem Polski położonym w południowej części kraju. Charakterystyczne dla niego bogactwo naturalne (węgiel kamienny, złoża cynku i ołowiu, rudy żelaza, sól kamienna, pokłady metanu, złoża margli, wapieni oraz kruszywa naturalnego) przyczyniło się do powstania największego w kraju okręgu przemysłowego zwanego Górnośląskim Okręgiem Przemysłowym (GOP). Efektywnie rozwijają się w nim przemysł górniczy, przemysł hutniczy, przemysł transportowy, przemysł energetyczny, przemysł maszynowy i przemysł koksowniczy.

Wysoki poziom urbanizacji i uprzemysłowienia osiągają dwa obszary: aglomeracja katowicka oraz aglomeracja rybnicka. Województwo cechuje najwyższa w kraju gęstość zaludnienia, która wynosi 373 osoby na [km²] i jest ponad trzykrotnie wyższa od średniej krajowej (123 [os./km²]) [208].

Strukturę administracyjną województwa tworzy 167 gmin skupionych w 36 powiatach. Spośród 167 gmin 49 z nich to gminy miejskie, 22 – miejsko-wiejskie i 96 – wiejskie.



Rysunek 12 Charakterystyka Śląska na tle pozostałych województw

Źródło: opracowanie własne na podstawie [211]

Województwo śląskie jest również najgęściej zaludnionym województwem w kraju, co zostało przedstawione na rysunku 12. W związku z powyższym charakteryzuje się jednym z najwyższych współczynników masy odpadów komunalnych zebranych, co potwierdza zasadność wdrażania działań mających na celu usprawnienie systemu gospodarki odpadami.

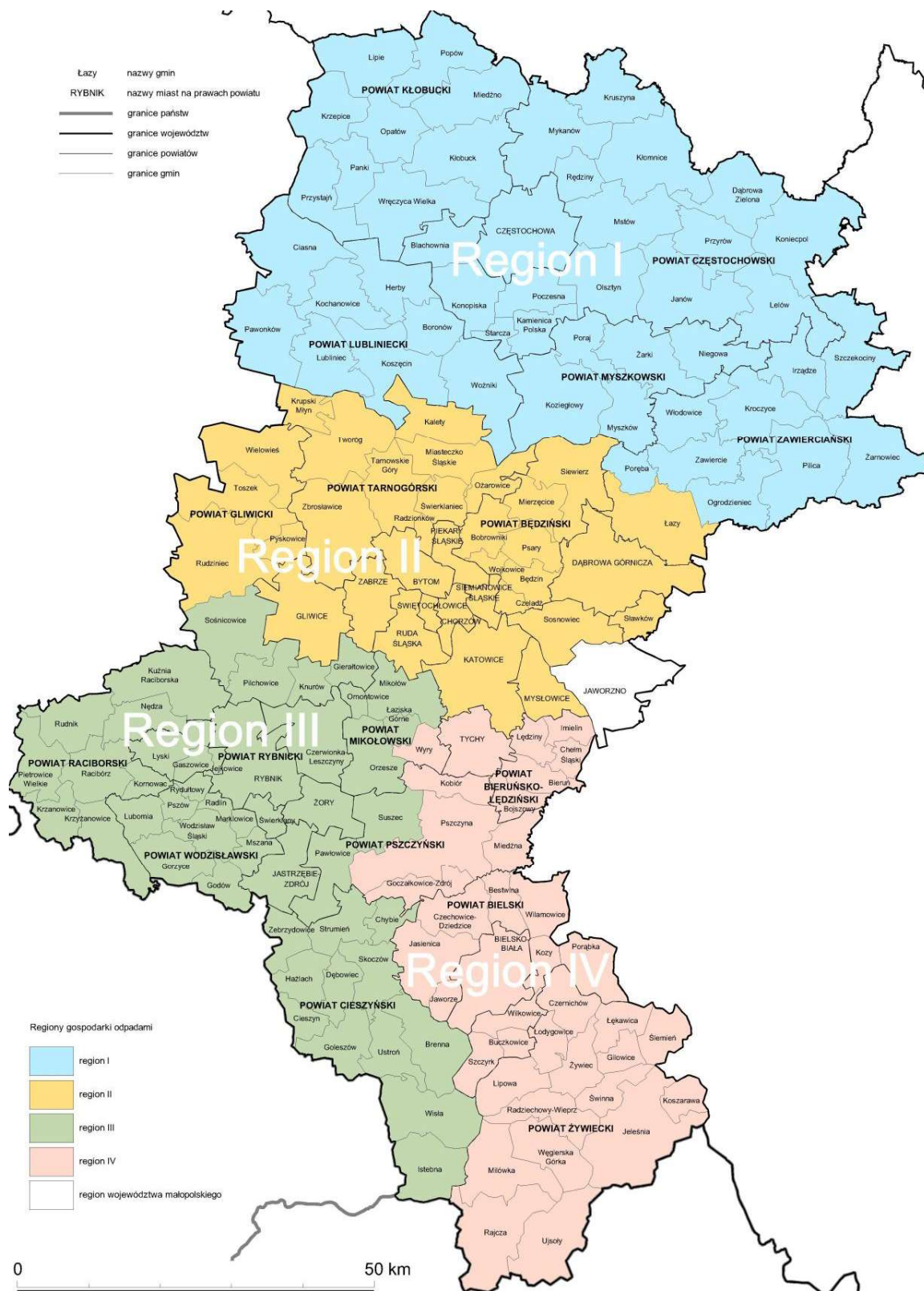
Wdrożenie *Ustawy z dnia 13 maja 2011 r. o zmianie ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach oraz innych ustaw (m.in. Ustawy o odpadach)* zapoczątkowało

reorganizację całego systemu gospodarki odpadami nie tylko na poziomie gmin, ale również województwa. Kluczowym zadaniem wstępnego etapu budowy organizacyjno-prawnego systemu gospodarki odpadami na terenie województwa jest określenie tzw. regionów gospodarki odpadami (RGO). Powołując się na zasadę bliskości i samowystarczalności, regiony te powinny umożliwić zagospodarowanie odpadów zmieszanych, pozostałości z sortowania odpadów komunalnych przeznaczonych do składowania oraz odpadów zielonych.

Kluczowym podmiotem RGO jest Regionalna Instalacja Przekształcania Odpadów Komunalnych, która zgodnie z *Ustawą o odpadach* [168] jest instalacją do przetwarzania odpadów komunalnych. RIPOK wedle *Ustawy* jest zakładem zagospodarowania odpadów o mocy przerobowej wystarczającej do przyjmowania i przetwarzania odpadów z obszaru zamieszkałego przez co najmniej 120 tys. mieszkańców. Spełnia przy tym wymagania najlepszej dostępnej techniki lub technologii, o której mowa w art. 143 *ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska* [171] oraz zapewnia jedno z poniższych:

- termiczne przekształcanie odpadów;
- mechaniczno-biologiczne przetwarzanie zmieszanych odpadów komunalnych i wydzielanie ze zmieszanych odpadów komunalnych frakcji nadających się w całości lub w części do odzysku, lub;
- przetwarzanie selektywnie zebranych odpadów zielonych i innych bioodpadów oraz wytwarzanie z nich produktu o właściwościach nawozowych lub środków wspomagających uprawę roślin, spełniających wymagania określone w przepisach odrębnych lub materiału po procesie kompostowania bądź fermentacji dopuszczonego do odzysku w procesie odzysku R10, spełniającego wymagania określone w przepisach wydanych na podstawie art. 30 ust. 4; lub
- składowanie odpadów powstających w procesie mechaniczno-biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych oraz pozostałości z sortowania odpadów komunalnych o pojemności pozwalającej na przyjmowanie przez okres nie krótszy niż 15 lat odpadów w ilości nie mniejszej niż powstająca w instalacji do mechaniczno-biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych.

Zgodnie z powyższymi wymaganiami zaistniała konieczność uzasadnionego podziału województwa na regiony (rys. 13), w ramach których wydzielone strumienie odpadów komunalnych zostałyby zagospodarowane w sposób umożliwiający spełnienie wymagań hierarchii postępowania z odpadami, a tym samym zobowiązań unijnych dotyczących recyklingu, odzysku oraz ograniczenia odpadów deponowanych na składowiska.



Rysunek 13 Regiony gospodarki odpadami województwa śląskiego

Źródło: [117]

W związku z powyższymi założeniami i celami Wojewódzki Plan Gospodarki Odpadami (WPGO) uwzględnia podział Śląska na cztery regiony. Bilans wytwarzania odpadów komunalnych w poszczególnych regionach został przedstawiony w tabeli (tab. 13).

Tabela 13 Bilans wytworzonych odpadów komunalnych w 2010 r.

Lp.	Wyszczególnienie	Jednostka	Region I	Region II	Region III	Region IV
1.	Liczba ludności	osób	711 841	2 078 840	996 145	754 249
2.	Jednostkowy wskaźnik wytwarzania odpadów	[kg/Ma]	323	386	334	325
3.	Odpady komunalne	[Mg/rok]	229 959	801 904	333 060	245 239

Źródło: [117]

Kluczowym kryterium opracowania granic regionów jest zapewnienie odpowiednich przepustowości instalacji, które znajdują się na terenie RGO i do których będą trafiać strumienie odpadów z przynależnych gmin. Należy przeprowadzić analizę technologiczno-logistyczną obszaru, która umożliwi osiągnięcie wymaganych celów w zakresie gospodarki odpadami komunalnymi, dlatego niezbędny jest stały nadzór sejmików nad nowymi inwestycjami obejmującymi instalacje do przekształcania odpadów.

W oparciu o zawarte w WPGO 2014 informacje dotyczące możliwości technologicznych instalacji do przekształcania odpadów możliwe było opracowanie zestawienia zawierającego zdolności przerobowe z podziałem na RGO (tab. 14).

Tabela 14 Moce przerobowe instalacji w RGO

Instalacje (czynne)	Parametr	Region I	Region II	Region III	Region IV
Sortownie	Przepustowość [Mg/rok]	218 550	1 157 575	358 050	160 140
Kompostownie	Przepustowość [Mg/rok]	2 244	212 452	46 900	89 972
MBP (część mechaniczna)	Przepustowość (20 03 01) [Mg/rok]	90 000	132 000	95 000	56 500
MBP (część biologiczna)	Przepustowość (19 12 12) [Mg/rok]	40 000	45 951	26 000	25 000
Składowiska	Przybliżona pozostała pojemność w [m ³] (łącznie)	1 431 311	6 734 756	6 749 641	1 084 472

Źródło: [117]

Nieodłącznym elementem każdego systemu gospodarki odpadami są instalacje do spalania i współspalania odpadów. W województwie śląskim zlokalizowanych jest 25 tego typu instalacji (tab. 15), których sumaryczna moc przerobowa wynosi niespełna 9 080 000 [Mg/rok]. Nowelizacja *Ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach* z dnia 1 stycznia 2012 roku spowodowała gwałtowne zainteresowanie samorządów i prywatnych inwestorów metodami termicznego przekształcania. Dzięki nim osiągnięcie wymaganych poziomów recyklingu odpadów ma być łatwiejsze.

Tabela 15 Instalacje spalania i współspalania odpadów w województwie śląskim

Lp.	Nazwa spalarni lub współspalarni odpadów	Adres	Typ instalacji	Moc przerobowa [Mg/rok]	Odzysk energii w roku sprawozdawczym [GJ]	Odpady poddawane termicznemu przekształceniu
1	„SIRO – Bielsko” Sp. z o.o.	ul. Strażacka 80, 43-382 Bielsko-Biała	Spalarnia	1 000,00	bd	03 01 05
2	EDF Rybnik S.A.	ul. Podmiejska, 44-207 Rybnik	Współspalarnia – % masy w ogólnej masie spalanych paliw konwencjonalnego: 0,14	80 000,00	bd	10 01 21

Lp.	Nazwa spalarni lub współspalarni odpadów	Adres	Typ instalacji	Moc przerobowa [Mg/rok]	Odzysk energii w roku sprawozdawczym [GJ]	Odpady poddawane termicznemu przekształceniu
3	EKO M. Golik. J. Konsek, J. Serwotka, J. Serwotka s.j.	ul. Przemysłowa 35, 44-200 Rybnik	Współspalarnia	150	1 030,00	15 01 03
4	Elektrociepłownia Będzin S.A.	ul. Małobądzka 141, 42-500 Będzin	Współspalarnia – % masy w ogólnej masie spalnego paliwa konwencjonalnego: 0,12	365	437	10 01 26
5	Elektrownia Jaworzno III	ul. Promienna 51, 43-603 Jaworzno	Współspalarnia – % masy w ogólnej masie spalnego paliwa konwencjonalnego: 1,00	20 442,90	bd	10 01 21
6	Instalacja automatycznego zespołu spalania rozdrobnionego drewna	ul. Źródłana 8, Żabnica, 34-350 Węgierska Górką	Spalarnia	500,00	bd	03 01 05
7	Instalacja do produkcji klinkieru cementowego w piecach obrotowych (zdolność produkcyjna 500 ton na dobę)	ul. Mstowska 10, 42-240 Rudniki	Współspalarnia	168 150,00	809 038,00	19 02 10 19 08 05 19 12 10
8	Kocioł C.O.	ul. Tartaczna 19, 43-518 Ligota	Spalarnia	75,00	bd	03 01 05
9	Kocioł centralnego ogrzewania KWMP 61 [kW]	ul. Kamińskiego 15/17, 42-200 Częstochowa	Współspalarnia – % masy w ogólnej masie spalnego paliwa konwencjonalnego: 50,00	10,30	bd	03 01 05 03 01 99 15 01 01
10	Kocioł OP-380k	ul. Pokoju 14, 42-504 Będzin	Współspalarnia – % masy w ogólnej masie spalnego paliwa konwencjonalnego: 0,10	525 600,00	bd	10 01 21 19 08 02
11	Kocioł płomienicowo-płomieniówkowy ES-125-013 oraz kocioł wodnorurkowy Babcock-Wilcox	ul. Łukasiewicza 5, 43-502 Czechowice-Dziedzice	Spalarnia	3 600,00	bd	03 01 01 03 01 05 15 01 03 16 03 06

Lp.	Nazwa spalarni lub współspalarni odpadów	Adres	Typ instalacji	Moc przerobowa [Mg/rok]	Odzysk energii w roku sprawozdawczym [GJ]	Odpady poddawane termicznemu przekształceniu
12	Kocioł stalowy wodny CO Hajnówka (na drewno, trociny, torf). Producent Netskop Hajnówka	ul. Oskara Kolberga 65, 44-251 Rybnik	Współspalarnia	2 000,00	1,4	19 12 07
13	Kocioł typu RKK 300 kW opalany trocinami	ul. Chopina 15, Łaziska Górne	Współspalarnia	150,00	bd	03 01 05
14	Kocioł UNI-BIO – energetyczne spalanie drewna i odpadów drewna (trociny, wióry, ścinki i in.)	ul. Wyzwolenia 59, 43-300 Bielsko-Biała	Spalarnia	942,00	bd	03 01 05
15	Kocioł węglowy Hajnówek	ul. Beskidzka 2, Trzebinia Beskidzka, 34-300 Świnna	Spalarnia	200,00	bd	03 01 05
16	Kotłownia Zakładowa	ul. Wiejska 12, Dzielna, 42-793 Ciasna	Współspalarnia	630,00	3,6	03 01 05
17	Kotłownia zakładowa - kotły FERROLI	ul. Wyzwolenia Zwonowice	Spalarnia	10 874,00	32 264,50	03 01 05
18	Piec grzewczy 1kW opalany węglem i drewnem	ul. Kosmiczna, Katowice,	Współspalarnia – % masy w ogólnej masie spalane go paliwa konwencjonalnego: 48,00	5,00	bd	17 02 01
19	SARPI Dąbrowa Górnicza Sp. z o.o.	ul. Koksownicza 16, 42-523 Dąbrowa Górnicza	Spalarnia	50 000,00	308 160,00	kody grup 02,04,05,06,07, 08,09,10,11,12, 13,14,15,16,17, 18,19,20
20	Służby Komunalne Miasta w Wodzisławiu Śląskim	ul. Markłowska 21, 44-300 Wodzisław Śląski	Współspalarnia	370,00	bd	17 02 01
21	SOR-DREW SPÓŁKA AKCYJNA	ul. Szygarska 26, 41-608 Świętochłowice	Współspalarnia	1 200,00	bd	15 01 03
22	Spalarnia odpadów medycznych i weterynaryjnych (linia nr 1 i 2)	ul. Hutnicza 8, 40-241 Katowice	Spalarnia	4 230,00	1 043,00	kody grup 02, 07, 09, 15, 16, 18, 20

Lp.	Nazwa spalarni lub współspalarni odpadów	Adres	Typ instalacji	Moc przerobowa [Mg/rok]	Odzysk energii w roku sprawozdawczym [GJ]	Odpady poddawane termicznemu przekształceniu
23	Spalarnia w kotłowni Z-1	ul. Cieszyńska 99, 43-385 Jasienica	Spalarnia	20 000,00	65000	03 01 05 03 01 99
24	Tauron Ciepło Sp. z o. o. Zakład Wytwarzania EC-2	ul. Legionów 243a, 43-502 Czechowice-Dziedzice	Współspalarnia – % masy w ogólnej masie spalnego paliwa konwencjonalnego: 0,03	150,00	1 057,69	10 01 21
25	Zakład Z-2 Knurów	ul. Kopalniana 2, 44-190 Knurów	Współspalarnia – % masy w ogólnej masie spalnego paliwa konwencjonalnego: 3,04	17 000,00	14 973,00	03 01 05

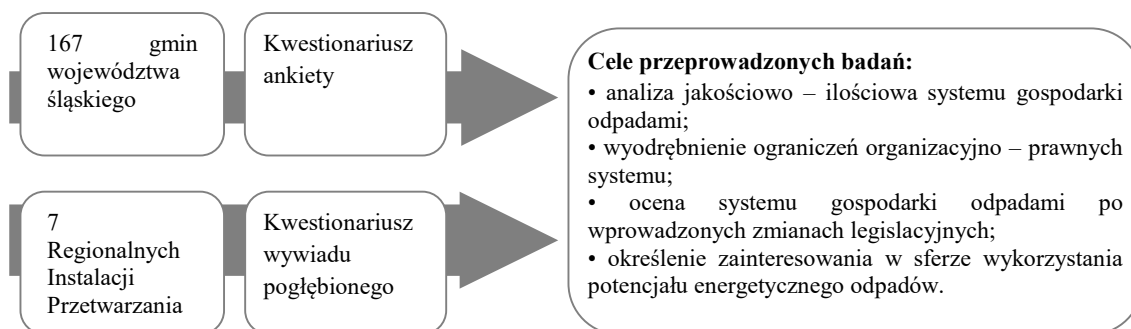
Źródło: dane Urzędu Marszałkowskiego Województwa Śląskiego

Nowy obowiązek wpisania inwestycji z obszaru gospodarki odpadami do Wojewódzkiego Planu Gospodarki Odpadami ma na celu stworzenie systemu gospodarki odpadami opartego o racjonalne planowanie sposobów zagospodarowania dostępnych strumieni odpadów. Z wyżej wymienionych instalacji tylko jeden podmiot ma możliwość spalania lub współspalania odpadów komunalnych grupy 20, a cztery podmioty – odpadów z instalacji grupy 19, w tym paliw alternatywnych.

10.2. Przebieg procesu badawczego

W celu analizy stanu aktualnego systemu gospodarki odpadami na terenie województwa śląskiego przeprowadzono badania ankietowe oraz wywiady pogłębione wśród kluczowych podmiotów gospodarki odpadami, tj. samorządów gmin oraz przedstawicieli regionalnych instalacji przetwarzania odpadów. Badania prowadzone były w terminie od 1 lutego 2014 roku do 31 marca 2014 roku oraz dotyczyły stanu systemu gospodarki odpadami za rok 2013.

Schematyczny proces badawczy został zaprezentowany na rysunku 14.



Rysunek 14 Schemat procesu badawczego.

Źródło: opracowanie własne

Wybór technik badawczych był ściśle związany z ilością oraz rozprzestrzenieniem grup badawczych, jak również z zakresem potrzebnych danych. Badaniami objęte zostały podmioty odgrywające istotną rolę w systemie gospodarki odpadami oraz realizujące swoje działania na terenie województwa śląskiego.

Przed przystąpieniem do badań nawiązano kontakt z grupą badawczą poprzez telefoniczne i elektroniczne kanały komunikacyjne. Ten bezpośredni kontakt z adresatami badań pozwolił na przekazanie celu prowadzonych badań oraz omówienie najważniejszych założeń.

Podstawowymi narzędziami badań były opracowane arkusze ankiet oraz wywiadu pogłębionego. Ich treść dostosowana była do formy badań, a czytelny przekaz miał na celu zniwelowanie problemów ze zrozumieniem pytań.

Grupa badawcza procesu ankietyzacji obejmowała 167 gmin województwa śląskiego. Arkusze ankiet były kierowane bezpośrednio do pracowników urzędów, odpowiedzialnych za organizację systemu gospodarki odpadami w tychże gminach.

W przypadku wywiadu pogłębionego z ekspertem grupę badawczą stanowiły podmioty mające (na dzień prowadzonych badań) status Regionalnych Instalacji Przetwarzania Odpadów oraz znajdujące się na terenie województwa śląskiego. Listę przedsiębiorstw, do których skierowano prośby o udział w badaniach, przedstawiono w tabeli 16.

Eksperski dobór próby badawczej wynikał z kilku powodów. Po pierwsze, ze względu na cel niniejszej monografii istotne było zapoznanie się z punktem widzenia głównych pracowników systemu gospodarki odpadami, którzy posiadają odpowiednią wiedzę i doświadczenie w zakresie zagospodarowywania odpadów komunalnych. Po drugie, przeprowadzenie badań wśród kluczowych podmiotów łańcucha usuwania odpadów śląskiego systemu gospodarki odpadami umożliwiło generalizację uzyskanych wyników. Dzięki temu możliwe było przeniesienie pozyskanych danych na pozostałe wojewódzkie systemy w obrębie całego kraju. Ostatnim czynnikiem wpływającym na dobór próby była potrzeba wyodrębnienia grupy gmin, która będzie stanowić podstawę do weryfikacji modelu.

Tabela 16 Regionalne Instalacje Przetwarzania Odpadów zlokalizowane na terenie województwa śląskiego, stanowiące grupę badawczą

Lp.	Nazwa Instalacji	Region	Dane kontaktowe	Rodzaj
1.	PPHU Komart Sp. z o.o.	Region 3	ul. Szpitalna 7, 44-194 Knurów	Instalacja MBP, składowisko odpadów komunalnych
2.	BEST-EKO Sp. z o.o.	Region 3	ul. Rycerska 101, 44-251 Rybnik	Kompostowanie w przyzmach / fermentacja metanowa w komorach
3.	Częstochowskie Przedsiębiorstwo Komunalne Sp. z o.o.	Region 1	ul. Konwaliowa 1 42-263 Wrzosowa	Instalacja MBP, składowisko odpadów komunalnych
4.	Miejskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej Sp. z o.o.	Region 2	ul. Lecha 10 41-800 Zabrze	Instalacja MBP
5.	Miejskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej Sp. z o.o.	Region 2	ul. Obroki 140 40-833 Katowice	Instalacja MBP
6.	Zakład Gospodarki Odpadami S.A.	Region 4	ul. Krakowska 315d 43-300 Bielsko-Biała	Instalacja MBP
7.	Beskid Żywiec Sp. z o.o.	Region 4	ul. Kabaty 2 34-300 Żywiec	Kompostowanie komorowe

Źródło: opracowanie własne

W punktach 10.3 i 10.4 niniejszej monografii przedstawiono wybrane wyniki przeprowadzonych badań ankietowych oraz wywiadu pogłębionego.

Struktura kwestionariusza pytań wywiadu pogłębionego z Ekspertem

W celu poznania niezależnej opinii Ekspertów z dziedziny gospodarki odpadami opracowano kwestionariusz wywiadu pogłębionego, którego tematyka opierała się na techniczno-

logistycznych uwarunkowaniach związanych z działalnością instalacji RIPOK, jak również na ocenie bieżącej sytuacji funkcjonowania systemu po wprowadzonych zmianach legislacyjnych.

Wywiad miał na celu pozyskanie informacji, które mogły pomóc w udzieleniu odpowiedzi na następujące pytania:

- Jaka jest aktualna sytuacja w badanych zakładach w województwie śląskim (analiza ilościowa i jakościowa procesów gospodarowania odpadami)?
- Jak oceniane są możliwości spełnienia wymagań dotyczących ograniczenia ilości składowanych odpadów i zwiększenia udziału odzysku?
- Jakie są ograniczenia w prawidłowym i efektywnym pełnieniu funkcji przez zakładu?
- Jakie inwestycje będą realizowane w celu poprawy aktualnego stanu gospodarki odpadami?

Kwestionariusz indywidualnego wywiadu został podzielony na dwie części – pytania szczegółowe, które dotyczyły przedmiotu wywiadu oraz podsumowanie Eksperta – będące polem dodatkowych uwag respondenta.

Treść pytań szczegółowych przedstawiała się następująco:

- Jak ocenia Pani/Pan aktualną sytuację w obszarze gospodarki odpadami na terenie województwa śląskiego po wprowadzonych w 2013 roku zmianach? Proszę uzasadnić swoją ocenę.
- Proszę określić wydajność instalacji przynależących do zakładu oraz stopień wykorzystania dostępnych mocy przerobowych.
- Czy są Państwo w stanie zagospodarować odpady z gmin należących do regionu, w którym funkcjonuje RIPOK oraz jak oceniają Państwo stopień współpracy z gminami?
- Jakie są najpilniejsze potrzeby i problemy do rozwiązania w związku z funkcjonowaniem RIPOK?
- Jakie działania inwestycyjne należy podjąć, aby poprawić aktualny stan oraz które z inwestycji będą w najbliższych latach wdrażane?
- Na jakie utrudnienia napotkały RIPOK podczas wdrażania nowej ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach oraz w jaki sposób Państwo usprawnili system?
- Czy uzasadnione jest korzystanie z instalacji zastępczych na terenie regionu, w którym funkcjonuje Państwa RIPOK, czy wydajność jest wystarczająca do zagospodarowania wszystkich strumieni odpadów? Proszę określić stopień konkurencji w regionie.
- W jaki sposób postępuje się z frakcją kaloryczną na terenie zakładu? Czy produkowane jest paliwo alternatywne (RDF)? Gdzie jest odsprzedawane?
- W jaki sposób postępuje się z odpadami organicznymi oraz jak zagospodarowany jest kompost?
- Jaki jest sposób postępowania z przesortowanymi odpadami zmieszanymi?
- Jaka część przyjętych odpadów (balast) trafiła w 2013 roku na składowiska?
- Jak oceniane są możliwości spełnienia wymagań dotyczących ograniczenia ilości składowanych odpadów i zwiększenia udziału odzysku?

W przypadku każdego wywiadu, po odpowiedzi na wyżej wspomniane pytania, każdy z Ekspertów był proszony o dodatkowe uwagi, które nasunęły się podczas przeprowadzonego badania. Dało to możliwość szerszego spojrzenia na temat z punktu widzenia praktyków, których opinie stanowią cenne źródło tematów problemowych i otwierają potencjalne obszary badawcze.

10.3. Opracowanie wyników przeprowadzonego procesu ankietyzacji

W ramach przeprowadzonego procesu ankietyzacji otrzymano zwrot 72 ankiet, co stanowiło 43% ankiet przekazanych wszystkim gminom (tab. 17). Najwięcej odpowiedzi udzieliły gminy wiejskie (46%), następnie gminy miejskie (24%), a najmniej, *ex aequo*, gminy miejsko-wiejskie oraz miasta na prawach powiatu (15%).

W arkuszu ankiety wykorzystano pytania zamknięte, otwarte i półotwarte. Konstrukcja kwestionariusza umożliwiła pozyskanie informacji na temat przepływów ilościowych i jakościowych poszczególnych frakcji odpadów, zaobserwowanych problemów w ramach gospodarki odpadami oraz stosowanych praktyk organizacyjnych.

Tabela 17 Liczba gmin biorących udział w badaniu

Lp.	Wyszczególnienie	Liczba wszystkich gmin	Odsetek z liczby gmin, które odesłały ankietę
1	Rodzaje gmin	167	43%
1a	<i>Miasto na prawach powiatu</i>	19	58%
1b	<i>Gmina miejska</i>	30	53%
1c	<i>Gmina miejsko-wiejska</i>	22	50%
1d	<i>Gmina wiejska</i>	96	33%
2	Regiony gospodarki odpadami	167	43%
2a	<i>Region I</i>	48	46%
2b	<i>Region II</i>	34	44%
2c	<i>Region III</i>	47	38%
2d	<i>Region IV</i>	38	39%

Źródło: opracowanie własne

Należy jednak zauważyć, iż pomimo dużego poziomu zwrotności ankiet, nie wszystkie odpowiedzi na pytania zostały uzupełnione. Respondenci w odesłanych kwestionariuszach ankiet niejednokrotnie pozostawiali puste pola, odsyłali do biuletynu informacji publicznej lub mówili, że takich danych nie posiadają.

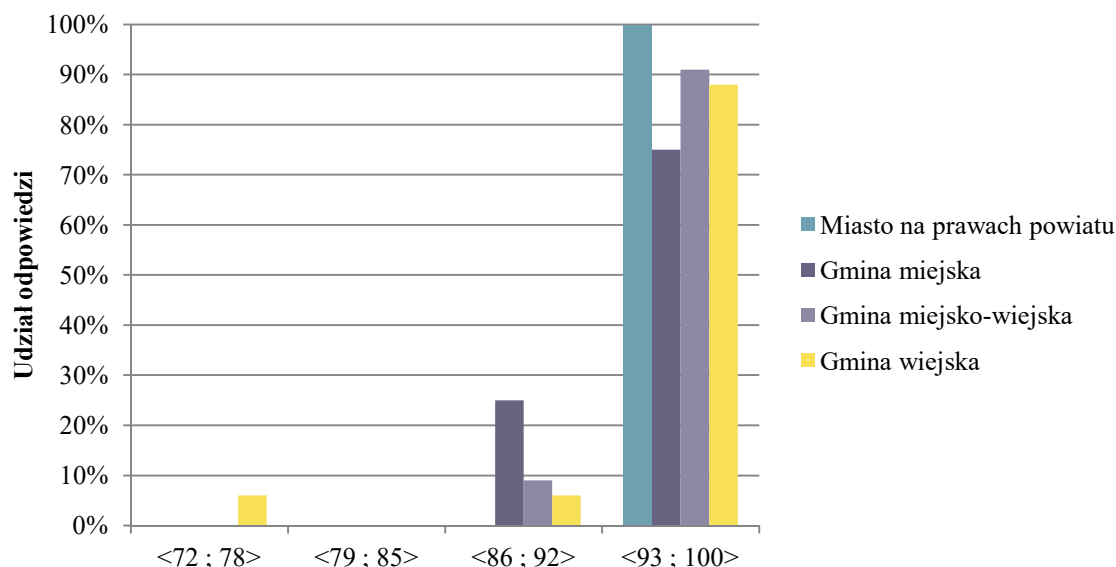
Ze względu na obszerny materiał badawczy, w monografii przedstawiono wybrane wyniki badań w odniesieniu do 4 bloków tematycznych na które został podzielony kwestionariusz ankiety adresowanej do gmin województwa śląskiego, tj.: organizacja systemu zbiórki, gospodarowanie odpadami, ocena funkcjonowania systemu i potencjał energetyczny odpadów.

A. ORGANIZACJA SYSTEMU ZBIÓRKI

Obszar tematyczny obejmował informacje na temat liczby mieszkańców objętych systemem zbiórki i zagospodarowania odpadów, morfologii oraz ilości zbieranych odpadów, a także organizacji transportu odpadów w gminie;

W pierwszym pytaniu respondenci zostali poproszeni o określenie procentowego udziału mieszkańców objętych systemem zbiórki odpadów komunalnych (w [%]) .

Wprowadzenie nowego systemu gospodarki odpadami w gminach wymagało zorganizowania systemu zbiórki dla wszystkich mieszkańców. Z przedstawionej analizy odpowiedzi wynika (rys. 15), iż ten obowiązek został spełniony, dzięki czemu zminimalizowano tym samym niekontrolowany przepływ odpadów.

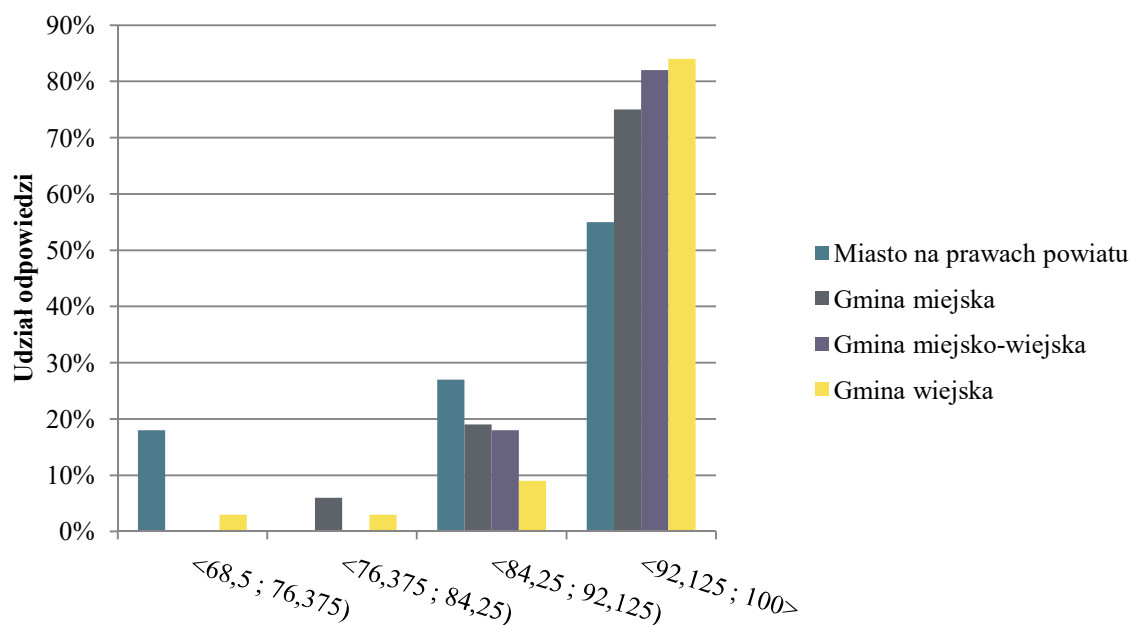


Rysunek 15 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 1

Źródło: opracowanie własne

W kolejnym pytaniu ankietowani określali procentowy udział mieszkańców segregujących odpady „u źródła” (w [%]).

Segregowanie odpadów w miejscu ich powstawania nadal stanowi kwestię problematyczną i wymaga odpowiednich działań edukacyjnych. Niższe opłaty za selektywną zbiórkę odpadów powodują, że większość mieszkańców decyduje się na ten typ zbiórki odpadów komunalnych (rys. 16).



Rysunek 16 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 2

Źródło: opracowanie własne

W badaniu ankietowym poproszono również o uzupełnienie danych liczbowych dotyczących masy zebranych odpadów komunalnych w 2013 roku z termu Gminy (Miasta).

Z otrzymanych informacji wynika, że występuje znaczna rozbieżność w średnich masach zebranych odpadów w zależności od rodzaju gminy. Istnieje zatem zasadność zdywersyfikowania badań ze względu na jednostki podziału administracyjnego (tab. 18).

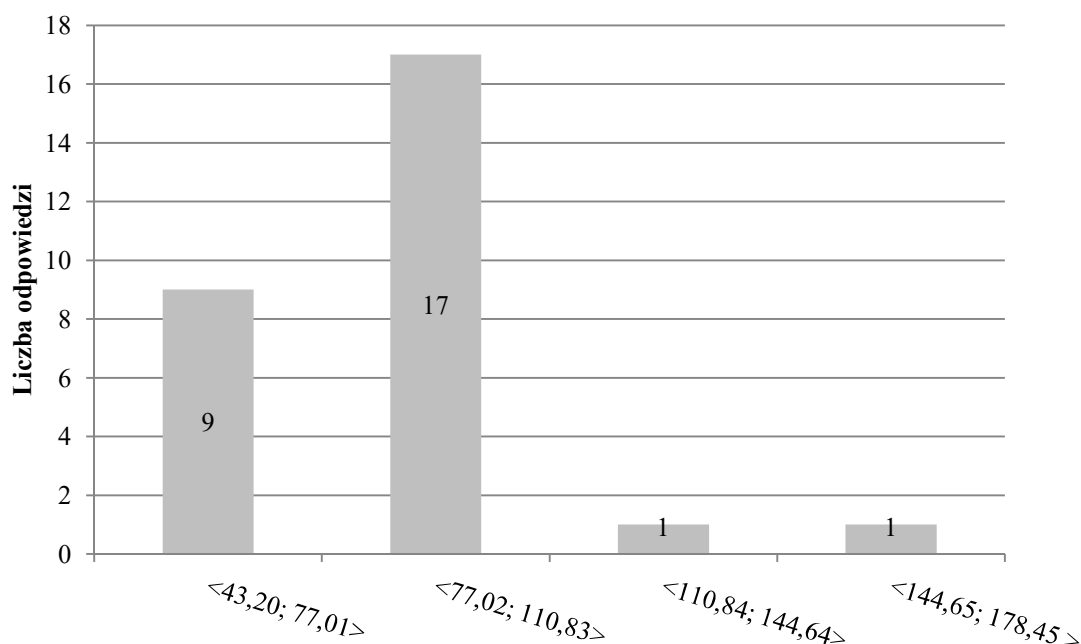
Tabela 18 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 3

Lp.	Rodzaj gminy	Średnia masa zebranych odpadów komunalnych ogółem [Mg/rok]	w tym z gospodarstw domowych [Mg/rok]
1	Wszystkie gminy	18 291,79	9 204,88
2	Miasto na prawach powiatu	56 599,44	29 730,49
3	Gmina miejska	9 983,55	2 841,48
4	Gmina miejsko-wiejska	4 849,28	2 917,12
5	Gmina wiejska	1 734,90	1 330,42

Źródło: opracowanie własne

W kolejnym pytaniu poproszono respondentów o podanie średniego odsetka masy zebranych odpadów do masy wytworzonych odpadów komunalnych (w [%]).

Na wielkość otrzymanych wyników ma wpływ przyjęty przez gminy wskaźnik wytwarzanych odpadów komunalnych. Wyniki powyżej 100% świadczą o potrzebie zweryfikowania wskaźnika, który może negatywnie wpływać na określenie nagromadzenia odpadów na mieszkańca, a tym samym na organizację systemu zbiórki (rys. 17).



Rysunek 17 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 4

Źródło: opracowanie własne

W przeprowadzonym badaniu ankietowali podali masę zebranych odpadów komunalnych w 2013 roku z terenu Gminy (Miasta) (w [Mg/rok]).

Największy udział w średniej masie zebranych odpadów stanowią odpady zmieszane (tab. 19). Otrzymany wynik potwierdza niski poziom selektywnej zbiórki odpadów. W celu dokładnej analizy masy zebranych odpadów komunalnych z dokładnym podziałem na kategorie odpadów analizie poddano sprawozdania gmin z gospodarowania odpadami komunalnymi za rok 2013 i 2014 (rozdz. 11.4.).

Tabela 19 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 6

Lp.	Rodzaje odpadów	Średnia masa [Mg/rok]			
		Miasto na prawach powiatu	Gmina miejska	Gmina miejsko-wiejska	Gmina wiejska
1	Odpady zmieszane	3 9301,72	7 023,14	3 758,99	1 271,60
2	Papier i tektura	1 014,33	172,96	215,94	27,16
3	Szkło	788,14	244,45	214,94	109,60
4	Tworzywa sztuczne	595,38	244,00	173,70	100,99
5	Metale	14,90	4,59	9,54	3,52
6	Tekstylia	45,04	4,41	0,50	1,18
7	Guma	4,95	14,31	7,30	2,92
8	Odpady niebezpieczne	14,24	5,26	4,35	0,64
9	Zużyte baterie i akumulatory	1,18	0,30	1,05	0,08
10	Zużyte urządzenia elektryczne i elektroniczne	38,88	15,07	13,37	3,82
11	Odpady wielkogabarytowe	1 397,19	167,81	83,22	61,80
12	Odpady ulegające biodegradacji	1 655,00	861,22	84,91	44,58

Źródło: opracowanie własne

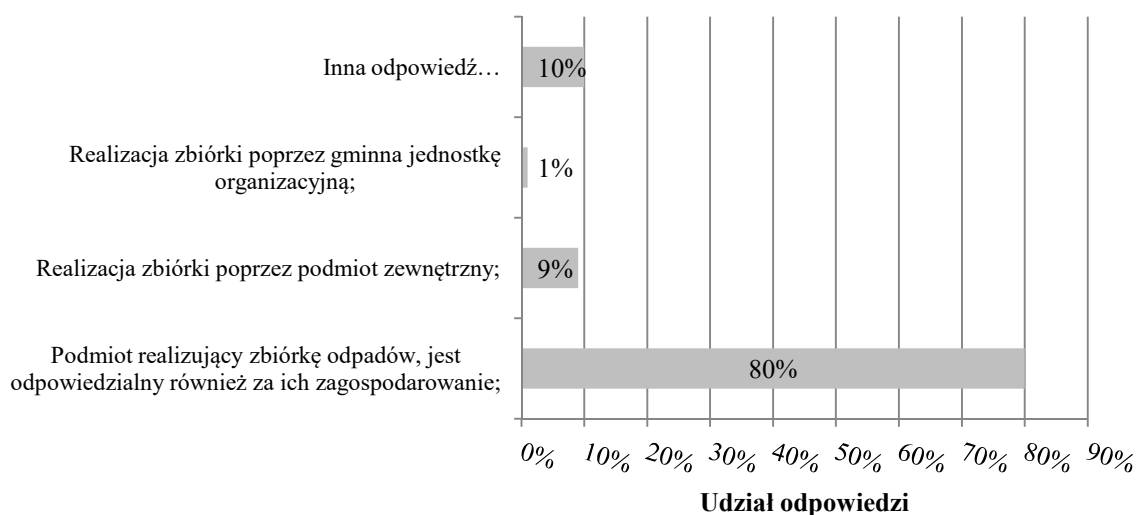
W jednym z pytań respondenci zostali poproszeni o wymienienie rodzaju frakcji odpadów selektywnie zbieranych od właścicieli nieruchomości (jednorodzinnych / wielorodzinnych) znajdujących się na terenie Gminy (Miasta).

Z otrzymanych odpowiedzi wynika, iż najczęściej wdrażany system selektywnej zbiórki uwzględnia podział na surowce wtórne – papier, metal, tworzywa sztuczne i szkło (66 odpowiedzi). Ostatnie doniesienia branżowe wskazują, iż podział na mokre i suche frakcje odpadów podnosi możliwość efektywnego odzysku. Wybór tego systemu gromadzenia odpadów deklarują 2 gminy.

Na pytanie dotyczące podmiotów odpowiedzialnych za zbiórkę odpadów na terenie Gminy (Miasta) większość gmin (90%) nie ma w swojej strukturze własnych jednostek realizujących zbiórkę odpadów, w związku z czym korzystają one z usług prywatnych przedsiębiorstw. Można przypuszczać, że realizacja zbiórki poprzez podmiot zewnętrzny (wyspecjalizowaną firmę wywozową) jest wariantem efektywniejszym kosztowo od utrzymywania własnych jednostek. Tylko 10% gmin realizuje zbiórkę poprzez gminną jednostkę organizacyjną wykonującą zadania samodzielnie lub przy współpracy z podmiotami prywatnymi.

Przeprowadzone badanie weryfikowało również grupę podmiotów odpowiedzialnych za gospodarowanie odpadami na terenie Gminy (Miasta).

Przenoszenie odpowiedzialności za gospodarowanie odpadami na przedsiębiorstwa zajmujące się ich transportem daje wiele korzyści. Jedną z kluczowych kwestii jest osiągnięcie wymaganych poziomów odzysku i recyklingu wybranych frakcji odpadów, za które odpowiedzialne są przedsiębiorstwa wykonujące usługę na rzecz gmin (rys. 18).

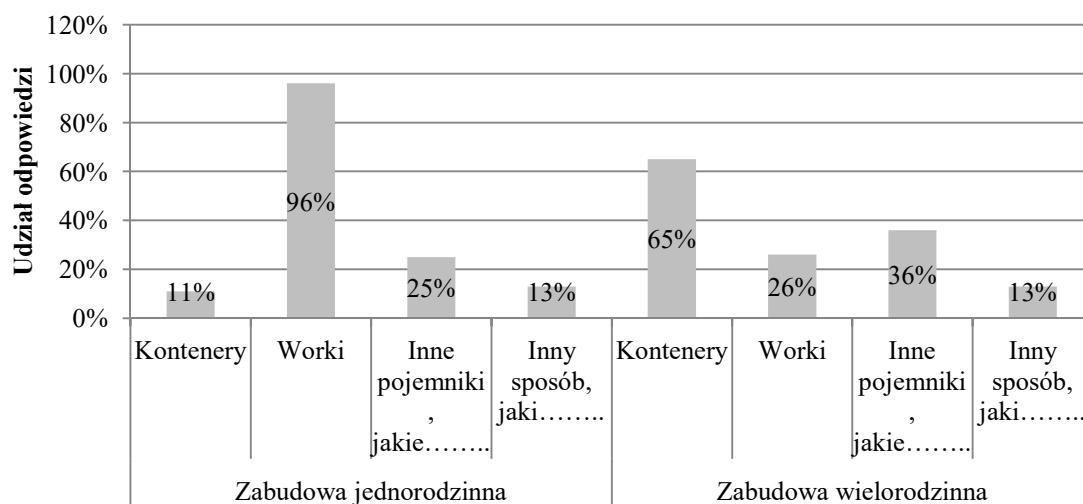


Rysunek 18 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 9

Źródło: opracowanie własne

Na pytanie dotyczące sposobu segregowania odpadów na terenie Gminy (Miasta) otrzymano wyniki przedstawione na rysunku 19.

Na podstawie otrzymanych informacji można wyodrębnić dwa główne trendy: w wykorzystaniu worków do gromadzenia odpadów z zabudowy jednorodzinnej, jak również kontenerów w zabudowie wielorodzinnej. Poza wymienionymi sposobami gromadzenia odpadów gminy wyszczególniają gniazda dzwonów, PSZOK, wystawki, gabaryty, mobilne punkty zbiórki, „altanki śmieciowe”, oraz pojemniki ulokowane w aptekach (przeterminowane i nieużyteczne lekarstwa).

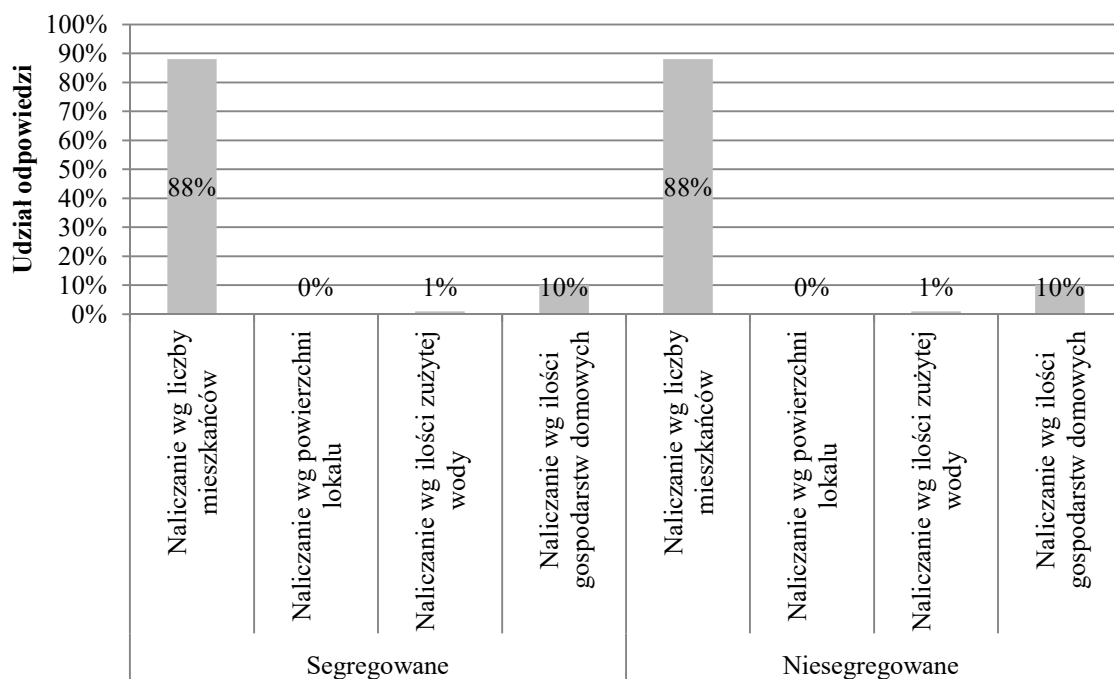


Rysunek 19 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 11

Źródło: opracowanie własne

Ankietowani zostali również poproszeni o określenie metod, które wykorzystują podczas obliczania opłat za gospodarowanie odpadami na terenie Gminy (Miasta).

Najczęściej wybraną metodą naliczania opłat za gospodarowanie odpadami jest metoda według liczby mieszkańców (88%). Średnio w 2013 roku opłaty za gospodarowanie odpadami, naliczane w ten sposób wynosiły za odpady segregowane – 9,02 [zł/os.] i za odpady niesegregowane 17,05 [zł/os.] (rys. 20).



Rysunek 20 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 12

Źródło: opracowanie własne

B. GOSPODAROWANIE ODPADAMI

Blok tematyczny dotyczył podmiotów odpowiedzialnych za gospodarowanie poszczególnymi frakcjami zebranych odpadów, poziomów odzysku, recyklingu i unieszkodliwiania odpadów.

W pierwszym pytaniu tej części poproszono o zaznaczenie Regionalnej Instalacji Przetwarzania Odpadów Komunalnych z której korzysta Gmina (Miasto).

Do Regionalnych Instalacji Przetwarzania odpadów komunalnych, zgodnych z ustaleniami WPGO, kieruje swoje odpady 65% gmin. Brak odpowiednich mocy przerobowych RIPOK powoduje skierowanie części odpadów komunalnych do instalacji zastępczych (35%).

Badania ankietowe weryfikowały również miejsca do których kierowane są wyszczególnione grupy odpadów (w tym odpady opakowaniowe) wytwarzane na terenie Gminy (Miasta).

W analizie został uwzględniony podział na obowiązujące w województwie śląskim Regiony Gospodarki Odpadami. O szerokim rozproszeniu lokalizacyjnym instalacji świadczy kierowanie odpadów do podmiotów znajdujących się poza województwem. Uwzględniając odpowiedzi udzielone na pytanie, należy wnioskować, iż za wybór lokalizacji w 80% przypadkach odpowiedzialne są firmy zewnątrz realizujące dla Gmin transport odpadów.

W ramach badania poproszono reprezentantów Gmin (Miast) objętych badaniem o podanie wartości wskaźników ujętych w rocznym sprawozdaniu kierowanym do Marszałka Województwa.

Na rok 2013 wymagany poziom recyklingu odpadów wtórnych, uwzględniając średnią odpowiedzi, został osiągnięty (według rozporządzenia wynosił 12%). Niski poziom ograniczenia masy odpadów komunalnych ulegających biodegradacji i kierowanych do składowania, który zgodnie z wymaganiami powinien wynosić 50%, wymaga podjęcia dodatkowych działań (tab. 20).

Tabela 20 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 16

Lp.	Wyszczególnienie	Średnia odpowiedzi
1	Osiągnięty poziom recyklingu, przygotowania do ponownego użycia następujących frakcji odpadów: papieru, metali, tworzyw sztucznych i szkła	27,70%
2	Osiągnięty poziom ograniczenia masy odpadów komunalnych ulegających biodegradacji kierowanych do składowania	9,42%

Źródło: opracowanie własne

C. OCENA FUNKCJONOWANIA SYTEMU

Blok tematyczny poruszał kwestie związane ze stopniem poinformowania mieszkańców o funkcjonującym systemie oraz ze stanem przygotowania gminy do spełnienia celów dotyczących ochrony środowiska i gospodarki odpadami;

Tabela 21 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 19

Lp.	Wyszczególnienie	Średnia ocena				
		<i>Miasto na prawach powiatu</i>	<i>Gmina miejska</i>	<i>Gmina miejsko-wiejska</i>	<i>Gmina wiejska</i>	Średnia dla wszystkich odpowiedzi
1	Stopień poinformowania / edukacji mieszkańców o zasadach wprowadzonego na terenie Gminy (Miasta) systemu gospodarki odpadami komunalnymi	4,5	4,1	4,4	4,2	4,3
2	Stopień realizacji selektywnej zbiórki przez mieszkańców	3,6	4	4,1	4,1	3,95
3	Stopień realizacji zadań powierzonych podmiotowi zajmującemu się zbiórką i/lub gospodarką odpadami	4,2	4	4,3	3,8	4,075
4	Efekty działań związanych z osiągnięciem odpowiednich poziomów recyklingu / odzysku odpadów ulegających biodegradacji	4,4	4,2	4,3	4	4,225
5	Stopień przygotowania do ponownego wykorzystania i recyklingu surowców wtórnych	4,1	3,9	4,1	3,9	4
6	Stopień funkcjonowania PSZOK na terenie Gminy (Miasta)	4,6	4,1	4,4	3,8	4,225
7	Stopień realizowanych zadań obejmujących ograniczenie negatywnego oddziaływania na środowisko	4,3	3,9	4,2	3,9	4,075

Źródło: opracowanie własne

W badaniu poproszono o ocenę (w skali 1 do 5) wyszczególnionych kwestii związanych z systemem gospodarki odpadami na terenie Gminy (Miasta).

Skala możliwych ocen wynosiła odpowiednio: 1 – nie wprowadzono takich działań, 2 – zły (wymaga reorganizacji), 3 – zadowolający (wymagający udoskonalenia), 4 – dobry (spełniający wymagania w granicach dopuszczalności), 5 – bardzo dobry (niewymagający zmian, spełniający w bardzo dobrym stopniu nałożone wymagania). Badane Gminy zapewniają o dobrym poziomie spełnienia wymagań, co jednak w przypadku niezapewnienia i niewdrożenia odpowiednich działań doskonalących może znacznie osłabić ocenę (tab. 21).

Na pytanie dotyczące wyszczególnienia słabych punktów systemu gospodarki odpadami na terenie Gminy (Miasta) analiza otrzymanych odpowiedzi umożliwiła wyodrębnienie kluczowych problemów systemu gospodarki odpadami, z którymi zmagają się Gminy (rys. 21). Palenie odpadów komunalnych w domowych kotłach jest jedną z najczęściej pojawiających się odpowiedzi. Brak odpowiedniej kontroli nad tym zjawiskiem i właściwych środków zaradczych powoduje poważne zagrożenie dla środowiska.



Rysunek 21 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 20

Źródło: opracowanie własne

Respondenci w badaniu ocenili również możliwość realizacji celów szczegółowych w gospodarce odpadami przyjętych według WPGO 2014.

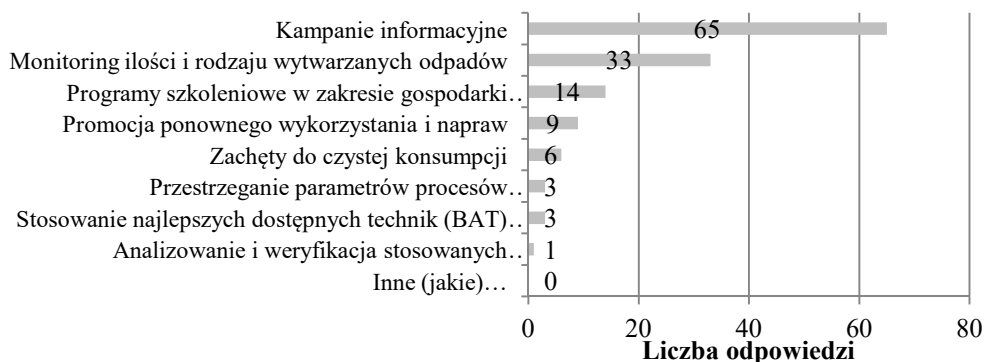
Tabela 22 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 21

Lp.	Wyszczególnienie	Udział odpowiedzi wg celów			
		Cele niemożliwe do zrealizowania	Cele niemożliwe do zrealizowania w podanym przedziale czasowym	Działania w trakcie realizacji	Działania zrealizowane
1	Objęcie zorganizowanym systemem odbierania odpadów komunalnych wszystkich mieszkańców najpóźniej do 2015 roku	0%	1%	46%	53%
2	Objęcie wszystkich mieszkańców systemem selektywnego zbierania odpadów najpóźniej do 2015 roku	3%	4%	62%	31%
3	Zmniejszenie ilości odpadów komunalnych ulegających biodegradacji unieszkodliwianych przez składowanie (...)	2%	8%	52%	38%
4	Przygotowanie do ponownego wykorzystania i recyklingu materiałów odpadowych przynajmniej takich jak papier, metal, tworzywa sztuczne i szkło (...)	2%	16%	61%	22%
5	Wydzielenie odpadów wielkogabarytowych ze strumienia odpadów komunalnych (...)	0%	6%	80%	14%
6	Wydzielenie odpadów budowlano-remontowych ze strumienia odpadów komunalnych (...)	0%	9%	69%	22%
7	Wydzielenie odpadów niebezpiecznych ze strumienia odpadów komunalnych (...)	0%	11%	77%	12%
8	Selektywne zbieranie odpadów kuchennych i ogrodowych ulegających biodegradacji (...)	2%	6%	78%	14%
9	Selektywne zbieranie odpadów z terenów zielonych (...)	5%	16%	72%	8%

Źródło: opracowanie własne

Gminy zapewniają o zadowalającym poziomie realizacji celów Wojewódzkiego Planu Gospodarki Odpadami 2014. Istnieją zatem przesłanki do stwierdzenia, że gminne systemy gospodarki odpadami prowadzone są zgodnie z wymaganiami prawnymi (tab. 22).

W kolejnym pytaniu ankietowali zostali poproszeni o zaznaczenie działań zapobiegających powstawaniu odpadów, które zostały wprowadzone na terenie Gminy (Miasta).

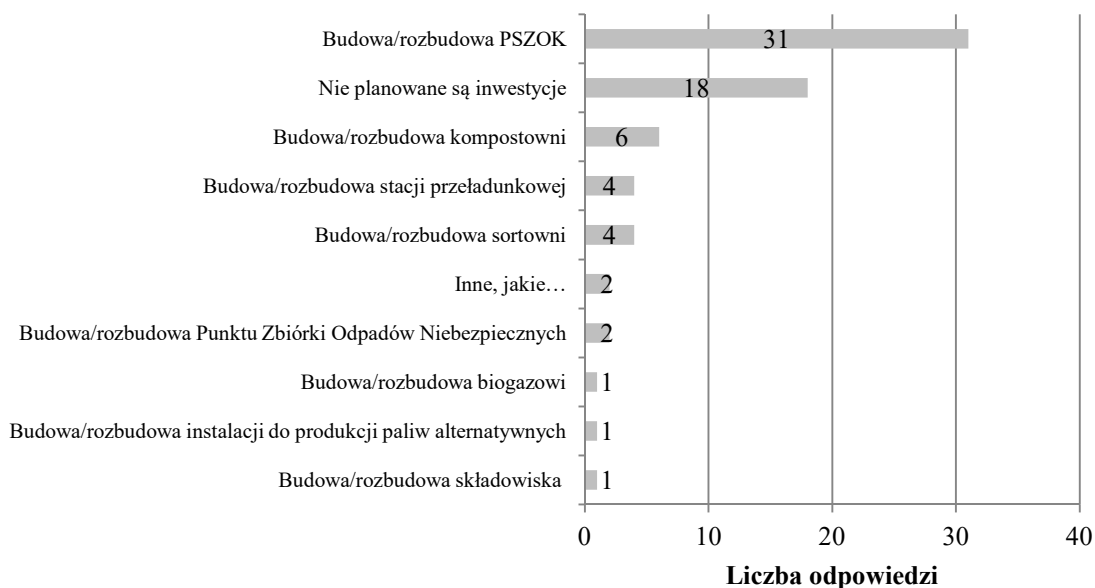


Rysunek 22 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 22

Źródło: opracowanie własne

W ramach zapobiegania powstawaniu odpadów, a tym samym promowaniu ponownego ich użycia, największy nacisk został położony na działania informacyjne. Edukacja społeczeństwa stanowi jeden z kluczowych aspektów strategicznych polityki ekologicznej kraju, dlatego właściwe jej przeprowadzanie może przynieść spodziewane efekty wymagane przez dyrektywy UE (rys. 22).

Działania inwestycyjne Gminy, które były przedmiotem kolejnego pytania ankietowego, w większości ograniczają się do budowy / rozbudowy wymaganych UCPG – Punktów Selektywnej Zbiórki Odpadów (PSZOK). Należy również zwrócić uwagę na to, iż duży udział Gmin nie planuje inwestycji w obszarze gospodarki odpadami lub nie posiada informacji o planowanych projektach wdrożeniowych (rys. 23).



Rysunek 23 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 23

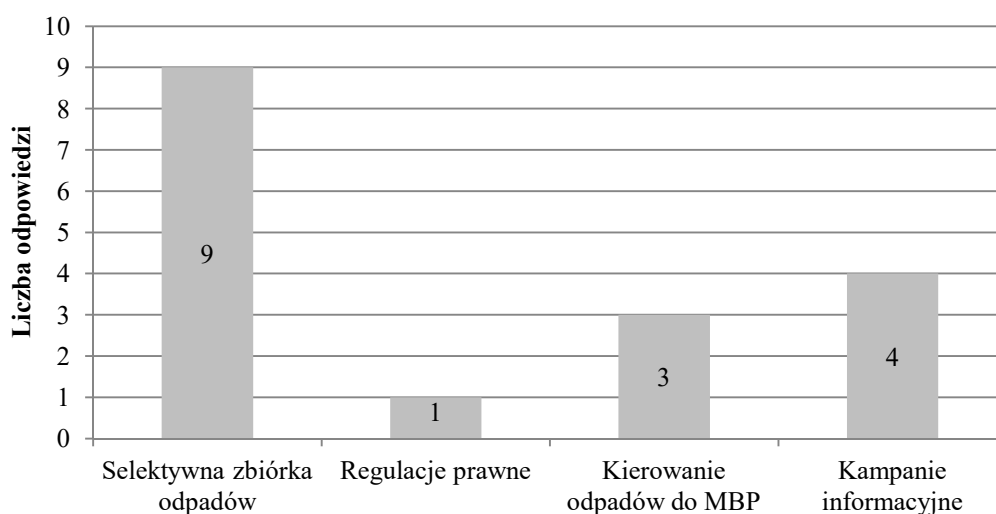
Źródło: opracowanie własne

D. POTENCJAŁ ENERGETYCZNY ODPADÓW

W tej części badane było zainteresowanie gmin wykorzystaniem potencjału energetycznego odpadów; poruszone zostały przy tym kwestie inwestycji w nowe technologie termicznego przekształcania odpadów z odzyskiem energii

W pierwszym pytaniu tego bloku tematycznego poproszono ankietowanych o wyszczególnienie działań na terenie Gminy (Miasta), zostały podjęte w celu ograniczenia ilości odpadów palnych (o wartości energetycznej powyżej 6 [MJ/kg]) kierowanych na składowisko.

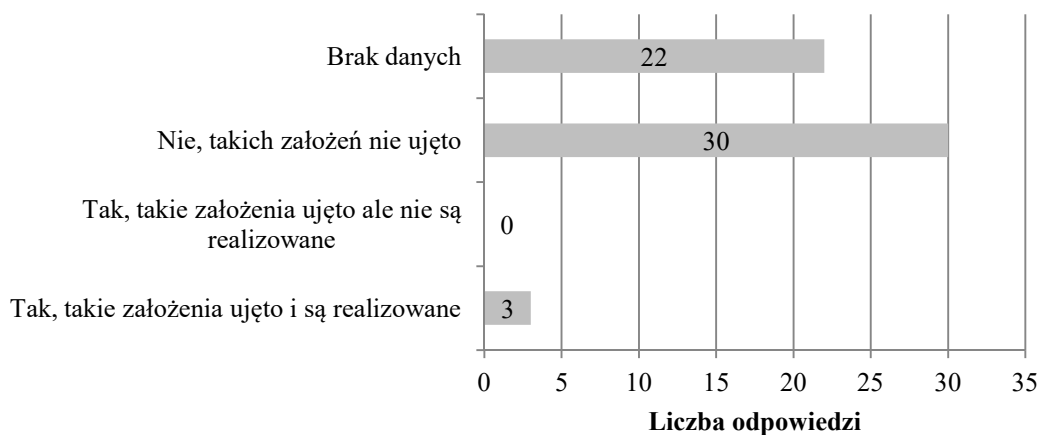
Gminy nie mają obowiązku wprowadzenia takich działań tylko w wypadku, gdy zbiórką i zagospodarowaniem odpadów zajmują się podmioty zewnętrzne. Udział odpowiedzi na poziomie 21% świadczy o niewielkim zaangażowaniu Gmin w ograniczenie ilości odpadów palnych deponowanych na składowiska (rys. 24).



Rysunek 24 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 25

Źródło: opracowanie własne

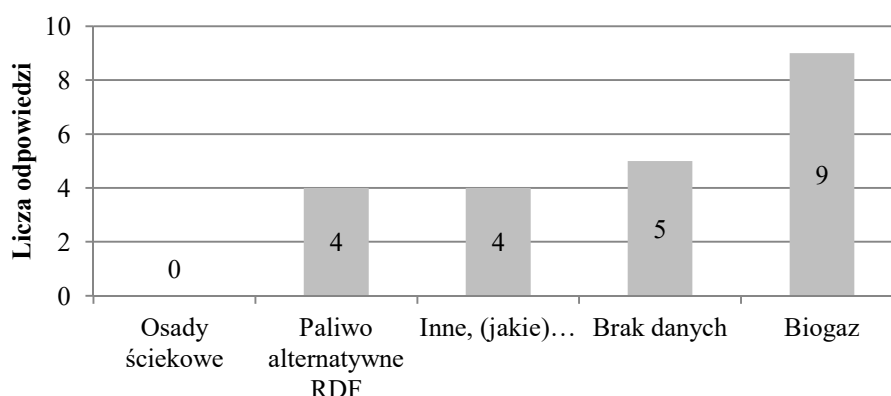
Kolejne pytanie miało na celu pozyskanie informacji na temat wspierania działań na rzecz wykorzystania odpadów do celów energetycznych. Analiza odpowiedzi (rys. 25) potwierdza małe zainteresowanie Gmin problematyką energetycznego wykorzystania odpadów. Taka postawa często blokuje inwestycje związane z termicznym przekształcaniem odpadów.



Rysunek 25 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 26

Źródło: opracowanie własne

W ostatnim pytaniu poproszono respondentów o odpowiedź na pytanie dotyczące określenia rodzaju paliw alternatywnych, które są pozyskiwane na terenie Gminy (Miasta) w celu produkcji energii elektrycznej i/lub ciepłej.



Rysunek 26 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 27

Źródło: opracowanie własne

Bazując na udzielonych odpowiedziach (rys. 26), powiedzieć można, że biogaz jest najczęściej pozyskiwanym paliwem alternatywnym. Wiele zalet przemawiających za wykorzystywaniem biogazu przekłada się na poziom zainteresowania nim producentów energii odnawialnej.

10.3.1 Podsumowanie przeprowadzonego procesu ankietyzacji

Nowelizacja ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach zapoczątkowała okres istotnych zmian w systemie gospodarki odpadami na przestrzeni zarówno gminy, jak i województwa. Obowiązek organizowania i zarządzania strumieniem odpadów komunalnych przez samorządy ma na celu udoskonalenie nadzoru nad przepływem odpadów tak, aby osiągnąć wymagane poziomy odzysku i recyklingu.

Głównym założeniem przeprowadzonych badań ankietowych wśród gmin województwa śląskiego było uchwycenie obrazu aktualnego systemu gospodarki odpadami z perspektywy samorządów. Konieczność koordynowania wszystkich procesów umożliwiła gminom bieżący nadzór nad funkcjonowaniem systemu oraz jego bieżącą ocenę. Wysoki poziom zwrotności kwestionariuszy ankiet (43%) umożliwił wyszczególnienie istotnych wniosków, które były podstawą formułowania problemów badawczych systemu gospodarki odpadami województwa śląskiego.

Podczas procesu ankietyzacji ze względu na niską wartość merytoryczną i potencjalne błędy odrzucono część kwestionariuszy. Czynniki, które mogły wpłynąć na obniżenie wartości badawczej, były m.in.:

- brak odpowiednich danych w zasobach Gmin oraz brak badań i analiz (np. morfologicznych) odpadów komunalnych;
- przekazanie niewiarygodnej informacji na temat masy odpadów, stosowanie różnych jednostek miar;
- niechęć samorządów do udziału w badaniach, zbyt szczegółowe pytania;
- niedostateczna wiedza respondentów na temat działań i inwestycji realizowanych na terenie gminy;

- brak sformułowanych planów i celów z zakresie gospodarowania odpadami.

Pomimo tych ograniczeń bogaty zasób informacji z pozyskanych z ankiet umożliwił sformułowanie najważniejszych wniosków, które zostały podzielone tematycznie:

1. Organizacja systemu zbiórki

- a) Znacząca większość Gmin objęła systemem zbiórki odpadów ponad 93% mieszkańców, którzy zadeklarowali segregowanie odpadów „u źródła”.
- b) Największy udział odpadów zebranych w 2013 roku we wszystkich analizowanych Gminach stanowią odpady zmieszane – średnio 82% wszystkich zebranych odpadów.
- c) Z otrzymanych odpowiedzi wynika, iż Gminy realizując zbiórkę odpadów poprzez wyspecjalizowaną firmę zewnętrzną (90%), przenoszą również odpowiedzialność za ich zagospodarowanie (80%) prywatnym przedsiębiorstwom.
- d) Najczęściej wykorzystywanymi opakowaniami do gromadzenia odpadów są w zabudowie jednorodzinnej worki (96%), a w zabudowie wielorodzinnej – kontenery (65%).
- e) Ankietyzacja Gmin wykazała, że 88% respondentów wykorzystuje naliczanie według liczby mieszkańców jako metodę obliczania opłat za gospodarowanie odpadami. Średnio w 2013 roku opłata wynosiła 9,02 [zł/os.] za odpady segregowane i 17,05 [zł/os.] w przypadku odpadów niesegregowanych.
- f) Gminy zorganizowały mobilne i stacjonarne punkty zbiórki różnych frakcji odpadów, w tym m.in. leków, odpadów wielkogabarytowych, odpadów elektronicznych i elektrycznych, odpadów budowlanych, zielonych.

2. Gospodarowanie odpadów

- a) Z otrzymanych odpowiedzi wynika, że większość gmin kieruje odpady zmieszane i zielone do RIPOK, przydzielonych według WPGO (65%).
- b) Pytanie dotyczące instalacji, do których kierowane są pozostałe frakcje odpadów, wykazało, że występuje duże rozproszenie lokalizacyjne przedsiębiorstw zajmujących się gospodarką odpadami. Nie można zatem mówić o spełnieniu zasady bliskości.
- c) Średni poziom recyklingu, przygotowania do ponownego użycia następujących frakcji odpadów: papieru, metali, tworzyw sztucznych i szkła wynosi 27,70%. Docelowo powinien wynosić co najmniej 50% wagowo. W przypadku ograniczenia masy odpadów komunalnych ulegających biodegradacji kierowanych do składowania, osiągnięty średni poziom wskaźnika wynosi 9,42%. Docelowo – do dnia 16 lipca 2020 r. – nie więcej niż 35% całkowitej masy odpadów komunalnych ulegających biodegradacji może być składowanych. Istnieje zagrożenie niespełnienia wymaganych poziomów recyklingu i odzysku.

3. Ocena funkcjonowania systemu

- a) Respondenci wysoko oceniają stopień poinformowania / edukacji mieszkańców o zasadach wprowadzonego systemu gospodarki odpadami. Podobne noty zostały przyporządkowane efektom działań związanych z osiągnięciem odpowiednich poziomów odzysku / recyklingu odpadów ulegających biodegradacji oraz stopniowi funkcjonowania PSZOK na terenie gminy. Najniżej oceniono stopień realizowania selektywnej zbiórki przez mieszkańców, co potwierdzone zostało dużym udziałem odpadów zmieszanych w masie zebranych odpadów.
- b) Największymi problemami związanymi z gospodarowaniem odpadami, które zaznaczali respondenci, są: palenie odpadów komunalnych w paleniskach domowych, ograniczenia prawne i narzucone wymagania, koszty odbioru i zagospodarowania odpadów oraz powstawanie „dzikich” składowisk.

- c) Próba weryfikacji możliwości osiągnięcia celów szczegółowych WPGO przez gminy wykazała, że większość gmin przyznaje, że zostały one podjęte lub zrealizowane. Średnio 5% respondentów uważa, że działania nie są możliwe do osiągnięcia w podanym przedziale czasowym lub w ogóle.
 - d) Należy zauważyć, że najbardziej popularną formą działań zapobiegających powstaniu odpadów jest kampania informacyjna. Mniejszym zainteresowaniem cieszą się monitoring wytwarzanych odpadów oraz programy szkoleniowe. Można wywnioskować, że samorządy nie mają pomysłów na zapobieganie powstawaniu odpadów i sięgają po najbardziej powszechne metody.
 - e) W przypadku planowanych inwestycji na terenie gmin większość respondentów deklaruje budowę lub rozbudowę PSZOK. Poza tym duża ilość samorządów nie planuje żadnych inwestycji. Jedną z możliwości interpretacji wyników jest brak zainteresowania gmin inwestycjami, ich blokowanie lub nieposiadanie informacji na temat planowanych wdrożeń.
 - f) Gminy ograniczają składowanie odpadów biodegradowalnych poprzez selektywną zbiórkę „u źródła” oraz promowanie przydomowych kompostowników.
4. Potencjał energetyczny odpadów
- a) Warto podkreślić, że udział odpowiedzi na tę część tematyczną kwestionariusza jest znacznie mniejszy od poprzednich. Może to świadczyć o braku zainteresowania respondentów tą problematyką lub o braku wystarczającej wiedzy. Istnieje zatem poważna luka kompetencyjna, która może przekładać się na poziom wykorzystania potencjału energetycznego odpadów w systemie gospodarki odpadami.
 - b) Badania wykazały, że nie są podejmowane działania mające na celu ograniczenie ilości odpadów palnych (o wartości energetycznej powyżej 6 [MJ/kg]) kierowanych na składowiska. Może mieć to związek z przekazaniem odpowiedzialności za gospodarowanie odpadami firmom zewnętrznym.
 - c) Respondenci przyznają, że nie ma opracowanych działań na rzecz wykorzystania odpadów do celów energetycznych. W niespełna połowie przypadków gminy ujawniają, że nie posiadają informacji na ten temat.
 - d) Biogaz jest najczęściej wybieranym paliwem alternatywnym, które produkuje się na terenie Gmin.

10.4. Opracowanie wyników wywiadu

Spośród siedmiu regionalnych instalacji przetwarzania odpadów trzy wyraziły zgodę na udział w badaniach. W tabeli 23 zaprezentowano najważniejsze informacje dotyczące próby badawczej.

Tabela 23 Próba badawcza wywiadu pogłębianego

Eksperci	Nazywa Instalacji	Dane kontaktowe	Rodzaj	Region
Ekspert 1	PPHU Komart Sp. z o.o.	ul. Szpitalna 7, 44-194 Knurów	Instalacja MBP, składowisko odpadów komunalnych	Region 3
Ekspert 2	BEST-EKO Sp. Z o.o.	ul. Rycerska 101, 44-251 Rybnik	Kompostowanie w przyzmach / fermentacja metanowa w komorach	Region 3
Ekspert 3	Częstochowskie Przedsiębiorstwo Komunalne Sp. z o.o.	ul. Konwaliowa 1, 42-263 Wrzosowa	Instalacja MBP, składowisko odpadów komunalnych	Region 1

Źródło: opracowanie własne

Struktura opracowania wyników przeprowadzonego wywiadu pogłębionego z Ekspertem składa się z pytań szczegółowych zawartych w kwestionariuszu wywiadu i z poszczególnych odpowiedzi Ekspertów. W związku z brakiem zgody na nagrywanie rozmów poniższe odpowiedzi są parafrazą pozyskanych informacji, mającą na celu przekazanie głównej myśli respondenta.

Na pytanie pierwsze dotyczące subiektywnej oceny aktualnej sytuacji w obszarze gospodarki odpadami na terenie województwa śląskiego po wprowadzonych w 2013 roku zmianach Ekspert 1 zwrócił uwagę, iż nowa ustawa znacznie poprawiła stan gospodarki odpadami dzięki właściwemu uporządkowaniu zadań między podmiotami. Aby jednak system działał poprawnie, konieczne jest właściwe zaangażowanie samorządów i osób odpowiedzialnych za stan gminnej gospodarki odpadami. Potrzebne jest również ujednolicenie przetargów przez gminy. W opinii Eksperta 2 zmiany na terenie instalacji związane z nową ustawą zostały przeprowadzone „bezboleśnie”, bez dodatkowych problemów. Każda zmiana budzi wątpliwości, jednak nowelizacja ustawy ma dobre założenia i przesłania. Ekspert 3 odnosząc się do postawionego pytania utrzymuje, że RIPOK otrzymuje ocenę pozytywną przede wszystkim dzięki stałemu dostępowi do strumieni odpadów. Dodatkowo, instalacja ta z chwilą wejścia ustawy otrzymała status regionalnej, bez potrzeby nowych inwestycji.

Podczas wywiadu poproszono również Ekspertów o określenie wydajności instalacji przynależących do zakładu oraz stopień wykorzystania dostępnych mocy przerobowych. Ekspert 1 ocenił stopień wykorzystania na poziomie 70% wszystkich instalacji. W przypadku Eksperta 2 reprezentującego instalacje kompostowania i zakład fermentacji metanowej, stopień wykorzystania wydajności wynosił odpowiednio 70% i około 30%. Ekspert 3 ocenił wykorzystanie instalacji MBP na poziomie 100%. Sortownia oraz instalacja do przetwarzania odpadów remontowych są wykorzystywane w nieznacznym stopniu.

Badanie umożliwiło również pozyskanie informacji na temat możliwości zagospodarowania przez instalacje odpadów z gmin należących do regionu, w którym funkcjonuje RIPOK oraz oceny poziomu współpracy z gminami. Według Eksperta 1 w regionie jest 3 razy więcej opadów, niż instalacja jest w stanie zagospodarować a mimo to wydajność nie jest w pełni wykorzystana. W przypadku kompostowni, z gmin odbierane są tylko zielone odpady a wydajność instalacji umożliwia zagospodarowanie wszystkich tego typu odpadów należących do regionu, który obsługuje instalacja. RIPOK reprezentowany przez Eksperta 3 musi zapewnić wydajność dla miasta Częstochowa, poza tym instalacje są w stanie obsłużyć wszystkie gminy, z wyjątkiem tych obejmujących okolice Zawiercia, gdzie istnieją instalacje zastępcze, a nieopłacalny jest transport do obiektu RIPOK.

W kolejnym pytaniu wywiadu Eksperci zostali poproszeni o określenie najpilniejszych potrzeb oraz problemów do rozwiązania w związku z funkcjonowaniem RIPOK. Zdaniem uczestników badania potrzebne są dodatkowe kontrole, obejmujące ocenę spełnienia wymagań ustawy. Powinno być to podstawą do odpowiedzi na pytanie, dlaczego gminy nie dostarczają odpadów do regionalnych instalacji, których wydajność pozwala na przyjęcie odpadów. Kontrole powinny obejmować RIPOK i instalacje zastępcze weryfikując stopień przygotowania, spełnienie wymagań, jak również analizę cen przyjęcia i zagospodarowania odpadów.

Podczas badania poproszono również o określenie utrudnień jakie RIPOK napotkały podczas wdrażania nowej ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach oraz w jaki sposób Państwo usprawnili system. Eksperci zgodnie stwierdzili, że wdrożenie nowej ustawy nie zmieniło sposobu funkcjonowania instalacji.

Kolejne pytanie wywiadu pozyskało informacje na temat sposobu postępowania z frakcją kaloryczną na terenie zakładu. W instalacji reprezentowanej przez Eksperta 1 prowadzone były wstępne rozmowy nad możliwością produkcji paliwa alternatywnego, jednak przez brak zbytu

i potencjalnych odbiorców zaprzestano konkretnych działań. Zdaniem eksperta na chwilę obecną ze względu na brak odpowiednich zapisów i rozporządzeń elektrociepłownie nie są zainteresowane zakupem paliw alternatywnych. Również w zakładzie którego przedstawicielem był Ekspert 3, RDF nie jest produkowany. Przed wzrostem cen odpady przekazywano do producentów, aktualnie są składowane i poszukuje się lepszych rozwiązań. Wykorzystuje się jednak instalację do ujęcia i energetycznego wykorzystania biogazu. Gaz składowiskowy przekształcany jest poprzez spalanie w silnikach gazowych w energię elektryczną, potem odsprzedawaną.

Na pytanie jaki jest sposób postępowania z posortowanymi odpadami zmieszanymi, Ekspert 1 odpowiedział, że surowce wtórne są odsprzedawane a największy problem jest ze zbytem szła. W RIPOK reprezentowanej przez Eksperta 3 wydzielone surowce wtórne są odsprzedawane, reszta trafia na składowisko.

Podając temat deponowania odpadów na składowiska Eksperti zostali poproszeni o określenie udziału procentowego przyjętych odpadów (balastu), który w 2013 został unieszkodliwiony przez składowanie. Odpowiedzi Ekspertów reprezentujących MBP były zgodne i według pozyskanych informacji ustalono, że około 50% masy przyjętych odpadów trafiło na składowiska – balast problemowy.

Wywiad pogłębiony zakończono pytaniem o ocenę możliwości spełnienia wymagań dotyczących ograniczenia ilości składowanych odpadów i zwiększenia udziału odzysku. Zdaniem Eksperta 1 wymagania będą spełnione, jeżeli samorządy będą odpowiednio interpretować prawo oraz wdrażać działania mające na celu zwiększenie udziału odzysku przez kierowanie odpadów do właściwych instalacji. Według Eksperta 2 zgodnie z posiadanymi możliwościami technologicznymi, z procesu kompostowania można odzyskać do 15000 ton odpadów w ciągu roku. Ekspert 3 rekomenduje właściwą edukację mieszkańców (RIPOK ma regularny kontakt z mieszkańcami przyległych do obiektu gmin, organizując debaty, dni otwarte oraz stale informując o wprowadzanych inwestycjach), zorganizowanie PSZOK, selektywną zbiórkę odpadów „u źródła” oraz przyjęcie właściwych stawek za gospodarowanie odpadami.

10.4.1. Podsumowanie przeprowadzonych wywiadów pogłębionych z Ekspertami

Przeprowadzenie wywiadów indywidualnych wśród podmiotów z nadanym statusem regionalnej instalacji umożliwiło zbadanie aktualnych nastrojów po zmianach legislacyjnych związanych z ustawą o czystości i porządku w gminach. Cenne uwagi oraz problemy ujawnione podczas rozmów pozwoliły zobrazować aktualne nastroje panujące wśród przedsiębiorstw zajmujących się zagospodarowaniem odpadów.

Cel badawczy, któremu służyło przeprowadzenie wywiadów pogłębionych z Ekspertami, został osiągnięty. Analiza odpowiedzi uzyskanych od rozmówców umożliwiła sformułowanie najważniejszych wniosków:

- Przedsiębiorcy pozytywnie oceniają nową ustawę „śmieciową”. Według opinii rozmówców jeżeli założenia i obowiązki wynikające z dokumentu prawnego zostaną spełnione, podniesie to efektywność systemu gospodarki odpadami.
- Korzystanie z usług instalacji zastępczych przez gminy nie tylko nie jest całkowicie zgodne z prawem, ale przede wszystkim powoduje, że regionalne instalacje posiadają niewykorzystane moce przerobowe. Rozmówcy sugerują wprowadzenie kontroli, które miałyby na celu wyeliminowanie tych praktyk.
- Według opinii rozmówców mały jest zbyt na paliwa alternatywne, co powoduje brak zainteresowania inwestycjami związanymi z produkcją RDF. W jednym przypadku ujmowany jest gaz składowiskowy i przetwarzany na energię.

- Balast powstający po sortowaniu odpadów zmieszanych uznawany jest za frakcję problemową. Nie da się go efektywnie zagospodarować, dlatego przekazuje się go do składowania. Tylko w 2013 roku balast stanowił około 50% odpadów zmieszanych dostarczonych do instalacji.

10.5. Identyfikacja problemów technologiczno - logistycznych systemu gospodarki odpadami

Jeszcze w niedalekiej przeszłości koordynowanie przez gminy przepływami odpadów komunalnych było nie tylko nierealizowane, ale przede wszystkim również było niemożliwe do wykonania. Mieszkańcy, właściciele odpadów, umowę na wywóz i zagospodarowanie odpadów podpisywali bezpośrednio z wybraną przez siebie firmą. Tak samo odbywało się to z zarządcami nieruchomości wielorodzinnych.

Struktura przestrzenna systemu opartego na poprzedniej ustawie miała charakter złożony i rozproszony. Trudności w koordynacji przepływów wynikały przede wszystkim z powodu wielu powiązań występujących w systemie. Struktura organizacyjna systemu opierała się w głównej mierze na poziomie operacyjnym, uniemożliwiając tym samym nadzór nad procesami zagospodarowania odpadów. Występujący model konkurencji o rynek przedsiębiorstw zajmujących się transportem odpadów powodował współzawodnictwo na poziomie opłat. Odbywało się to kosztem niższego poziomu odzysku i recyklingu odbieranych odpadów. Na uwagę zasługuje również struktura informacyjno-edukacyjna, niezdefiniowana jasno przed nowelizacją. Skutkiem nieefektywnej współpracy na poziomie informacyjnym były problemy związane m.in. z:

- nieprawidłowościami związanymi z ewidencją odpadów;
- opracowaniem planów gospodarki odpadami dla gmin, których cele strategiczne nie były poparte odpowiednimi działaniami wdrożeniowymi;
- brakiem działań edukacyjnych propagujących selektywną zbiórkę – selektywna zbiórka odpadów komunalnych była na niskim poziomie;
- brakiem powiązania dostępnej infrastruktury i sumarycznej mocy przerobowej z realnym zapotrzebowaniem na zagospodarowanie odpadów;
- brakiem działań zmierzających do ograniczenia przekazywania odpadów na składowiska.

Rozwój koncepcji nowoczesnego gospodarowania odpadami podyktowany potrzebą osiągnięcia przez Polskę odpowiednich poziomów odzysku wymusił konieczność nowelizacji ustawy i reorganizacji systemu. Zbudowanie relacji pomiędzy samorządami a gospodarstwami domowymi wytwarzającymi odpadami, jak również zwiększenie konkurencji na poziomie przedsiębiorstw sektora zagospodarowania odpadów były głównymi założeniami nowelizacji.

Przeprowadzone badania ankietowe i wywiady pogłębione miały na celu przedstawienie aktualnego stanu systemu po półrocznym okresie od wprowadzenia zmian. Badania wykazały, iż istnieje potrzeba ciągłego doskonalenia systemu i jego optymalizacji, a także wyodrębnienia kryteriów jego oceny – najważniejszych z punktu widzenia efektywności systemu.

Podstawowymi obszarami identyfikacji problemów aktualnego systemu, zgodnymi z przedmiotem monografii, są aspekty logistyczne i technologiczne, w ramach których wyodrębniono:

A. ASPEKT TECHNOLOGICZNY

- brak instalacji do energetycznego wykorzystania odpadów komunalnych;
- brak metod efektywnego wykorzystania i odzysku balastu po sortowaniu odpadów – frakcja problemowa;
- brak zainteresowania odbiorców zakupem paliw RDF;
- brak zainteresowania gmin inwestycjami związanymi z energetycznym wykorzystaniem odpadów;
- niski poziom odzysku energetycznego odpadów;
- brak narzędzi umożliwiających dobór instalacji pod względem technologicznym i wydajnościowym.

B. ASPEKT LOGISTYCZNY

- nierównomierne wykorzystanie dostępnych mocy przerobowych instalacji do przetwarzania odpadów;
- niezachowanie zasady bliskości instalacji, do których trafiają odpady;
- brak narzędzi wspomagających optymalizację systemu lub ich niewykorzystywanie;
- brak nadzoru nad skutecznością działania obiektów;
- brak działań usprawniających i standaryzujących metody gromadzenia odpadów.

Analiza bieżącego systemu gospodarki odpadami, jego struktury i zachowania wykazała brak zainteresowania gmin energetycznym wykorzystaniem odpadów. Również regionalne instalacje przetwarzające odpady nie wykorzystują ich energetycznego potencjału, kierując problemowy balast na składowiska. Należy zwrócić uwagę, iż w rozwiniętych krajach UE, takich jak Niemcy, Belgia czy Holandia odpady odzyskuje się na poziomie bliskim 100%, wykluczając tym samym składowanie jako metodę zagospodarowania odpadów. Tak wysoki poziom zapewniony jest dzięki bogatemu zapleczu technologicznemu instalacji termicznego przekształcania odpadów. Polski system gospodarki odpadami od 2013 roku jest w fazie zmian i nowych wdrożeń. Ich cel stanowi wypracowanie skutecznych metod organizacyjnych, umożliwiających osiągnięcie wymaganych poziomów odzysku. Jednym ze sposobów pomagających w podniesieniu efektywności systemu jest wdrożenie narzędzi umożliwiających optymalizację systemu według przyjętych kryteriów.

11. Analiza II Regionu Gospodarki Odpadami w województwie śląskim

11.1. Charakterystyka II RGO

Nowe regulacje prawne zawarte w ustawach mają na celu umożliwienie gminom prawidłowego zarządzania strumieniem wytwarzanych odpadów komunalnych. Stworzenie opartego o selektywną zbiórkę i wykorzystanie potencjału energetycznego systemu gospodarowania odpadami komunalnymi to główne kierunki działań, dzięki którym będzie możliwe osiągnięcie wymaganych poziomów odzysku.

W wyniku przeprowadzonych analiz na potrzeby opracowania WPGO 2014 województwo śląskie podzielono na cztery regiony gospodarki odpadami. Podział ten uzasadniony jest ilością wytwarzanych odpadów, jak również sumaryczną wydajnością funkcjonujących i planowanych instalacji do zagospodarowania odpadów. Logistyka odpadów na terenie RGO obejmuje przede wszystkim takie strumienie odpadów jak:

- zmieszane odpady komunalne;
- pozostałości z sortowania odpadów komunalnych oraz pozostałości z procesu mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów komunalnych, o ile są przeznaczone do składowania;
- odpady zielone, które zgodnie z ustawą muszą być przetwarzane na terenie regionów w wyznaczonych regionalnych instalacjach przetwarzania odpadów. Wyjątek stanowią instalacje ponadregionalne, którymi docelowo mają być spalarnie umożliwiające termiczne przetwarzanie odpadów z odzyskiem energii.

Na potrzeby niniejszej monografii wybrano Region II Gospodarki Odpadami Komunalnymi, który tworzą: Kalety, Miasteczko Śląskie, Radzionków, Tarnowskie Góry, Krupski Młyn, Ożarówice, Świerklaniec, Tworóg, Zbrosławice, Bytom, Piekary Śląskie, Pyskowice, Rudziniec, Toszek, Wielowieś, Gliwice, Zabrze, Chorzów, Katowice, Mysłowice, Ruda Śląska, Siemianowice Śląskie, Świętochłowice, Dąbrowa Górnicza, Sosnowiec, Sławków, Będzin, Czeladź, Wojkowice, Bobrowniki, Mierzęcice, Psary, Siewierz, Łazy.

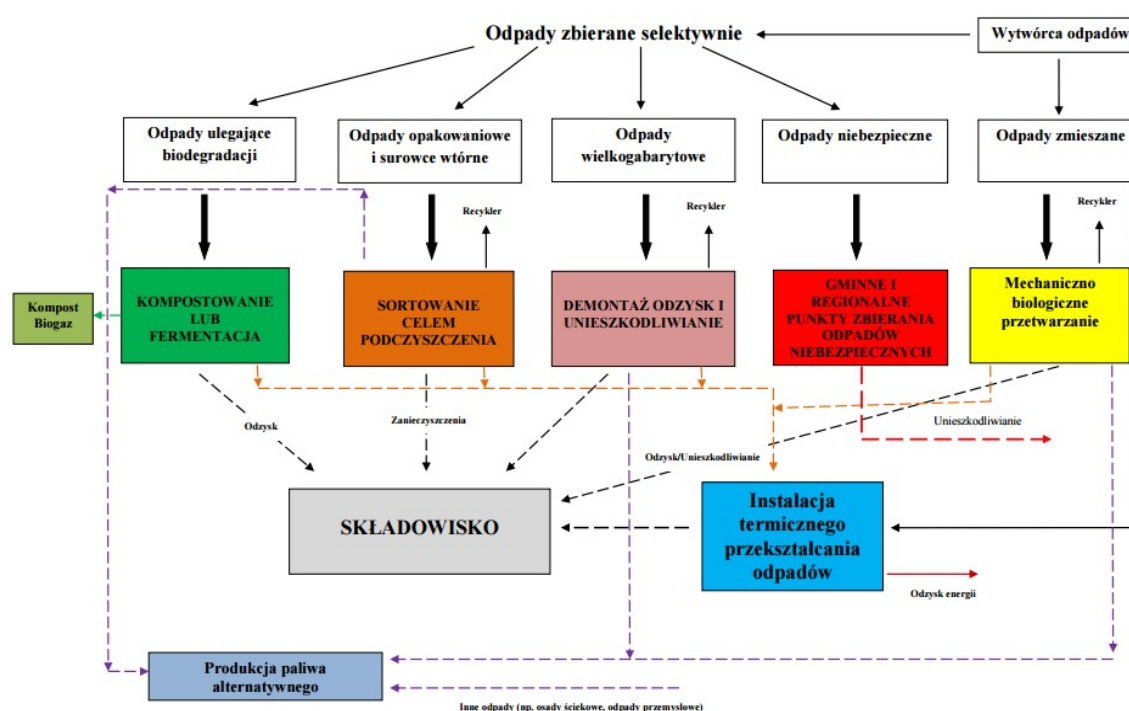
Region II charakteryzuje się największą liczbą ludności, a tym samym największą masą wytworzonych odpadów komunalnych spośród pozostałych regionów (tab. 24). Wybór obszaru badawczego podyktowany był możliwością przeskalowania wyników badań do obszarów charakteryzujących się mniejszym jednostkowym wskaźnikiem wytwarzania odpadów. Opracowanie modelu technologiczno-logistycznego o pożądanym poziomie uszczegółowienia wymagało ograniczenia obszaru województwa śląskiego do najbardziej złożonego regionu gospodarki odpadami. Według danych za rok 2010 [117] Region II wyróżnia się najwyższym wskaźnikiem odpadów komunalnych zmieszanych. Wynosi on 353 [kg/Ma]. Sytuacja ta wymaga zapewnienia dodatkowych mocy przetwórczych w związku z aktualną przepustowością części mechanicznej instalacji MBP, która wynosi 132 000 [Mg/rok], gdy zapotrzebowanie sięga prawie 740 000 [Mg/rok]. Planowane inwestycje związane z rozbudową instalacji [117] mają zwiększyć możliwości do 720 000 [Mg/rok], co nie likwiduje problemu zagospodarowania problemowego balastu, który aktualnie deponowany jest na składowiskach. Istnieje zatem realne zapotrzebowanie na instalacje termicznego przekształcania odpadów dla Regionu II, które pozwolą efektywnie minimalizować masę składowanych odpadów.

Tabela 24 Bilans wytworzonych odpadów komunalnych w poszczególnych regionach w 2010 r.

Lp.	Wyszczególnienie	Jednostka	Region I	Region II	Region III	Region IV
1.	Liczba ludności	Osób	711 841	2 078 840	996 145	754 249
2.	Jednostkowy wskaźnik wytwarzania odpadów	[kg/Ma]	323	386	334	325

Źródło: [117]

Wynikający z art. 3 UCPG [166] obowiązek objęcia wszystkich mieszkańców systemem gospodarowania odpadami, który zapewni osiągnięcie: odpowiednich poziomów recyklingu, przygotowania do ponownego użycia i odzysku innymi metodami oraz ograniczenia masy odpadów komunalnych ulegających biodegradacji przekazywanych do składowania wymaga zapewnienia odpowiednich przepustowości instalacji na poziomie wojewódzkiego systemu. W związku z tym struktura systemu gospodarowania odpadami dla województwa śląskiego została opracowana na potrzeby WPGO i przedstawiona na rysunku 27.



Rysunek 27 System gospodarki odpadami według WPGO 2014

Źródło: [117]

Do czasu powstania instalacji termicznego przekształcania odpadów, które zapewnią odpowiednie moce przerobowe do zagospodarowania wytworzonych odpadów komunalnych, podstawową metodą ich zagospodarowania jest mechaniczno-biologiczne przetwarzanie. Należy jednak pamiętać, że gminy zobowiązane są do dokonywania corocznej analizy stanu gospodarki odpadami komunalnymi w celu weryfikacji możliwości technicznych i organizacyjnych w zakresie gospodarowania odpadami komunalnymi. Weryfikują m.in. możliwości przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych, odpadów zielonych oraz pozostałości z sortowania odpadów komunalnych przeznaczonych do składowania i potrzeb inwestycyjnych związanych z gospodarowaniem odpadami komunalnymi. Efektem tych analiz, które potwierdzają możliwości odzysku (w tym energetycznego) wytworzonych odpadów, jest sumaryczne zapotrzebowanie na moce przerobowe planowanych inwestycji uprzednio wpisanych w plan inwestycyjny stanowiący załącznik do WPGO. Nowe regulacje mają służyć racjonalnemu planowaniu inwestycji przez

podmioty państwowe i prywatne, a także zapewnić odpowiedni strumień odpadów, który pozwoli na prawidłowe ich funkcjonowanie, umożliwiając m.in. odpowiedni odzysk energii.

Zasadne jest zatem opracowanie narzędzi służących bieżącej weryfikacji ilościowo-jakościowej wytwarzanych odpadów komunalnych na poziomie gminy, regionu oraz województwa. Ich wdrożenie umożliwi m.in.:

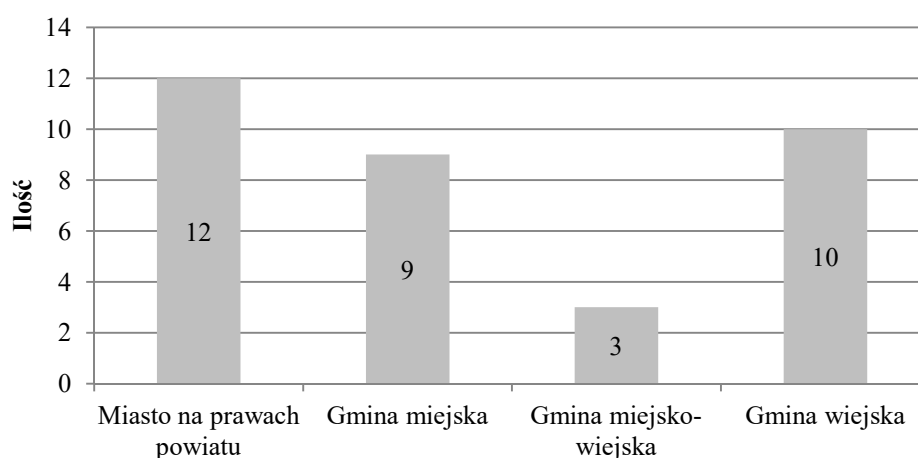
- analizowanie aktualnego systemu gospodarki odpadami na danym obszarze;
- określenie potencjału energetycznego wytwarzanych odpadów;
- wskazaniu możliwości inwestycyjnych, zapewniając tym samym strumienie odpadów celem ich przetworzenia;
- standaryzację procedur wpisania inwestycji w plan;
- właściwe zarządzanie dostępnym strumieniem odpadów poprzez weryfikację przepływów pomiędzy wytwórcami odpadów, przedsiębiorstwami przewozowymi oraz obiektami ich zagospodarowania;
- ewidencjonowania ilości zbieranych odpadów na poziomie gminy, regionu i województwa;
- zapewnienie odpowiednich warunków do osiągnięcia wymaganego poziomu odzysku i recyklingu.

Istnieje zatem wiele czynników o różnym stopniu istotności, które mają na celu poprawić efektywność funkcjonowania systemu. Pakiet zidentyfikowanych danych wejściowych do systemu, jak również ograniczeń i uwarunkowań jest ściśle powiązany z dynamicznym charakterem systemu. Przyjęcie podczas badań założenia o możliwości odtworzenia procedury analiz stanowi podstawę opisu zachowania systemu gospodarki odpadami na poziomie regionu. System ten pojmowany jest jako układ o zdefiniowanych relacjach i zachowaniach, który umożliwi odtworzenie algorytmu badań na innych obszarach.

11.2. Analiza ilościowo-jakościowa odpadów komunalnych systemu gospodarki odpadami II RGO

W ramach badań ilościowo-jakościowych zebranych odpadów komunalnych na terenie Regionu II poddano analizie sprawozdania z realizacji zadań z zakresu gospodarowania odpadami komunalnymi za rok 2013 i 2014 wszystkich gmin wchodzących w skład regionu.

Podział administracyjny próby badawczej został przedstawiony na rysunku 28.

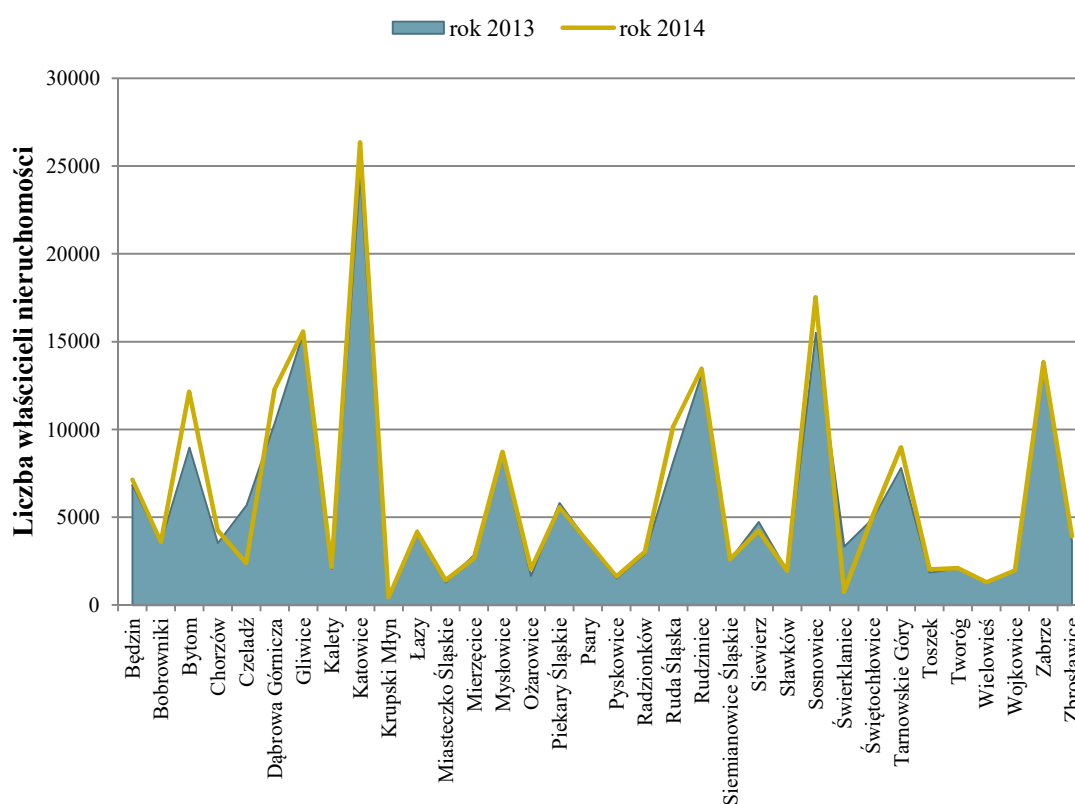


Rysunek 28 Podział administracyjny II RGO

Źródło: opracowanie własne

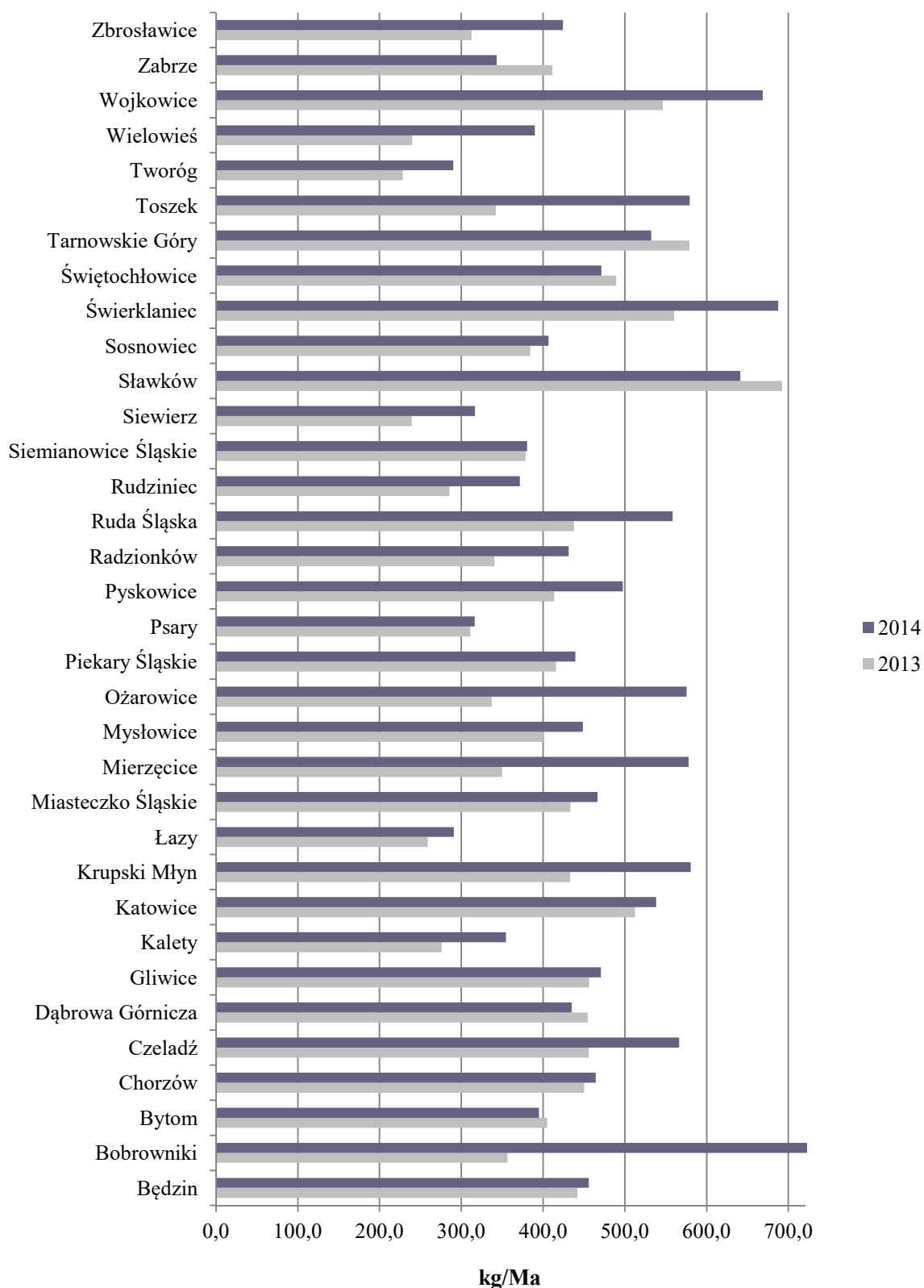
Sprawozdania zawierają informacje o masie poszczególnych rodzajów odebranych z obszaru gminy odpadów komunalnych oraz o sposobie ich zagospodarowania. Opracowane są celem przekazania Marszałkowi Województwa Śląskiego i Inspektorowi Ochrony Środowiska. Wszystkie dane zawarte w dokumencie pochodzą od przedsiębiorstw odpowiedzialnych za transport i gospodarowanie odpadami.

Liczba właścicieli nieruchomości objętych systemem zbiórki i gospodarowania odpadami została przedstawiona na wykresie (rys. 29). Nie stwierdzono niepokojących zmian w liczbie podpisanych umów, a na uwagę zasługują gminy Czeladź i Świerklaniec, gdzie liczba właścicieli nieruchomości objętych systemem się zmniejszyła. Z informacji pozyskanych od gmin celem wyjaśnienia tej różnicy wynika, że spowodowane jest to zbędnym podpisywaniem umów przez właścicieli mieszkań, gdy właścicielem nieruchomości i podmiotem uprawnionym do podpisania deklaracji jest spółdzielnia mieszkaniowa.



Rysunek 29 Liczba właścicieli nieruchomości objętych systemem gospodarki odpadami
Źródło: opracowanie własne

Średnie masy zebranych odpadów komunalnych z terenu poszczególnych gmin przedstawia wykres (rys. 30). Dane uwzględniają rok 2013 i 2014. Na szczególną uwagę zasługują różnice w średniej masie odpadów zebranych w podziale na rodzaje gmin. W miastach na prawach powiatu w 2014 roku zebrano średnio 446 [kg/Ma] i jest to o 3% więcej w stosunku do roku poprzedniego. W przypadku gmin miejskich różnica pomiędzy 2014 a 2013 rokiem wynosi 48,3 [kg] i w ostatnim roku sprawozdawczym równa się 512,6 [kg/Ma]. Znacznie mniejsze masy odpadów komunalnych zebrane zostały w gminach miejsko-wiejskich i wiejskich. W przypadku tych pierwszych w 2014 roku zebrano 395,6 [kg/Ma] (o 41% więcej niż w roku poprzednim), a z terenów wiejskich zebrano średnio 495,5 [kg/Ma] (o 45% więcej niż w 2013 roku).



Rysunek 30 Średnie masy odpadów komunalnych zebranych w przeliczeniu na 1 mieszkańca
 Źródło: opracowanie własne

Znaczące różnice w średniej masie odpadów komunalnych zebranych przypadających na jednego mieszkańca z terenów miejsko-wiejskich i wiejskich wynikają przede wszystkim

z morfologii odpadów, która dla obszaru województwa śląskiego przedstawia się następująco (tab. 25).

Tabela 25 Morfologia odpadów zebranych na terenie województwa śląskiego

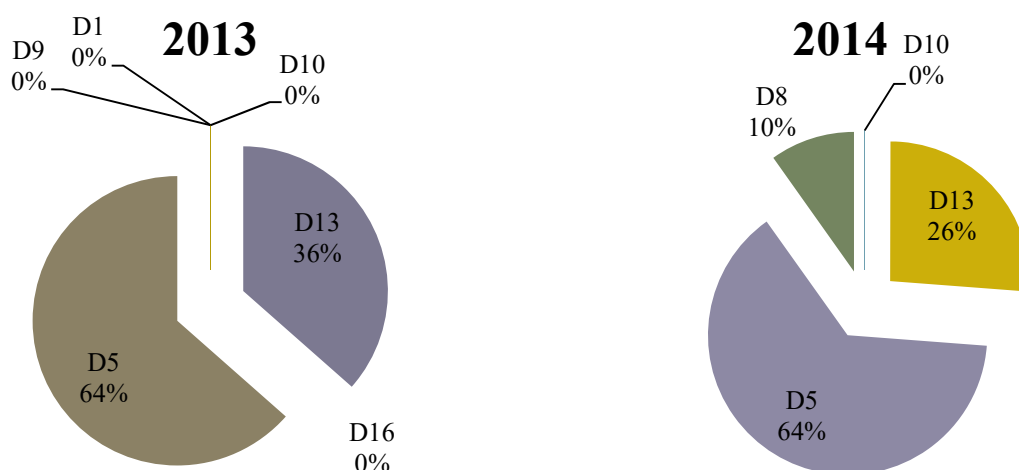
Lp.	Wyszczególnienie	Małe miasta (do 50 tys. mieszkańców)	Duże miasta (powyżej 50 tys. mieszkańców)	Tereny wiejskie
1	Papier	9,70%	19,30%	5,00%
2	Szkło	10,20%	9,90%	10,00%
3	Metal	1,50%	2,70%	2,40%
4	Tworzywa sztuczne	11,10%	15,30%	10,30%
5	Odpady wielomateriałowe	4,00%	2,50%	4,10%
6	Odpady kuchenne i ogrodowe	36,20%	28,50%	32,70%
7	Odpady mineralne	2,90%	3,10%	6,30%
8	Frakcja < 10 mm	6,80%	4,10%	16,70%
9	Tekstylia	4,10%	2,30%	2,10%
10	Drewno	0,30%	0,30%	0,70%
11	Niebezpieczne	0,70%	0,80%	0,80%
12	Inne	4,60%	3,30%	5,00%
13	Odpady wielkogabarytowe	2,60%	2,60%	1,30%
14	Odpady z terenów zielonych	5,30%	5,30%	2,60%

Źródło: opracowanie własne na podstawie [24]

Próba zestawienia sposobów zagospodarowania odpadów według metod odzysku i unieszkodliwiania w poszczególnych latach umożliwiła opracowanie poniższych wykresów (rys. 31). Najczęściej wyróżnianymi metodami zagospodarowania odpadów są:

- D5 Składowanie na składowiskach w sposób celowo zaprojektowany (np. umieszczanie w uszczelnionych oddzielnych komorach, przykrytych i izolowanych od siebie wzajemnie i od środowiska itd.);
- D8 Obróbka biologiczna, niewymieniona w innej pozycji załącznika, w wyniku której powstają ostateczne związki lub mieszaniki, unieszkodliwiane za pomocą któregośkolwiek spośród procesów wymienionych w poz. D1 – D12;
- D13 Sporządzanie mieszaniki lub mieszanie przed poddaniem odpadów któremukolwiek z procesów wymienionych w pozycjach D1 – D12.

W latach 2013 i 2014 najczęściej wybieranym procesem unieszkodliwiania odpadów było składowanie, któremu poddano odpowiednio 99369,67 [Mg] i 84042,98 [Mg] odpadów, co stanowi 64% udziału w procesach unieszkodliwiania odpadów i 20% w we wszystkich metodach zagospodarowania odpadów za rok 2013 oraz 16% w 2014 roku.



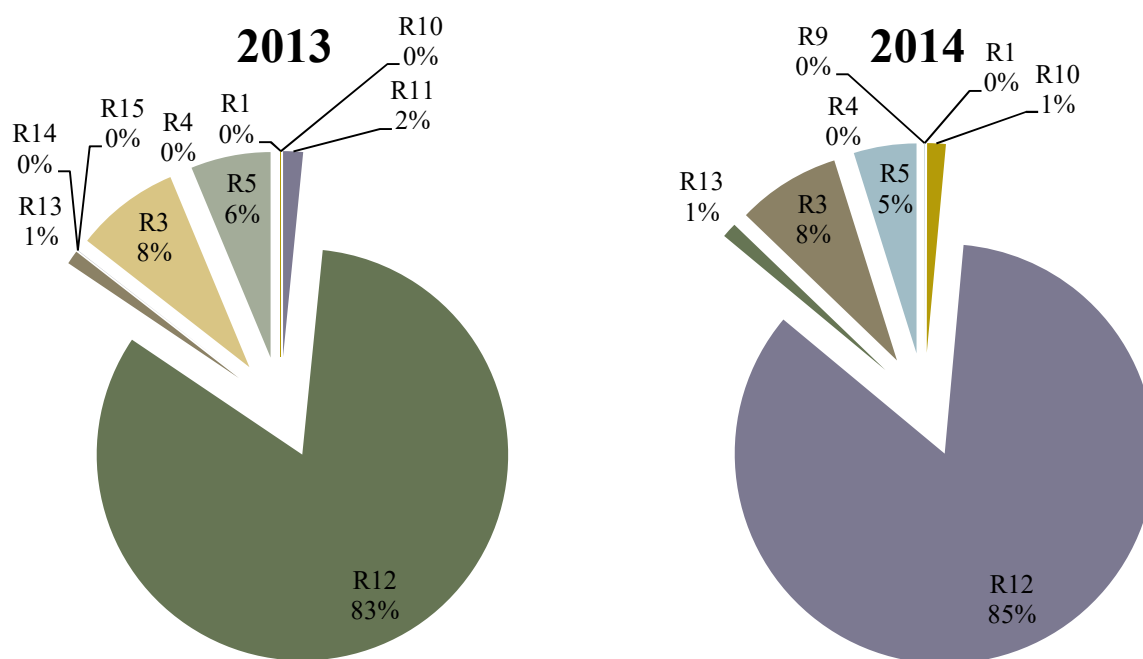
Rysunek 31 Udział procesów unieszkodliwiania odpadów w Regionie II

Źródło: opracowanie własne

W przypadku procesów odzysku w latach 2013 i 2014 (rys. 32) spośród wszystkich procesów odzysku odpadów wybierano m.in.:

- R3 – recykling lub odzysk substancji organicznych, które nie są stosowane jako rozpuszczalniki (w tym kompostowanie i inne biologiczne procesy przekształcania);
- R5 – recykling lub odzysk innych materiałów nieorganicznych;
- R12 – wymiana odpadów w celu poddania ich któremukolwiek z procesów wymienionych w pozycji R1 – R11.

Proces R12 może obejmować procesy poprzedzające przetwarzanie wstępne odpadów, jak np.: demontaż, sortowanie, kruszenie zagęszczanie, granulację, suszenie, rozdrabnianie, kondycjonowanie, przepakowywanie, separację, tworzenie mieszanek lub mieszanie przed poddaniem któremukolwiek z procesów wymienionych w poz. R1 – R11. Ich udział we wszystkich procesach odzysku jest znaczący i wynosi odpowiednio 83% w 2013 roku i 85% w 2014. W sumie w 2014 roku w Regionie II Gospodarki Odpadami poddano procesowi R12 – 597311,981 [Mg] odpadów.



Rysunek 32 Udział procesów odzysku odpadów w Regionie II

Źródło: opracowanie własne

Nawiązując do przedmiotu badań, na uwagę zasługuje również proces R1, definiowany jako „wykorzystanie głównie jako paliwa lub innego środka wytwarzania energii”. W Regionie II w 2013 roku poddano 14,47 [Mg] odpadów procesowi R1, a w 2014 – 12,3 [Mg]. Tak niewielki udział przekształcania termicznego odpadów komunalnych świadczy o małym zainteresowaniu wykorzystaniem potencjału energetycznego odpadów. Potwierdza to fakt, że proces mechaniczno-biologicznego przetwarzania jest najczęściej wybraną metodą zagospodarowania odpadów.

Na podstawie otrzymanych sprawozdań możliwe było również opracowanie wykazu obiektów przetwarzania odpadów. Miało to na celu przedstawienie poziomu udziału w rynku poszczególnych przedsiębiorstw wraz z tendencją zmian, przyjmując rok 2013 za bazowy (tab. 26).

Tabela 26 Udział na rynku przedsiębiorstw sektora zagospodarowania odpadów

Przedsiębiorstwo	Udział na rynku zagospodarowania odpadów w 2013 roku	Udział na rynku zagospodarowania odpadów w 2014 roku	Tendencja
ALBA MP GK Sp. z o.o.	19,63%	20,33%	↑
REMONDIS	16,65%	16,47%	↓
LANDECO Sp. z o.o.	9,51%	7,18%	↓
MP GK Sp. z o.o. Katowice	8,83%	8,84%	↑
MP GK Sp. z o.o. Zabrze	7,61%	8,90%	↑
Przedsiębiorstwo Składowania i Utylizacji Odpadów Sp. z o.o.	7,35%	6,45%	↓
Przedsiębiorstwo Usług Komunalnych Sp. z o.o. Ruda Śląska	4,95%	5,29%	↑
Prywatny Zakład Oczyszczania Miasta Waldemar Strach	4,11%	2,63%	↓
MP GK Sp. z o.o. w Świętochłowicach	3,40%	4,91%	↑
SITA STAROL Sp. z o.o.	2,75%	2,53%	↓
PUK van Gansewinkel	2,34%	1,93%	↓
Bytomskie Przedsiębiorstwo Komunalne Sp. z o.o.	1,82%	1,33%	↓
FHU Juroł	1,50%	1,03%	↓
Miejski Zakład Składowania Odpadów Sp. z o.o. Sosnowiec	1,45%	2,23%	↑
Recykling Wojkowice Sp. z o.o.	1,42%	0,62%	↓
EKO FOL II S.A.	1,38%	1,43%	↑
BM Recykling Sp. z o.o.	0,78%	1,00%	↑
Rolnicza Spółdzielnia Produkcyjna	0,48%	0,61%	↑
Świecie Recykling Sp. z o.o.	0,32%	0,30%	↓
Krynicky Recykling S.A.	0,24%	0,28%	↑
Firma Usług Ekologicznych Krystyna Żądło	0,20%	0,06%	↓
Veolia Usługi dla Środowiska Recykling Sp. z o.o.	0,19%	0,18%	↓

Źródło: opracowanie własne

Największy udział w zagospodarowaniu odpadów pochodzących z gmin Regionu II Gospodarki Odpadami mają przedsiębiorstwa ALBA MP GK Sp. z o.o. oraz REMONDIS, które w swoim zapleczu technologicznym posiadają zarówno instalacje do produkcji paliw alternatywnych, jak również do mechaniczno-biologicznego przekształcania i składowania.

11.3. Infrastruktura technologiczna II RGO

W skład infrastruktury technologicznej systemu gospodarki odpadami Regionu II wchodzi przede wszystkim takie instalacje jak:

- instalacje do mechaniczno-biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych (MBP);
- sortownie odpadów komunalnych;
- instalacje do produkcji paliw alternatywnych;
- składowiska odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne.

Pozostały podział instalacji uwzględnia ich status prawny – instalacje regionalne i zastępcze.

Region II gospodarki odpadami województwa śląskiego posiada pięć RIPOK (na dzień 08.04.2015). Łączna roczna zdolność przerobowa MBP o statusie regionalnych w części mechanicznej dla zmieszanych odpadów komunalnych wynosi 262 000 [Mg], a w części biologicznej – 88 951 [Mg/rok] (tab. 27).

Na terenie II RGO sortownie odpadów komunalnych to instalacje przeznaczone do przetwarzania odpadów komunalnych zmieszanych oraz z selektywnej zbiórki. Podstawowym zadaniem sortowni jest wyodrębnienie z całego strumienia jak największej odpadów nadających się

do ponownego wykorzystania. W wyodrębnionych przypadkach z pozostałej części nienadającej się do odzysku produkowane jest paliwo alternatywne wykorzystywane jako źródło energii.

Tabela 27 Wykaz instalacji MBP w Regionie II

Lp.	Rodzaj instalacji	Nazwa i adres podmiotu zarządzającego	Adres instalacji	Status instalacji	Zdolność przerobowa roczna część mechaniczna [Mg]	Zdolność przerobowa roczna część biologiczna [Mg]
1.	Instalacja MBP	Miejskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej Sp. z o.o., ul. Obroki 140, 40-833 Katowice	ul. Miłowicka 7a, 40-833 Katowice	Regionalna	72 000	30 951
2.	Instalacja MBP	Miejskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej Sp. z o.o., ul. Lecha 10, 41-800 Zabrze	ul. Cmentarna 19 f, 41-800 Zabrze	Regionalna	60 000	30 000
3.	Instalacja MBP	ALBA Miejskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej Sp. z o.o. (poprzednio Miejski Zakład Przetwarzania Odpadów LIPIÓWKA II) ul. Starocmentarna 2, 41-300 Dąbrowa Górnicza	ul. Główna 144A, 42-530 Dąbrowa Górnicza	Regionalna	137 750 (20 03 01 – 60 000)	15 000 (19 12 12)
4.	Instalacja MBP	Miejski Zakład Składowania Odpadów Sp. z o.o., ul. Grenadierów, 41-200 Sosnowiec	ul. Grenadierów, 41-200 Sosnowiec	Regionalna	70 000	13 000

Źródło: opracowanie własne

Sumaryczne roczne zdolności przerobowe sortowni dla zmieszanych odpadów komunalnych i z selektywnego zmieszania wynoszą 995 400 [Mg], z czego tylko jedna sortownia oferuje produkcję paliwa RDF na terenie swojego zakładu. Inne instalacje nie posiadają odpowiedniego pozwolenia (tab. 28).

Tabela 28 Wykaz sortowni w II RGO

Lp.	Rodzaj instalacji/urządzenia	Nazwa i adres podmiotu zarządzającego	Adres instalacji	Status instalacji	Zdolność przerobowa roczna [Mg]
1.	Sortownia odpadów komunalnych zmieszanych i z selektywnego zbierania	STENA RECYCLING Sp. z o. o., ul. Ogrodowa 58, 00-876 Warszawa	ul. Konopnickiej 11, 41-100 Siemianowice Śląskie	Zastępcza	60 000
2.	Sortownia odpadów komunalnych zmieszanych i z selektywnego zbierania z produkcją paliwa RDF	Miejskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej w Katowicach, ul. Obroki 140, 40-833 Katowice	ul. Miłowicka 7a, 40-312 Katowice	Zastępcza	65 000 (na 1 zmianę)
3.	Sortownia odpadów komunalnych zmieszanych i z selektywnego zbierania	LANDECO Sp. z o.o., ul. Graniczna 29, 40-017 Katowice	ul. Zwycięstwa 4, 41-100 Siemianowice Śląskie	Zastępcza	70 000
4.	Sortownia odpadów komunalnych zmieszanych i z selektywnego zbierania	REMONDIS Tarnowskie Góry Sp. z o.o., ul. Nakielska 1-3, 42-600 Tarnowskie Góry	ul. Laryszowska, 42-600 Tarnowskie Góry	Zastępcza	70 000

Lp.	Rodzaj instalacji/urządzenia	Nazwa i adres podmiotu zarządzającego	Adres instalacji	Status instalacji	Zdolność przerobowa roczna [Mg]
5.	Sortownia odpadów komunalnych zmieszanych i z selektywnego zbierania	EKO FOL II S.A., ul. Korfantego 45, 41-902 Bytom	ul. Wrzosowa 20a, 44-120 Pyskowice	Zastępcza	52 500
6.	Sortownia odpadów komunalnych selektywnie zebranych. Dwusitowy przesiewacz (mobilny) do mechanicznej obróbki odpadów	RECYKLING Wojkowice Sp. z o.o., ul. Długosza 27, 42- 580 Wojkowice	ul. Długosza 27, 42-580 Wojkowice	Zastępcza	25 000
7.	Mobilna instalacja do mechanicznej obróbki odpadów (przesiewacz)	Remondis Gliwice Sp. z o.o., ul. Kaszubska 2, 44-100 Gliwice	ul. Rybnicka, 44-100 Gliwice	Zastępcza	70 000
8.	Sortownia odpadów komunalnych zmieszanych	Prywatny Zakład Oczyszczania Miasta Waldemar Strach, ul. Spółdzielcza 1, 42-274 Konopiska	ul. Zakładowa 2, 41-940 Piekary Śląskie	Zastępcza	76 200
9.	Sortownia odpadów komunalnych zmieszanych i z selektywnego zbierania	PTS ALBA Sp. z o.o., ul. Bytkowska 15, 41-503 Chorzów	ul. Brzezińska, 41-503 Chorzów	Zastępcza	60 500
10.	Sortownia odpadów przemysłowych z selektywnego zbierania	PTS ALBA Sp. z o.o., ul. Bytkowska 15, 41-503 Chorzów	ul. Brzezińska, 41-503 Chorzów	Zastępcza	130 000
11.	Sortownia odpadów komunalnych zmieszanych i z selektywnego zbierania	ALBA Południe Polska Sp. z o.o., ul. Starocmentarna 2, 41- 300 Dąbrowa Górnicza	ul. Nałkowskiej, 41-922 Radzionków	Zastępcza	51 200
12.	Sortownia odpadów komunalnych zmieszanych	BM Recykling Sp. z o.o., ul. Tkacka 30, 34-120 Andrychów	ul. Konopnickiej 11, 41-100 Siemianowice Śląskie	Zastępcza	30 000
13.	Sortownia odpadów komunalnych selektywnie zebranych. Sortownia odpadów zmieszanych	Przedsiębiorstwa Usług Komunalnych Sp. z o.o., ul. Kokotek 33, 41-700 Ruda Śląska	ul. Kokotek 33, 41-700 Ruda Śląska	Zastępcza	165 000
14.	Sortownia odpadów komunalnych zmieszanych	Przedsiębiorstwo Usług Komunalnych van Gansewinkel Górny Śląsk Sp. z o.o., ul. Piotra Skargi 87, 41-706 Ruda Śląska	ul. Piotra Skargi 87, 41-706 Ruda Śląska	Zastępcza	20 000
15.	Sortownia odpadów komunalnych zmieszanych	Veolia Usługi dla Środowiska Recykling Sp. z o.o., ul. Szobiszowicka 1, 41-500 Gliwice	ul. Wyzwolenia 2, 41-100 Siemianowice Śląskie	Zastępcza	20 000
16.	Sortownia zmieszanych odpadów komunalnych	Miejskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej Sp. z o.o. w Świętochłowicach, ul. Łagiewnicka 76, 41-608 Świętochłowice	Świętochłowice, teren składowiska odpadów, rejon ul. Wojska Polskiego	Zastępcza	30 000

Źródło: opracowanie własne

Wśród instalacji do produkcji paliw alternatywnych znajduje się pięć dedykowanych instalacji o łącznej rocznej zdolności przerobowej 512 000 [Mg] oraz jedna sortowania o zdolności przerobowej 65 000 [Mg/rok/1 zmianę] (tab. 29).

Tabela 29 Wykaz instalacji do produkcji paliw alternatywnych w II RGO

Lp.	Rodzaj instalacji /urządzenia	Nazwa i adres podmiotu zarządzającego	Adres instalacji	Status instalacji	Zdolność przerobowa roczna [Mg]
1.	Instalacja do produkcji paliw alternatywnych	REMONDIS Sp. z o.o.	ul. Puskina 41, 42-530 Dąbrowa Górnicza	Zastępcza	147 000
2.	Instalacja do produkcji paliw alternatywnych	SITA STAROL Sp. z o.o., ul. Kluczborska 29, 41-500 Chorzów	ul. Kluczborska 29, 41-500 Chorzów	Zastępcza	235 000
3.	Instalacja do produkcji paliw alternatywnych	BM Recykling Sp. z o.o., ul. Tkacka 30, 34-120 Andrychów	ul. Konopnickiej 11, 41-100 Siemianowice Śląskie	Zastępcza	60 000
4.	Instalacja do produkcji paliw alternatywnych	Przedsiębiorstwo Usług Komunalnych Sp. z o.o., ul. Kokotek 31, 41-700 Ruda Śląska	ul. Kokotek 31, 41-700 Ruda Śląska	Zastępcza	50 000
5.	Instalacja do produkcji paliw alternatywnych	Przedsiębiorstwo Usług Komunalnych Van Gansewinkel Górny Śląsk Sp. z o.o., ul. Piotra Skargi 87, 41-706 Ruda Śląska	ul. Piotra Skargi 87, 41-706 Ruda Śląska	Zastępcza	20 000
6.	Sortownia odpadów komunalnych zmieszanych i selektywnie zebranych wraz z produkcją paliwa RDF	Miejskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej w Katowicach, ul. Obroki 140, 40-833 Katowice	ul. Miłowicka 7a, 40-312 Katowice	Zastępcza	65 000 (na 1 zmianę)

Źródło: opracowanie własne

Łączna pojemność składowisk odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne funkcjonujących na terenie II RGO (tab. 30) wynosi 13 349 410 [m³], z czego wypełnione jest 6 152 544 [m³] (46%). Składowiska są źródłem powstającego gazu składowiskowego, który zawiera około 50% metanu. Rezygnacja z zagospodarowania tego gazu powoduje powstawanie zagrożenia dla zdrowia i bezpieczeństwa poprzez wystąpienie takich zjawisk jak odór i możliwość wybuchu lub pożaru. Ponadto gaz składowiskowy ma znaczący wpływ na powstawanie efektu cieplarnianego, co powinno być ograniczone w związku z obowiązującym pakietem klimatyczno-energetycznym UE – 20/20/20. Zasadne jest zatem wykorzystanie gazu składowiskowego (który zaliczany jest do odnawialnych źródeł energii – OZE) do celów energetycznych.

Łączna zdolność przerobowa kompostowni, do których kierowane są wszystkie powstające odpady z pielęgnacji terenów zielonych oraz odpady ulegające biodegradacji z targowisk, wynosi ok. 220 372 [Mg/rok] (tab. 31). Brak odpowiedniej jakości kompostu umożliwia wykorzystanie alternatywnej metody przetwarzania bioodpadów w celach energetycznych. Termiczne przekształcanie biomasy z odpadów komunalnych korzystne jest

również dzięki możliwości zakwalifikowania pozyskanej energii jako energii ze źródeł odnawialnych.

Tabela 30 Wykaz składowisk odpadów innych niż niebezpieczne w II RGO

Lp.	Nazwa i adres składowiska	Status instalacji	Pojemność całkowita [m ³]	Pojemność pozostała [m ³]	Pojemność zapełniona [m ³]
1.	Składowisko odpadów komunalnych w Wojkowicach, ul. Długosza 27; Zarządzający: „Recykling Wojkowice” Sp. z o.o., ul. Długosza 27, 42-580 Wojkowice	Zastępcza	262700	71728	190972
2.	Składowisko odpadów komunalnych w Bytomiu, al. Jana Pawła II 10; Zarządzający: Bytomskie Przedsiębiorstwo Komunalne Sp. z o.o., ul. Kościuszki 11, 41- 902 Bytom	Zastępcza	1100750	554095	546655
3.	Składowisko odpadów komunalnych w Gliwicach, ul. Rybnicka; Zarządzający: Przedsiębiorstwo Składowania i Utylizacji Odpadów Sp. z o.o., ul. Zwycięstwa 36, 44-100 Gliwice	Zastępcza	1885000	1365000	520000
4.	Składowisko odpadów komunalnych w Katowicach, ul. Żwirowa; Zarządzający: Zakład Utylizacji Odpadów Szpitalnych i Komunalnych, ul. Hutnicza 8, 40-241 Katowice	Zastępcza	850000	386000	464000
5.	Składowisko odpadów komunalnych w Siemianowicach Śląskich, ul. Zwycięstwa 4; Zarządzający: LANDECO Sp. z o.o., ul. Graniczna 29, 40-017 Katowice	Zastępcza	4950000	2620692	2329308
6.	Składowisko odpadów komunalnych w Sosnowcu, ul. Grenadierów; Zarządzający: Miejski Zakład Składowania Odpadów Sp. z o.o., ul. Grenadierów, 41-200 Sosnowiec	Regionalna	473000	98400	374600
7.	Składowisko odpadów komunalnych w Świętochłowicach, ul. Wojska Polskiego; Zarządzający: Miejskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej w Świętochłowicach Sp. z o.o., ul. Łagiewnicka 76, 41-608 Świętochłowice	Zastępcza	1005400	615400	390000
8.	Składowisko odpadów komunalnych w Dąbrowie Górniczej, ul. Główna 144a; Zarządzający: Miejski Zakład Przetwarzania Odpadów Komunalnych LIPÓWKA II, ul. Główna 144a, 42-530 Dąbrowa Górnicza	Zastępcza	715570	462110	253460
9.	Składowisko odpadów komunalnych w Pyskowicach, ul. Wrzosowa 20a; Zarządzający: „Ekofol II” S.A., ul. Korfantego 45, 41-902 Bytom	Zastępcza	1360000	850637	509363
10.	Składowisko odpadów komunalnych w Tarnowskich Górach, ul. Laryszowska; Zarządzający: Remondis Sp. z o.o., ul. Nakielska 1–3, 42-600 Tarnowskie Góry	Zastępcza	478060	130562	347498
11.	Składowisko odpadów komunalnych w Zabrze, ul. Cmentarna 19; Zarządzający: Miejski Ośrodek Sportu i Rekreacji w Zabrzu Sp. z o.o., ul. Matejki 6, 41-800 Zabrze	Zastępcza	268930	42242	226688

Źródło: opracowanie własne

Tabela 31 Wykaz kompostowni odpadów komunalnych w II RGO

Lp.	Rodzaj instalacji	Nazwa i adres podmiotu zarządzającego	Adres instalacji	Status instalacji	Zdolność przerobowa [Mg/rok]
1.	Kompostowanie w przyzmach	P.H.U. „SOWEX” Sp. z o.o., ul. Stalowa 3/6a, 41-200 Sosnowiec	ul. Sadowskiego 41-948 Piekary Śląskie	Zastępcza	10 000 (20 02 01 – 5 000)
2.	Kompostowanie w przyzmach	EKO FOL II S.A., ul. Korfanteo 45, 41-902 Bytom	ul. Wrzosowa 20a 44-120 Pyskowice	Zastępcza	ok. 20 000 (20 02 01 – 300)
3.	Kompostowanie w przyzmach	Rolnicza Spółdzielnia Produkcyjna „PROMIEN”, ul. Główna 91, 42-530 Dąbrowa Górnicza	ul. Główna 91 42-530 Dąbrowa Górnicza	Zastępcza	17 500
4.	Kompostowanie w przyzmach	LANDECO Sp. z o.o., ul. Graniczna 29, 40-017 Katowice	ul. Zwycięstwa 4 41-100 Siemianowice Śląskie	Zastępcza	1 500
5.	Kompostowanie w przyzmach	Firma usług ekologicznych Krystyna Żądło, ul. Obrońców Westerplatte 100, 40-335 Katowice	ul. Srokowiecka 16 41-100 Siemianowice Śląskie	Zastępcza	25 650 (20 02 01 – 7 500)
6.	Kompostowanie w przyzmach	Miejskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej Sp. z o.o., ul. Lecha 10, 41-800 Zabrze	ul. Cmentarna 19f 41-800 Zabrze	Zastępcza	23 000 (20 02 01 – 5 500)
7.	Kompostowanie w przyzmach	Przedsiębiorstwo Składowania i Utylizacji Odpadów Sp. z o.o., ul. Zwycięstwa 36, 44-100 Gliwice	ul. Rybnicka 44-100 Gliwice	Zastępcza	20 02 01 – 8 000 19 12 12 – 35 000
8.	Kompostowanie w przyzmach	Miejskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej w Świętochłowicach, ul. Łagiewnicka 76, 41-608 Świętochłowice	Świętochłowice, teren składowiska odpadów, rejon ul. Wojska Polskiego	Regionalna	3 000 (20 02 01 – 1 500)
9.	Kompostowanie w przyzmach	RSP Maciejkowice; ul. Antoniów 1, 41-508 Chorzów	ul. Antoniów 1 41-508 Chorzów	Zastępcza	30 000 (20 02 01 – 5 000)
10.	Kompostowanie w przyzmach	INSBUD Sp. z o.o., ul. Michałowicka 6, 41-500 Chorzów	ul. Michałowicka 6 41-500 Chorzów	Zastępcza	5 800 (20 02 01 – 500)
11.	Kompostowanie w przyzmach	WPKiW im. Gen. J. Ziętka S.A., al. Różana 2, 41-501 Chorzów	Teren działki 1284/180 położonej w północnej części Parku WPKiW w Chorzowie	Zastępcza	3 072 (20 02 01 – 3 000)
12.	Kompostowanie w przyzmach	Miejskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej w Katowicach, ul. Obroki 140, 40-833 Katowice	ul. Miłowicka 7a 40-312 Katowice	Zastępcza	15 000 (20 02 01 – 10 000)
13.	Kompostownia	Miejski Zakład Przetwarzania Odpadów LIPÓWKA II, ul. Główna 144A, 42-530 Dąbrowa Górnicza	ul. Główna 144A 42-530 Dąbrowa Górnicza	Zastępcza	8 250 (20 02 01 – 2 000)
14.	Kompostowanie w przyzmach	Zakład Usług Komunalnych Halina Kotuła; ul. Wolności 28a, 42-500 Będzin	ul. Kempy 112 42-506 Będzin	Zastępcza	7 000 (20 02 01 – 800)
15.	Kompostowanie w przyzmach	Miejski Zakład Składowania Odpadów Sp. z o.o. ul. Grenadierów, 41-200 Sosnowiec	ul. Grenadierów, 41-200 Sosnowiec	Regionalna	3 000

Lp.	Rodzaj instalacji	Nazwa i adres podmiotu zarządzającego	Adres instalacji	Status instalacji	Zdolność przerobowa [Mg/rok]
16.	Kompostowanie w przyzmach	REMONDIS Tarnowskie Góry Sp. z o.o., ul. Nakiejska 1-3, 42-600 Tarnowskie Góry	ul. Laryszowska 42-600 Tarnowskie Góry	Regionalna	14 600

Źródło: opracowanie własne

Infrastruktura techniczna jest istotnym elementem wpływającym na efektywność realizowanych procesów przetwarzania odpadów komunalnych. Rodzaj zastosowanego procesu, grupa przetwarzanych odpadów oraz roczne zdolności przerobowe instalacji świadczą o konieczności zagospodarowania wejściowego strumienia odpadów, który w jak największym udziale powinien być poddawany procesom recyklingu i odzysku.

Analizowany II RGO województwa śląskiego posiada niewystarczające moce przerobowe do prawidłowego i efektywnego zagospodarowania wytwarzanych odpadów. Istnieje duże zagrożenie niewykorzystania potencjału energetycznego odpadów, które ostatecznie deponowane są na składowiskach. Plany inwestycyjne mają na celu rozwiązać tę problemową kwestię, umożliwiając przedsiębiorcom kontrolowane inwestycje w województwie.

11.4. Określenie potencjału energetycznego odpadów II RGO

Analiza ilościowo-jakościowa odpadów palnych na terenie II RGO miała na celu wykazanie potencjału energetycznego regionu. Zgodnie z założeniami w zestawieniu (tab. 32) ujęto odpady komunalne, których właścicielami są mieszkańcy gmin, a których ewidencja prowadzona jest przez oddelegowane referaty urzędów.

Analiza ilościowa uwzględnia łączne sumy odpadów zebranych z terenów gmin przynależących do II RGO w latach 2013 i 2014, wyszczególniając kody odpadów kalorycznych, do których należą odpady z papieru, tworzyw sztucznych, gumy, tekstyliów, drewna, jak również objęte osobną analizą odpady zmieszane 19 12 12, 20 03 01. Podział ten uzasadniony jest potrzebą opracowania odrębnej metodyki analizy właściwości kalorycznych odpadów zmieszanych. Umożliwili to również usystematyzowanie kryteriów oraz właściwości paliwowych dla odpowiednich frakcji odpadów.

Tabela 32 Zestawienie odpadów o potencjale energetycznym w Regionie II

Kod	Grupa, podgrupa i rodzaje odpadów	Masa [Mg] w 2013 r	Masa [Mg] w 2014 r
15	Odpady opakowaniowe; sorbenty, tkaniny do wycierania, materiały filtracyjne i ubrania ochronne nieujęte w innych grupach		
15 01	Odpady opakowaniowe (włącznie z selektywnie gromadzonymi komunalnymi odpadami opakowaniowymi)		
15 01 01	Opakowania z papieru i tektury	8926,57	11326,96
15 01 02	Opakowania z tworzyw sztucznych	4690,83	4475,73
15 01 03	Opakowania z drewna	437,9	18,8
15 01 09	Opakowania z tekstyliów	0	0
15 02	Sorbenty, materiały filtracyjne, tkaniny do wycierania i ubrania ochronne		
15 02 03	Sorbenty, materiały filtracyjne, tkaniny do wycierania (np. szmaty, ściereki) i ubrania ochronne inne niż wymienione w 15 02 02	0	0
16	Odpady nieujęte w innych grupach		
16 01	Zużyte lub nienadające się do użytkowania pojazdy (włączając maszyny pozadrogowe), odpady z demontażu, przeglądu i konserwacji pojazdów (z wyłączeniem grup 13 i 14 oraz podgrup 16 06 i 16 08)		
16 01 03	Zużyte opony	81,18	23,4
16 01 19	Tworzywa sztuczne	0	0

17	Odpady z budowy, remontów i demontażu obiektów budowlanych oraz infrastruktury drogowej (włączając glebę i ziemię z terenów zanieczyszczonych)		
17 02	Odpady drewna, szkła i tworzyw sztucznych		
17 02 01	Drewno	1,6	3,4
17 02 03	Tworzywa sztuczne	29,8	3,1
19	Odpady z instalacji i urządzeń służących zagospodarowaniu odpadów, z oczyszczalni ścieków oraz z uzdatniania wody pitnej i wody do celów przemysłowych		
19 12	Odpady z mechanicznej obróbki odpadów (np. obróbki ręcznej, sortowania, zgniatania, granulowania) nieujęte w innych grupach		
19 12 01	Papier i tektura	0	0
19 12 04	Tworzywa sztuczne i guma	0	0
19 12 08	Tekstylia	0	0
19 12 10	Odpady palne (paliwo alternatywne)	0	0
19 12 12	Inne odpady (w tym zmieszane substancje i przedmioty) z mechanicznej obróbki odpadów inne niż wymienione w 19 12 11	88775,84	113321,3
20	Odpady komunalne łącznie z frakcjami gromadzonymi selektywnie		
20 01	Odpady komunalne segregowane i gromadzone selektywnie (z wyłączeniem 15 01)		
20 01 01	Papier i tektura	4596,75	3655,59
20 01 10	Odzież	192,78	36,6
20 01 11	Tekstylia	22	13,3
20 01 38	Drewno inne niż wymienione w 20 01 37	188,6	85,5
20 01 39	Tworzywa sztuczne	3347,69	3787,04
20 03	Inne odpady komunalne		
20 03 01	Niesegregowane (zmieszane odpady komunalne)	556174,52	491431,51

Źródło: opracowanie własne

Odpady 19 12 12

Analiza właściwości paliwowych odpadów pochodzących z instalacji mechaniczno-biologicznego przetwarzania wymaga podziału frakcyjnego, który wpływa na skład i wartości wybranych parametrów. Linie technologiczne mechanicznego przetwarzania odpadów w zależności od specyfiki przeznaczane są do przetwarzania odpadów zmieszanych, odpadów selektywnie zebranych, a także wielkogabarytowych.

Odpady o kodzie 19 12 12 uwzględnione zostały w rocznych sprawozdaniach gmin w przypadku, gdy podmiot odbierający odpady komunalne prowadzi segregację odebranych odpadów komunalnych w sortowni niebędącej częścią regionalnej instalacji do przetwarzania odpadów komunalnych. Przyjmuje się zatem, iż są to odpady zmieszane, przeznaczone do mechaniczno-biologicznego przetwarzania w instalacjach regionalnych.

W celu przyjęcia zakładanych wartości parametrów paliwowych oraz określenia potencjału energetycznego związanego z przetwarzaniem odpadów tego kodu przyjęto podział frakcyjny związany z uziarnieniem otrzymanych odpadów – frakcja nadsitowa (powyżej 80/100 [mm]) oraz frakcja podsitowa (0–80/100 [mm]). Dane zostały przedstawione w tabeli 33.

Odpady o kodzie 19 12 12 powstające w wyniku mechaniczno-biologicznej obróbki odpadów dla wytwórców stanowią często problemowy balast, a dla potencjalnych inwestorów instalacji do termicznego przekształcania odpadów – źródło zasobów energetycznych.

Frakcja nadsitowa, nazywana również pre-RDF, charakteryzuje się granulacją powyżej 80/90 mm (w zależności od wymiarów sita) i stanowi około 50% odpadów kierowanych do instalacji. W praktyce frakcja nadsitowa przeznaczana jest do produkcji RDF lub składowana, jednak przepisy wchodzące w życie 1 stycznia 2016 roku uniemożliwią deponowanie wysokoenergetycznego balastu na składowiskach.

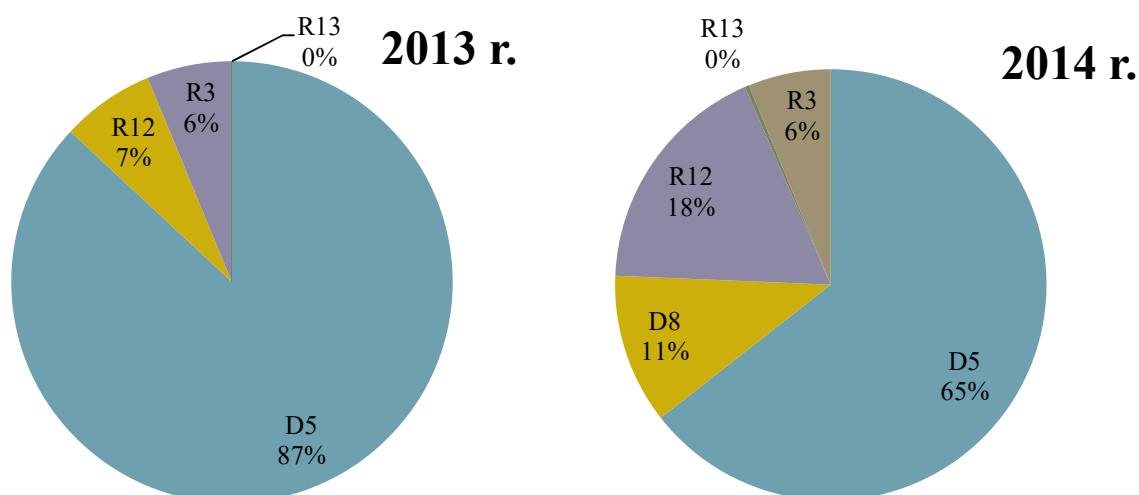
Poddając analizie dostępną masę odpadów o kodzie 19 12 12 z terenu badanego regionu, należy obliczyć udział poszczególnych metod zagospodarowania tej frakcji odpadów. Wykresy (rys. 33) przedstawiają procesy przetwórcze, którym został poddany odpad o kodzie 19 12 12 w roku 2013 i 2014. Proces R3 obejmuje recykling lub regenerację substancji organicznych,

w tym przypadku frakcji podsitowej, które poddawane są procesom biologicznym przekształceń w tym kompostowaniu.

Tabela 33 Morfologia odpadu o kodzie 19 12 12

Udział masowy	Odpady o kodzie 191212 - udział [%]		Wilgotność [%]	Wartość opałowa [MJ/kg]
	Frakcja podsitowa	Frakcja nadsitowa		
	50%	50%		
Odpady spożywcze pochodzenia roślinnego	16,26	15,9	70	3,95
Odpady spożywcze pochodzenia zwierzęcego	1,33	0,77	70	3,95
Odpady papieru i tektury	8,62	21,28	19,2	13,38
Odpady tworzyw sztucznych	7,94	37,08	7,5	24,19
Odpady materiałów tekstylnych	1,19	4,16	24,8	14,94
Odpady szkła	15,24	3,44	bd	bd
Odpady metali	1,94	3,44	bd	bd
Odpady organiczne pozostałe	5,78	4,81	16	15,28
Odpady mineralne pozostałe	8,84	4		
Frakcja podsitowa	32,87	5,14	25	5,26
Wartość opałowa frakcji [MJ/kg]	6,558779	14,102217		
Uśredniona wartość opałowa frakcji [MJ/kg]	10,330498			

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 33 Udział procesów zagospodarowania odpadów o kodzie 19 12 12

Źródło: opracowanie własne

W dalszej części analizy przyjmuje się, iż balast z przetwarzania odpadów o kodzie 19 12 12 wynosi 50% (zgodnie z informacjami pozyskanymi podczas wywiadu pogłębionego). Frakcja ta, stanowiąca pozostałości po sortowaniu odpadów, jest wysokokalorycznym balastem problemowym deponowanym na składowiska, a jednocześnie wykazującym duży i niewykorzystany potencjał energetyczny nadający się do termicznego przekształcenia.

Odpady zmieszane 20 03 01

Kolejną grupę odpadów, wymagającą odrębnej i szczegółowej analizy, stanowią odpady zmieszane. Wartość opałowa tej frakcji zależna jest od składu morfologicznego, który jest uzależniony od miejsca powstawania odpadów zmieszanych. Opierając się o dane literaturowe [74, 117] oraz o informacje pozyskane podczas procesu ankietyzacji, opracowano zestawienie umożliwiające uśrednienie wartości opałowej zmieszanych odpadów komunalnych (tab. 34).

Z przedstawionych wyników badań wynika, że wydzielenie ze strumienia odpadów komunalnych odpadów o potencjale energetycznym umożliwia przedstawienie potencjału energetycznego odpadów zebranych w badanym systemie gospodarki odpadami. Przyjmując za obszar badań II RGO województwa śląskiego oraz opierając się na badaniach własnych obejmujących proces ankietyzacji, wywiadu pogłębionego oraz szczegółowej analizy sprawozdań gmin z zakresu gospodarowania odpadami komunalnymi, możliwe było stworzenie mapy przepływów odpadów o potencjale energetycznym. Przetransponowanie mapy strumienia wartości powszechnie stosowanej dla procesów produkcyjnej miało na celu oryginalne przedstawienie problemu oraz wyeksponowanie wartości, którą w tym wypadku jest wartość kaloryczna zebranych odpadów. Efektem próby uporządkowania pozyskanych danych jest rysunek 34.

Tabela 34 Morfologia odpadu o kodzie 20 03 01

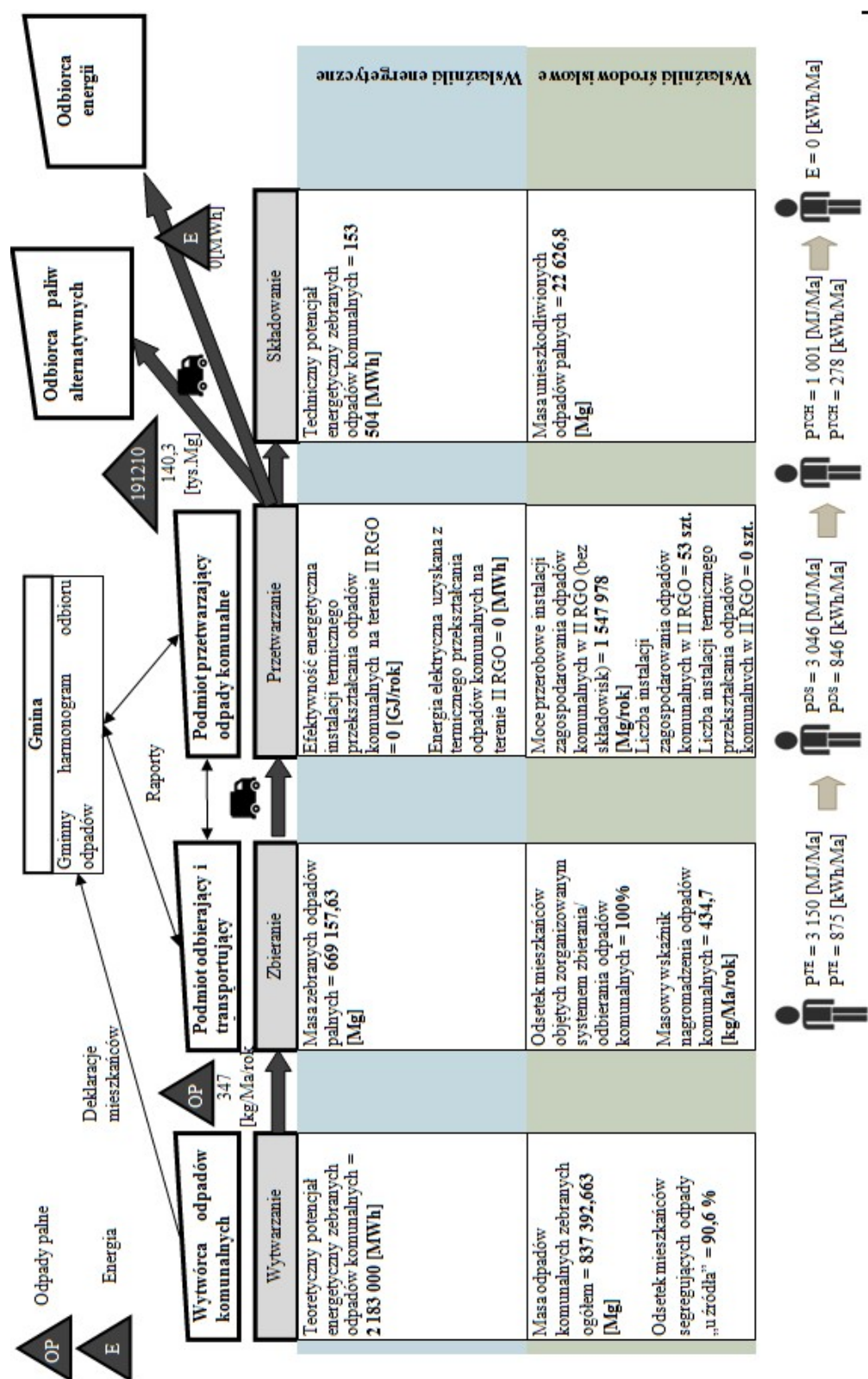
Wyszczególnienie	Odpady zmieszane (200301) - udział [%]				Wilgotność [%]	Wartość opałowa [MJ/kg]
	Miasta na prawach powiatu	Gminy miejskie	Gminy miejsko-wiejskie	Gminy wiejskie		
Odpady spożywcze pochodzenia roślinnego	35,78	31,09	35,54	21,69	70	3,95
Odpady spożywcze pochodzenia zwierzęcego	2,38	0,88	1,72	1,24	70	3,95
Odpady papieru i tektury	18,46	14,88	10,39	13,99	19,2	13,38
Odpady tworzyw sztucznych	12,84	12,54	13,98	13,09	7,5	24,19
Odpady materiałów tekstylnych	2,25	3,6	3,39	2,89	24,8	14,94
Odpady szkła	8,52	8,65	6,61	7,143	0	0
Odpady metali	2,34	1,94	3,39	1,95	0	0
Odpady organiczne pozostałe	1,73	2,55	2,52	2,53	16	15,28
Odpady mineralne pozostałe	3,21	7,36	5,61	8,4		
Frakcja podsitowa	12,74	16,51	16,87	26,78	25	5,26
Wartość opałowa odpadów zmieszanych [MJ/kg]	8,353882	8,083091	8,022598	8,171046		

Źródło: opracowanie własne

Z analizy przepływu odpadów kalorycznych w systemie gospodarki odpadami II RGO wynika, iż brak instalacji termicznego przekształcania odpadów komunalnych powoduje marnotrawstwo w postaci niewykorzystanego potencjału energetycznego zebranych odpadów. Skala tej straty została obliczona ze względu na przyjęty podział potencjału energetycznego, który obejmuje:

- potencjał teoretyczny (P^{TE} – wartość potencjału teoretycznego), a w nim wszystkie odpady kaloryczne zebrane w danym regionie;
- potencjał dostępny (P^{DS} – wartość potencjału dostępnego), który jest częścią potencjału teoretycznego pomniejszoną o masę odpadów kalorycznych poddaną procesom odzysku i recyklingu ($R1 - R11$), a uwzględniający procesy unieszkodliwiania – D , oraz pozostałe procesy odzysku, tj. $R12$ i $R13$, które dotyczą wymiany odpadów lub ich magazynowania;
- potencjał techniczny (P^{TCH} – wartość potencjału technicznego), który jest częścią potencjału dostępnego oraz został zweryfikowany o udział balastu problemowego z procesu sortowania odpadów o kodzie 19 12 12 i 20 03 01, który zgodnie z założeniami wynosi 50%. Potencjał techniczny ukazuje zatem tę część zebranych odpadów

kalorycznych, które są unieszkodliwiane przez składowanie, a które stanowią potencjalny wsad do efektywnego odzysku energetycznego.



Rysunek 34 Mapa strumienia odpadów palnych w II RGO

Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 34, potencjał teoretyczny, dostępny oraz techniczny, zostały przedstawione w jednostkach mocy ([MJ] oraz [kWh]) w przeliczeniu na 1-ego mieszkańca. Wskaźnik ten ma na celu zweryfikowanie potencjału energetycznego zebranych odpadów komunalnych, który finalnie może powrócić do wytwórców odpadów w postaci otrzymanej energii.

12. Koncepcja modelu technologiczno-logistycznego procesu energetycznego wykorzystania odpadów

12.1. Model pojęciowy

Model pojęciowy technologiczno-logistycznego procesu energetycznego wykorzystania odpadów definiuje główne cele i założenia modelu, jak również określa jego strukturalne ograniczenia.

Uwzględnienie odwzorowania przestrzennego badanego terenu, na którym ma powstać instalacja, pozwala wybrać obszary proponowane do lokalizacji obiektu. Przy pomocy darmowego oprogramowania Quantum GIS (ang. *Geographic Information System*) utworzono pakiet danych przestrzennych odpowiadających tematycznym mapom rastrowym i wektorowym, w tym:

- mapie administracyjnej regionu;
- mapie topograficznej;
- mapie hydrologicznej;
- mapie sieci dróg;
- mapie zabudowań mieszkalnych;
- mapie obszarów chronionych.

Wygenerowano również przestrzenne odwzorowanie obiektów systemu gospodarki odpadami, w tym:

- instalacji przekształcania odpadów;
- gmin;
- elektrowni i elektrociepłowni;
- optymalnych rozwiązań lokalizacji obiektów (przy pomocy metody środka ciężkości i metody sieciowej).

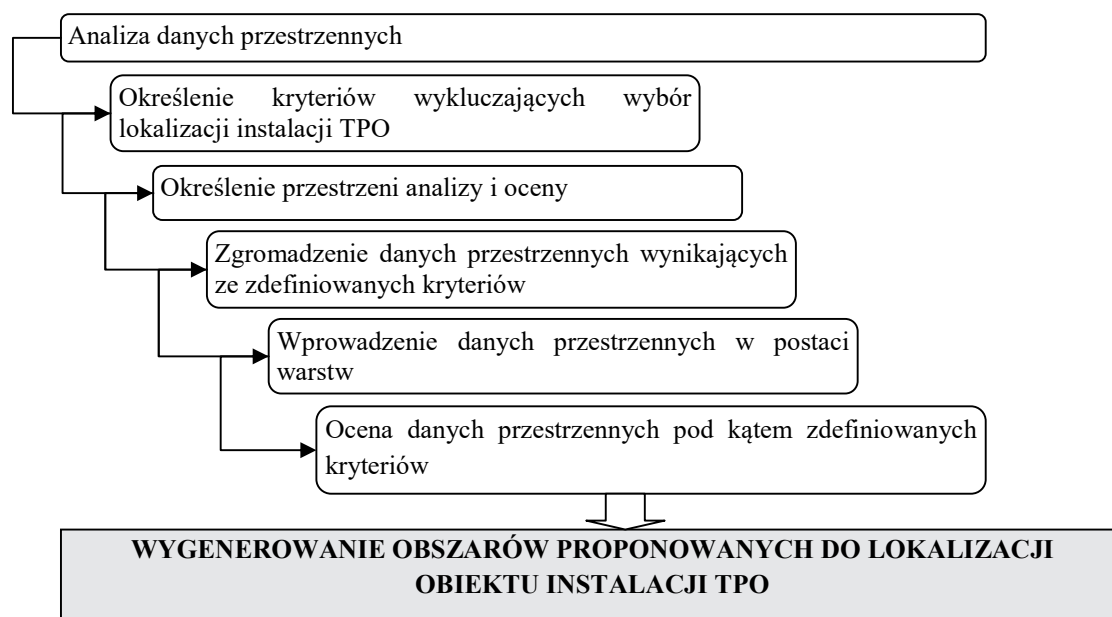
Graficzny opis metodyki analizy danych przestrzennych został przedstawiony na rysunku 35.

Wybór oprogramowania GIS wspomagającego pracę na bazie danych przestrzennych podyktowany był potrzebą warstwowego odzwierciedlenia kryteriów ograniczających wybudowanie obiektu w danej lokalizacji. Oprogramowanie Quantum GIS w stopniu porównywalnym do płatnych oprogramowań umożliwia zarządzanie danymi przestrzennymi oraz atrybutami obiektów. Dodatkowo możliwość geokodowania danych adresowych pozwoliła na opracowanie warstwy obejmującej dostawców odpadów oraz obliczenie odległości pomiędzy tymi obiektami a potencjalnymi lokalizacjami instalacji termicznie przekształcającej odpady.

Analityczne ograniczenia modelu przedstawiono w postaci mapy procesów (rys. 36) przygotowanej w notacji BPMN za pomocą oprogramowania Bizagi Modeler [202]. Mapa obrazuje uporządkowany ciąg czynności związanych z wdrażaniem inwestycji TPO (termicznego przekształcania odpadów) na danym obszarze.

Rysunek 36 przedstawia trzech głównych uczestników procesu. „System” oznacza główną część systemu gospodarki odpadami związaną z fizycznym przepływem odpadów, w tym z wytwarzaniem, zbiórką, transportem i przetwarzaniem odpadów. Efektem tych czynności jest potencjalny zbiór odpadów kalorycznych stanowiących wsad do procesu termicznego przekształcania odpadów, których bilans opracowywany jest w sprawozdaniu gmin. Przyjęto zatem, że „System” obejmuje dostawców odpadów (zarówno gminy, jak i instalacje

przetwarzania odpadów) generujących strumienie odpadów komunalnych o potencjale energetycznym.



Rysunek 35 Metodyka wyboru obszarów proponowanych do lokalizacji instalacji TPO

Źródło: opracowanie własne na podstawie [193]

Kolejny uczestnik procesu to „Województwo”. Dedykowane organy urzędów marszałkowskich województw odpowiedzialne są za nadzór nad inwestycjami prowadzonymi w regionach. Opracowują one również plany inwestycyjne, które umożliwiają inwestorom rozpoczęcie prac nad wdrażaniem technologii z zakresu przetwarzania odpadów. Istnieje zatem konieczność odpowiedniej oceny systemu pod kątem możliwości wybudowania nowego obiektu. Wykonanie szczegółowej inwentaryzacji technologicznej regionu, a także ilościowo-jakościowego bilansu wytwarzanych i przetwarzanych odpadów umożliwia określenie nie tylko potencjału energetycznego odpadów, ale też wolnych mocy przerobowych regionu gospodarki odpadami.

„Inwestor” jest ostatnim uczestnikiem procesu. Wykazuje on zainteresowanie wdrożeniem konkretnej technologii TPO. Szereg czynności, które mają na celu analizowanie i ocenianie potencjalnego terenu budowy inwestycji, umożliwia weryfikowanie dostępnego potencjału energetycznego odpadów pod kątem możliwości wyprodukowania energii. Pozytywna ocena tych badań jest wstępnym potwierdzeniem efektywności wdrożenia inwestycji oraz zasadności wpisania jej do planu inwestycyjnego.

Analiza technologiczna procesu energetycznego wykorzystania odpadów ma za zadanie weryfikować podstawowe parametry technologii, które wpływają na efektywność energetyczną wykorzystania odpadów w procesie termicznej obróbki. Uwzględnia zarówno podstawowe atrybuty procesu, takie jak m.in. sprawność, wydajność oraz wartość opałowa wsadu, jak również poddaje analizie środowiskowy aspekt funkcjonowania instalacji, związany z emisjami wybranych gazów do powietrza. Przyjęto, że największy udział emisji przypada na transport odpadów do instalacji, w związku z czym odległości instalacji od dostawców stanowią podstawowe zadanie analizy aspektu logistycznego procesu energetycznego wykorzystania odpadów. Zastosowanie tradycyjnych metod poszukiwania optymalnego rozwiązania wyboru lokalizacji umożliwia nie tylko minimalizowanie kosztów transportu, ale też emisji szkodliwych gazów związanych z dostawami. Podstawowe kryterium wyboru dostawcy stanowią zatem bliska odległość od lokalizacji inwestycji TPO oraz zapewnienie dostaw odpadów kalorycznych o zakładanej wartości opałowej.

Silna zależność pomiędzy technologicznymi a logistycznymi aspektami procesu energetycznego wykorzystania odpadów umożliwia realizację celu modelu, którym jest zwiększenie możliwości odzysku energii z opadów na danym terenie. Zakłada się, że potencjalna instalacja powinna spełniać następujące kryteria:

- technologia powinna być zgodna z kryteriami BAT [27, 28];
- lokalizacja obiektu powinna spełniać wymagania zawarte w dedykowanych aktach prawnych;
- instalacja powinna zapewniać w stopniu dopuszczającym ochronę zdrowia i bezpieczeństwa mieszkańców;
- funkcjonowanie obiektu powinno zapewniać ochronę hydrosfery, przyrody oraz gleb;
- instalacja powinna minimalizować ryzyko przedostania się zanieczyszczeń do środowiska.

Dodatkowo każdy wariant instalacji TPO poddany analizie powinny charakteryzować następujące parametry:

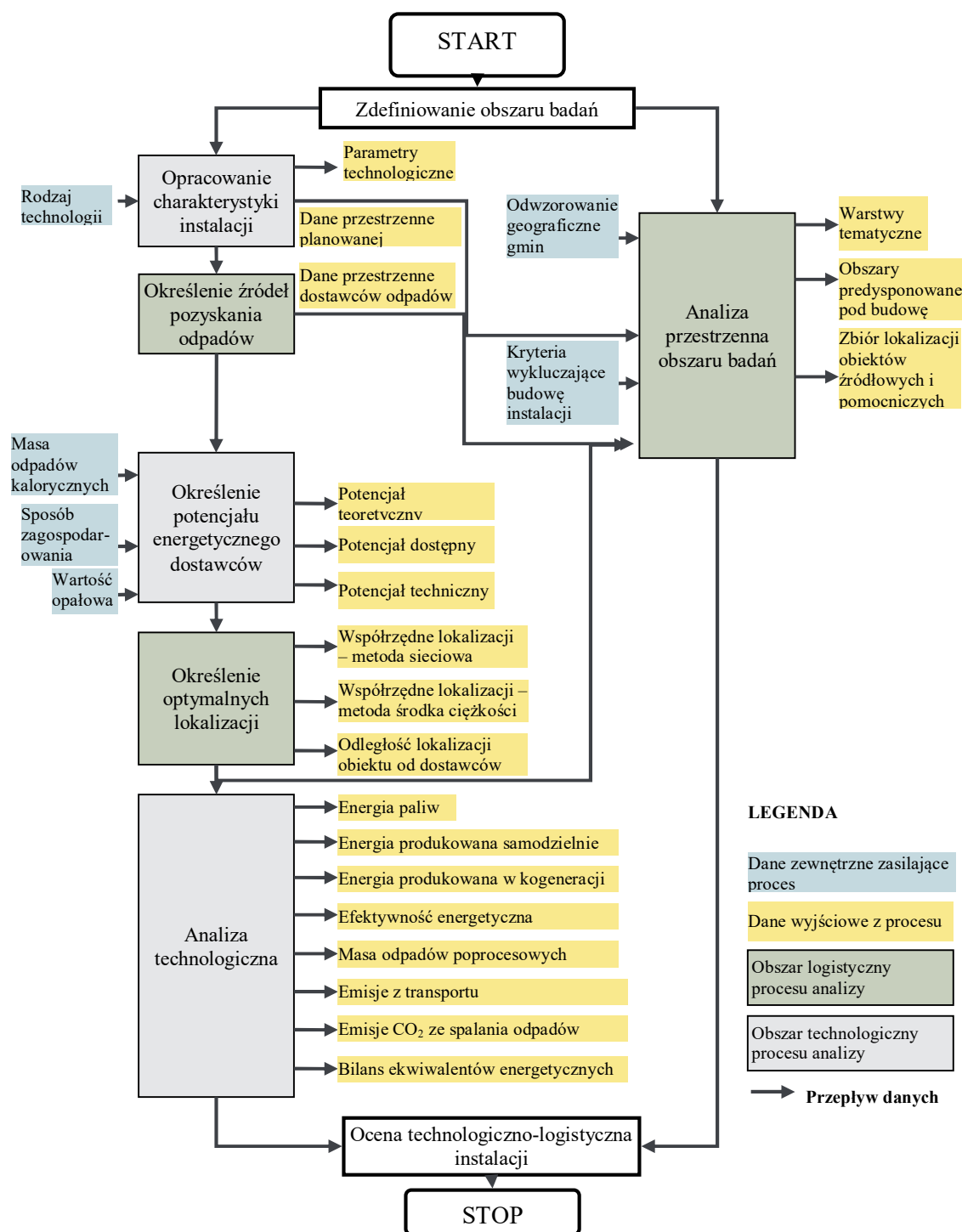
- planowana lokalizacja obiektu;
- wydajność instalacji [Mg/rok];
- zdefiniowany kod odpadu, który ma być poddany obróbce termicznej wraz z zakładaną wartością opałową [MJ/kg];
- sprawność instalacji dla samodzielnej produkcji energii, jak również dla kogeneracji.

Powyższe dane umożliwiają przedstawienie analizy technologicznej i logistycznej procesu przekształcania odpadów według przyjętych założeń, a także stanowią punkt wyjścia do weryfikacji parametrów i analizy danych wyjściowych analizy.

12.2. Model matematyczny

Model matematyczny procesu energetycznego wykorzystania odpadów składa się ze zbioru parametrów oraz formuł umożliwiających rozwiązanie problemu technologiczno-logistycznego wyboru instalacji TPO.

Przedstawione poniżej metody obliczeniowe są następstwem przyjętego algorytmu procesu wyznaczania poszczególnych rozwiązań (rys. 37).



Rysunek 37 Algorytmizacja obliczeń

Źródło: opracowanie własne

Ogólny opis struktury modelu matematycznego obejmuje klasyfikację problemu – problemem tym jest wybór optymalnej lokalizacji instalacji TPO (czyli takiej, która zapewniłaby maksymalne wykorzystanie potencjału energetycznego odpadów na wybranym terenie).

W przypadku technologicznej przestrzeni decyzyjnej możliwości weryfikowania parametrów instalacji są ograniczone przez wybrany i analizowany rodzaj technologii termicznego przekształcania odpadów. Wśród atrybutów analizy wyróżniamy m.in. rodzaje

odpadów poddanych termicznej obróbce, rodzaj i udział odpadów poprocesowych, jak również przyjęty zakres wydajności i sprawności danej technologii.

Logistyczna przestrzeń decyzyjna w aspekcie analizowanego problemu obejmuje ograniczone zasoby odpadów kalorycznych na analizowanym terenie. Dodatkowo odzwierciedla aktualną infrastrukturę technologiczną systemu gospodarki odpadami wraz ze źródłami pozyskiwania odpadów o potencjale energetycznym. Uwzględnienie obszarów niesprzyjających budowie instalacji TPO (w tym m.in. obszarów chronionych) pozwala ograniczyć zbiór decyzji dopuszczalnych do obszarów predysponowanych.

Identyfikacja zmiennych i parametrów modelu została opisana poniżej w tablicach 35-40.

Tabela 35 Parametry modelu – zespół zmiennych potencjału energetycznego

Parametry potencjału energetycznego:
P_d^{TE} – potencjał teoretyczny (TE) d-tego dostawcy [GJ/rok]; P_d^{DS} – potencjał dostępny (DS) d-tego dostawcy [GJ/rok]; P_d^{TCH} – potencjał techniczny (TCH) d-tego dostawcy [GJ/rok]; m_{ids} – masa i-tego odpadu od d-tego dostawcy poddanego s-emu sposobowi zagospodarowania [kg]; w_{id} – wartość opałowa i-tego odpadu od d-tego dostawcy [MJ/kg]; $u_{t,j}^P$ – udział i-tego opadu w paliwie (P) j-tej instalacji TPO [%].
Oznaczenia:
$i \in I$; $I = \{c; ts; t; g; dr; fn; oz; pa\}$, gdzie: c – celuloza; ts – tworzywa sztuczne; t – tekstylia; g – guma; dr – drewno; fn – odpady o kodzie 19 12 12; oz – odpady o kodzie 20 03 01; pa – odpady o kodzie 19 12 10. $d \in D$; $D = \{gminy; instalacje\} = (1, 2, \dots, n)$ $s \in S$; $S = \{A; B\}$, gdzie: $A \in \{R1-R13; D1-D15\}$, $B \in \{R12-R13; D1-D15\}$,

Źródło: opracowanie własne

Tabela 36 Parametry modelu – zespół zmiennych technologicznych

Parametry technologiczne:
V_j – wydajność j-tej instalacji TPO [Mg/rok]; η_j – sprawność j-tej instalacji TPO [%]; η_j^K – sprawność kogeneracji (K) j-tej instalacji TPO [%]; w_{rd} – wartość opałowa r-tego komponentu paliwowego od d-tego dostawcy [MJ/kg]; $u_{r,j}^P$ – udział r-tego komponentu w paliwie (P) j-tej instalacji TPO [%]; $u_{el,j}^K$ – udział produkcji energii elektrycznej w kogeneracji (K) j-tej instalacji TPO [%]; $u_{ec,j}^K$ – udział produkcji energii cieplnej w kogeneracji (K) j-tej instalacji TPO [%]; $u_{z,j}$ – udział odpadów poprocesowych – żużli we wsadzie j-tej instalacji TPO [%]; $u_{pl,j}$ – udział odpadów poprocesowych – popiołów we wsadzie j-tej instalacji TPO [%]; $u_{st,j}$ – udział odpadów poprocesowych – stałych pozostałości z oczyszczania spalin we wsadzie j-tej instalacji TPO [%]; $M_{z,j}$ – masa odpadów poprocesowych – żużli j-tej instalacji TPO [Mg/rok]; $M_{pl,j}$ – masa odpadów poprocesowych – popiołów j-tej instalacji TPO [Mg/rok]; $M_{st,j}$ – masa odpadów poprocesowych – stałych pozostałości z oczyszczania spalin j-tej instalacji TPO [Mg/rok].
Oznaczenia:
Jak wyżej i $r \in R = I \cup \{paliwa\ tradycyjne\}$; $I = \{c; ts; t; g; dr; fn; oz; pa\}$.

Źródło: opracowanie własne

Tabela 37 Parametry modelu – zespół zmiennych energetycznych

Parametry energetyczne:
$E_{e,j}$ – efektywność energetyczna (E_e) procesu energetycznego przetwarzania odpadów j-tej instalacji TPO [MW]; E_j^P – energia dostarczona z paliwem (P) j-tej instalacji TPO [MW] [GJ] [MWh]; $E_{el,j}$ – energia elektryczna wyprodukowana samodzielnie w j-tej instalacji [MW] [GJ] [MWh]; $E_{el,j}^K$ – energia elektryczna wyprodukowana w kogeneracji (K) j-tej instalacji [MW] [GJ] [MWh]; $E_{ec,j}^K$ – energia cieplna wyprodukowana w kogeneracji (K) j-tej instalacji [MW] [GJ] [MWh]; $E_{r,j}$ – energia do wspomagania procesu j-tej instalacji [MW]; $E_{i,j}$ – energia importowana j-tej instalacji [MW].
Oznaczenia:
Jak wyżej.

Źródło: opracowanie własne

Tabela 38 Parametry modelu – zespół zmiennych lokalizacyjnych

Parametry lokalizacyjne:
x_d – współrzędna geograficzna X d-tego dostawcy; y_d – współrzędna geograficzna Y d-tego dostawcy; X_j^{PL} – współrzędna geograficzna X j-tej instalacji TPO (PL – planowana); Y_j^{PL} – współrzędna geograficzna Y j-tej instalacji TPO (PL – planowana); $X_j^{MŚC}$ – współrzędna geograficzna X j-tej instalacji TPO (MŚC – obliczona metodą środka ciężkości); $Y_j^{MŚC}$ – współrzędna geograficzna Y j-tej instalacji TPO (MŚC – obliczona metodą środka ciężkości); X_j^{MS} – współrzędna geograficzna X j-tej instalacji TPO (MS – obliczona metodą sieciową); Y_j^{MS} – współrzędna geograficzna Y j-tej instalacji TPO (MS – obliczona metodą sieciową).
Oznaczenia:
Jak wyżej i $m \in \{p; mśc; ms\}$, gdzie: PL – jest wyznacznikiem lokalizacji planowanej; MŚC – jest wyznacznikiem lokalizacji obliczonej przy wykorzystaniu metody środka ciężkości; MS – jest wyznacznikiem lokalizacji obliczonej przy wykorzystaniu metody sieciowej; $d \in D_j$, gdzie: D_j – oznacza bazę dostawców wybranej j-tej instalacji TPO; d – jest kolejnym dostawcą z bazy.

Źródło: opracowanie własne

Tabela 39 Parametry modelu – zespół zmiennych logistyki dostaw

Parametry logistyki dostaw:
$Em_b^{j,m}$ – emisje b-tego zanieczyszczenia j-tej instalacji liczone na łącznej długości dostaw do m-tej lokalizacji obiektu [g/rok]; n_j – potok pojazdów odpowiedzialnych za dostawy j-tej instalacji [poj/rok]; $k_{b,j}$ – wskaźnik emisji b-tego zanieczyszczenia j-tej instalacji [g/km/poj]; $L_{D,j}^m$ – łączna długość dostaw od d-dostawców do m-tej lokalizacji j-tej instalacji [km/rok]; $l_{j,d}^m$ – jest odległością dostawcy od m-tego rozwiązania lokalizacyjnego j-tej instalacji TPO [km]; c – koszty transportu środka transportu [zł/Mg,km]; cs – oznacza ładowność samochodu [Mg/samochód].
Oznaczenia:
Jak wyżej.

Źródło: opracowanie własne

Tabela 40 Parametry zadania optymalizacyjnego

Zadania optymalizacyjne:
$F_1c(E_{el,j})$ – funkcja maksymalizująca wielkość wyprodukowanej samodzielnie energii elektrycznej w instalacji TPO; $F_2c(L_{D,j}^m)$ – funkcja minimalizująca długość rocznych dostaw odpadów kalorycznych do instalacji TPO; $Fc(E_{el,j}; L_{D,j}^m)$ – funkcja celu zadania optymalizacyjnego.
Oznaczenia:
Jak wyżej i $E_{el,j}$ – energia elektryczna wyprodukowana samodzielnie w j-tej instalacji [MW] [GJ] [MWh]; $L_{D,j}^m$ – łączna długość dostaw od d-dostawców do m-tej lokalizacji j-tej lokalizacji [km/rok].

Źródło: opracowanie własne

Sformułowanie zadania optymalizacyjnego

Rozpatrywane zadanie ma na celu uzyskanie dwóch następujących wartości optymalnych:

$$F_1c(E_{el,j}) = E_{el,j} \rightarrow \max \quad (12.1)$$

$$F_2c(L_{D,j}^m) = L_{D,j}^m \rightarrow \min \quad (12.2)$$

Na podstawie podanych wartości optymalnych (F_1c) i (F_2c) funkcja celu została przedstawiona następującą zależnością:

$$Fc(E_{el,j}; L_{D,j}^m) = \frac{E_{el,j}}{L_{D,j}^m} \rightarrow \max \quad (12.3)$$

Algorytmizacja obliczeń

A. Określenie potencjału energetycznego dostawców według opisu zawartego w rozdziale 11.4. polega na wykorzystaniu przedstawionych poniżej schematów obliczeniowych.

Dla potencjału energetycznego teoretycznego dostawców wybranego kodu odpadu wykorzystujemy następujący wzór:

$$P_d^{TE} = \sum_{d \in D} \sum_{i \in I} \sum_{s \in A} w_{id} \times m_{ids} \quad (12.4)$$

W przypadku potencjału energetycznego dostępnego weryfikujemy teoretyczny potencjał o masę i-tych odpadów niepoddanych procesom odzysku R1–R11, w związku z czym wzór przedstawia się następująco:

$$P_d^{DS} = \sum_{d \in D} \sum_{i \in I} \sum_{s \in B} w_{id} \times m_{ids} \quad (12.5)$$

Potencjał energetyczny techniczny, zgodnie z założeniami, wynika z wyodrębnienia „balastu problemowego” ze strumienia odpadów o kodzie 19 12 12 (fn) i 20 03 01 (oz), który stanowi 50% wsadu do procesu mechanicznego przetwarzania odpadów. Poniższy wzór uwzględnia te założenia:

$$P_d^{TCH} = 0,5 \times \sum_{d \in D} \sum_{i \in \{fn, oz\}} \sum_{s \in B} w_{id} \times m_{ids} + \sum_{d \in D} \sum_{i \in I \setminus \{fn, oz\}} \sum_{s \in B} w_{id} \times m_{ids} \quad (12.6)$$

B. Wybór bazy dostawców wynika z możliwości dostaw odpowiednich kodów odpadów kalorycznych. Mogą być to zarówno gminy, które zarządzają strumieniem odpadów komunalnych od mieszkańców, jak również instalacje, które po wstępnej obróbce mechanicznej, a tym samym po przekodowaniu strumienia odpadów, także stanowią źródło dostaw odpadów kalorycznych. W ramach każdej planowanej instalacji TPO w pierwszej kolejności porządkujemy listę potencjalnych dostawców według następujących założeń:

$d \in D_j$, gdzie:

D_j – oznacza bazę dostawców wybranej j-tej instalacji TPO;

d – jest kolejnym dostawcą z bazy.

$$P_1^{TCH} > P_2^{TCH} > P_3^{TCH} \dots > P_d^{TCH} \quad (12.7)$$

$$P_d^{TCH} > 0 \quad (12.8)$$

Suma dostaw odpadów kalorycznych nie powinna przekraczać planowanej wydajności instalacji, w związku z czym postawiono ograniczenie:

$$\sum_{d \in D} P_d^{TCH} \leq V_j \quad (12.9)$$

C. Zespół parametrów modelu matematycznego, według przyjętych założeń, odnosi się do funkcjonowania instalacji w skali rocznej. Podstawą są bazy danych o odpadach komunalnych bilansowane w zestawieniu rocznym oraz analizy technologiczne, dla których oblicza się efektywność pracy instalacji w okresie rocznym. W związku z powyższym długości tras dostaw odpadów kalorycznych do instalacji również przedstawiono w tym przedziale czasu. Ograniczeniem tego podejścia jest brak możliwości optymalizowania tras zbiórki. Przyjmując jednak, że analizowany problem ma na za zadanie wskazanie potencjalnych źródeł dostaw z perspektywy trzech możliwych lokalizacji instalacji TPO (planowanego według metody środka ciężkości oraz metody sieciowej), podejście sumarycznego przedstawienia długości tras umożliwia przedstawienie skali problemu dostaw.

Poniższy wzór jest następstwem przyjętego założenia,

$$L_{j,d}^m = \sum_{d \in D} \frac{P_d^{TCH} \times l_{j,d}^m \times 2}{cs} \quad (12.10)$$

gdzie 2 – oznacza trasę dojazdu do dostawcy i jej powrót do instalacji TPO.

D. Wybór technik wyznaczania optymalnej lokalizacji był konsekwencją złożoności problemu oraz potrzeby zdywersyfikowania podejścia.

W pierwszej kolejności wykorzystuje się tradycyjną metodę środka ciężkości uwzględniającą czynnik przestrzeni, jak również wartość potencjału energetycznego technicznego dostawcy.

Poszczególne współrzędne określone są na podstawie poniższych wzorów:

$$X_j^{MSc} = \frac{\sum_{d \in D} P_d^{TCH} \times x_d}{\sum_{d \in D} P_d^{TCH}} \quad (12.11)$$

$$Y_j^{MSc} = \frac{\sum_{d \in D} P_d^{TCH} \times y_d}{\sum_{d \in D} P_d^{TCH}} \quad (12.12)$$

W przypadku drugiego podejścia podstawowa funkcja metody sieciowej [180] uwzględniająca odległość od dostawców przedstawia się następująco:

$$f(X_j^{MS}, Y_j^{MS}) = \sum_{d \in D} \sqrt{(x - x_d)^2 + (y - y_d)^2} \rightarrow \min \quad (12.13)$$

Niejednokrotnie w metodzie sieciowej uwzględnia się dodatkowe parametry, takie jak charakterystyka dostaw do funkcji celu, wartości potencjału energetycznego technicznego poszczególnych dostawców oraz koszty wyrażone w [zł/Mg/km]. W takim ujęciu funkcja przybiera następującą postać:

$$f(X_j^{MS}, Y_j^{MS}) = \sum_{d \in D} P_d^{TCH} \times c \sqrt{(x - x_d)^2 + (y - y_d)^2} \rightarrow \min \quad (12.14)$$

E. Emisję poszczególnych zanieczyszczeń z transportu odpadów od dostawców do instalacji określono na podstawie wzoru [24]:

$$Em_b^{j,m} = n_j \times k_{b,j} \times L_{j,d}^m \quad (12.15)$$

Wartości wskaźników emisji zanieczyszczeń zaczerpnięto z tabeli 41.

Tabela 41 Wskaźniki emisji z silników pojazdów

Samochody ciężarowe						
V_{sr}	NO_x	NO_2	CO	PM	SO_2	C_6H_6
20	1,174573	0,352372	0,605792	0,028463	0,019358	0,020505
30	0,775247	0,232574	0,438856	0,020647	0,016128	0,014696
40	0,664659	0,199398	0,376451	0,017293	0,01375	0,012039
50	0,67635	0,202905	0,326023	0,014561	0,011756	0,009314
60	0,703139	0,210942	0,297942	0,013199	0,01167	0,007405

Źródło: [24]

Obliczenia kluczowych parametrów technologicznych instalacji TPO rozpoczyna się od określenia wartości opałowej paliwa, uwzględniając udział komponentu paliwowego (np. odpadu) oraz jego wartość opałową:

$$W_j^P = \sum_{d \in D} \sum_{r \in R} u_{r,j}^p \times w_{rd} \quad (12.16)$$

Przy czym $r \in R = I \cup \{\text{paliwa tradycyjne}\}$

Gdy paliwem jest mieszanka opadów, to wartość opałową oblicza się według wzoru:

$$W_j^P = \sum_{d \in D} \sum_{i \in I} u_{i,j}^p \times w_{id} \quad (12.17)$$

Energia dostarczona z paliwem obliczana jest według poniższego wzoru uwzględniającego wydajność instalacji oraz wartość opałową paliwa:

$$E_j^P = V_j \times W_j^P \quad (12.18)$$

Energia elektryczna produkowana samodzielnie w instalacji TPO dodatkowo uwzględnia sprawność instalacji:

$$E_{el,j} = V_j \times W_j^P \times \eta_j \quad (12.19)$$

Produkcja energii elektrycznej oraz ciepłej w kogeneracji bierze pod uwagę również udziały produkcji energii oraz sprawność jednostki kogeneracyjnej:

$$E_{el,j}^K = E_j^P \times \eta_j \times u_{el,j} \times \eta_j^K \quad (12.20)$$

$$E_{ec,j}^K = E_j^P \times \eta_j \times u_{ec,j} \times \eta_j^K \quad (12.21)$$

Efektywność energetyczna procesu energetycznego przetwarzania odpadów w j-tej instalacji TPO zgodnie z *Rozporządzeniem* [134] obliczana jest według wzoru:

$$Ee_j = \frac{E_{p,j} - (E_{f,j} + E_{i,j})}{0,97 \times (E_{w,j} + E_{f,j})} \quad (12.22)$$

Masa poszczególnych odpadów poprocesowych z termicznego przekształcania kalkulowana jest na podstawie równań:

$$M_{z,j} = u_{z,j} \times V_j \quad (12.23)$$

$$M_{pł,j} = u_{pł,j} \times V_j \quad (12.24)$$

$$M_{st,j} = u_{st,j} \times V_j \quad (12.25)$$

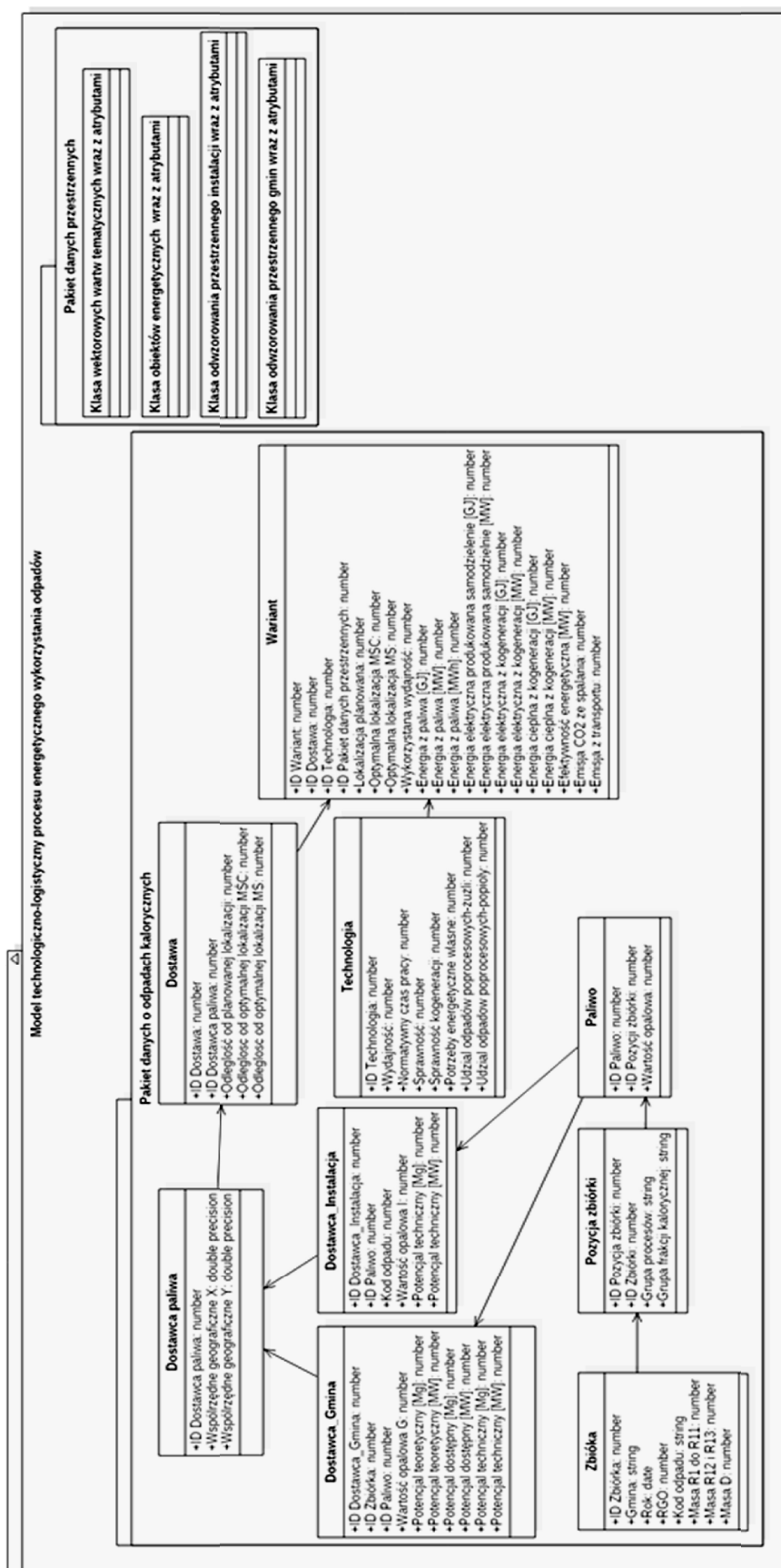
12.3. Model obiektowy

Model technologiczno-logistyczny procesu energetycznego wykorzystania odpadów został przedstawiony w postaci diagramu klas notacji UML. Graficzna struktura programu została opracowana w oprogramowaniu StarUML [214], zgodnym ze standardem UML 2.0.

Topografia modelu zorientowanego obiektowo składa się z dwóch powiązanych ze sobą części. Analityczna część modelu została przedstawiona w pakiecie danych o odpadach kalorycznych, przy czym część obejmująca geograficzne informacje – w pakiecie danych przestrzennych.

Statyczny diagram klas prezentuje podstawowe zależności pomiędzy klasami obiektów modelu, a także reprezentuje kluczowe atrybuty wyszczególnionych klas. Diagram obiektowy, jako następstwo zidentyfikowanej mapy procesów oraz opracowanego modelu matematycznego obliczeń poszczególnych parametrów, przedstawia klasę „Wariant” jako podsumowanie zebranych danych. „Wariant” jest zatem zdefiniowaną opcją wdrażanej instalacji TPO na danym terenie charakteryzującą się zespołem właściwości i zmiennych zaprezentowanych na rysunku 38.

Istotną rolę w modelu pełni pakiet danych przestrzennych, który jest graficznym odwzorowaniem obiektów posiadających zdefiniowane atrybuty przestrzenne. Dodatkowo klasa wektorowych warstw tematycznych jest obiektową reprezentacją modelu predysponowanych lokalizacji wariantów inwestycyjnych obejmujących instalacje TPO.

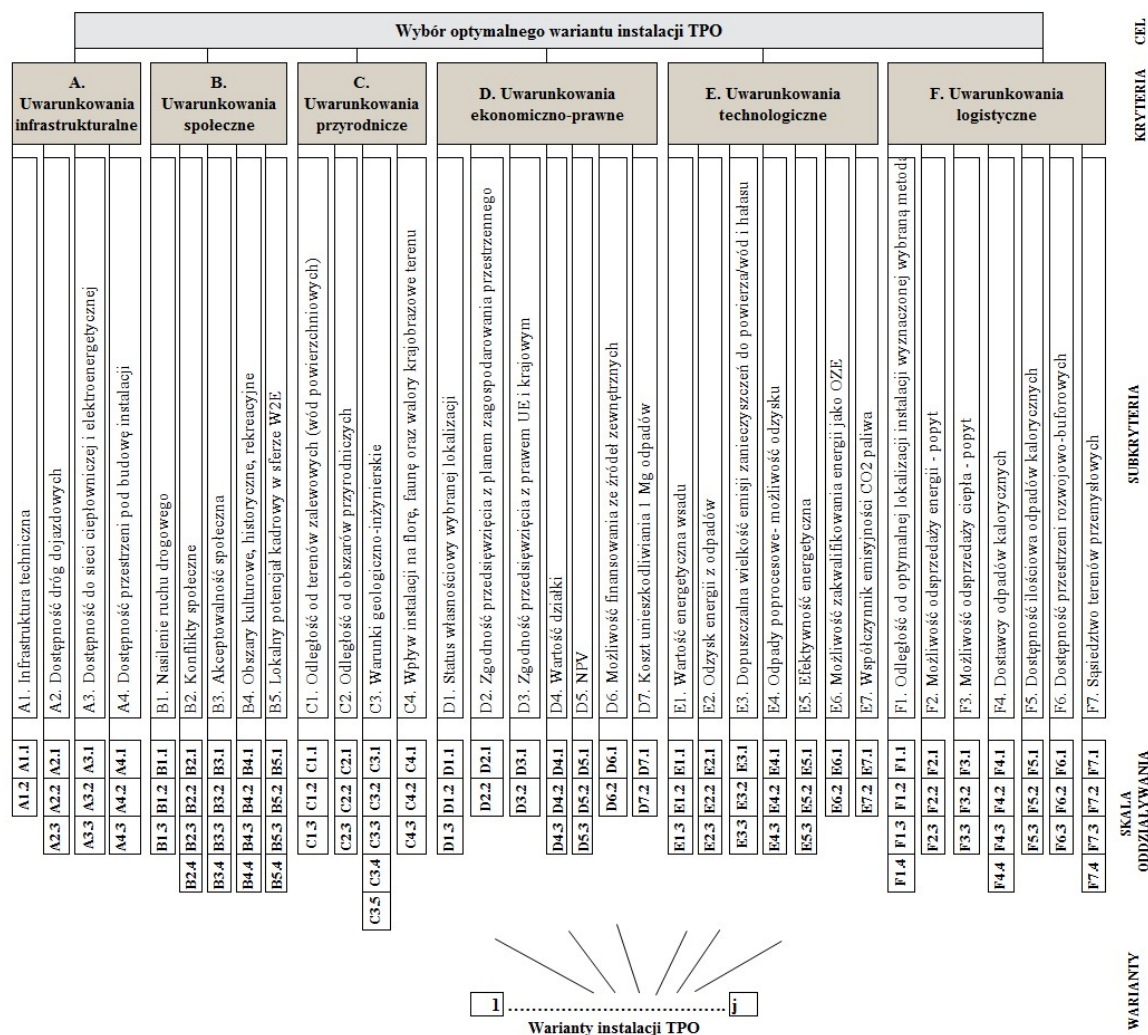


Rysunek 38 Zorientowany obiektowo model technologiczno-logistyczny procesu energetycznego wykorzystania odpadów

Źródło: opracowanie własne

12.4. Model wielokryterialnych analiz wariantowych procesu produkcji energii z odpadów

Model wielokryterialnej analizy wariantowej oparty jest na hierarchicznej strukturze problemu decyzyjnego – AHP. Zastosowanie tej metody pozwala wykorzystać kryteria jakościowe niezbędne do oceny wariantów instalacji TPO. Uwzględnienie preferencji Ekspertów oceniających parami zarówno kryteria, jak i warianty pozwala pozyskać subiektywne podejście do problemu. Jest to istotne ze względu na konieczność traktowania regionalnego systemu gospodarki odpadami jako indywidualnego obiektu.



Rysunek 39 Struktura AHP

Źródło: opracowanie własne

Celem nadrzędnym analizy wielokryterialnej jest wybór optymalnego wariantu instalacji termicznego przekształcania odpadów, który miałby być zlokalizowany w wybranym RGO.

Kryteria główne obejmują kluczowe obszary analizy mające bezpośredni wpływ na osiągnięcie celu nadrzędnego. Ich wybór podyktowany był wnioskami wynikającymi z badań literaturowych oraz badań własnych. Wśród nich wyróżniamy:

- uwarunkowania infrastrukturalne;
- uwarunkowania społeczne;

- uwarunkowania przyrodnicze;
- uwarunkowania ekonomiczno-prawne;
- uwarunkowania technologiczne;
- uwarunkowania logistyczne.

Mając na uwadze złożoność systemu gospodarki odpadami, a także skalę oddziaływania instalacji TPO na wspomniane uwarunkowania, uznano, iż niezbędne będzie wyszczególnienie oprócz subkryteriów również skali oddziaływania. Podejście to, wykorzystane już w pracy dotyczącej lokalizacji składowisk [194], przyniosło oczekiwane efekty. Wyróżnione w niniejszej analizie czynniki stanowią autorski zbiór elementów będących podstawą szczegółowej analizy możliwości wdrożenia instalacji TPO w struktury regionalnego systemu gospodarki odpadami. Kompletną strukturę problemu w postaci hierarchii, opracowaną zgodnie z założeniami metody AHP, przedstawiono na rysunku 39.

Poniżej w tabelach 42 – 75 przedstawiono syntetyczne omówienie poszczególnych subkryteriów.

Kryterium A. Uwarunkowania infrastrukturalne

Na uwarunkowania infrastrukturalne składają się cztery obszary oceny, uwzględniające: infrastrukturę techniczną, dostępność dróg dojazdowych, dostępność do sieci ciepłowniczej i elektroenergetycznej oraz przestrzeń pod budowę instalacji. Są to główne elementy związane z zabezpieczeniem budowy w podstawowe obiekty, których zadaniem jest dostarczenie niezbędnych mediów, dróg i przestrzeni.

Tabela 42 Subkryterium – infrastruktura techniczna

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
A1	Infrastruktura techniczna	A1.1 Infrastruktura pełna (wodociągowa oraz odprowadzania ścieków)
		A1.2 Infrastruktura niepełna – konieczna adaptacja terenu

Zródło: opracowanie własne na podstawie [194]

Tabela 43 Subkryterium – dostępność dróg dojazdowych

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
A2	Dostępność dróg dojazdowych	A2.1 Pełna
		A2.2 Ograniczona
		A2.3 Brak

Zródło: opracowanie własne

Tabela 44 Subkryterium – dostępność do sieci ciepłowniczej i elektroenergetycznej

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
A3	Dostępność do sieci ciepłowniczej i elektroenergetycznej	A3.1 Pełna
		A3.2 Wymagająca rozbudowy
		A3.3 Brak

Zródło: opracowanie własne

Tabela 45 Subkryterium – dostępność przestrzeni pod budowę instalacji

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
A4	Dostępność przestrzeni pod budowę instalacji	A4.1 Wolna ograniczona przestrzeń na terenie źródła pozyskania odpadów kalorycznych (instalacje przetwarzania odpadów)
		A4.2 Wolna przestrzeń w sąsiedztwie terenów lokalizacji instalacji przetwarzania odpadów
		A4.3 Wolna przestrzeń poza terenem pozyskania odpadów kalorycznych

Zródło: opracowanie własne

Kryterium B. Uwarunkowania społeczne

Zarówno przepisy UE, jak i krajowe silnie nakreślają istotę uwarunkowań społecznych w kontekście zintegrowanego systemu gospodarki odpadami opartego na zrównoważonym rozwoju. Minimalizowanie negatywnego oddziaływania na społeczność jest jednym z priorytetów polityki ekologicznej, która uznaje bezpieczeństwo ekologiczne społeczeństwa za nadrzędną wartość. W efekcie wszystkie inwestycje silnie oddziałujące na środowisko podlegają konsultacjom społecznym, których wyniki mają bezpośredni wpływ na możliwość wdrożenia instalacji TPO.

Tabela 46 Subkryterium – nasilenie ruchu drogowego

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
B1	Nasilenie ruchu drogowego	B1.1 Instalacja nie wpływa na obecny ruch drogowy
		B1.2 Instalacja ma ograniczony wpływ na ruch drogowy
		B1.3 Instalacja znacząco wpływa na ruch drogowy

Źródło: opracowanie własne

Tabela 47 Subkryterium – konflikty społeczne

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
B2	Konflikty społeczne	B2.1 Brak wpływu
		B2.2 Mała tolerancja na inwestycje tego typu
		B2.3 Ograniczona tolerancja na inwestycje tego typu
		B2.4 Duża tolerancja na inwestycje tego typu

Źródło: opracowanie własne

Tabela 48 Subkryterium – akceptowalność społeczna

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
B3	Akceptowalność społeczna	B3.1 Odległość > 10 [km] od zamieszkałych obszarów
		B3.2 Odległość 5 [km] – 10 [km] od zamieszkałych obszarów
		B3.3 Odległość 2 [km] – 5 [km] od zamieszkałych obszarów
		B3.4 Odległość < 2 [km] od zamieszkałych obszarów

Źródło: [194]

Tabela 49 Subkryterium – obszary kulturowe, historyczne i rekreacyjne

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
B4	Obszary kulturowe, historyczne, rekreacyjne	B4.1 Odległość > 1500 [m]
		B4.2 Odległość 1000 [m] – 1500 [m]
		B4.3 Odległość 500 [m] – 1000 [m]
		B4.4 Odległość < 500 [m]

Źródło: [194]

Tabela 50 Subkryterium – lokalny potencjał kadrowy w sferze TPO

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
B5	Lokalny potencjał kadrowy w sferze TPO	B5.1 Wysoki poziom kwalifikacji
		B5.2 Średni poziom kwalifikacji
		B5.3 Niewystarczający poziom kwalifikacji

Źródło: opracowanie własne

Kryterium C. Uwarunkowania przyrodnicze

Uwarunkowania przyrodnicze obejmują ogół elementów związanych z zasobami środowiska, które silnie wpływają i na które może mieć wpływ budowa instalacji TPO. Zgodnie z prawem środowiskowym kraju wynikającym z prawa UE zakłady posiadające instalacje TPO powinny być zbudowane i eksploatowane w taki sposób, aby minimalizować negatywny wpływ na środowisko oraz zapobiegać emisji zanieczyszczeń. W związku z tym obiekty powinny być projektowane zgodnie z wytycznymi zawartymi w BAT. Poniższe subkryteria oraz wyszczególniona skala oddziaływania wynikają z obowiązującego prawa. Zweryfikowane zostały w nich poszczególne warianty pod kątem możliwego oddziaływania na środowisko.

Tabela 51 Subkryterium – odległość od terenów zalewowych

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
C1	Odległość od terenów zalewowych (wód powierzchniowych)	C1.1 Odległość < 200 [m]
		C1.2 Odległość 200 [m] – 500 [m]
		C1.3 Odległość > 500 [m]

Źródło: opracowanie własne

Tabela 52 Subkryterium – odległość od obszarów przyrodniczych

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
C2	Odległość od obszarów przyrodniczych	C2.1 W obrębie obszaru chronionego krajobrazu
		C2.2 Odległość < 500 [m] od granic obszarów parków narodowych i rezerwatów przyrody (i ich otulin), Natura 2000
		C2.3 Odległość < 1000 [m] od granic obszarów parków narodowych i rezerwatów przyrody (i ich otulin), Natura 2000
		C2.4 Odległość > 1000 [m] od granic obszarów parków narodowych i rezerwatów przyrody (i ich otulin), Natura 2000

Źródło: [194]

Tabela 53 Subkryterium – warunki geologiczno-inżynierskie

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
C3	Warunki geologiczno- inżynierskie	C3.1 Grunty ilaste
		C3.2 Grunty piaszczysto-gliniaste
		C3.3 Grunty gliniaste mikroporowate (lessy)
		C3.4 Grunty skaliste różnego pochodzenia
		C3.5 Grunty piaszczysto-żwirowe

Źródło: opracowanie własne na podstawie [194]

Tabela 54 Subkryterium – wpływ instalacji na florę, faunę oraz walory krajobrazowe terenu

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
C4	Wpływ instalacji na florę, faunę oraz walory krajobrazowe terenu	C4.1 Budowa instalacji nie spowoduje istotnego przekształcenia komponentów środowiska przyrodniczego i jego funkcjonowania
		C4.2 Budowa instalacji w stopniu dopuszczalnym wpłynie na przekształcenia komponentów środowiska przyrodniczego i jego funkcjonowania
		C4.3 Budowa instalacji bezpośrednio wpłynie na przekształcenia komponentów środowiska przyrodniczego i jego funkcjonowanie

Źródło: opracowanie własne

Kryterium D. Uwarunkowania ekonomiczno-prawne

Każda inwestycja bez względu na branżę powinna posiadać solidne podstawy ekonomiczno-prawne dotyczące opłacalności jej wdrożenia. W związku z powyższym konieczne jest uwzględnienie kryteriów, które będą weryfikować poziom potencjalnego ryzyka związanego z budową obiektu. Na etapie oceny możliwości realizacji danej instalacji TPO należy zweryfikować listę czynników, które mogą okazać się kwestiami problemowymi, uniemożliwiającymi prawidłowy proces implementacji przedsięwzięcia.

Tabela 55 Subkryterium – status własnościowy wybranej lokalizacji

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
D1	Status własnościowy wybranej lokalizacji	D1.1 Własność publiczna (państwowa, gminna)
		D1.2 Własność prywatna
		D1.3 Niezdefiniowana

Źródło: opracowanie własne

Tabela 56 Subkryterium – zgodność przedsięwzięcia z planem zagospodarowania przestrzennego

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
D2	Zgodność przedsięwzięcia z planem zagospodarowania przestrzennego	D2.1 Wpisuje się w plan
		D2.2 Nie wpisuje się w plan – wymaga dodatkowych działań administracyjnych

Źródło: opracowanie własne

Tabela 57 Subkryterium – zgodność przedsięwzięcia z prawem UE i krajowym

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
D3	Zgodność przedsięwzięcia z prawem UE i krajowym	D3.1 Zgodne
		D3.2 Niezgodne – wymaga zmian

Zródło: opracowanie własne

Tabela 58 Subkryterium – wartość działki

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
D4	Wartość działki	D4.1 Wysoka cena
		D4.2 Średnia cena
		D4.3 Niska cena

Zródło: [194]

Tabela 59 Subkryterium – NPV

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
D5	NPV	D5.1 $NPV > 0$ – inwestycja będzie opłacalna
		D5.2 $NPV = 0$ – projekt nie przyniesie zysków
		D5.3 $NPV < 0$ – inwestycja jest nierentowna

Zródło: opracowanie własne

Tabela 60 Subkryterium – możliwość finansowania ze źródeł zewnętrznych

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
D6	Możliwość finansowania ze źródeł zewnętrznych	D6.1 Istnieje realna możliwość pozyskania środków
		D6.2 Brak możliwości pozyskania środków

Zródło: opracowanie własne

Tabela 61 Subkryterium – koszt unieszkodliwiania 1 [Mg] odpadów

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
D7	Koszt unieszkodliwiania 1 [Mg] odpadów	D7.1 Niższy od tradycyjnego zagospodarowania 1 [Mg] odpadów
		D7.2 Wyższy od tradycyjnego zagospodarowania 1 [Mg] odpadów

Zródło: opracowanie własne

Kryterium E. Uwarunkowania technologiczne

Uwarunkowania technologiczne wraz z logistycznymi stanowią kluczowe elementy analizy związane ze sformułowanym problemem badawczym. Weryfikują wybrane obszary technologicznej oceny przedsięwzięcia związanego z wdrożeniem instalacji TPO. Część wybranych wskaźników wynika bezpośrednio z opracowanego modelu matematycznego i umożliwia ilościowe podejście do problemu. Połączenie jakościowych oraz ilościowych wskaźników podczas oceny problemu jest efektem autorskiego podejścia do osiągnięcia celu nadrzędnego analizy AHP.

Tabela 62 Subkryterium – wartość energetyczna wsadu

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
E1	Wartość energetyczna wsadu – obliczona na podstawie modelu matematycznego	E1.1 Wystarczająca do efektywnej pracy instalacji
		E1.2 Wykazuje potrzebę wykorzystania domieszek o wysokiej wartości opałowej
		E1.3 Konieczne współspalanie z węglem

Zródło: opracowanie własne

Tabela 63 Subkryterium – odzysk energii z odpadów

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
E2	Odzysk energii z odpadów – obliczony na podstawie modelu matematycznego	E2.1 Odpowiedni do pokrycia zapotrzebowania własnego
		E2.2 Odpowiedni do pokrycia zapotrzebowania własnego i innych odbiorców
		E2.3 Wymaga dostaw ze źródeł zewnętrznych

Zródło: opracowanie własne

Tabela 64 Subkryterium – dopuszczalna wielkość emisji zanieczyszczeń do powietrza/wód i hałasu

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
E3	Dopuszczalna wielkość emisji zanieczyszczeń do powietrza/wód i hałasu	E3.1 Osiąga pośrednie granice dopuszczalności
		E3.2 Osiąga górne granice dopuszczalności
		E3.3 Osiąga dolne granice dopuszczalności

Źródło: opracowanie własne

Tabela 65 Subkryterium – odpady poprocesowe

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
E4	Odpady poprocesowe	E4.1 Możliwy całkowity odzysk odpadów poprocesowych (m.in..rekultywacja, budownictwo)
		E4.2 Możliwy ograniczony odzysk odpadów poprocesowych (m.in..rekultywacja, budownictwo)
		E4.3 Brak możliwości odzysku odpadów poprocesowych

Źródło: opracowanie własne

Tabela 66 Subkryterium – efektywność energetyczna

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
E5	Efektywność energetyczna – obliczona na podstawie modelu matematycznego	E5.1 Mniejsza niż 0,65
		E5.2 Równa 0,65
		E5.3 Większa niż 0,65

Źródło: opracowanie własne

Tabela 67 Subkryterium – możliwość zakwalifikowania energii jako OZE

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
E6	Możliwość zakwalifikowania energii jako OZE	E6.1 Założenia technologiczne instalacji przyjmują taką możliwość
		E6.2 Brak możliwości

Źródło: opracowanie własne

Tabela 68 Subkryterium – współczynnik emisyjności paliwa

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
E7	Współczynnik emisyjności paliwa – obliczony na podstawie modelu matematycznego	E7.1 Emisja CO ₂ ze spalania paliwa niższa od wskaźnika emisji dla węgla kamiennego
		E7.2 Emisja CO ₂ ze spalania paliwa wyższa od wskaźnika emisji dla węgla kamiennego

Źródło: opracowanie własne

Kryterium F. Uwarunkowania logistyczne

Podczas analizy zasobów literaturowych potwierdzono silny związek uwarunkowań logistycznych z efektywnością wdrażania oraz funkcjonowania instalacji TPO. W związku z powyższym opracowano zbiór wskaźników jakościowo-ilościowych będących podstawą oceny wariantów, które uwzględniają zarówno elementy zaopatrzenia instalacji w odpady kaloryczne, jak również dystrybucji energii do finalnych odbiorców.

Tabela 69 Subkryterium – odległość od optymalnej lokalizacji instalacji wyznaczonej wybraną metodą

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
F1	Odległość od optymalnej lokalizacji instalacji wyznaczonej wybraną metodą	F1.1 W promieniu < 5 [km] od wyznaczonego rozwiązania
		F1.2 W promieniu 5 [km] – 10 [km] od wyznaczonego rozwiązania
		F1.3 W promieniu 10 [km] – 15 [km] od wyznaczonego rozwiązania
		F1.4 W promieniu > 15 [km] od wyznaczonego rozwiązania

Źródło: opracowanie własne

Tabela 70 Subkryterium – możliwość odsprzedaży energii – popyt

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
F2	Możliwość odsprzedaży energii – popyt	F2.1 Dostępna sieć krajowa/przemysłowa i własna konsumpcja
		F2.2 Własna konsumpcja
		F2.3 Potrzeba rozbudowy

Źródło: opracowanie własne

Tabela 71 Subkryterium – możliwość odsprzedaży ciepła – popyt

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
F3	Możliwość odsprzedaży ciepła – popyt	F3.1 Dostępna sieć krajowa/przemysłowa i własna konsumpcja
		F3.2 Własna konsumpcja
		F3.3 Potrzeba rozbudowy

Źródło: opracowanie własne

Tabela 72 Subkryterium – dostawcy odpadów kalorycznych

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
F4	Dostawcy odpadów kalorycznych	F4.1 Dostawy z instalacji przekształcania odpadów
		F4.2 Dostawy bezpośrednie od mieszkańców
		F4.3 Dostawy z instalacji produkujących paliwa alternatywne
		F4.4 Mieszane

Źródło: opracowanie własne

Tabela 73 Subkryterium – dostępność ilościowa odpadów kalorycznych

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
F5	Dostępność ilościowa odpadów kalorycznych	F5.1 Stała
		F5.2 Zmienna
		F5.3 Ograniczona

Źródło: opracowanie własne

Tabela 74 Subkryterium – dostępność przestrzeni magazynowych

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
F6	Dostępność przestrzeni buforowo-rozwojowych	F6.1 Wystarczające
		F6.2 Ograniczone
		F6.3 Brak – potrzeba rozbudowy

Źródło: opracowanie własne

Tabela 75 Subkryterium – sąsiedztwo terenów przemysłowych

Symbol	Subkryterium	Skala oddziaływania
F7	Sąsiedztwo terenów przemysłowych	F7.1 W bliskiej odległości od instalacji przekształcania odpadów (do 2 [km])
		F7.2 W bliskiej odległości od odbiorców energii i ciepła – elektrociepłowni (do 2 [km])
		F7.3 W bliskiej odległości lub na terenie bezpośrednio przeznaczonym pod rekultywację

Źródło: opracowanie własne

Przedstawiona powyżej struktura hierarchicznej analizy problemu stanowi podstawę wnioskowania dla opracowanego prototypu. Wynik analizy, który jest efektem procesu podejmowania decyzji na podstawie wiedzy i oceny Eksperta, umożliwia utworzenie rankingu końcowego najbardziej pożądanym rozwiązaniom. Metoda AHP, która znalazła zastosowanie w analizach z zakresu gospodarki odpadami, wsparta opracowanym w niniejszej monografii modelem technologiczno-logistycznym procesu energetycznego wykorzystania odpadów, stanowi podstawę prototypu systemu wspomagania decyzji. Szczegółowe umiejscowienie metody w strukturze opracowanego prototypu zostało przedstawione na rysunku 42.

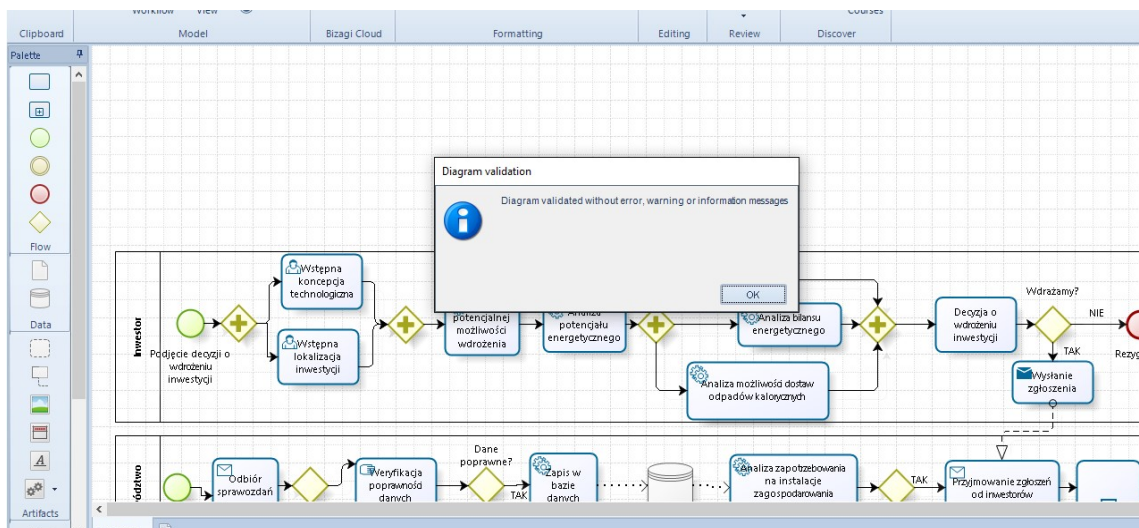
Walidacja modelu

Walidacja modelu technologiczno-logistycznego procesu energetycznego wykorzystania przeprowadzona została przy wykorzystaniu oprogramowań, które posłużyły opracowaniu mapy procesów oraz modelowi obiektowemu.

Kontrola poprawności oraz zgodności reguł z notacją BPMN potwierdza kwestie takie jak:

- synchronizacja bramek;
- synchronizacja przepływów komunikatów;
- zgodność wykorzystania ścieżek alternatywnych;
- przepływy sekwencji i komunikatów, które zachowują się zgodnie z założeniami.

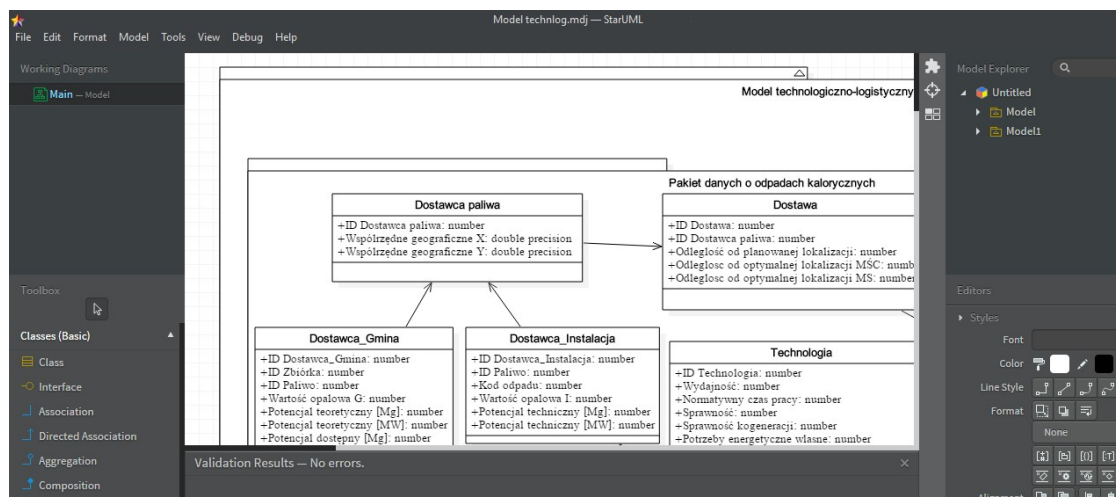
Aktywacja trybu symulacji uruchamia jednocześnie sprawdzenie poprawności schematu. Z przedstawionego poniżej rysunku 40 wynika, iż nie wykryto błędów modelowania.



Rysunek 40 Walidacja mapy procesów za pomocą oprogramowania Bizagi Modeler

Źródło: opracowanie własne

Wykorzystanie narzędzia StarUML umożliwiło również walidację modelu według reguł notacji UML. Wywołanie sprawdzenia poprawności zapisu klas potwierdziło poprawność zapisu modelu według wykorzystanego zunifikowanego języka modelowania opartego na standardzie UML. Wyniki walidacji przedstawia rysunek 41, na którym uwidoczniono informację o braku błędów.



Rysunek 41 Walidacja modelu obiektowego za pomocą oprogramowania StarUML

Źródło: opracowanie własne

Kontrola poprawności zapisu mapy procesów i modelu obiektowego jednoznacznie potwierdziła zgodność opracowania z założeniami wykorzystanych notacji.

13. Opracowanie prototypu systemu wspomagania procesu energetycznego wykorzystania odpadów

13.1. Założenia budowy systemu informatycznego

Pierwszym etapem projektowania prototypu wspomagania decyzji energetycznego wykorzystania odpadów było wyodrębnienie procesu z systemu gospodarki odpadami, który wspomniany prototyp miałby wspomagać. Jak zostało przedstawione na mapie procesów z wykorzystaniem notacji BPMN, zarówno model technologiczno-logistyczny procesu energetycznego wykorzystania odpadów, jak i opracowany prototyp systemu wspomagania miały na celu dostarczenie niezbędnych danych oraz narzędzi analiz umożliwiających wybór wariantu optymalnego wśród proponowanych instalacji TPO. Główny element systemu stanowi zatem model, który pozwala wyodrębnić przepływ kalorycznych odpadów komunalnych z badanego regionu, a także poddać szczegółowej analizie technologiczno-logistycznej zbior wariantów. Na podstawie tych założeń opracowano schemat prototypu przedstawiony na rysunku 42.

Zgodnie z zasadami projektowania SWD proces decyzyjny wspomagają następujące elementy:

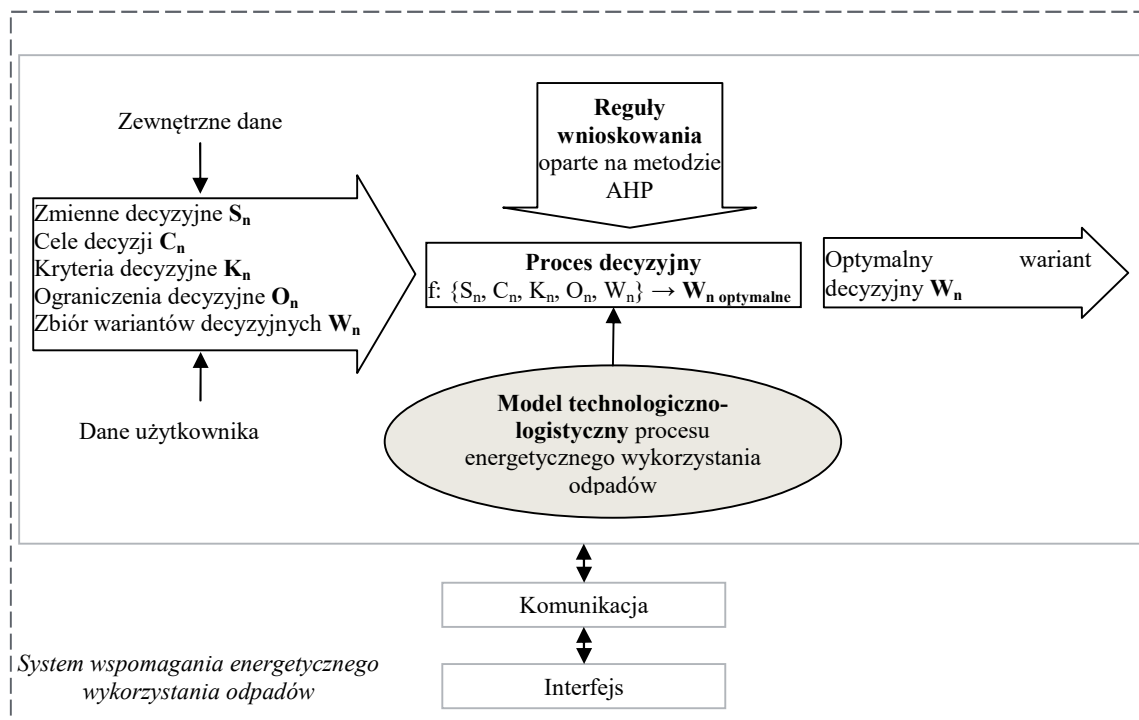
- baza modeli – która została ograniczona do opracowanego modelu technologiczno-logistycznego procesu energetycznego wykorzystania odpadów;
- baza danych – na którą składają się dane o opadach komunalnych, ich właściwościach oraz sposobach zagospodarowania, dane przestrzenne będące odzwierciedleniem regionalnego systemu gospodarki odpadami oraz dane użytkowników obejmujące charakterystykę wariantów;
- interfejs – niezbędny element SWD umożliwiający prawidłową komunikację pomiędzy użytkownikiem a systemem.

Dodatkowo, w związku ze zorientowaniem systemu na rozwiązywanie problemu decyzyjnego, do architektury SWD wprowadzono regułę wnioskowania opartą na metodzie AHP jako modelu wielokryterialnych analiz wariantowych procesu produkcji energii z odpadów.

W związku z przedstawionym celem projektowania prototypu SWD opracowano zbiór założeń pozwalających przedstawić prototyp jako narzędzie wspomagające w systemie gospodarki odpadami:

- opracowany prototyp może być wykorzystany na wcześniej zdefiniowanym RGO, posiadającym swoje ograniczenia terytorialne oraz infrastrukturę technologiczną systemu gospodarki odpadami komunalnymi;
- kryteria i ograniczenia decyzyjne są zgodne z obowiązującym prawem z zakresu przedmiotu niniejszej pracy;
- SWD umożliwia przetwarzanie danych z zakresu opracowanych sprawozdań gmin oraz raportów wojewódzkich systemu gospodarki odpadami;
- SWD jest kompatybilny z oprogramowaniem geoinformacyjnym, który umożliwia przedstawienie wybranych informacji na mapach tematycznych;
- SWD umożliwia użytkownikom (Ekspertom) weryfikowanie ocen ważności dla wszystkich elementów hierarchii analizy problemu decyzyjnego;
- na wejściu do systemu istnieje zbiór zapisanych danych możliwych do przetwarzania.

W wyniku zastosowania metody AHP oraz modelu umożliwiającego weryfikowanie danych otrzymane wyniki mają charakter subiektywny i stanowią wyłącznie element wspomagający wybór optymalnego rozwiązania.



Rysunek 42 Struktura systemu wspomagania energetycznego wykorzystania odpadów

Źródło: opracowanie własne

13.2. Model funkcjonalny systemu informatycznego wspomagania decyzji

W celu zobrazowania funkcji prototypu, które mają za zadanie wspierać funkcjonowanie systemu gospodarki odpadami kalorycznymi, opracowano – przy wykorzystaniu notacji UML – diagram przypadków użycia (rys. 43). Przedstawia on aktorów SWD, a także możliwe działania prototypu i ich przebieg.

W celu przybliżenia możliwości systemu przeprowadzono dekompozycję funkcji elementarnych na funkcje składowe.

Funkcje obliczeniowe:

- określenie optymalnych lokalizacji;
- przeprowadzenie analizy technologicznej;
- kalkulowanie odległości od dostawców odpadów kalorycznych;
- wydzielanie odpadów kalorycznych;
- określenie potencjału energetycznego.

Funkcje zarządcze:

- zarządzanie strukturą AHP;
- zarządzanie zmiennymi modelu;
- zarządzanie danymi o odpadach;
- zarządzanie mapami tematycznymi.

Funkcje reprezentacji danych:

- przegląd wskaźników;
- przegląd wariantów.

Funkcje wprowadzania danych:

- definiowanie wskaźników;
- ustalanie kryteriów;
- przypisywanie wag kryteriom;

-

Źródło: opracowanie własne

- ocena wariantów;
- porównanie i ocena wskaźników;
- wybór wariantów.

- prognozowanie.

129

13.3. Weryfikacja prototypu

Weryfikacja funkcjonalności prototypu została dokonana poprzez opracowanie wariantów oraz przyporządkowanie im parametrów technologicznych. Wykorzystanie rzeczywistych danych obejmujących powstające (lub planowane) instalacje TPO pozwoliło:

- potwierdzić poprawność opracowanego algorytmu obliczeniowego;
- zweryfikować formalny zapis klas modelu obiektowego procesu energetycznego wykorzystania odpadów;
- opracować hierarchiczną strukturę procesu decyzyjnego oraz ocenić ważność jej elementów;
- podsumować wyniki analizy oraz zaproponować rozwiązanie.

W związku z powyższym szczegółowej analizie poddano następujące warianty decyzyjne:

Wariant 0 – Status quo

Wariant ten oznacza niezmieniony stan rzeczy rozumiany jako obecny stan systemu gospodarki odpadami komunalnymi wraz z istniejącą infrastrukturą technologiczną oraz dostępnym potencjałem energetycznym odpadów. Przyjmuje się, że wybór tego rozwiązania oznaczać będzie brak potrzeby usprawniania systemu, w którym wydajność technologiczna dostępnych instalacji jest wystarczająca do pełnego zagospodarowania odpadów o potencjale kalorycznym.

Wariant 1 – Spalarnia

W przypadku tego rozwiązania przyjęto parametry technologiczne (tab. 76) zgodne z planowaną budową instalacji TPO przy ulicy Szyb Walenty w Rudzie Śląskiej [219].

Tabela 76 Parametry technologiczne – wariant 1

Podstawowe parametry technologiczne	
Planowana wydajność instalacji	500000 [Mg/rok]
Stopień wykorzystania wydajności	100%
Docelowa wartość opałowa	9,32 [MJ/kg]
Nominalny czas pracy	8000 [h/rok]
Sprawność	24%
Potrzeby własne instalacji – energia elektryczna	6,1 [MW]
Parametry kogeneracji	
Sprawność kogeneracji (dolna granica)	64%
Kogeneracja – udział energii elektrycznej	30%
Kogeneracja – udział energii cieplnej	70%

Źródło: opracowanie własne

Planowana instalacja termicznego przekształcania odpadów komunalnych oparta jest na technologii spalania odpadów w instalacji kotłowej z paleniskiem rusztowym. Zgodnie z założeniami do procesu mają być kierowane odpady komunalne zmieszane, z których zostały wysegregowane użyteczne surowce wtórne.

Wariant 2 – Zgazowarka

Parametry technologiczne (tab. 77) obejmujące termiczne przekształcanie odpadów w procesie zgazowania zostały zaczerpnięte z powstającej przy ulicy Wojska Polskiego w Świętochłowicach instalacji zgazowania frakcji nadsitowej [212]. Głównym zadaniem instalacji jest wysokowydajna produkcja energii elektrycznej i cieplnej w kogeneracji.

Wariant 3 – Współspalarnia

Ostatni wariant ściśle odnosi się do powstającej w Zabrze przy ulicy Wolności nowej elektrociepłowni zasilanej węglem i paliwem alternatywnym (tab. 78). Zakłada się, iż ilość wykorzystanego RDF może sięgać do 50% całkowitego zużycia paliwa [209].

Tabela 77 Parametry technologiczne – wariant 2

Podstawowe parametry technologiczne	
Planowana wydajność instalacji	22500 [Mg/rok]
Stopień wykorzystania wydajności	100%
Docelowa wartość opałowa	14 [MJ/kg]
Nominalny czas pracy	7500 [h/rok]
Sprawność	34%
Potrzeby własne instalacji – energia elektryczna	0,4 [MW]
Parametry kogeneracji	
Sprawność kogeneracji (dolna granica)	90%
Kogeneracja – udział energii elektrycznej	40%
Kogeneracja – udział energii cieplnej	60%

Źródło: opracowanie własne

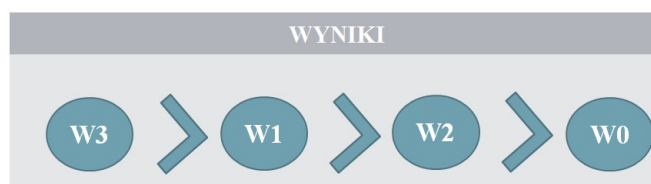
Tabela 78 Parametry technologiczne – wariant 3

Podstawowe parametry technologiczne		
Planowana wydajność instalacji		280000 [Mg/rok]
Stopień wykorzystania wydajności		100%
	Udział spalanych odpadów	50%
	Przyjęta wartość opałowa odpadów	15,5 [MJ/kg]
	Udział spalanego węgla	50%
	Przyjęta wartość opałowa węgla	29,2 [MJ/kg]
Wartość opałowa wsadu		22,35 [MJ/kg]
Nominalny czas pracy		7800 [h/rok]
Sprawność		90%
Potrzeby własne instalacji – energia elektryczna		2,5 [MW]
Parametry kogeneracji		
Sprawność kogeneracji (dolna granica)		100%
Kogeneracja – udział energii elektrycznej		34%
Kogeneracja – udział energii cieplnej		66%

Źródło: opracowanie własne

Weryfikacja prototypu pozwoliła przeprowadzić analizę i ocenę każdego z wariantów z uwzględnieniem: potencjału energetycznego odpadów kalorycznych, analizy technologicznej, prognozy potencjału energetycznego, optymalnych lokalizacji oraz analizy wskaźnikowej. W związku z obszerną analizą każdego z powyższych wariantów w załączniku przedstawiono kompleksową analizę przeprowadzoną dla Wariantu 1.

Podsumowaniem przeprowadzonych badań jakościowych i ilościowych w oparciu o opracowany model technologiczno-logistyczny procesu energetycznego wykorzystania odpadów są zestawienia wskaźników oraz analiza AHP. Prototyp systemu generuje wyłącznie wyniki wcześniej przeprowadzonej przez Ekspertów oceny porównawczej metodą AHP. Na podstawie otrzymanych ocen, prototyp formułuje ostateczny wynik analizy wariantów decyzyjnych (rys. 44).



Rysunek 44 Prezentacja wyników analizy AHP - podsumowanie

Źródło: opracowanie własne

Wyniki obliczeń wskazują, że najlepszym rozwiązaniem jest wdrożenie Wariantu 3. Należy przy tym zauważyć, że sumaryczne oceny wariantów metodą AHP obejmujące instalacje TPO nieznacznie się od siebie różnią i wynoszą odpowiednio: dla Wariantu 3 – 0,281, dla Wariantu 1 – 0,268 a dla Wariantu 2 – 0,257. Oznacza to, że w II RGO jest duże zapotrzebowanie na instalacje tego typu co również potwierdza ostateczna ocena Wariantu 0, jako niezmienionego stanu, która wynosi 0,192.

13.4. Walidacja prototypu

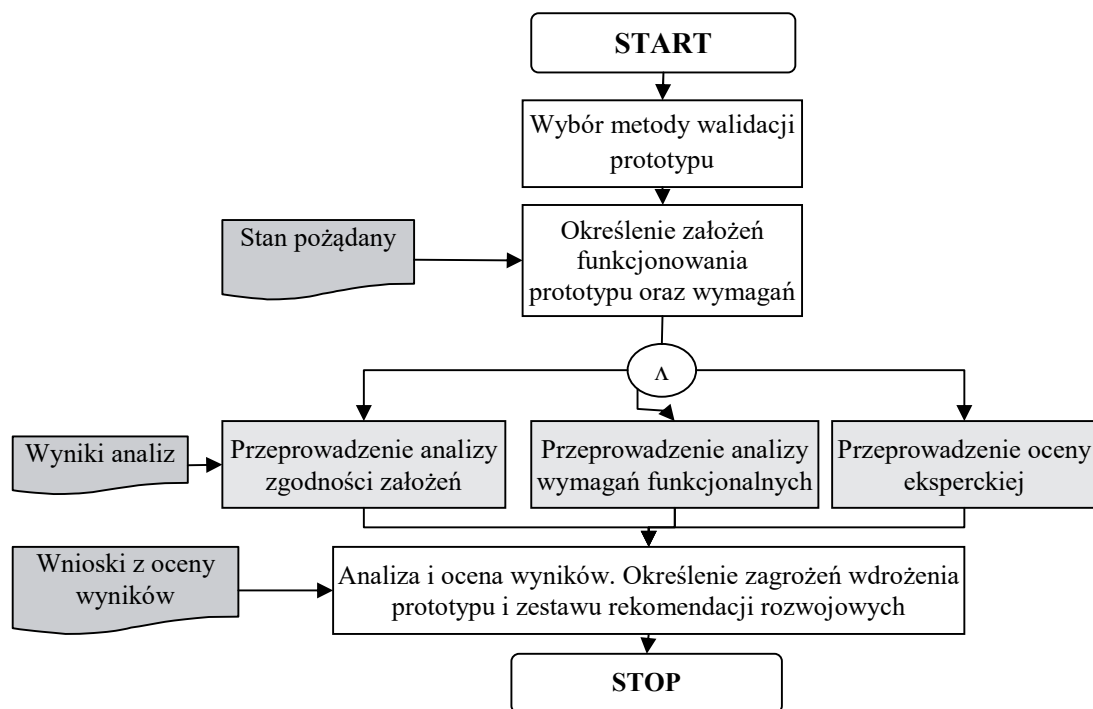
Celem walidacji jest potwierdzenie przydatności i funkcjonalności zaprojektowanego prototypu na bazie modelu technologiczno-logistycznego gospodarki odpadami wysokokalorycznymi. Zgodnie z założeniami opracowane rozwiązanie umożliwia zwiększenie odzysku energii z odpadów w ujęciu regionalnym.

Podczas procesu walidacji prototypu zaangażowano grupę Ekspertów, których zadaniem było wyodrębnienie wszystkich czynników mających bezpośredni wpływ na efektywność przedstawionego w niniejszej monografii rozwiązania. Próba wyodrębnienia słabych punktów modelu (funkcjonalnych, przetwarzania danych, systemowych) oraz ocena jego komponentów miała na celu wyodrębnienie błędów logicznych, które mogłyby nie spełnić oczekiwań odbiorców.

W związku z wyżej przedstawionymi wymaganiami procesu walidacji podczas oceny funkcjonalności opracowanego prototypu wykorzystano następujące metody:

- analiza zgodności założeń;
- analiza wymagań funkcjonalnych;
- ocena ekspercka.

Algorytm procesu walidacji prototypu został przedstawiony na rysunku 45.



Rysunek 45 Algorytm procesu walidacji

Źródło: opracowanie własne na podstawie [55]

Analiza zgodności założeń

Uwzględniona w procesie walidacji prototypu analiza zgodności założeń miała na celu porównanie stanu zakładanego ze stanem faktycznym. Opis założeń prototypu został przygotowany na podstawie celów badawczych niniejszej monografii. Wyniki przeprowadzonej analizy zostały przedstawione w tabeli 79.

Tabela 79 Analiza zgodności założeń

Lp.	Opis założeń prototypu – stan wymagany	Wyszczególnienie zrealizowanych działań	Porównanie stanu zakładanego prototypu ze stanem faktycznym
1	Stworzenie bazy danych – zestawienia zebranych odpadów komunalnych	Bazę danych o odpadach opracowano na podstawie sprawozdań gmin z zakresu zagospodarowania odpadów komunalnych oraz raportu wojewódzkiego.	Spełnia wymagania
2	Identyfikacja odpadów o potencjale energetycznym	Zidentyfikowano zbiór odpadów o potencjale energetycznym, do którego należą: odpady z celulozy, tworzyw sztucznych, tekstyliów, gumy, drewna, odpady o kodzie 19 12 12, odpady o kodzie 20 03 01, odpady o kodzie 19 12 10.	Spełnia wymagania
3	Określenie podstawowych właściwości paliwowych odpadów	Podstawowym parametrem energetycznym odpadów, uwzględnionym w obliczeniach, jest wartość opałowa [MJ/kg].	Spełnia wymagania
4	Identyfikacja podstawowych parametrów technologicznych instalacji TPO	Uwzględniono w analizie technologicznej poniższe parametry procesu termicznego przekształcania odpadów: • parametry technologiczne; • parametry energetyczne; • parametry logistyki dostaw; • parametry lokalizacyjne; • parametry potencjału energetycznego.	Spełnia wymagania
5	Identyfikacja infrastruktury energetycznej w wybranym regionie województwa śląskiego umożliwiającej wykorzystanie paliw z odpadów	Podczas analiz aktualnego stanu gospodarki odpadami poddano weryfikacji lokalizację oraz wydajność spalarni i współspalarni odpadów, a także elektrowni i elektrociepłowni badanego regionu. Szczegółowa analiza obejmowała instalacje przetwarzające odpady komunalne z pominięciem odpadów przemysłowych.	Spełnia wymagania
6	Identyfikacja zmiennych warunkujących wyjście modelu	Zidentyfikowano zmienne należące do grup parametrów technologicznych, energetycznych, lokalizacyjnych i logistyki dostaw.	Spełnia wymagania
7	Opracowanie struktury hierarchicznej problemu decyzyjnego	Opracowano strukturę problemu decyzyjnego, który zawiera siedem kryteriów głównych: uwarunkowania infrastrukturalne, przyrodnicze, społeczne, ekonomiczno-prawne, technologiczne i logistyczne. Do każdego kryterium przyporządkowano subkryteria wraz ze skalą oddziaływania.	Spełnia wymagania

Źródło: opracowanie własne

Opis zrealizowanych zadań bezpośrednio wynikających z przyjętych założeń potwierdza spełnienie wszystkich wyszczególnionych wymagań.

Analiza wymagań funkcjonalnych

Przeprowadzenie analizy wymagań funkcjonalnych umożliwiło określenie stopnia spełnienia wymagań wynikających z opracowanego dla prototypu diagramu przypadków użycia. Porównanie wymagań systemu z opisem zadań, które realizuje, przedstawia tabela 80.

Krytyczna analiza założeń funkcjonalnych potwierdza wysoki stopień spełnienia wymagań dla funkcji obliczeniowych, zarządczych, reprezentacji danych, wprowadzania danych

i doradczych. W przypadku funkcji dodatkowej należy zwrócić uwagę na ograniczone możliwości przeprowadzenia dokładnej prognozy dla wszystkich wariantów decyzyjnych.

Tabela 80 Analiza wymagań funkcjonalnych

Lp.	Przypadek użycia	Wyszczególnienie zrealizowanych działań
Funkcje obliczeniowe		
1	Określenie optymalnych lokalizacji	Określono optymalne lokalizacje przy wykorzystaniu metody środka ciężkości oraz metody sieciowej.
2	Przeprowadzenie analizy technologicznej	Analiza technologiczna przeprowadzona została na podstawie parametrów technologicznych instalacji TPO z uwzględnieniem rodzaju technologii TPO.
3	Kalkulowanie odległości od dostawców odpadów kalorycznych	Szacunkowe określenie długości tras dostaw w ujęciu rocznym. Obliczenia obejmują lokalizację planowaną instalacji TPO i lokalizacje optymalne.
4	Wydzielanie odpadów kalorycznych	Wydzielono na podstawie przyjętych kryteriów grupy kodów odpadów o potencjale energetycznym.
5	Określenie potencjału energetycznego	Określono potencjał energetyczny teoretyczny, dostępny oraz techniczny dla wariantów decyzyjnych.
Funkcje zarządcze		
6	Zarządzanie strukturą AHP	Możliwość modyfikowania ocen ważności kryteriów.
7	Zarządzanie zmiennymi modelu	Możliwość weryfikowania parametrów instalacji.
8	Zarządzanie danymi o odpadach	Możliwość wprowadzania aktualizacji danych o masie odpadów komunalnych zebranych.
9	Zarządzanie mapami tematycznymi	Możliwość zarządzania mapami tematycznymi w zakresie prezentacji danych.
Funkcje reprezentacji danych		
10	Przegląd wskaźników	Możliwość porównania wybranych wskaźników dla wariantów decyzyjnych.
11	Przegląd wariantów	Możliwość porównania wariantów na każdym etapie analizy.
Funkcje wprowadzania danych		
12	Definiowanie wskaźników	Możliwość weryfikacji wskaźników według preferencji wybranych użytkowników systemu (Województwo, Ekspert).
13	Ustalanie kryteriów	Możliwość definiowania elementów struktury hierarchicznej problemu decyzyjnego.
14	Przypisywanie wag kryteriom	Ustalanie ocen ważności kryteriów według indywidualnych preferencji Ekspertów.
15	Wprowadzanie danych przestrzennych	Wprowadzanie danych przestrzennych obejmujących lokalizację obiektów infrastruktury technologicznej analizowanego regionalnego systemu gospodarki odpadami.
16	Wprowadzanie danych o odpadach	Weryfikowanie rocznych danych o odpadach komunalnych zebranych i przetworzonych na obszarze badanego RGO.
17	Wprowadzanie parametrów wariantów	Możliwość weryfikowania danych użytkownika (Inwestora) obejmujących parametry planowanej instalacji TPO.
Funkcje doradcze		
18	Ocena wariantów	Subiektywna ocena wariantów przez wybraną grupę Ekspertów.
19	Porównanie i ocena wskaźników	Subiektywna ocena wskaźników wariantów decyzyjnych przez wybraną grupę Ekspertów.
20	Wybór wariantów	Wybór optymalnego Wariantu na podstawie otrzymanych ocen Ekspertów.
Funkcje dodatkowe		
21	Prognozowanie	Możliwość prognozowania ilości odpadów kalorycznych na podstawie korelacji masy odpadów i liczby mieszkańców. Prognozowanie obejmuje wyłącznie odpady komunalne o potencjale energetycznym zestawione w sprawozdaniach gmin.

Zródło: opracowanie własne

Ocena ekspercka

W ramach omawianego etapu procesu walidacji prototypu poproszono dwóch Ekspertów o odpowiedź na poniżej opracowane pytania (tab. 81), które bezpośrednio odnosiły się do celu głównego niniejszej monografii. Ich końcowa opinia i ocena stanowiły punkt wyjścia do sporządzenia proponowanych kierunków rozbudowy prototypu.

W opinii Eksperta 1 jednoznacznie wskazano na użyteczność i przydatność prototypu w efekcie jego szerokiego wdrożenia. Zasadność budowy systemu wspomagania energetycznego wykorzystania odpadów na bazie opracowanego modelu może zwiększyć poziom odzysku energii na wybranych obszarach (pyt. 8). Dodatkowo Ekspert 1 zwrócił uwagę na potencjalne możliwości udoskonalenia systemu, które w pierwszej kolejności powinny wynikać z jego otwartej struktury (pyt. 9). Zwiększenie funkcjonalności systemu powinno być związane z uwzględnieniem oceny świadomości społecznej. Zasadne jest również poświęcenie szczególnej uwagi na opracowanie funkcji komunikacyjnej pomiędzy podmiotami systemu gospodarki odpadami. Właściwy przepływ informacji pomiędzy użytkownikami systemu wspomagania pozwoli na podniesienie sprawności zarządzania bazą danych. Pozostałe kwestie zostały ocenione pozytywnie (pyt. 1–7).

Tabela 81 Zakres pytań do oceny eksperckiej

Lp.	Pytanie
1	Czy właściwie zdefiniowano problem badawczy w gospodarce odpadami wysokokalorycznymi?
2	Czy wyodrębniono niezbędne powiązania technologiczno-logistyczne w ramach procesu decyzyjnego?
3	Czy dokonano właściwego wyboru map tematycznych i kryteriów wykluczających lokalizację obiektu termicznego przekształcania odpadów?
4	Czy zidentyfikowano parametry technologiczno-logistyczne procesu energetycznego wykorzystania odpadów?
5	Czy zestaw zmiennych warunkujących postać modelu jest wystarczający do efektywnej analizy i oceny wariantów?
6	Czy właściwie zaprojektowano zestaw potencjalnych zagrożeń związanych z wdrożeniem modelu w prototypie SWD?
7	Czy struktura hierarchiczna problemu decyzyjnego i jego wagi umożliwią efektywną ocenę wariantów?
8	Czy wykorzystanie opracowanego modelu technologiczno-logistycznego gospodarki odpadami wysokokalorycznymi umożliwi zwiększenie odzysku energii z odpadów w wybranym obszarze?
9	Czy poza wskazanymi obszarami potencjalnych możliwości udoskonalenia prototypu systemu Ekspert doszukuje się dodatkowych?

Źródło: opracowanie własne

Ekspert 2 pozytywnie ocenił wyniki przeprowadzonych prac bezpośrednio powiązanych z pytaniami 1 – 6. Według jego opinii struktura hierarchiczna problemu decyzyjnego (pyt. 7) może być nieczytelna dla osób, które nie są dogłębnie zorientowane w zagadnieniu. Zdaniem Eksperta 2 narzędzie jest spójne, a pod warunkiem wypracowania dodatkowych elementów zachęty mających charakter wewnętrzny (wobec opracowanego prototypu), możliwe jest zwiększenie odzysku energii z odpadów w wybranym obszarze (pyt. 8). Odnosząc się do pytanie 9 – Ekspert nie wyszczególnił dodatkowych możliwości udoskonalenia prototypu.

13.5. Ocena działania prototypu narzędzia wspomagającego i proponowane kierunki rozbudowy

Na podstawie otrzymanych wyników weryfikacji i walidacji prototypu systemu wspomagania procesu energetycznego wykorzystania odpadów możliwe było podsumowanie możliwości funkcjonalnych prototypu.

Wybór map tematycznych pozwala dokładnie przeanalizować wybrany RGO ze względu na kryteria ograniczające możliwość wybudowania instalacji mogącej znacząco wpłynąć na środowisko (m.in. obszary chronione). Dodatkowo wprowadzenie danych przestrzennych obiektów będących potencjalnymi dostawcami odpadów kalorycznych, a także potencjalnych lokalizacji instalacji TPO pozwala użytkownikom systemu na możliwość ewentualnej weryfikacji lokalizacji obiektu. Wykorzystanie dwóch metod z zakresu wyboru lokalizacji optymalnych ma na celu ujęcie problemu według dwóch głównych wyznaczników – potencjału energetycznego i kosztów dostaw.

Analiza technologiczna wariantów decyzyjnych pozwala oceniać warianty według kluczowych parametrów: ilości wyprodukowanej energii, wielkości emisji, masy odpadów poprocesowych oraz szacowanych łącznych długości kanałów dostaw. W związku z powyższym prototyp dopuszcza weryfikowanie zmiennych, które mają bezpośredni wpływ na ocenę funkcjonowania instalacji pod kątem efektywności energetycznej. Wielkość ta, zgodnie z obowiązującym prawem [134], potwierdza, czy instalacja spełnia podstawowe założenia, które pozwalają zakwalifikować proces termicznego przekształcania odpadów jako procesu odzysku R1.

W celu rozszerzenia możliwości wspomagających proces decyzyjny wyboru instalacji wprowadzono zestaw wskaźników, które mogą dodatkowo pomóc w ocenie wariantów decyzyjnych. Mają one odzwierciedlenie na cały system gospodarki odpadami, dlatego prezentują holistyczne podejście do analizowanego problemu.

Wsparcie procesu decyzyjnego opracowaną strukturą hierarchiczną pozwala spojrzeć na problem z innej perspektywy. Dzięki uporządkowaniu zbioru najbardziej istotnych elementów w ramach przyjętej hierarchii możliwa stała się łączna analiza kryteriów jakościowych i ilościowych.

Wybór metody analizy wielokryterialnej, jakkolwiek zasadny z punktu widzenia przedmiotu analizy, może stwarzać pewne ograniczenia. Po pierwsze, decydent powinien znać specyfikę metody tak, aby przeprowadzenie analizy przyniosło spodziewane efekty. Po drugie, podczas uwzględnieniu dużej liczby kryteriów porównanie par elementów jest procesem czasochłonnym i niejednokrotnie kontrola poprawności podważa zgodność porównań. Należy zauważyć, że przy dużej liczbie kryteriów możliwe są niezamierzone pomyłki decydenta, co w efekcie może prowadzić do nielogicznych osądów.

Innym ograniczeniem funkcjonalności prototypu może być wykorzystanie stałych wielkości opałowych odpowiadających wybranym grupom odpadów kalorycznych. W przypadku dokładnej oceny potencjału energetycznego zaleca się dokładną analizę odpadów ze względu na ich morfologię, wilgotność oraz udział pozostałych składników określających właściwości paliwowe wsadu. Zaleca się zatem, aby poddać analizie próbki odpadów od potencjalnych dostawców w celu poprawy dokładności otrzymanych wyników.

Istotną przeszkodą w działaniu prototypu może być również aktualizacja danych o odpadach zebranych. Obecnie sprawozdania z gospodarowania odpadami komunalnymi opracowywane są w tradycyjnej, papierowej formie, w związku z czym konieczne jest ręczne wprowadzanie danych do systemu. Im większy obszar analizy, tym większy zakres danych oraz prawdopodobieństwo popełnienia błędu podczas wprowadzania danych.

Zastosowany moduł prognozy również wykazuje pewne ograniczenia. W zakresie niniejszej monografii przeprowadzono analizy korelacji wybranych odpadów komunalnych zebranych z liczbą mieszkańców w okresach – 2013 i 2014 rok. Na podstawie otrzymanych wyników możliwe było prognozowanie ograniczonej grupy odpadów komunalnych. Pozostałe odpady o potencjale energetycznym, jak np. 19 12 10 (paliwa alternatywne), których wielkość produkcji nie zależy od liczby mieszkańców, a od zapotrzebowania odbiorców – nie były prognozowane.

Opracowany prototyp w związku z ograniczeniami oprogramowania, na którym został stworzony, nie umożliwia generowania raportów, na podstawie indywidualnych potrzeb użytkownika. Na chwilę obecną można generować raporty w formie wydruków wybranych plansz systemu, w związku z czym tę kwestię w przyszłości można jeszcze udoskonalać.

Wyszczególnione ograniczenia prototypu wynikające z oceny jego możliwości stanowią punkt wyjścia do dalszych perspektyw ulepszenia funkcjonalności systemu. Próba wdrożenia systemu w architekturę informatyczną systemu gospodarki odpadami powinna również

uwzględnić potrzeby wyszczególnionych w diagramie przypadków użycia – aktorów. W związku z powyższym należy też uwzględnić zbiór potencjalnych sytuacji, które mogą negatywnie wpłynąć na prawidłowe funkcjonowanie prototypu. Należą do nich:

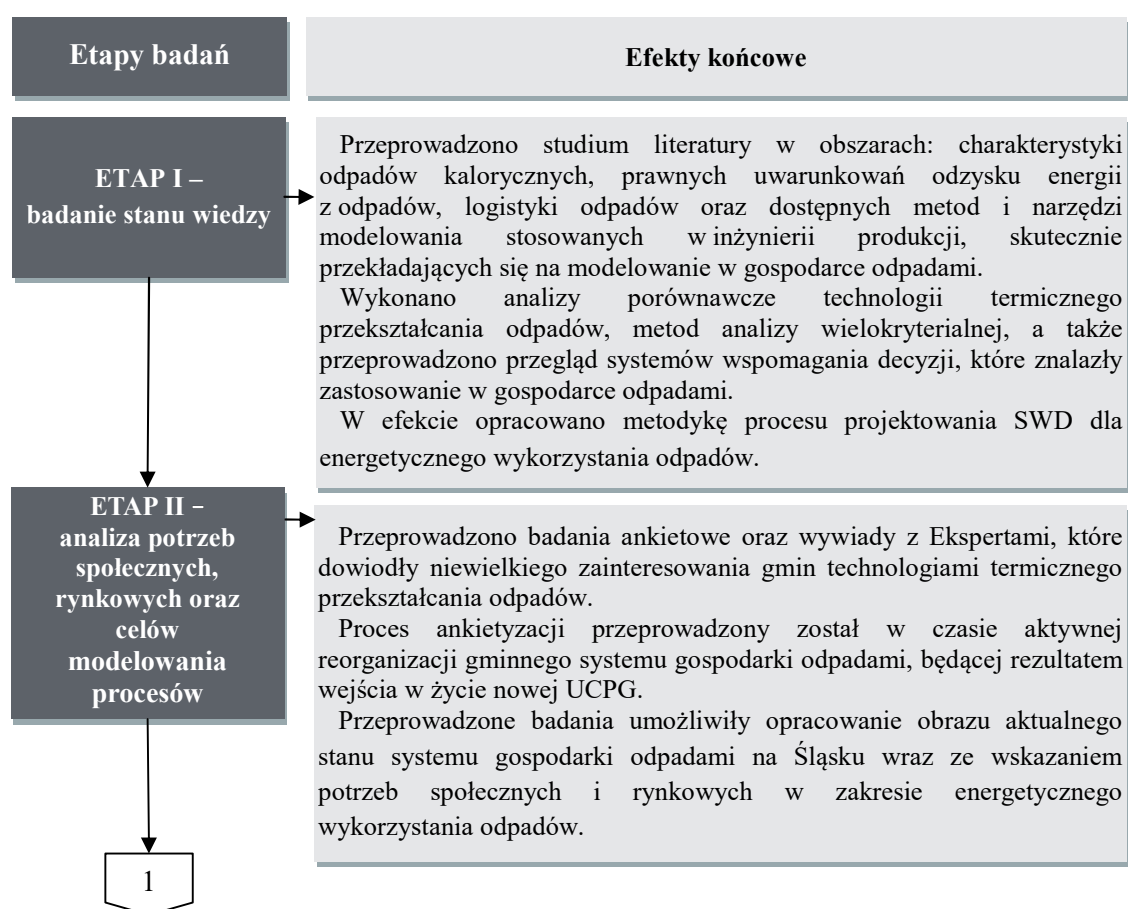
- ryzyko technologiczne wynikające z braku możliwości efektywnego współdziałania modułu obliczeniowego z modułem prezentacji danych geograficznych na mapach tematycznych;
- ryzyko organizacyjne związane z dostępem do systemu wszystkich aktorów w ograniczonym zakresie (wynikającym z przydzielonych możliwości modyfikacji zmiennych),
- ryzyko braku poprawności danych o odpadach, będące skutkiem nieprawidłowego wypełniania sprawozdań gmin z gospodarowania odpadów; sprawozdania te niejednokrotnie muszą zostać poddane korekcie.

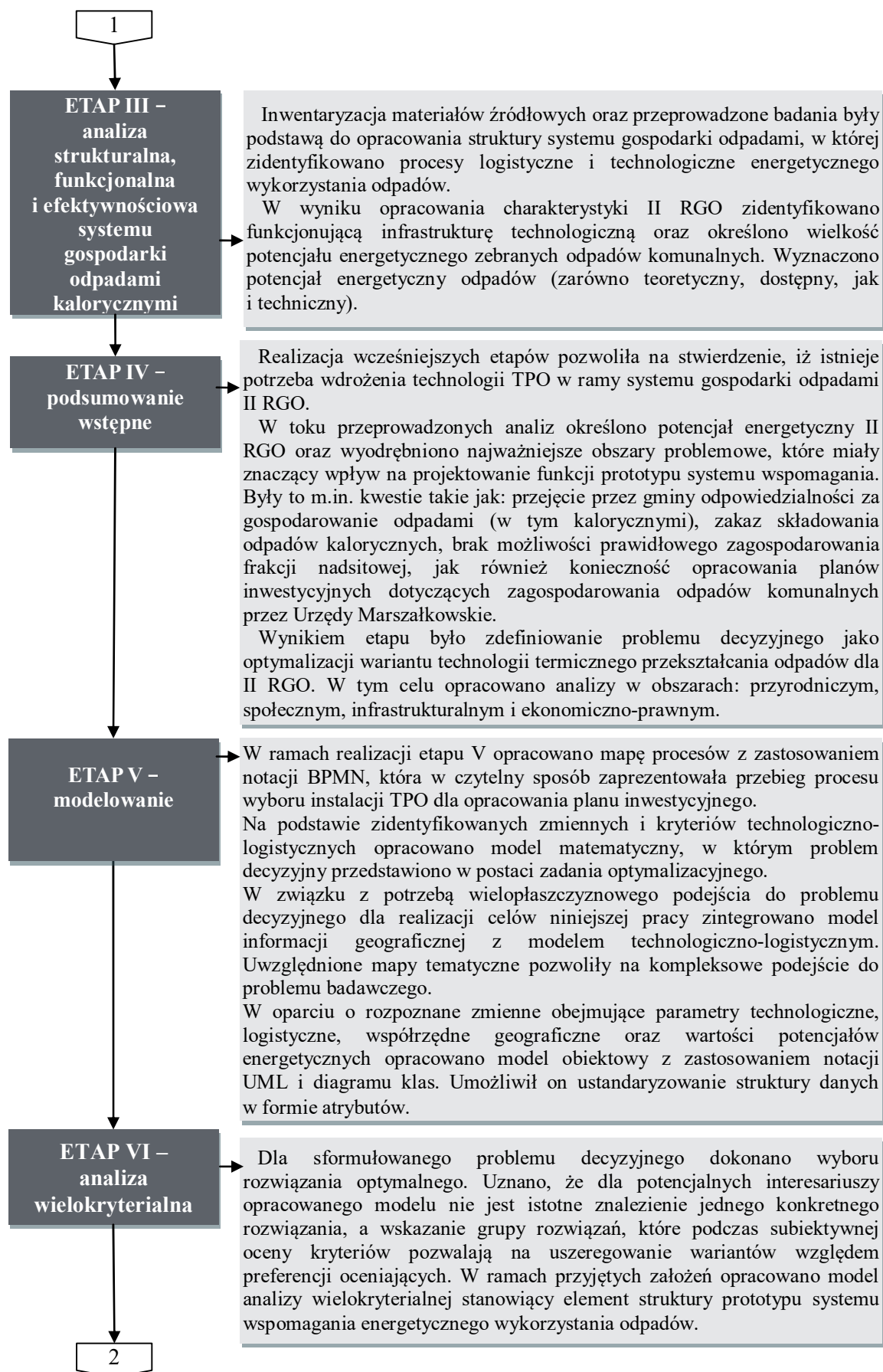
Minimalizowanie ryzyka może nastąpić poprzez wdrożenie odpowiednich procedur i narzędzi, które miałyby służyć stworzeniu ogólnodostępnej informatycznej platformy dla wojewódzkiego systemu gospodarki odpadami komunalnymi i przemysłowymi. Możliwość zgromadzenia danych o zebranych odpadach na wybranym terenie pozwala zarządzać wybranymi strumieniami odpadów, w tym wyodrębniać odpady o potencjale energetycznym. Z drugiej strony potrzeba weryfikowania dostępnej wydajności instalacji przetwarzania odpadów umożliwia potencjalnym inwestorom zainteresowanie się danym obszarem jako miejscem, w którym dzięki potwierdzonemu bilansowi ilościowo-jakościowemu zasadne staje się wybudowanie instalacji.

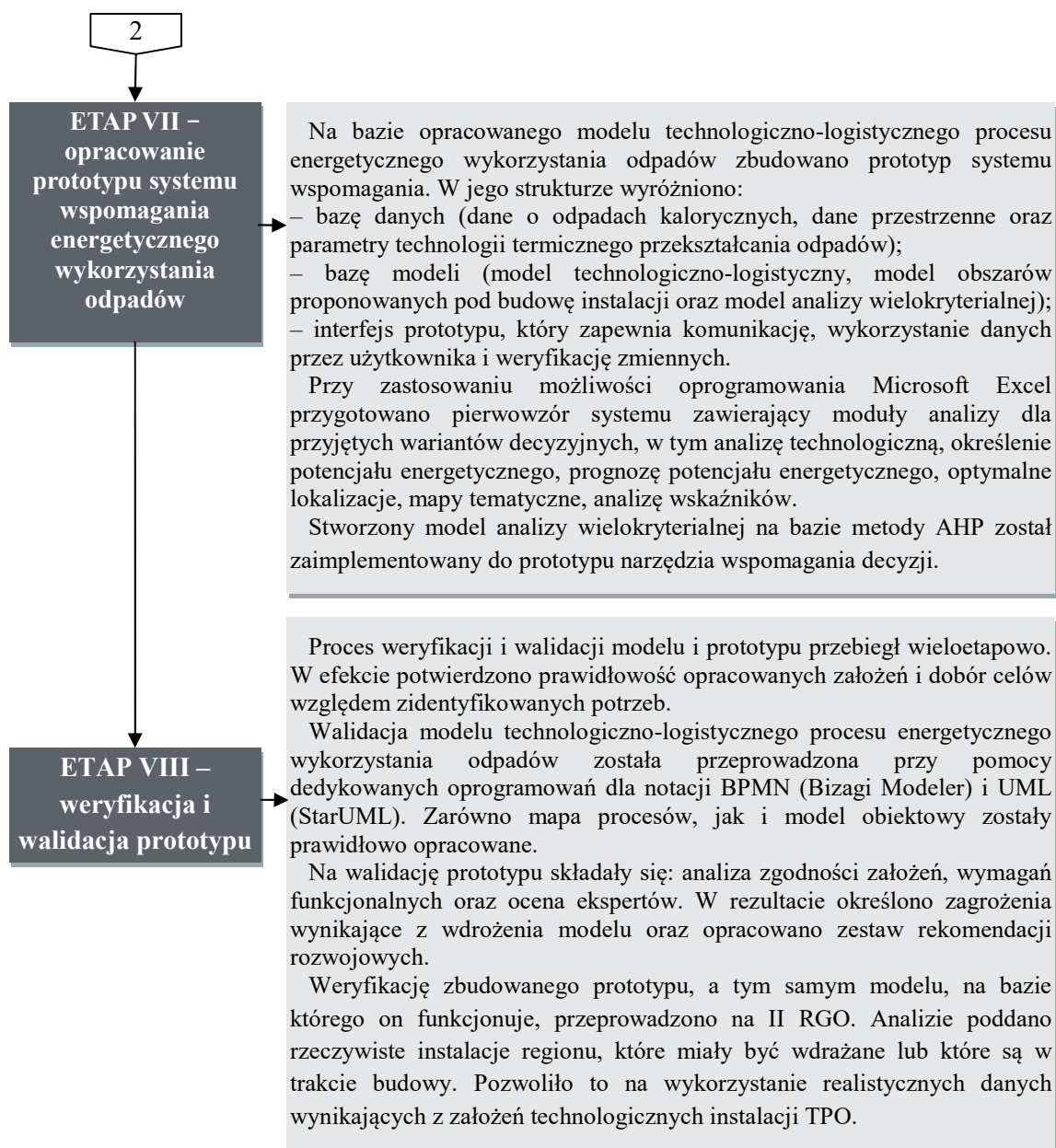
14. Podsumowanie i wnioski

W monografii podjęto próbę oryginalnego rozwiązania problemu naukowego, jakim jest wykorzystanie odpadów jako istotnego elementu systemu gospodarki odpadami komunalnymi zorientowanego na zwiększenie energii. Dokonany przegląd literatury oraz metod stosowanych w podejściu procesowym miał na celu identyfikację interakcji pomiędzy potencjałem energetycznym odpadów a efektywnością procesów wytwarzania energii.

W celu budowy modelu przeprowadzono w województwie śląskim liczne badania, którymi objęto przedstawicieli tak urzędów gmin, jak i regionalnych instalacji przekształcania odpadów. Do wyboru odpowiedniej instalacji termicznej obróbki odpadów kalorycznych wykorzystano oceny eksperckie, które umożliwiły wyznaczenie wag kryteriów hierarchicznej struktury problemu decyzyjnego. Podsumowanie badań opracowano zgodnie z etapami metodyki badawczej (rys. 46).







Rysunek 46 Podsumowanie badań

Źródło: opracowanie własne

Rozważania teoretyczne oraz badania empiryczne pozwoliły na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Gospodarka odpadami kalorycznymi wymaga wielopłaszczyznowego podejścia. Przepisy prawne regulują kryteria społeczne i ekologiczne, podczas gdy efektywność wdrożenia instalacji musi być również uargumentowana kwestiami technologicznymi, logistycznymi i ekonomicznymi. Podejmowanie decyzji w środowisku wielokryterialnym wymaga złożonego podejścia do problemu oraz nakierowania na wybrane cele.
2. Właściwy dobór odpadów kalorycznych, właściwe zidentyfikowanie ich dostawców oraz właściwa lokalizacja obiektu warunkują sprawny oraz efektywny ekonomicznie i ekologicznie przepływ odpadów kalorycznych.
3. Integracja procesów logistycznych i technologicznych w obszarze energetycznego wykorzystania odpadów umożliwia zwiększenie odzysku energii z odpadów zgodnie z uwarunkowaniami ekologicznymi.

4. W procesie wyboru lokalizacji instalacji TPO istotne jest wykorzystanie metody środka ciężkości i metody sieciowej jako elementów wspomagających osadzenie obiektu w przestrzeni.
5. Stwierdzono rosnące zainteresowanie procesami odzysku energii z odpadów przy jednoczesnym występowaniu luki w aspekcie technologiczno-logistycznym procesu energetycznego wykorzystania odpadów.
6. Analiza ilościowo-jakościowa strumieni odpadów o potencjale energetycznym, a także wyniki badań ankietowych i wywiadu potwierdziły niewykorzystany potencjał energetyczny śląskiego systemu gospodarki odpadami. Zidentyfikowano rosnące zapotrzebowanie na instalacje termicznie przetwarzające odpady na tym obszarze.
7. Łańcuch usuwania wyodrębniony z systemu gospodarki odpadami wykazuje cechy łańcucha dostaw, którym zarządzanie pozwala na zwiększenie efektywności procesu termicznego przetwarzania odpadów.
8. Inwentaryzacja infrastruktury energetycznej umożliwiającej wykorzystanie paliw z odpadów w województwie śląskim wykazała brak odpowiednich instalacji termicznie przetwarzających odpady komunalne, co powoduje deponowanie ich na składowiskach.
9. Region II jest obszarem silnie uprzemysłowionym i posiadającym bogate zaplecze infrastrukturalne. Należy zatem zmienić podejście do instalacji TPO, traktując je jako obiekty wytwarzające energię, na których efektywność technologiczną wpływa efektywność procesów logistycznych.
10. Wynikiem rozpoznanych połączeń przyczynowo-skutkowych pomiędzy gospodarką odpadami komunalnymi, produkcją paliw z odpadów a energetycznym wykorzystaniem odpadów był opracowany model technologiczno-logistyczny procesu energetycznego wykorzystania odpadów.
11. Opracowany model, który cechuje się uniwersalnością, prezentuje zdolności do budowy narzędzia informatycznego wspomagania decyzji procesu energetycznego wykorzystania odpadów w skali rynkowej.
12. Weryfikacja prototypu potwierdziła, że trzy odrębne technologie energetycznego przetwarzania odpadów w porównywalnym stopniu nadają się do wdrożenia. Świadcą o tym przede wszystkim uwarunkowania infrastrukturalne, przyrodnicze, społeczne i ekonomiczno-prawne. Istotną staje się zatem szczegółowa analiza uwarunkowań technologiczno-logistycznych bezpośrednio przekładających się na poziom odzysku energii z odpadów.
13. Opracowany prototyp informatycznego systemu wspomagania procesu energetycznego wykorzystania odpadów podczas procesu weryfikacji i walidacji umożliwił szczegółową analizę aktualnej sytuacji systemu gospodarki odpadami oraz symulację zmiennych parametrów technologiczno-logistycznych instalacji TPO (wariantów decyzyjnych) względem istniejącego potencjału energetycznego (technicznego) odpadów. Funkcjonalność systemu umożliwia wspomaganie procesu wyboru optymalnego rozwiązania, którego wdrożenie pozwala na zwiększenie odzysku energii z odpadów na danym obszarze.

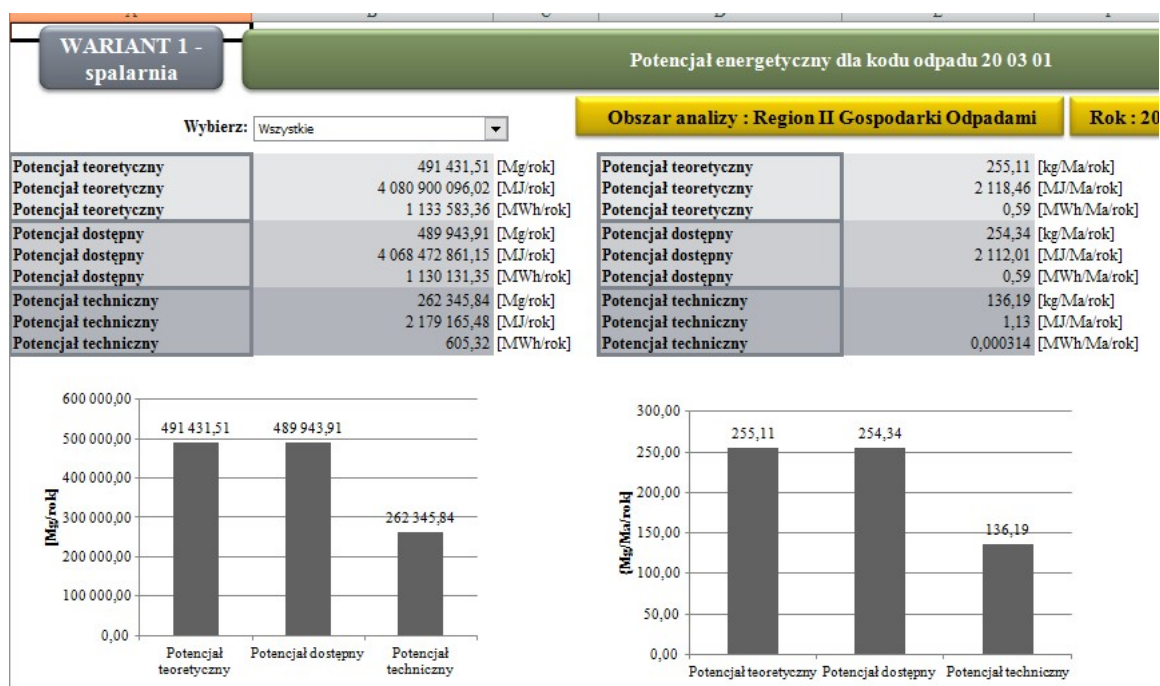
Załącznik

Wariant 1

1. Potencjał energetyczny

W ramach potencjału energetycznego wybranego kodu odpadu dla każdego wariantu prezentowane są wyniki obliczeń dla potencjału energetycznego teoretycznego, dostępnego i technicznego. Dodatkowo wprowadzono podział wyników ze względu na jednostki: [Mg/rok], [MJ/rok], [MWh/rok].

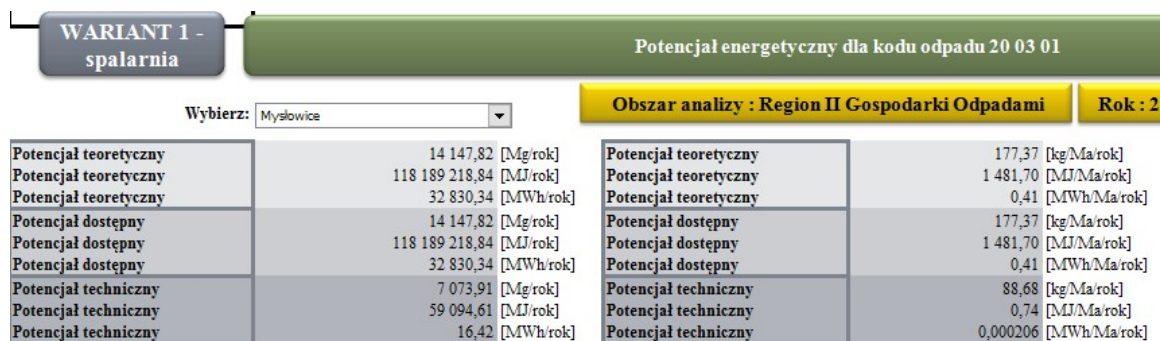
W Wariacie 1, zgodnie z założeniami, poddano analizie zmieszane odpady komunalne o kodzie 20 03 01 (rys.1).



Rysunek 1 Widok okna potencjału energetycznego

Źródło: opracowanie własne

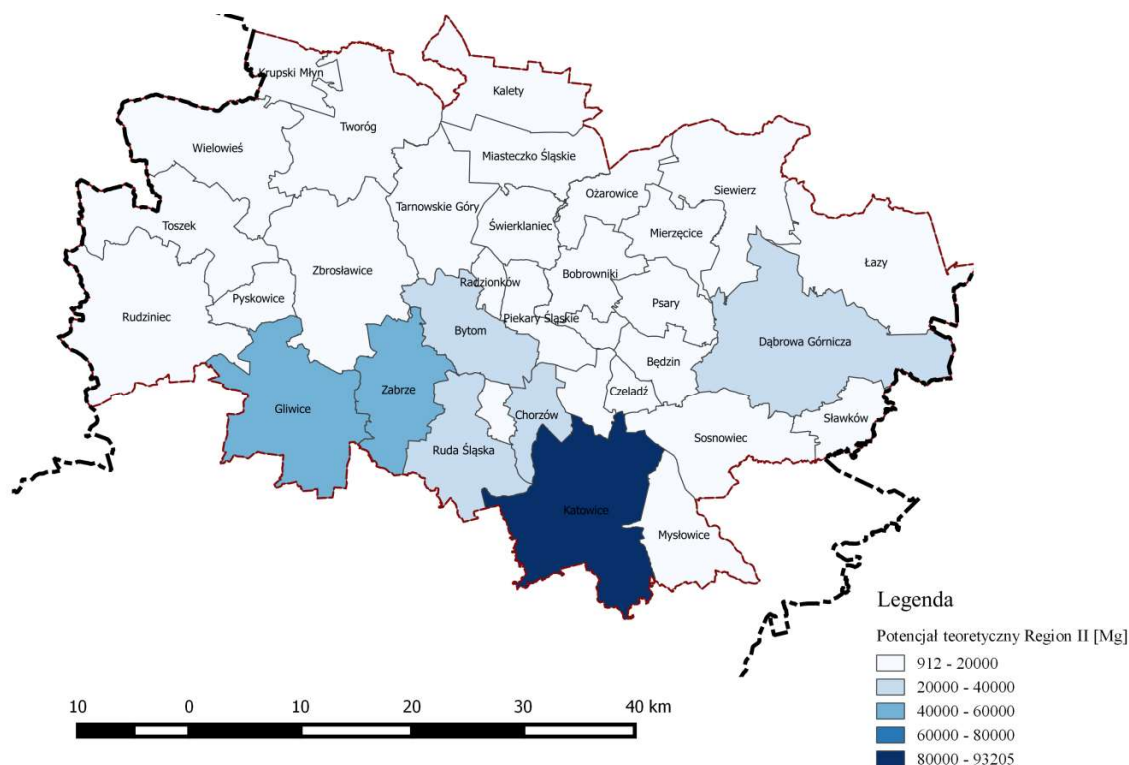
Pole „Wybierz” powoduje rozwinięcie listy i wybór gminy, dla której mają być wyświetlone wartości potencjałów. Wszystkie wyniki analiz przedstawione są na wykresach oraz na mapach. Na rysunku 2 przedstawiono przykład obliczeń dla gminy Mysłowice.



Rysunek 2 Widok okna potencjału energetycznego dla przykładu gminy Mysłowice

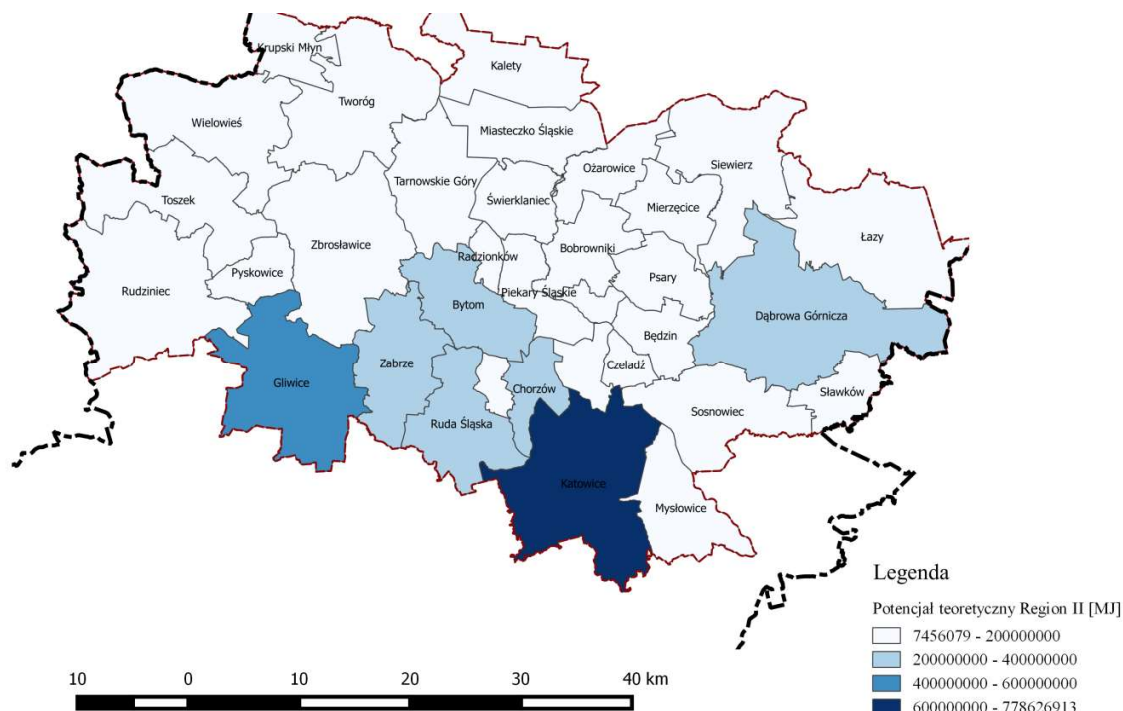
Źródło: opracowanie własne

Dla Wariantu 1 system również umożliwia prezentację wielkości potencjałów energetycznych na mapie administracyjnej obszaru badawczego. Po kliknięciu w odpowiednią ikonę, która przylega do opisu mapy, obraz wyświetla się w nowym oknie. Poniżej przedstawione zostały możliwe prezentacje potencjałów energetycznych odpadu o kodzie 20 03 01 (rys. 3 - 14).



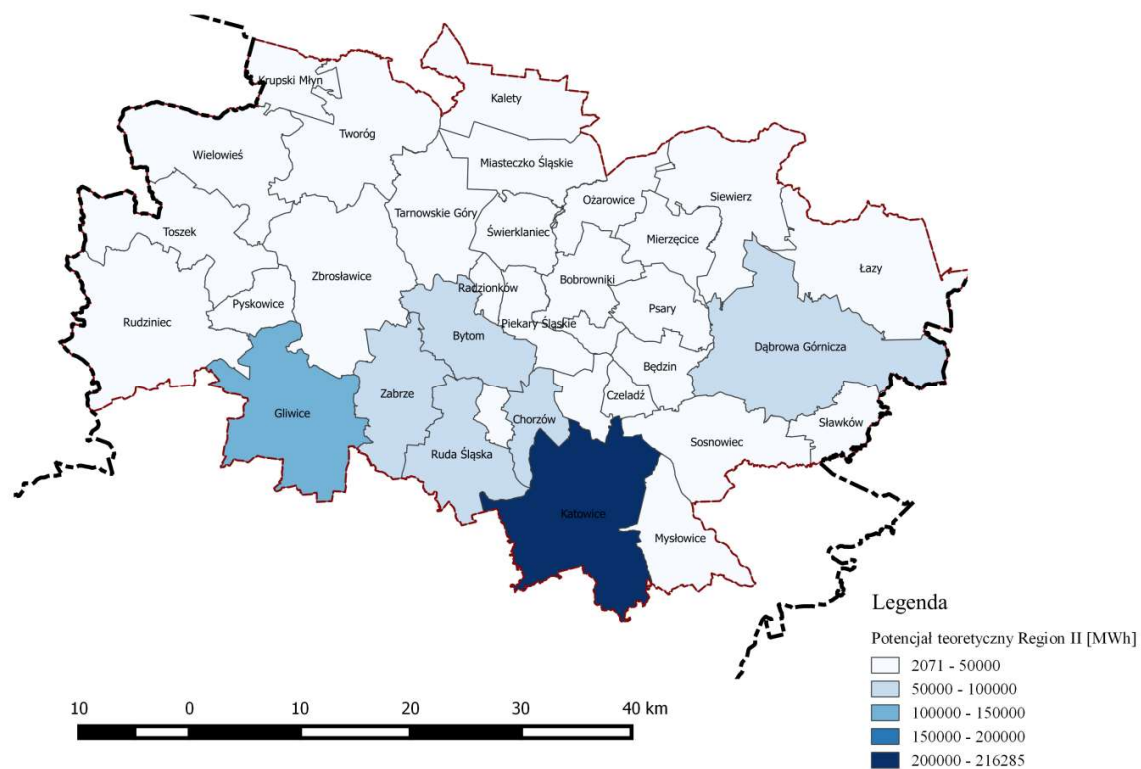
Rysunek 3 Potencjał energetyczny teoretyczny dla Wariantu 1 [Mg/rok]

Źródło: opracowanie własne



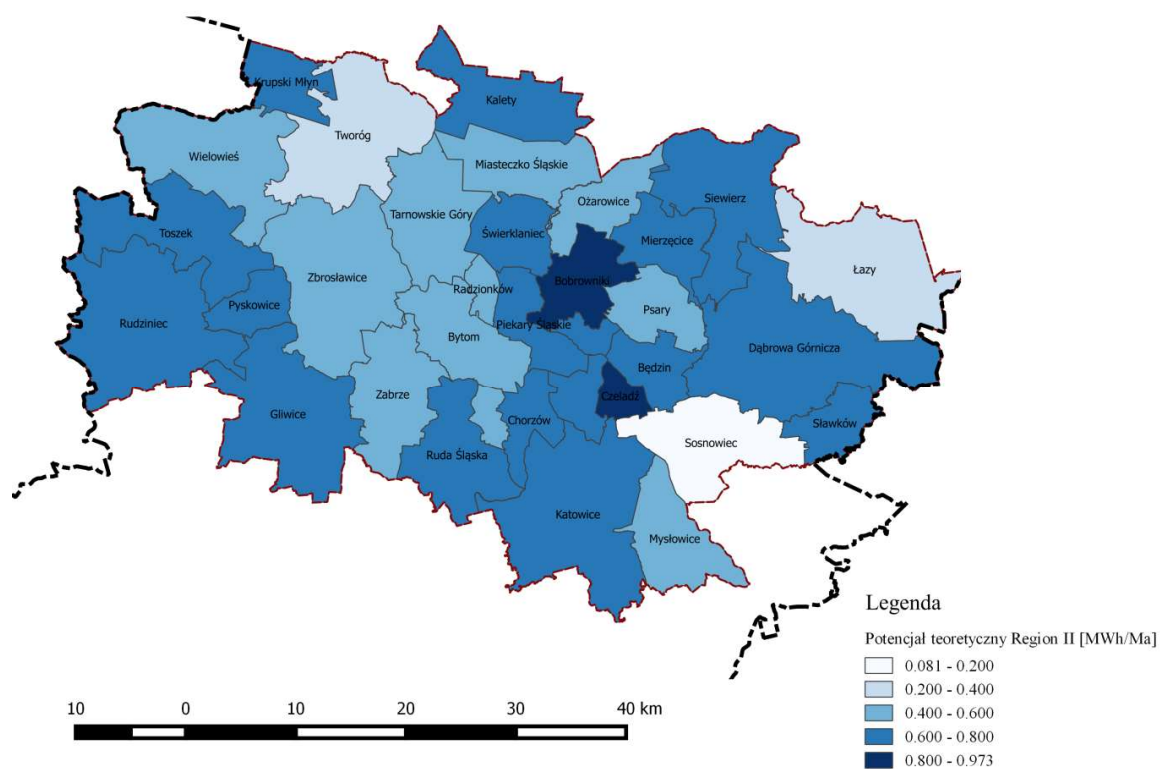
Rysunek 4 Potencjał energetyczny teoretyczny dla Wariantu 1 [MJ/rok]

Źródło: opracowanie własne



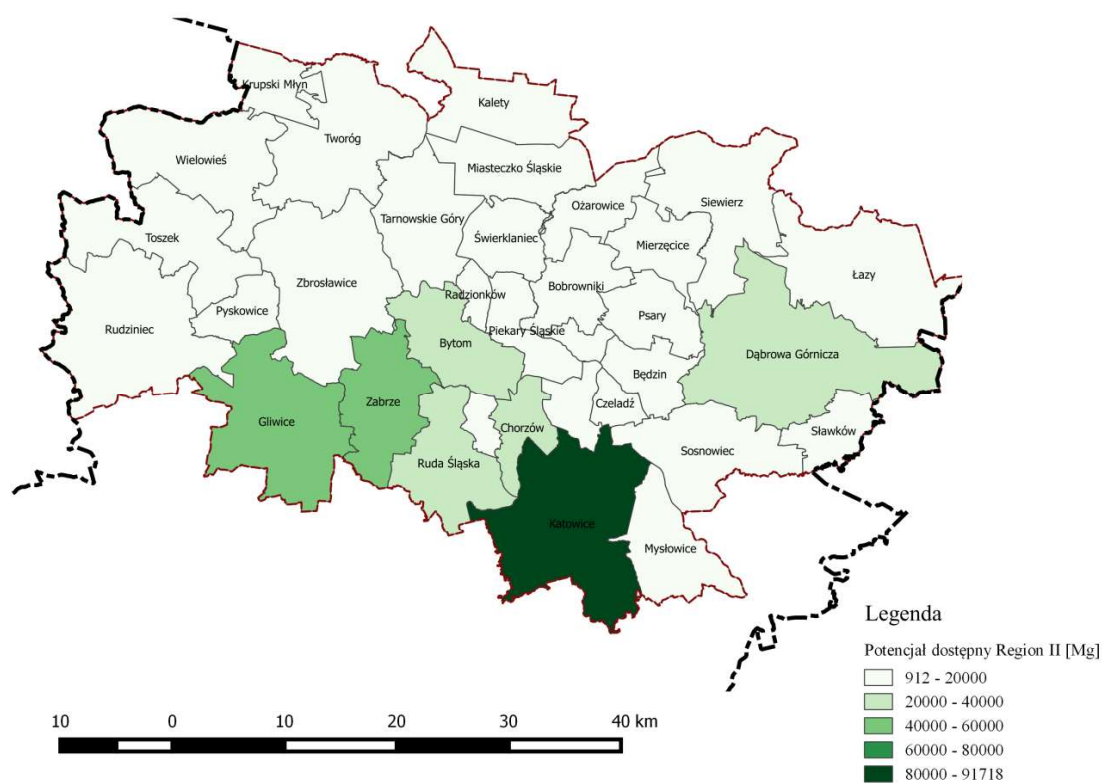
Rysunek 5 Potencjał energetyczny teoretyczny dla Wariantu 1 [MWh/rok]

Źródło: opracowanie własne



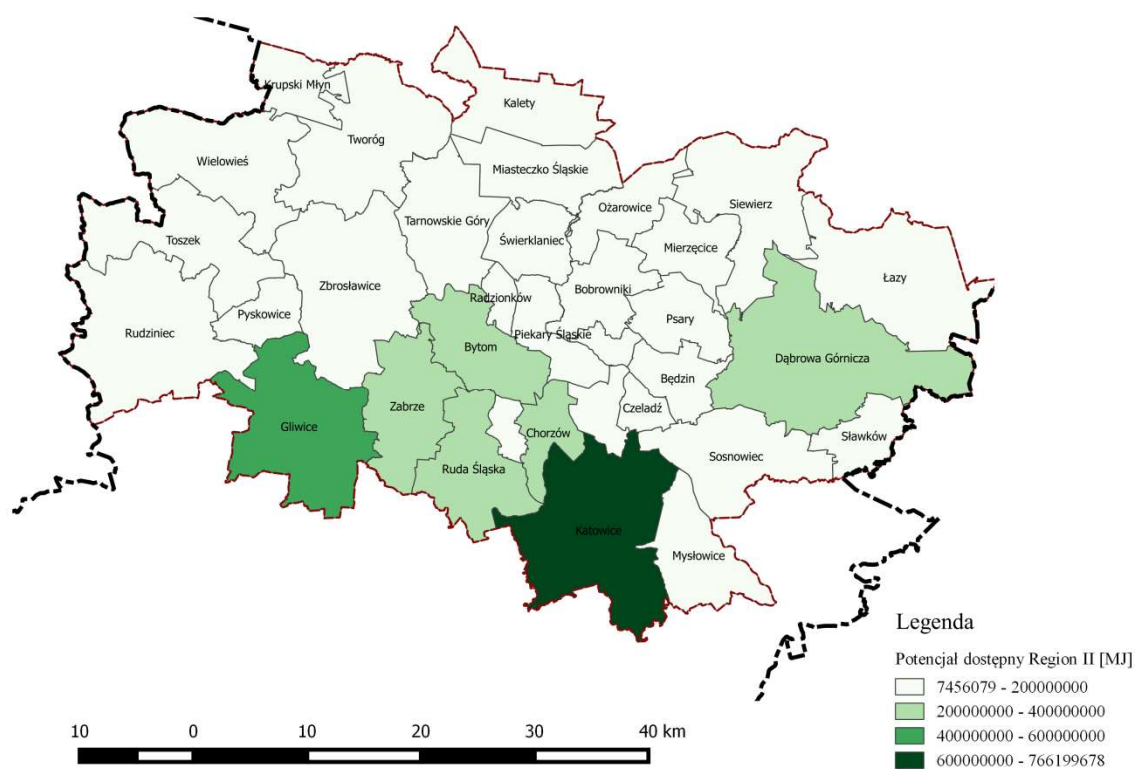
Rysunek 6 Potencjał energetyczny teoretyczny dla Wariantu 1 [MWh/Ma/rok]

Źródło: opracowanie własne



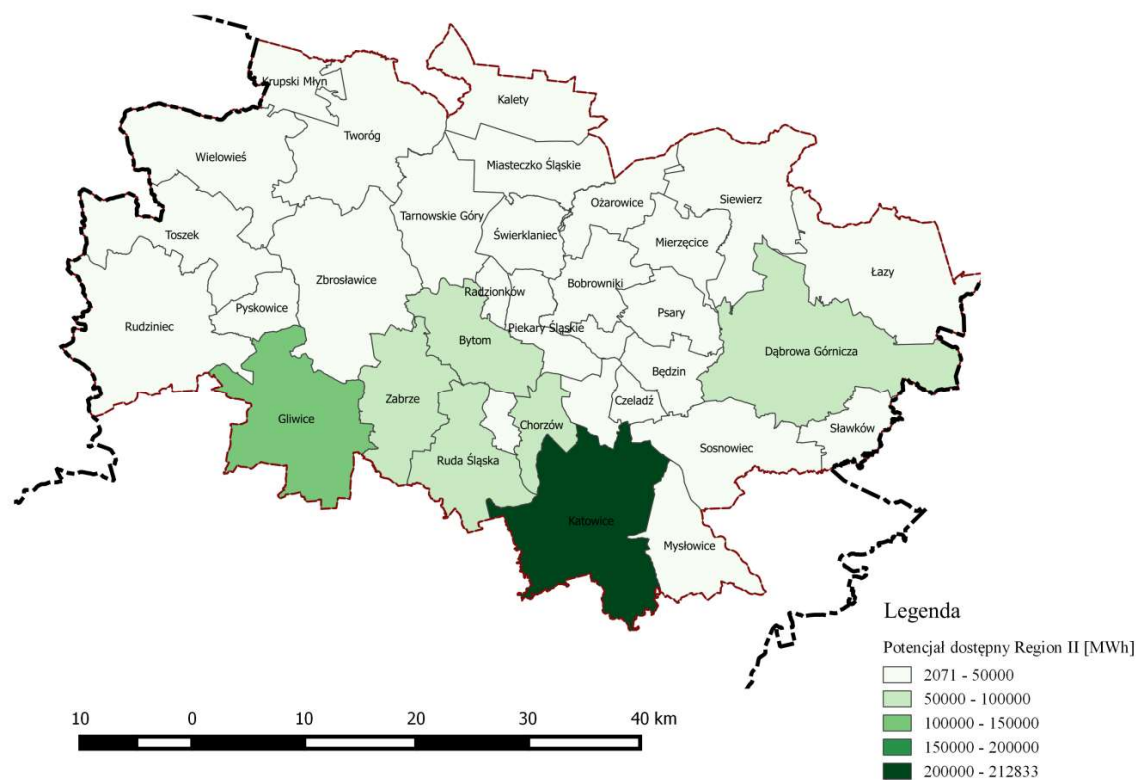
Rysunek 7 Potencjał energetyczny dostępny dla Wariantu 1 [Mg/rok]

Źródło: opracowanie własne



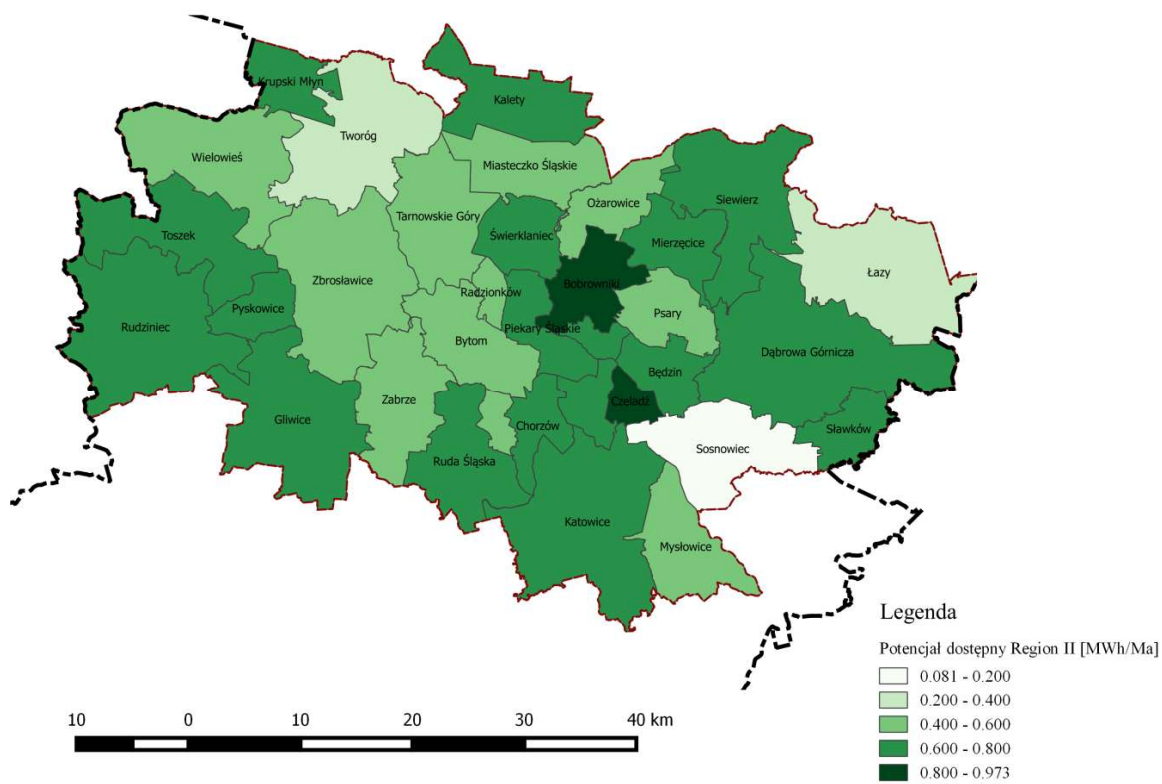
Rysunek 8 Potencjał energetyczny dostępny dla Wariantu 1 [MJ/rok]

Źródło: opracowanie własne



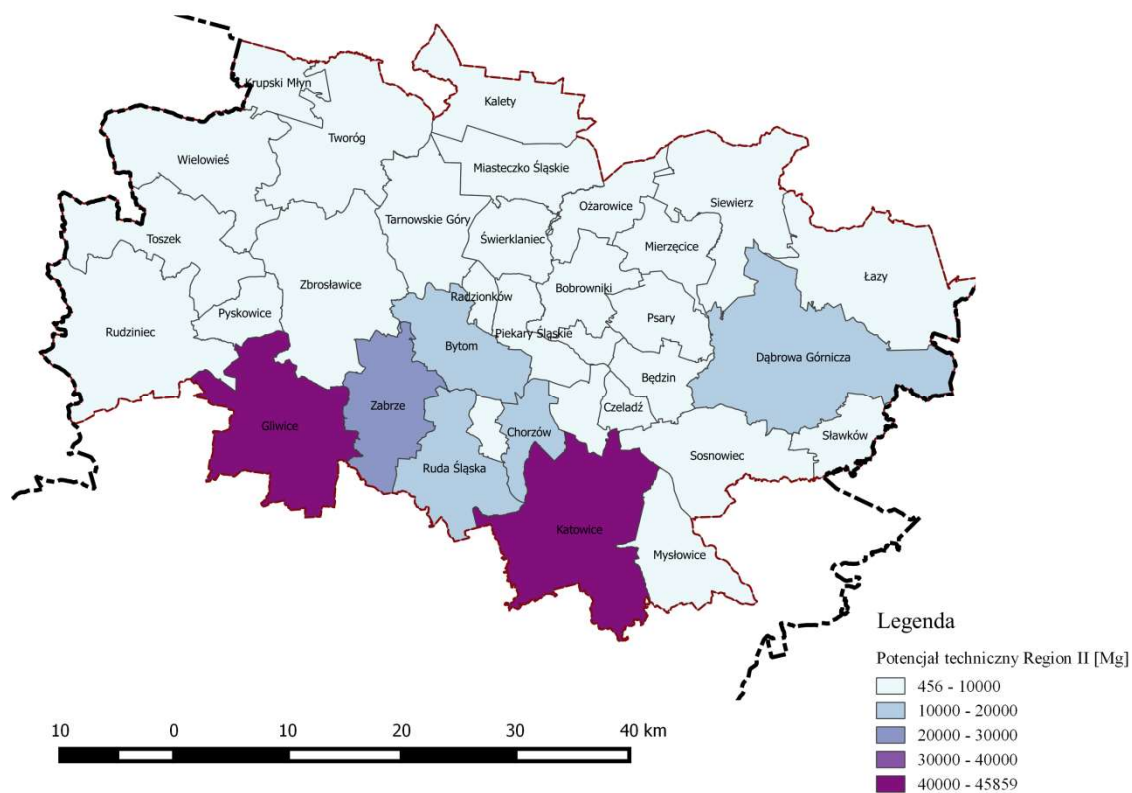
Rysunek 9 Potencjał energetyczny dostępny dla Wariantu 1 [MWh/rok]

Źródło: opracowanie własne



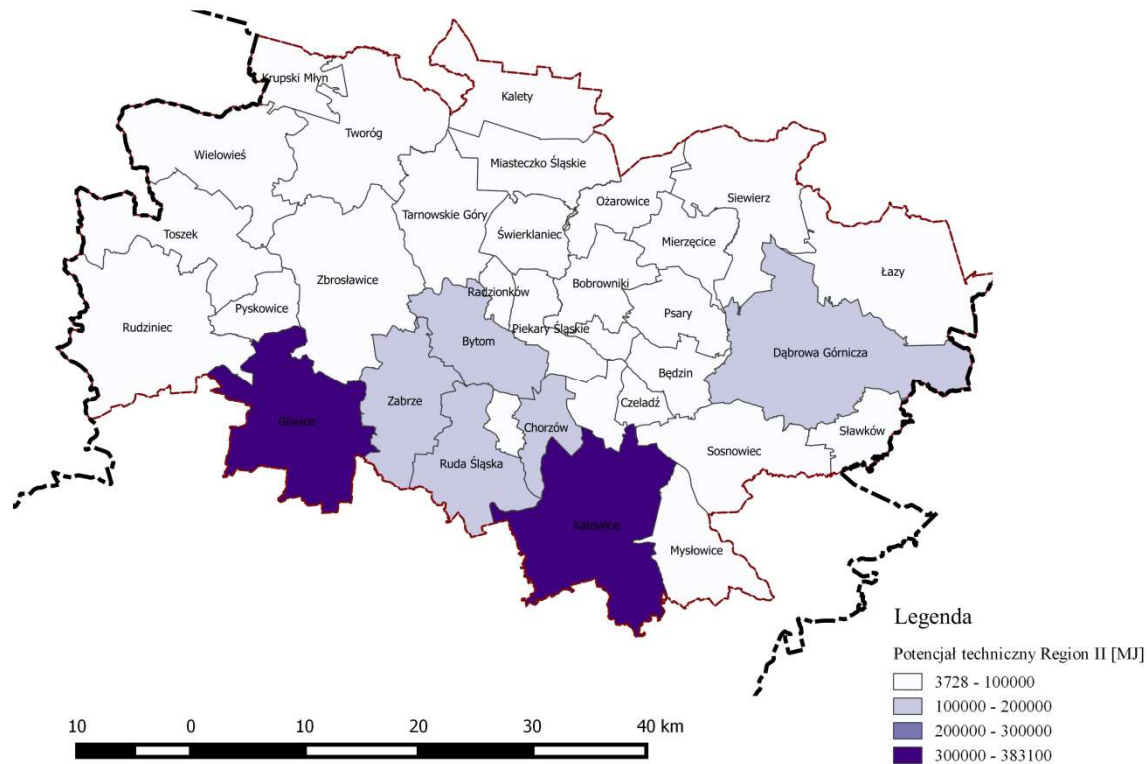
Rysunek 10 Potencjał energetyczny dostępny dla Wariantu 1 [MWh/Ma/rok]

Źródło: opracowanie własne



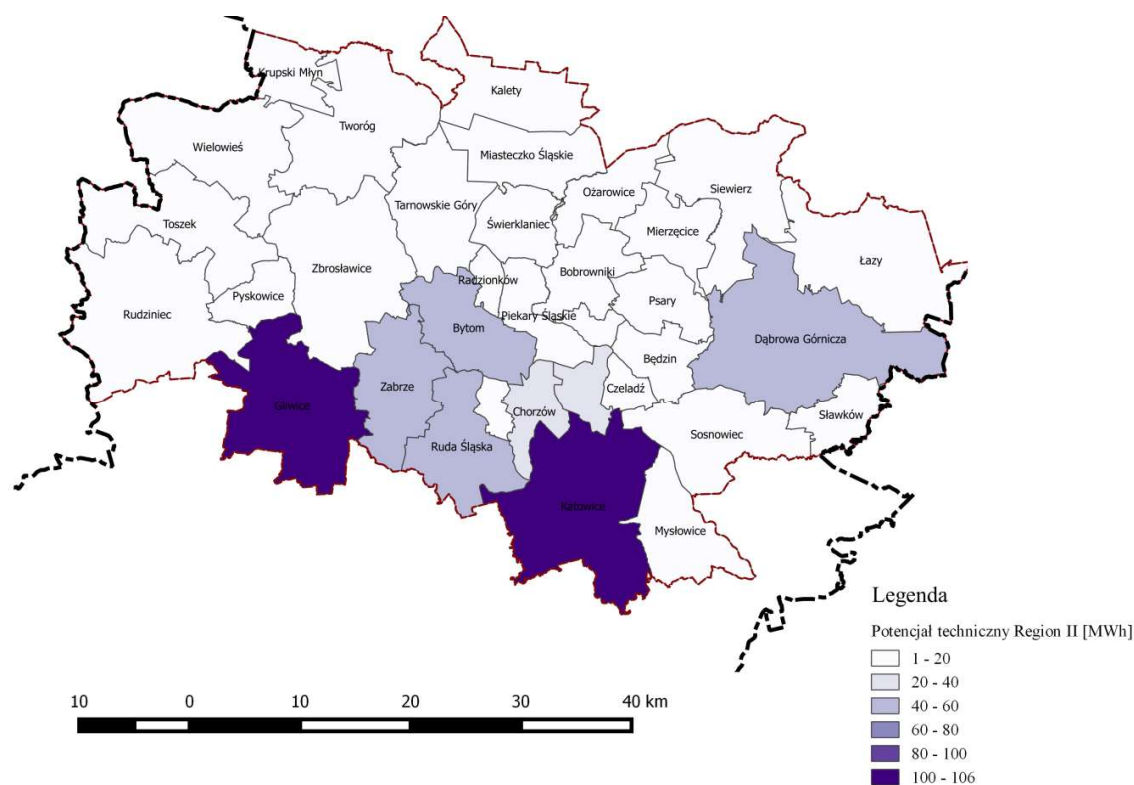
Rysunek 11 Potencjał energetyczny techniczny dla Wariantu 1 [Mg/rok]

Źródło: opracowanie własne



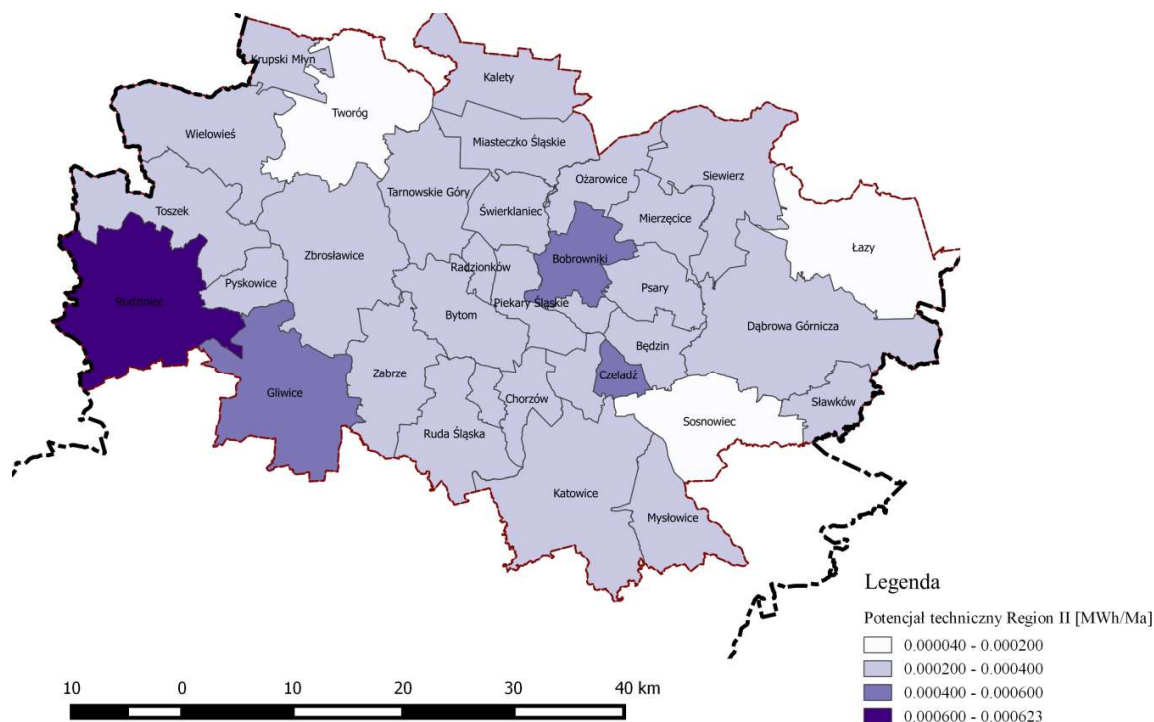
Rysunek 12 Potencjał energetyczny techniczny dla Wariantu 1 [MJ/rok]

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 13 Potencjał energetyczny techniczny dla Wariantu 1 [MWh/rok]

Źródło: opracowanie własne



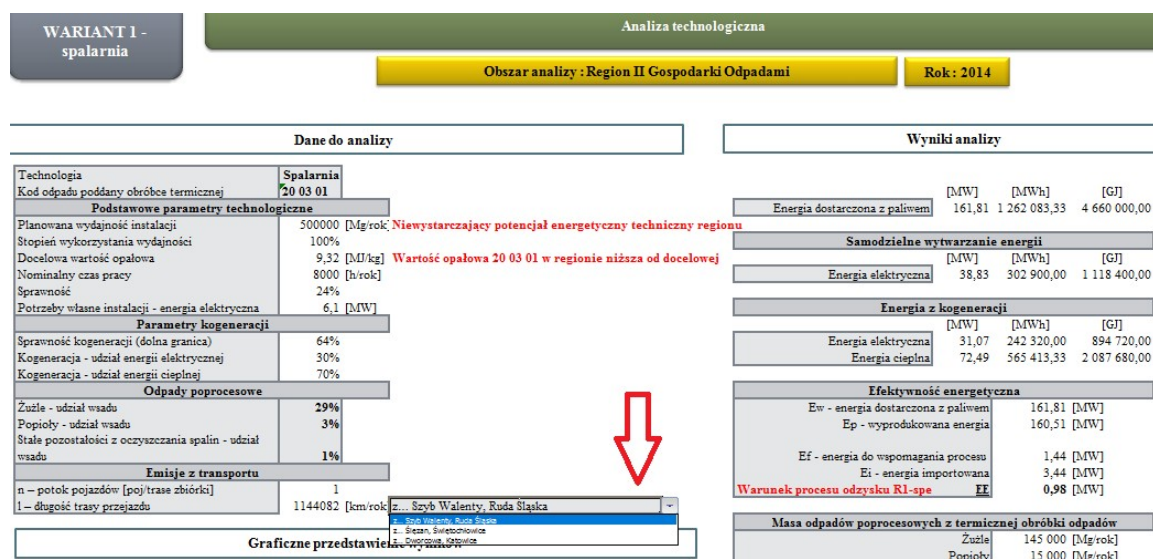
Rysunek 14 Potencjał energetyczny techniczny dla Wariantu 1 [MWh/Ma/rok]

Źródło: opracowanie własne

2. Analiza technologiczna

Analiza technologiczna zbudowana jest w oparciu o szereg formuł matematycznych, które mają na celu weryfikację założeń technologicznych instalacji TPO. Pola białe umożliwiają

wprowadzanie wartości poszczególnych parametrów automatycznie przekładających się na wyniki analizy. W przypadku gdy planowana wydajność instalacji wykracza poza potencjał energetyczny techniczny obszaru analizy, wyświetlony zostaje komunikat „Niewystarczający potencjał energetyczny techniczny regionu”. Przykład został pokazany na rysunku 15.



Rysunek 15 Potencjał energetyczny techniczny dla Wariantu 1 [MWh/Ma/rok]

Źródło: opracowanie własne

Kolejna formuła weryfikuje przyjętą przez Inwestora wartość opałową paliwa z wartością obliczoną na podstawie składu morfologicznego odpadów na danym terenie. W przypadku gdy docelowa wartość jest wyższa, pojawia się komunikat „Wartość opałowa 20 03 01 w regionie niższa od docelowej”. Oznacza to, że należy ponownie zweryfikować założenia technologiczne.

Tabela 1 Dane do analizy – Wariant 1

Technologia	Spalarnia		
Kod odpadu poddany obróbce termicznej	20 03 01		
Podstawowe parametry technologiczne			
Planowana wydajność instalacji	500 000	[Mg/rok]	Niewystarczający potencjał energetyczny techniczny regionu
Stopień wykorzystania wydajności	100%		
Docelowa wartość opałowa	9,32	[MJ/kg]	Wartość opałowa 20 03 01 w regionie niższa od docelowej
Nominalny czas pracy	8 000	[h/rok]	
Sprawność	24%		
Potrzeby własne instalacji – energia elektryczna	6,1	[MW]	
Parametry kogeneracji			
Sprawność kogeneracji (dolna granica)	64%		
Kogeneracja – udział energii elektrycznej	30%		
Kogeneracja – udział energii cieplnej	70%		
Odpady poprocesowe			
Żużle – udział wsadu	29%		
Popioły – udział wsadu	3%		
Stałe pozostałości z oczyszczania spalin – udział wsadu	1%		
Emisje z transportu			
n – potok pojazdów [poj/trasa zbiórki]	1		
l – długość trasy przejazdu	1 144 081,57	[km/rok]	z... Szyb Walenty, Ruda Śląska

Źródło: opracowanie własne

W przypadku obliczeń efektywności energetycznej opracowana formuła sprawdza, czy proces termicznego przekształcania może być zaliczony jako proces odzysku R1. Jeżeli wartość jest niższa od 0,65 – wtedy komunikat informuje użytkownika o braku podstaw do zaliczenia procesu jako R1.

System umożliwia również porównanie emisji z transportu w zależności od przyjętej lokalizacji instalacji – planowanej lub optymalnej. W związku z powyższym po rozwinięciu listy i wyborze adresu możliwe jest odczytanie wielkości emisji zanieczyszczeń transportu, które znajdują się po prawej stronie okna.

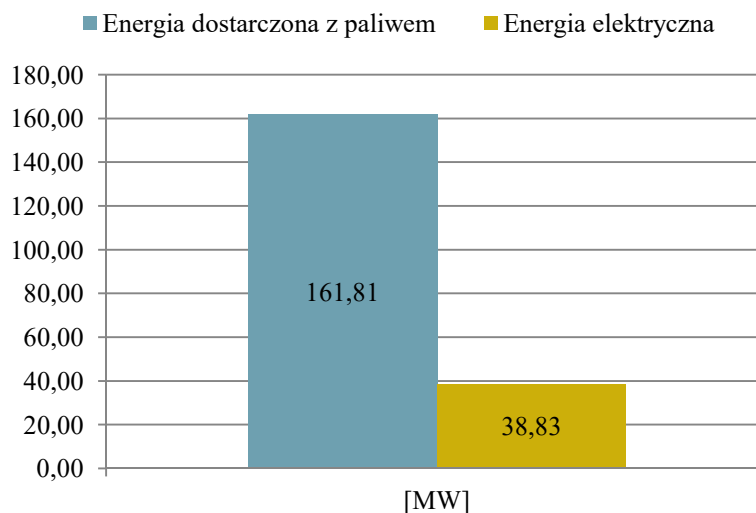
W celu weryfikacji formuł obliczeniowych poniżej przedstawiono zestawienie przyjętych danych dla Wariantu 1 i wyniki obliczeń (tab. 1 i tab. 2).

Tabela 2 Wyniki analizy – Wariant 1

	[MW]	[MWh]	[GJ]
Energia dostarczona z paliwem	161,81	1 262 083,33	4 660 000
Samodzielne wytwarzanie energii			
	[MW]	[MWh]	[GJ]
Energia elektryczna	38,83	302 900	1 118 400
Energia z kogeneracji			
	[MW]	[MWh]	[GJ]
Energia elektryczna	31,07	242 320	894 720
Energia cieplna	72,49	565 413,33	2 087 680
Efektywność energetyczna			
Ew – energia dostarczona z paliwem	161,81		[MW]
Ep – wyprodukowana energia	160,51		[MW]
Ef – energia do wspomagania procesu	1,44		[MW]
Ei – energia importowana	3,44		[MW]
Warunek procesu odzysku R1 – spełniony	EE	0,98	[MW]
Masa odpadów poprocesowych z termicznej obróbki odpadów			
Żużle	145 000		[Mg/rok]
Popioły	15 000		[Mg/rok]
Stałe pozostałości z oczyszczania spalin	5 000		[Mg/rok]
Bilans ekwiwalentów energetycznych (dla energii elektrycznej wytwarzanej samodzielnie)			
Ropa naftowa (kaloryczność 10 000 kcal/kg)	24 650,65		[Mg/rok]
Węgiel kamienny (kaloryczność 7000 kcal/kg)	38 779,47		[Mg/rok]
Emisje z transportu			
NO _x	0,773799572		[Mg/rok]
NO ₂	0,232139872		[Mg/rok]
CO	0,372996907		[Mg/rok]
PM	0,016658972		[Mg/rok]
SO ₂	0,013449823		[Mg/rok]
C ₆ H ₆	0,010655976		[Mg/rok]
Emisje CO₂ ze spalania paliw			
Wskaźnik emisji ze spalania paliw - odpady komunalne	418794,2		[Mg/rok]
Wskaźnik emisji ze spalania paliw - węgiel kamienny	441302		[Mg/rok]

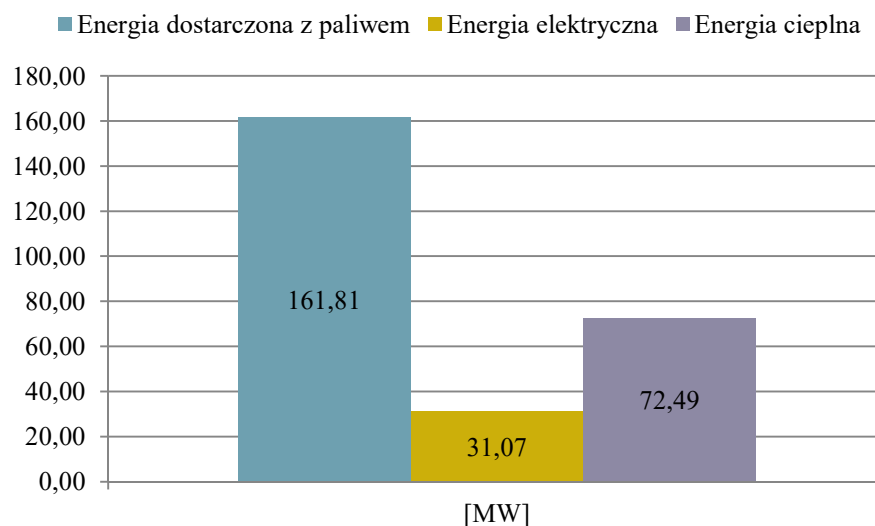
Źródło: opracowanie własne

Na podstawie otrzymanych wyników system transponuje wybrane wielkości parametrów technologicznych na wykresy (rys. 16 i rys. 17).



Rysunek 16 Energia produkowana samodzielnie – Wariant 1

Źródło: opracowanie własne

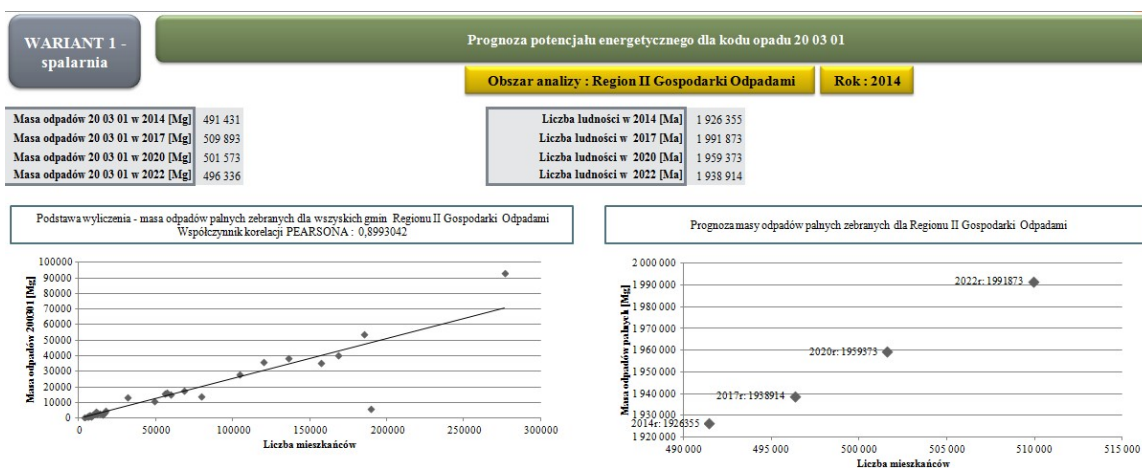


Rysunek 17 Energia produkowana w kogeneracji – Wariant 1

Źródło: opracowanie własne

3. Prognoza potencjału energetycznego

Prognoza potencjału energetycznego została przedstawiona dla lat: 2014 (bazowy), 2017, 2020 oraz 2022. Na zawartość okna składają się: podstawa wyliczenia prognozy wraz z wartością współczynnika Pearsona oraz prognozowane masy odpadów palnych obliczone na podstawie funkcji liniowej (rys. 18).

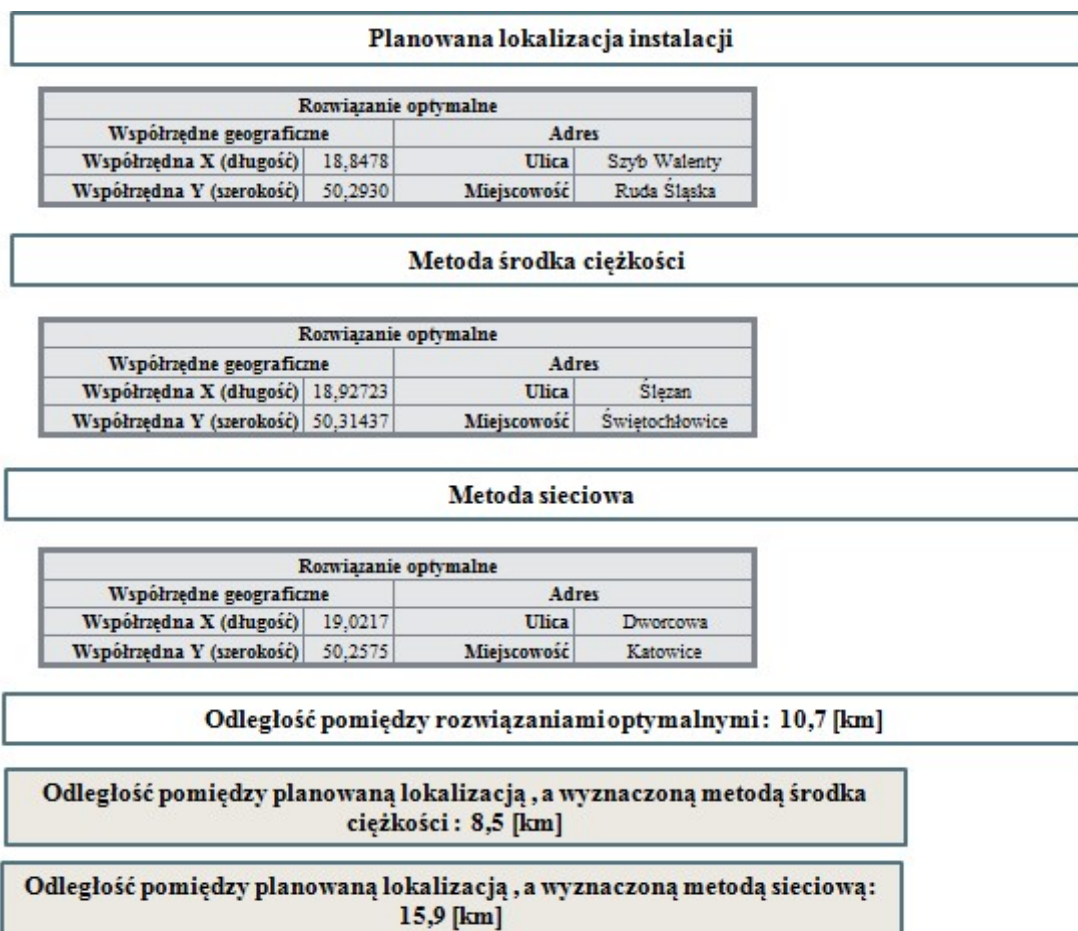


Rysunek 18 Widok modułu prognozy – Wariant 1

Źródło: opracowanie własne

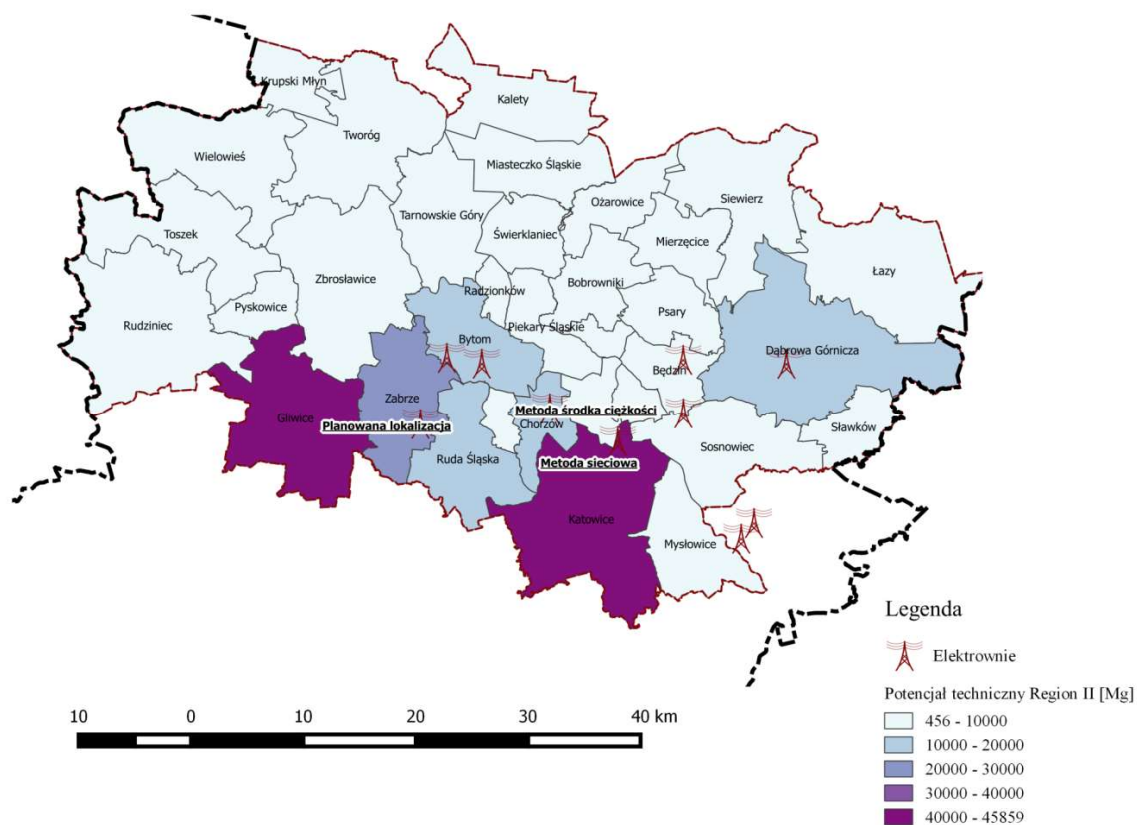
4. Optymalna lokalizacja

Na podstawie danych obejmujących współrzędne geograficzne gmin oraz wartość ich potencjału energetycznego możliwe było określenie optymalnych lokalizacji na podstawie metody środka ciężkości oraz metody sieciowej (rys. 19).



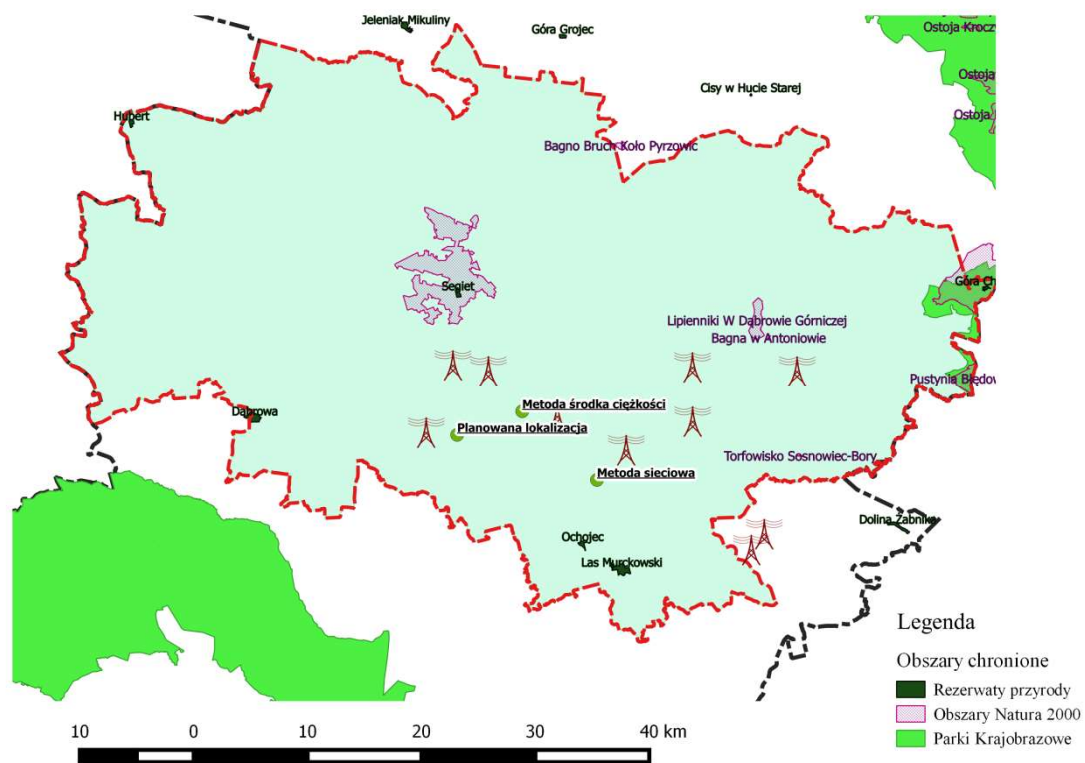
Rysunek 19 Widok wyników obliczeń optymalnych lokalizacji – Wariant 1

Źródło: opracowanie własne



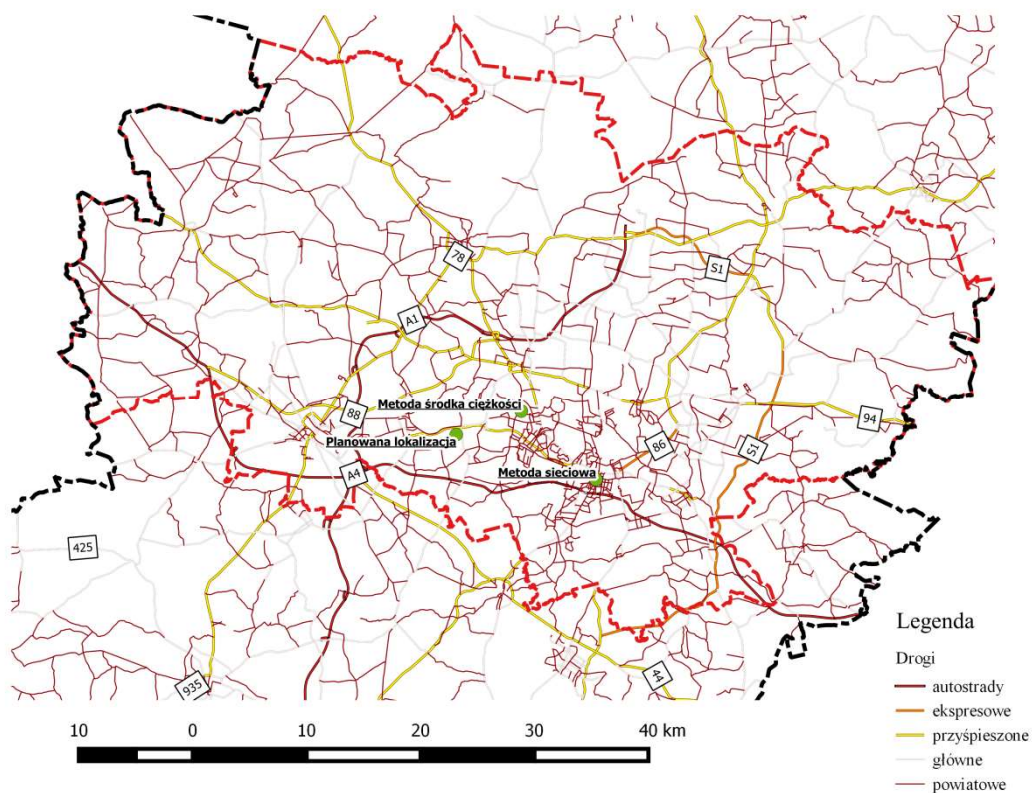
Rysunek 20 Lokalizacje obiektu na tle elektrowni – Wariant 1

Źródło: opracowanie własne



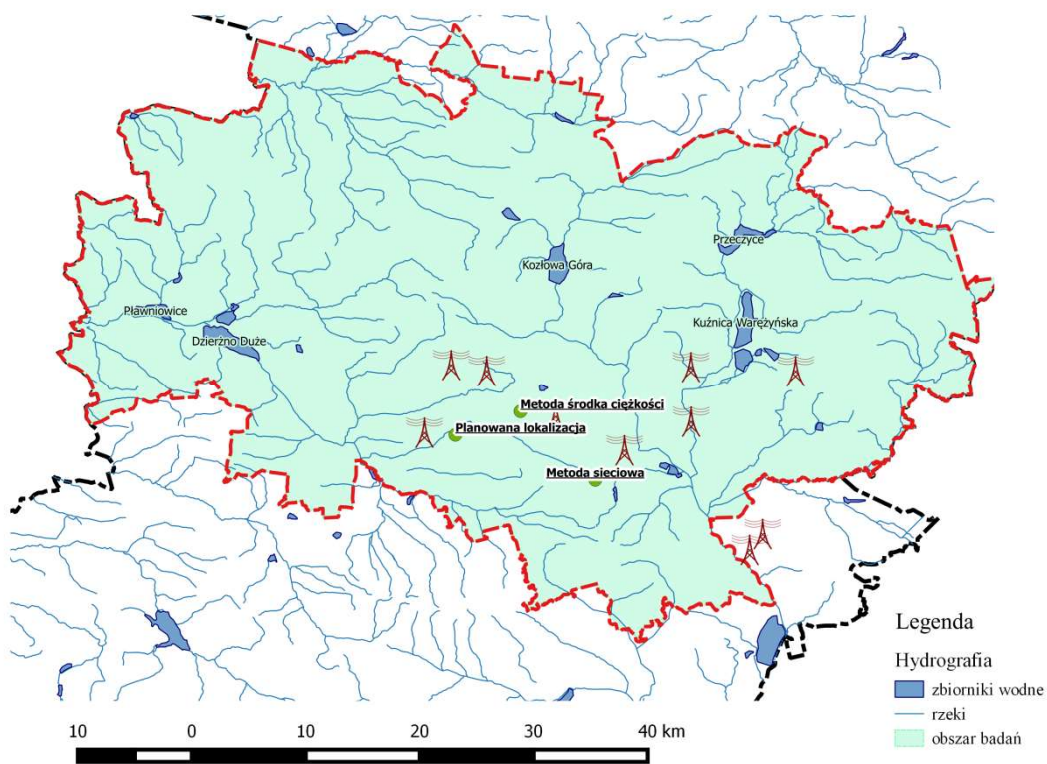
Rysunek 21 Lokalizacje obiektu na tle obszarów chronionych – Wariant 1

Źródło: opracowanie własne



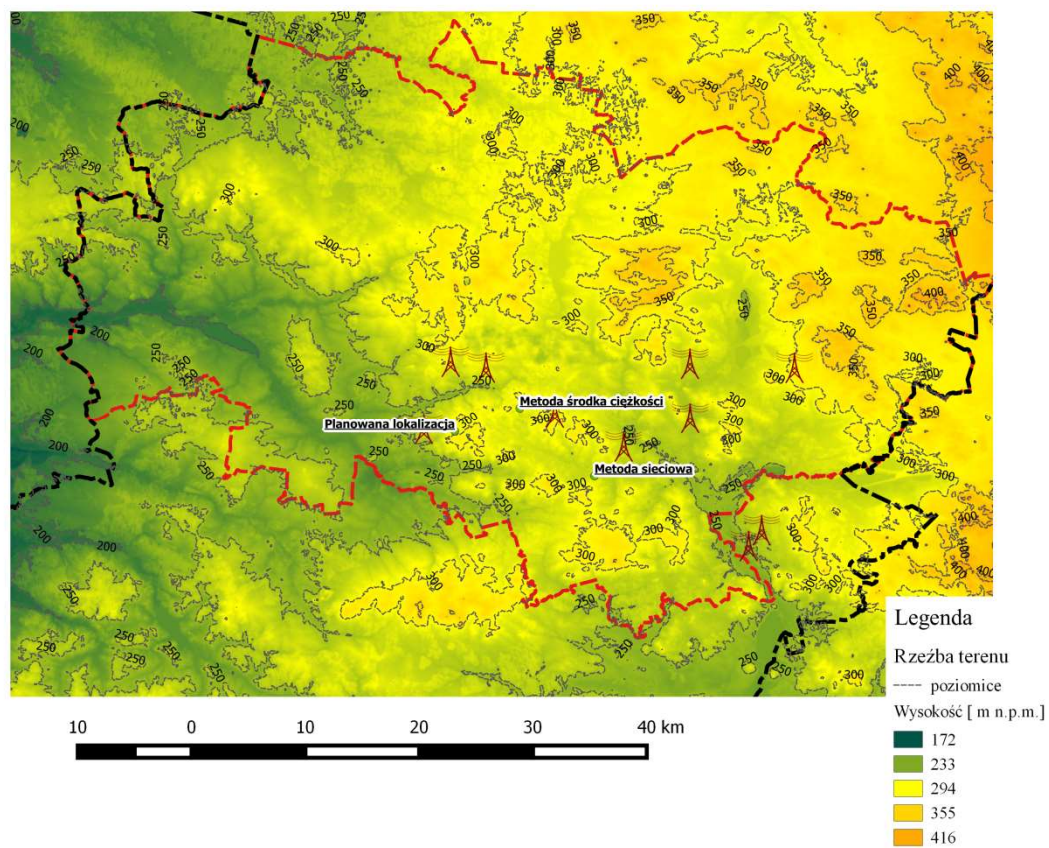
Rysunek 22 Lokalizacje obiektu na tle sieci dróg – Wariant 1

Źródło: opracowanie własne



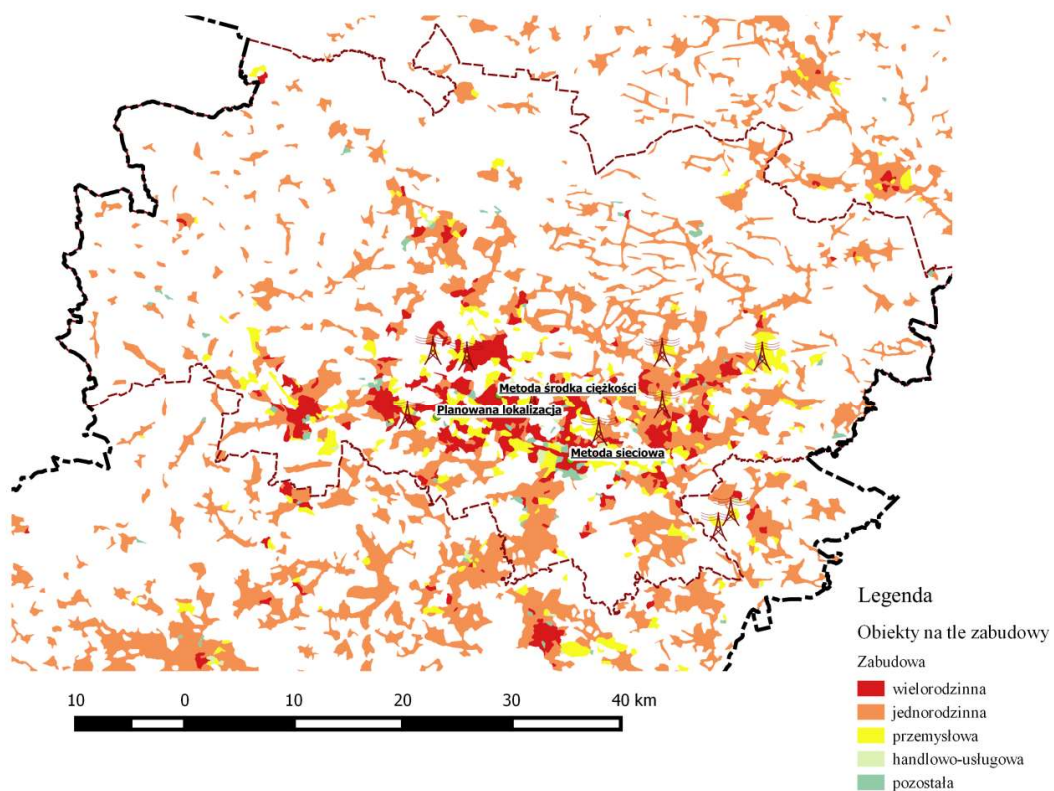
Rysunek 23 Lokalizacje obiektu na tle zbiorników wodnych – Wariant 1

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 24 Lokalizacje obiektu na tle rzeźby terenu – Wariant 1

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 25 Lokalizacje obiektu na tle zabudowy – Wariant 1

Źródło: opracowanie własne

5. Analiza wskaźników

Wskaźniki opracowane dla wariantów instalacji uwzględniają zarówno odzwierciedlenie charakterystyki wariantu względem całego systemu gospodarki odpadami, jak również przedstawiają indywidualnie wartości obliczone na podstawie modułu analizy technologicznej.

Tabela 3 Widok okna analizy wskaźników dla Wariantu 1

Oznaczenie	Wskaźnik	Jednostka	Wartość
A. Środowiskowe			
A.1	Masa odpadów komunalnych zebranych (kod odpadu 20 03 01) ogółem w II RGO	[Mg]	491 431,51
A.2	Odsetek masy odpadów zebranych poddanych procesom odzysku – R w II RGO	%	92,93
A.3	Odsetek masy odpadów zebranych poddanych procesom unieszkodliwiania – D w II RGO	%	7,07
A.4	Potencjał energetyczny techniczny odpadów o kodzie 20 03 01		262 345,84
A.5	Osiągnięty poziom ograniczenia masy odpadów komunalnych o kodzie 20 03 01 deponowanych na składowiskach	[Mg/rok]	500 000
A.6	Całkowite emisje głównych zanieczyszczeń do powietrza z transportu odpadów do instalacji	[Mg/rok]	1,4197
A.6.1	NO _x	[Mg/rok]	0,7738
A.6.2	NO ₂	[Mg/rok]	0,2321
A.6.3	CO	[Mg/rok]	0,3730
A.6.4	PM	[Mg/rok]	0,0167
A.6.5	SO ₂	[Mg/rok]	0,0134
A.6.6	C ₆ H ₆	[Mg/rok]	0,0107
A.7	Wskaźnik emisji CO ₂ ze spalania paliw - odpady komunalne	[Mg/rok]	418794,2
A.8	Bilans ekwiwalentów energetycznych - węgiel kamienny	[Mg/rok]	38779,47
A.9	Odpady poprocesowe – żużle	[Mg/rok]	145 000
A.10	Odpady poprocesowe – popiół	[Mg/rok]	15 000
A.11	Odpady poprocesowe – stałe pozostałości z oczyszczania spalin	[Mg/rok]	5 000
B. Ekonomiczne			
B.1	Nakłady inwestycyjne związane z budową instalacji	[tys. zł]	337 241,90
B.2	Koszt zagospodarowania 1 Mg odpadów w instalacji termicznego przekształcenia	[zł/Mg]	250
C. Technologiczne			
Ogólne			
C.1	Liczba instalacji termicznego przekształcania odpadów komunalnych w II RGO	[szt.]	1
C.2	Moce przerobowe instalacji termicznego przekształcania odpadów komunalnych w II RGO	[Mg/rok]	500 000
Energetyczne			
C.3	Energia dostarczona z paliwem	[GJ/rok]	4 660 000
C.4	Energia elektryczna wyprodukowana samodzielnie	[GJ/rok]	1 118 400
C.5	Energia elektryczna wyprodukowana samodzielnie	[MW/rok]	0,98
C.6	Energia elektryczna wyprodukowana w kogeneracji	[MW/rok]	31,07
C.7	Energia cieplna wyprodukowana w kogeneracji	[MW/rok]	72,49
C.8	Efektywność energetyczna	[MW]	0,98
D. Logistyczne			
Ogólne			
D.1	Masowy wskaźnik nagromadzenia odpadów komunalnych o kodzie 20 03 01	[kg/Ma/rok]	255
D.2	Stopień wykorzystania instalacji termicznego przekształcania	%	100
D.3	Odsetek wykorzystania potencjału energetycznego teoretycznego odpadów komunalnych na terenie II RGO	%	102
D.4	Odsetek wykorzystania potencjału energetycznego technicznego odpadów komunalnych na terenie II RGO	%	191
Kalkulacja transportu			
D.3	Długość trasy zbiórki odpadów o kodzie 20 03 01	[km/rok]	1 144 081,57
D.4	Koszt transportu opadów	[zł/Mg.km]	0,5
D.5	Szacowane koszty transportu odpadów do instalacji	[tys. zł/rok]	572,04
Organizacja dostaw			
D.6	Liczba dostawców (gmin) odpadów o kodzie 20 03 01	[szt.]	34

Oznaczenie	Wskaźnik	Jednostka	Wartość
D.7	Liczba mieszkańców objętych zbiórką odpadów o kodzie 20 03 01 do instalacji	[Ma/rok]	1 926 355
Optymalna lokalizacja wg gmin			
D.10	Odległość pomiędzy planowaną lokalizacją a wyznaczoną metodą środka ciężkości	[km]	8,5
D.11	Odległość pomiędzy planowaną lokalizacją a wyznaczoną metodą sieciową	[km]	15,9

Źródło: opracowanie własne

Przedstawione wartości na ciemniejszym tle oznaczają zewnętrzne dane użytkownika – nieweryfikowane przez system (tab. 3).

Streszczenie

W monografii przedstawiono zagadnienia dotyczące charakterystyki odpadów kalorycznych, logistyki odpadów oraz dostępnych metod i narzędzi modelowania stosowanych w inżynierii produkcji, skutecznie przekładających się na modelowanie w gospodarce odpadami.

Inwentaryzacja materiałów źródłowych oraz przeprowadzone badania były podstawą do opracowania struktury systemu gospodarki odpadami, w której zidentyfikowano procesy logistyczne i technologiczne energetycznego wykorzystania odpadów.

W wyniku opracowania charakterystyki obszaru badawczego-II Regionu Gospodarki Odpadami (II RGO) województwa śląskiego, zidentyfikowano funkcjonującą infrastrukturę technologiczną, określono wielkość potencjału energetycznego zebranych odpadów komunalnych oraz zdefiniowano problem decyzyjny jako optymalizację wariantu technologii termicznego przekształcania odpadów dla II RGO.

Na podstawie zidentyfikowanych zmiennych i kryteriów technologiczno-logistycznych opracowano model matematyczny, w którym problem decyzyjny przedstawiono w postaci zadania optymalizacyjnego.

W związku z potrzebą wielopłaszczyznowego podejścia do problemu decyzyjnego dla realizacji celu głównego monografii zintegrowano model informacji geograficznej z modelem technologiczno-logistycznym.

W oparciu o rozpoznane zmienne obejmujące parametry technologiczne, logistyczne, współrzędne geograficzne oraz wartości potencjałów energetycznych opracowano model obiektowy z zastosowaniem notacji UML.

Na bazie opracowanego modelu technologiczno-logistycznego procesu energetycznego wykorzystania odpadów zbudowano prototyp systemu wspomagania.

Na walidację prototypu składały się: analiza zgodności założeń, wymagań funkcjonalnych oraz ocena ekspertów. W rezultacie określono zagrożenia wynikające z wdrożenia modelu oraz opracowano zestaw rekomendacji rozwojowych.

Abstract

There have been the issues concerning the characteristics of calorific waste, legal conditions of energy recovery from waste, waste logistics and available methods and modeling tools applied in production engineering, effectively translated into modelling in waste management, presented in the dissertation.

There were comparative analysis done, of the technology of thermal waste treatment, multi-criteria analysis methods, and also the revision of systems of decision support, which found the application in waste management.

The inventory of source materials and the conducted research were the basis to prepare the structure of the system of waste management in which the logistic and technological processes of energetic waste management were identified.

As a result of preparing the characteristics of research area -II Region of Waste Management (II RGO) of Silesia province, there was the functioning technological infrastructure identified, and the amount of energetic potential was defined of municipal waste collected. The energetic waste potential was designated (both the theoretical one, available, and the technical

one) and the decision problem was defined as the optimisation of the variant of thermal waste treatment technology for II RGO.

On the basis of the identified variables and technological-logistics criteria the mathematical model was prepared, in which the decision problem was presented in the form of the optimisation task.

Given the need of mutlidimensional approach to the decision problem for realisation of dissertation aims, the model of geographic information was integrated with the technological-logistics model. The considered thematic maps allowed for the complex approach to the research problem.

On the basis of the recognised variables including the technological, logistic parameters, geographic coordinate system and the values of energetic potentials the object model was prepared with the application of UML notation and class diagram.

On the basis of the prepared technological-logistics model of the energetic waste management process, the prototype of support system was built.

The following were included in the validation of the prototype: the analysis of the principles compliance, functional requirements and experts assessment. As a result there were the assumptions defined resulting from the model implementation and the developmental recommendation set was also prepared.

SPIS ILUSTRACJI

Rysunek 1 Metodyka badań.....	13
Rysunek 2 Podział paliw wykorzystywanych do celów energetycznych	15
Rysunek 3 Odpady palne	17
Rysunek 4 Hierarchia postępowania z odpadami	21
Rysunek 5 Zestawienie regulacji prawnych z zakresu termicznego przekształcania odpadów	22
Rysunek 6 System gospodarki odpadami	28
Rysunek 7 Procesy termicznego przekształcania odpadów	32
Rysunek 8 Schemat procesu podejmowania decyzji	48
Rysunek 9 Centralizacja technologii systemu gospodarki odpadami	50
Rysunek 10 Rozwój SWD na przestrzeni lat	53
Rysunek 11 Graficzna prezentacja SWD.....	57
Rysunek 12 Charakterystyka Śląska na tle pozostałych województw.....	62
Rysunek 13 Regiony gospodarki odpadami województwa śląskiego.....	64
Rysunek 14 Schemat procesu badawczego.....	68
Rysunek 15 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 1	72
Rysunek 16 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 2	72
Rysunek 17 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 4	73
Rysunek 18 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 9	75
Rysunek 19 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 11	75
Rysunek 20 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 12	76
Rysunek 21 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 20	78
Rysunek 22 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 22	79
Rysunek 23 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 23	79
Rysunek 24 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 25	80
Rysunek 25 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 26	80
Rysunek 26 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 27	81
Rysunek 27 System gospodarki odpadami według WPGO 2014	89
Rysunek 28 Podział administracyjny II RGO	90
Rysunek 29 Liczba właścicieli nieruchomości objętych systemem gospodarki odpadami	91
Rysunek 30 Średnie masy odpadów komunalnych zebranych w przeliczeniu na 1 mieszkańca... ..	92
Rysunek 31 Udział procesów unieszkodliwiania odpadów w Regionie II	93
Rysunek 32 Udział procesów odzysku odpadów w Regionie II	94
Rysunek 33 Udział procesów zagospodarowania odpadów o kodzie 19 12 12.....	103
Rysunek 34 Mapa strumienia odpadów palnych w II RGO.	105
Rysunek 35 Metodyka wyboru obszarów proponowanych do lokalizacji instalacji TPO.....	108
Rysunek 36 Proces wyboru inwestycji według notacji BPMN	109
Rysunek 37 Algorytmizacja obliczeń	111
Rysunek 38 Zorientowany obiektowo model technologiczno-logistyczny procesu energetycznego wykorzystania odpadów.....	118
Rysunek 39 Struktura AHP	119
Rysunek 40 Walidacja mapy procesów za pomocą oprogramowania Bizagi Modeler	126
Rysunek 41 Walidacja modelu obiektowego za pomocą oprogramowania StarUML	126
Rysunek 42 Struktura systemu wspomagania energetycznego wykorzystania odpadów	128
Rysunek 43 Diagram przypadków użycia	129
Rysunek 44 Prezentacja wyników analizy AHP - podsumowanie	131
Rysunek 45 Algorytm procesu walidacji	132
Rysunek 46 Podsumowanie badań.....	140

SPIS TABEL

Tabela 1 Grupy odpadów	14
Tabela 2 Wybrane parametry odpadów z MBP.....	18
Tabela 3 Właściwości paliwowe niektórych odpadów stosowanych jako paliwa alternatywne	19
Tabela 4 Siedem zasad logistyki w gospodarce odpadami.....	30
Tabela 5 Porównanie technologii termicznego przekształcania odpadów	32
Tabela 6 Czynniki determinujące wybór planu cyklu energetycznego	38
Tabela 7 Podejścia do modelowania	43
Tabela 8 Wybrane wskaźniki gospodarki odpadami.....	44
Tabela 9 Wybrane metody wielokryterialnej analizy - porównanie.....	45
Tabela 10 Wybrane przykłady SWD w gospodarce odpadami.....	52
Tabela 11 Cechy SWD dedykowanego gospodarce odpadami.....	55
Tabela 12 Wybrane wnioski podsumowania literaturowego	60
Tabela 13 Bilans wytworzonych odpadów komunalnych w 2010 r.....	65
Tabela 14 Moce przerobowe instalacji w RGO.....	65
Tabela 15 Instalacje spalania i współspalania odpadów w województwie śląskim	65
Tabela 16 Regionalne Instalacje Przetwarzania Odpadów zlokalizowane na terenie województwa śląskiego, stanowiące grupę badawczą.....	69
Tabela 17 Liczba gmin biorących udział w badaniu	71
Tabela 18 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 3.....	73
Tabela 19 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 6.....	74
Tabela 20 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 16.....	77
Tabela 21 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 19.....	77
Tabela 22 Zestawienie odpowiedzi – pytanie 21.....	78
Tabela 23 Próba badawcza wywiadu pogłębianego.....	83
Tabela 24 Bilans wytworzonych odpadów komunalnych w poszczególnych regionach w 2010 r.	89
Tabela 25 Morfologia odpadów zebranych na terenie województwa śląskiego	93
Tabela 26 Udział na rynku przedsiębiorstw sektora zagospodarowania odpadów	95
Tabela 27 Wykaz instalacji MBP w Regionie II.....	96
Tabela 28 Wykaz sortowni w II RGO.....	96
Tabela 29 Wykaz instalacji do produkcji paliw alternatywnych w II RGO.....	98
Tabela 30 Wykaz składowisk odpadów innych niż niebezpieczne w II RGO	99
Tabela 31 Wykaz kompostowni odpadów komunalnych w II RGO.....	100
Tabela 32 Zestawienie odpadów o potencjale energetycznym w Regionie II.....	101
Tabela 33 Morfologia odpadu o kodzie 19 12 12.....	103
Tabela 34 Morfologia odpadu o kodzie 20 03 01.....	104
Tabela 35 Parametry modelu – zespół zmiennych potencjału energetycznego.....	112
Tabela 36 Parametry modelu – zespół zmiennych technologicznych.....	112
Tabela 37 Parametry modelu – zespół zmiennych energetycznych	113
Tabela 38 Parametry modelu – zespół zmiennych lokalizacyjnych.....	113
Tabela 39 Parametry modelu – zespół zmiennych logistyki dostaw.....	113
Tabela 40 Parametry zadania optymalizacyjnego	113
Tabela 41 Wskaźniki emisji z silników pojazdów	116
Tabela 42 Subkryterium – infrastruktura techniczna	120
Tabela 43 Subkryterium – dostępność dróg dojazdowych.....	120
Tabela 44 Subkryterium – dostępność do sieci ciepłowniczej i elektroenergetycznej.....	120
Tabela 45 Subkryterium – dostępność przestrzeni pod budowę instalacji	120
Tabela 46 Subkryterium – nasilenie ruchu drogowego	121
Tabela 47 Subkryterium – konflikty społeczne.....	121
Tabela 48 Subkryterium – akceptowalność społeczna.....	121
Tabela 49 Subkryterium – obszary kulturowe, historyczne i rekreacyjne.....	121
Tabela 50 Subkryterium – lokalny potencjał kadrowy w sferze TPO.....	121

Tabela 51 Subkryterium – odległość od terenów zalewowych.....	122
Tabela 52 Subkryterium – odległość od obszarów przyrodniczych	122
Tabela 53 Subkryterium – warunki geologiczno-inżynierskie	122
Tabela 54 Subkryterium – wpływ instalacji na florę, faunę oraz walory krajobrazowe terenu...	122
Tabela 55 Subkryterium – status własnościowy wybranej lokalizacji.....	122
Tabela 56 Subkryterium – zgodność przedsięwzięcia z planem zagospodarowania przestrzennego	122
Tabela 57 Subkryterium – zgodność przedsięwzięcia z prawem UE i krajowym	123
Tabela 58 Subkryterium – wartość działki	123
Tabela 59 Subkryterium – NPV	123
Tabela 60 Subkryterium – możliwość finansowania ze źródeł zewnętrznych.....	123
Tabela 61 Subkryterium – koszt unieszkodliwiania 1 [Mg] odpadów	123
Tabela 62 Subkryterium – wartość energetyczna wsadu	123
Tabela 63 Subkryterium – odzysk energii z odpadów	123
Tabela 64 Subkryterium – dopuszczalna wielkość emisji zanieczyszczeń do powietrza/wód i hałasu	124
Tabela 65 Subkryterium – odpady poprocesowe	124
Tabela 66 Subkryterium – efektywność energetyczna.....	124
Tabela 67 Subkryterium – możliwość zakwalifikowania energii jako OZE	124
Tabela 68 Subkryterium – współczynnik emisyjności paliwa	124
Tabela 69 Subkryterium – odległość od optymalnej lokalizacji instalacji wyznaczonej wybraną metodą.....	124
Tabela 70 Subkryterium – możliwość odsprzedaży energii – popyt	124
Tabela 71 Subkryterium – możliwość odsprzedaży ciepła – popyt.....	125
Tabela 72 Subkryterium – dostawcy odpadów kalorycznych.....	125
Tabela 73 Subkryterium – dostępność ilościowa odpadów kalorycznych.....	125
Tabela 74 Subkryterium – dostępność przestrzeni magazynowych.....	125
Tabela 75 Subkryterium – sąsiedztwo terenów przemysłowych	125
Tabela 76 Parametry technologiczne – wariant 1	130
Tabela 77 Parametry technologiczne – wariant 2	131
Tabela 78 Parametry technologiczne – wariant 3	131
Tabela 79 Analiza zgodności założeń.....	133
Tabela 80 Analiza wymagań funkcjonalnych	134
Tabela 81 Zakres pytań do oceny eksperckiej	135

BIBLIOGRAFIA

- [1] Abeliotis K. et al.: Decision support systems in solid waste management: A case study at the national and local level in Greece, *Global NEST Journal*, vol. 11, no 2, 2009, s.117-126.
- [2] Adamus W., Ptaszek P.: Modele rozwoju gmin w ujęciu wielokryterialnego procesu decyzyjnego, *Studia regionalne i lokalne*, nr 3(49), 2012.
- [3] Alankiewicz, T.P.: Skuteczność funkcjonowania gospodarki na przykładzie jednostek samorządowych województwa wielkopolskiego. Rozprawa doktorska, Uniwersytet Ekonomiczny, Poznań 2009. Wersja elektroniczna: <http://www.wbc.poznan.pl/dlibra/docmetadata?id=161643&from=publication> [dostęp: 23.03.2014].
- [4] Alter S.: *Decision Support Systems: Current Practices and Continuing Challenges*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1980.
- [5] Ambrożewicz P.: *Zwarty system zagospodarowania odpadów*, Wyd. Ekonomia i Środowisko, Białystok 1999;
- [6] Arena U.: Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review, *Waste management* 32, 2012.
- [7] Baj-Rogowska A.: Planowanie tras z wykorzystaniem narzędzia Solver jako zadanie logistyczne w małej firmie, *Optymalizacja systemów i procesów logistycznych*, t. 28, 2013, s. 169-178.
- [8] Bałazińska M., Sobolewski A.: Produkcja i zastosowanie paliw wtórnych w gospodarce, III Ogólnopolska Konferencja: Paliwa z Odpadów - aktualne aspekty prawne, ekonomiczne i techniczne, 04 - 06.06. 2013, Chorzów. Wersja elektroniczna: http://odpady-dobre-praktyki.pl/gfx/ees/userfiles/files/68_forum/3.68.pdf, dostęp: 21.03.2015 r.
- [9] Bani M.S. i in.: The development of decision support system for waste management; a review, *World Academy of Science, Engineering and Technology* vol. 3, 2009
- [10] Bartoszewicz-Burczy H.: Potencjał i energetyczne wykorzystanie biomasy w krajach Europy Środkowej, *Energetyka*, 2012, s. 860-866
- [11] Bartoszkiewicz A.: Segregacja śmieci od ręki, *Problemy jakości*, Nr 6, 2009, s. 45-47.
- [12] Bendkowski J., Wengierek M.: *Logistyka odpadów*, Tom I i II, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002;
- [13] Bieda B.: Decision support systems based on the Life Cycle Inventory (LCI) - part of a Life Cycle Assessment (LCA) for Municipal Solid Waste (MSW). Management Case Study, *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska*, vol. 4, 2006, s.13-32.
- [14] Bieda B.: Decision support systems based on the Life Cycle Inventory (LCI) - part of a Life Cycle Assessment (LCA) for Municipal Solid Waste (MSW), *Archives of Waste Management and Environmental Protection*, vol 4, 2006.
- [15] Biegańska J., Czop M., Kajda-Szcześniak M.: *Gospodarka odpadami niebezpiecznymi. Materiały do zajęć laboratoryjnych*, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010;
- [16] Bielecki W.T.: *Informatyzacja Zarządzania*, Wyd. PWE, Warszawa 2001
- [17] Biernat K., Dziolak P., Samson-Bręk I.: Możliwości wykorzystania odpadów jako surowców energetycznych w Polsce, *Studia Ecologiae et Bioethicae UKSW* 9(2011)3, 2011, 113-132.
- [18] Biniek Z.: Wybrane problemy logistyczno-informatyczne systemu gospodarowania odpadami komunalnymi, *Rocznik Kolegium Analiz Ekonomicznych* nr 29, 2013. Wersja elektroniczna: http://rocznikikaie.sgh.waw.pl/p/roczniki_kae_z29_04.pdf, [dostęp: 15.08.2014].
- [19] Boer E., Boer J., Jager J.: Planowanie i optymalizacja gospodarki odpadami. Podręcznik prognozowania ilości i jakości odpadów komunalnych oraz oceny zgodności systemów gospodarki odpadami z zasadami zrównoważonego rozwoju, Wyd. PZiTS, Wrocław 2005 r.;
- [20] Bojar W., Rostek K., Knopik L.: *Systemy wspomagania decyzji*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2014.
- [21] Bosmans A. i in.: The crucial role of Waste-to-Energy technologies in enhanced landfill mining: a technology review, *Journal of Cleaner Production* 1-14, 2012.
- [22] Bril J., Łukasik Z.: Logistyczny system gospodarki odpadami, *Logistyka*, nr 3, 2012, s. 185-191.
- [23] Cempel C.: *Teoria i Inżynieria Systemów – zasady i zastosowania myślenia systemowego*, Wyd. Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB, Radom 2008;
- [24] Chłopek Z.: *Opracowanie charakterystyk emisji zanieczyszczeń z silników spalinowych pojazdów samochodowych*, Warszawa 2007.

- [25] Dietrich A.: Zastosowanie metody hierarchii analitycznej (AHP) do oceny poziomu bezpieczeństwa technicznego gazociągów, *Nafta-Gaz* nr 12, 2010
- [26] Dokument referencyjny na temat najlepszych dostępnych technik dla dużych obiektów energetycznego spalania, Zintegrowane Zapobieganie i Ograniczanie Zanieczyszczeń (IPPC), 2005. Wersja elektroniczna: <https://ippc.mos.gov.pl/>
- [27] Dokument referencyjny na temat najlepszych dostępnych technik dla spalania odpadów, Zintegrowane Zapobieganie i Ograniczanie Zanieczyszczeń (IPPC), 2006. Wersja elektroniczna: <https://ippc.mos.gov.pl/>
- [28] Dokument referencyjny na temat najlepszych dostępnych technik dla spalania odpadów, Zintegrowane Zapobieganie i Ograniczanie Zanieczyszczeń (IPPC), 2006. Wersja elektroniczna: <https://ippc.mos.gov.pl/>
- [29] Dokument referencyjny na temat najlepszych dostępnych technik dla technik efektywnego wykorzystania energii, Zintegrowane Zapobieganie i Ograniczanie Zanieczyszczeń (IPPC) (projekt).
- [30] Dokument referencyjny na temat najlepszych dostępnych technik w zakresie Efektywności Energetycznej, Zintegrowane Zapobieganie i Ograniczanie Zanieczyszczeń (IPPC), 2006. Wersja elektroniczna: <https://ippc.mos.gov.pl/>, 2009
- [31] Dokument referencyjny na temat najlepszych dostępnych technik: Przemysł Przetwarzania Odpadów, Zintegrowane Zapobieganie i Ograniczanie Zanieczyszczeń (IPPC), 2006. Wersja elektroniczna: <https://www.mos.gov.pl/>.
- [32] Downarowicz O., i in., Zastosowanie metody AHP do oceny i sterowania poziomem bezpieczeństwa złożonego obiektu technicznego, Wybrane metody ergonomii i nauki o eksploatacji, (red. O. Downarowicz), Wyd. Politechnika Gdańska, Gdańsk 2000, s. 1.
- [33] Drejewicz Sz.: Zrozumieć BPMN. Modelowanie procesów biznesowych, Wyd. Helion, Gliwice 2012
- [34] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2000/76/WE z dnia 4 grudnia 2000 r. w sprawie spalania odpadów.
- [35] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/1/WE z dnia 15 stycznia 2008 r. dotycząca zintegrowanego zapobiegania zanieczyszczeniom i ich kontroli.
- [36] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008r. w sprawie odpadów oraz uchylającej niektóre dyrektywy (Dz. U. L 312 z 22.11.2008r.).
- [37] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE.
- [38] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE z dnia 24 listopada 2010 r., w sprawie emisji przemysłowych - IED, (zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola).
- [39] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE z dnia 25 października 2012 r. w sprawie efektywności energetycznej.
- [40] Dyrektywa Rady 1999/31/WE z dnia 26 kwietnia 1999r. w sprawie składowania odpadów (Dz. u UE 182 z 16.7.1999r., z późn. zm., str. 1).
- [41] Dyrektywa Unii Europejskiej 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie wspierania produkcji na rynku wewnętrznym energii elektrycznej wytwarzanej ze źródeł odnawialnych uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE.
- [42] Energia z odpadów, pod red. R. Zarzyckiego, Polska Akademia Nauk, Łódź 2008.
- [43] Fechner I., Przybycin W.: Ekologistyka w gospodarce odpadami, *Recykling*, nr 2, 2003.
- [44] Ficoń K.: Procesy logistyczne w przedsiębiorstwie, Wyd. Impuls Plus Consulting, Gdynia 2001.
- [45] Gaska K., Generowicz A.: Wykorzystanie systemów GIS oraz aplikacji sieciowych i dedykowanych w zarządzaniu gospodarką odpadami, *Archiwum gospodarki odpadami i Ochrony Środowiska*, vol.16, nr 3, 2014.
- [46] Gaska K.: Modelowanie zintegrowanych systemów gospodarki odpadami z wykorzystaniem metodologii zorientowanej obiektowo, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2012.
- [47] Generowicz A., Grabowski Zb., Analiza wielokryterialna jako narzędzie wspomagające wybór rozwiązania systemu gospodarki odpadami na przykładzie Krakowa, VI Międzynarodowe Forum Gospodarki Odpadami nt. „Efektywność Gospodarowania Odpadami”, Poznań / Licheń Stary, maj / czerwiec 2005.
- [48] Generowicz A., Kowalski Z., Makara A., Banach M., The application of multi-criteria analysis in the management of waste in Cracow, Poland, *Waste Management* 32, 2012, 349-351.

- [49] Generowicz A., Kraszewski A.: Analiza wielokryterialna lokalizacji zakładu termicznego przekształcania odpadów komunalnych w Krakowie, *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska*, vol. 7, 2008.
- [50] Głodek E.: Porównanie wielkości emisji zanieczyszczeń dla różnych opcji spalania odpadów, *Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych*, Wyd. Instytut Śląski Sp. z o.o., r. 4, nr 7, 2012, s. 89-96.
- [51] Główny Urząd Statystyczny. Energia ze źródeł odnawialnych w 2012 r. Zakład Wydawnictw Statystycznych, Warszawa 2013.
- [52] Górniak-Zimroz J.: Wykorzystanie systemów wspomaganie decyzji w gospodarce odpadami, *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, Studia i Materiały* 2007, t. 118, nr 33, s. 23–41.
- [53] Górski M.: Zasady postępowania z odpadami czyli nowa dyrektywa ramowa w sprawie odpadów, *Przegląd Komunalny*, Nr 1/2009. Wersja elektroniczna: <http://e-czytelnia.abrys.pl/przegląd-komunalny/2009-1-375/gospodarka-odpadami-3008/zasady-postepowania-z-odpadami-9316>, [dostęp: 15.06.2014].
- [54] Grabowski Z.: Wytoczne dla gmin dotyczące wdrażania systemu gospodarowania odpadami komunalnymi, Ministerstwo Środowiska, 2011. Wersja elektroniczna: https://www.mos.gov.pl/fileadmin/user_upload/odpady/Wytoczne_dla_gmin_dotyczace_wdrazania_systemu_gospodarowania_odpadami.pdf, [dostęp: 24.04.2015].
- [55] Graczyk M.: Projektowanie podsystemu wspomaganie decyzji w systemie informacyjnym aglomeracji. Rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Zarządzania, Poznań 2013. Wersja elektroniczna: http://repozytorium.put.poznan.pl/Content/294223/Magdalena_Graczyk_Projektowanie_podsystemu_wspomaganie_decyzji_w_systemie_informacyjnym_aglomeracji.pdf.
- [56] Gumuła St., Piaskowska-Silarska M.: Odpady komunalne jako odnawialny surowiec energetyczny - problemy i uwarunkowania związane z jego wykorzystaniem, *Polityka energetyczna*, t. 13 z. 2, 2010.
- [57] Hankus-Kubica A.: Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych we wspomaganie podejmowania decyzji, Wyd. AON, Warszawa 2013.
- [58] Hausner J., Primus A.: Próba synergii polityki ekologicznej i energetycznej w gminach, *Polityka energetyczna*, t. 16 z. 1, 2013.
- [59] Hycnar J.J.: Aspekty ekologiczne procesu zgazowania paliw, *Polityka energetyczna*, t. 10 zeszyt specjalny 2, 2007.
- [60] Innowacyjne technologie zagospodarowania odpadów, Ministerstwo Środowiska, Warszawa 2008. Wersja elektroniczna: http://regis2.maxus.com.pl/files/ekopak/AKT_8_Dok.innowacyjne.pdf, [dostęp: 10.10.2015].
- [61] Janka W.: Historia gospodarki odpadami. Wersja elektroniczna: http://www.zgkim.zgora.pl/cms/images/pdf_files/C20_Historia_gospodarki_odpadami.pdf, [dostęp: 20.03.2015].
- [62] Jąderko K., Białecka B., Decision support systems in waste management - a review of selected tools, System supporting production engineering. Review of Problems and Solutions, (red. J. Kaźmierczak), wyd. P.A. NOVA, Gliwice 2015.
- [63] Jąderko K., Białecka B.: Analiza systemu zbiórki odpadów medycznych w śląskich gminach, *Studia i Materiały Polskiego Towarzystwa Zarządzania Wiedzą*, 2012, s. 135-144.
- [64] Jąderko K., Białecka B.: Wybrane problemy budowy systemu gospodarki odpadami komunalnymi w świetle nowych przepisów, *Systemy wspomaganie w Inżynierii Produkcji. Środowisko i bezpieczeństwo w Inżynierii Produkcji* (red. W. Biały, A. Kuboszek), Gliwice 2013, str. 135-145.
- [65] Jąderko K.: Opracowanie założeń do budowy systemu zbiórki odpadów medycznych w wybranych śląskich gminach, Praca magisterska, Politechnika Śląska, Gliwice 2011.
- [66] Kadafa A.A. et al.: Applications of System Analysis Techniques in Solid Waste Management Assessment, *Pol. J. Environ. Stud.* vol. 23, no. 4, 2014, s. 1061-1070.
- [67] Kamrat W.: Zastosowanie hierarchicznej analizy problemowej w badaniach efektywności inwestowania w elektroenergetyce, *Energetyka*, nr 10, 2013, s. 721-725.
- [68] Karcz H. i in.: Czy właściwa jest termiczna utylizacja odpadów komunalnych w rusztowych kotłach energetycznych, *Archiwum Gospodarki odpadami i ochrony środowiska*, vol. 7, 2008, s. 1-8.
- [69] Karcz H., Butmankiewicz T., Pędzik P.: Ograniczenie emisji gazów cieplarnianych, a możliwości paliwowe polskiej energetyki, *Energetyka, Piece Przemysłowe & Kotły VII-VIII*, 2013.

- [70] Karcz H., Kantorek M.: Pirolityczno - fluidalna technologia termicznej utylizacji odpadów, Inżynieria Środowiska, Piece Przemysłowe & Kotły I-II, 2014.
- [71] Karcz H.: Ocena dotychczasowych technologii termicznego przekształcania odpadów, Ratujmy Świat, nr 1-3, Łódź 2013. Wersja elektroniczna: http://www.zielonirp.org.pl/upload/files/gazetka_1_2013.pdf, [dostęp: 22.04.2015].
- [72] Karkula M.: Modelowanie i zarządzanie procesami w przedsiębiorstwie transportowym, Prace naukowe Politechniki Warszawskiej: Transport 2013, z. 97, s. 245-257.
- [73] Khan D., Samadder S.R.: Municipal solid waste management using Geographical Information System aided methods. A mini review, Waste Management&Research, vol. 32(11), 2014, s. 1049-1062.
- [74] Klimek P.: Ocena potencjału energetycznego odpadów komunalnych w zależności od zastosowanej technologii ich utylizacji, Nafta- Gaz, nr 12, 2013.
- [75] Klinghoffer N.B., Castaldi M.J.: Waste to energy conversion technology, Woodhead Publishing Limited, 2013.
- [76] Kobryń A.: Wielokryterialne wspomaganie decyzji w gospodarowaniu przestrzenią, Wyd. Difin, Warszawa 2014.
- [77] Komunikat Komisji "Europa 2020. Strategia na rzecz inteligentnego i zrównoważonego rozwoju sprzyjającego włączeniu społecznemu", KOM(2010)2020, Bruksela 2010.
- [78] Komunikat Komisji dla Rady, Parlamentu Europejskiego, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów: Promowanie zrównoważonego wykorzystania zasobów: Strategia tematyczna w sprawie zapobiegania powstawaniu odpadów i ich recyklingu, Bruksela 2005.
- [79] Korczak J., Kopczewski M.: Metodologia modelowania systemów logistycznych MSP, Część I: Projekcja badania. Zarządzanie Przedsiębiorstwem / Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją 2009, nr 1, s. 30-37.
- [80] Kostantinidis M. i in.: Modelling of integrated municipal solid waste to energy technologies in the urban environment, 3rd International Conference on Engineering for Waste and Biomass Valorisation, May 17-19, Beijing China, 2010.
- [81] Koziół W. i in.: Zastosowanie analitycznego procesu hierarchicznego (AHP) do wielokryterialnej oceny innowacyjności technologii zagospodarowania odpadów z górnictwa kamiennego, Rocznik Ochrony Środowiska, t. 13, s. 1619-1634.
- [82] Krajowy plan działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych. Wersja elektroniczna: <http://bip.mg.gov.pl>, [dostęp: 15.06.2014].
- [83] Krajowy plan gospodarki odpadami 2014 przyjęty uchwałą Nr 217 Rady Ministrów z dnia 24 grudnia 2010 r. (M.P. Nr 101, poz. 1183).
- [84] Kruczek H.: Standaryzacja paliw alternatywnych do spalania i współspalania w kotłach energetycznych - potencjał naukowo - badawczy i wdrożeniowy, Sieć Naukowo - Gospodarcza "Energia", Wrocław 2007.
- [85] Krzywda D.: Procesy logistyczne w gospodarce stałymi odpadami komunalnymi, Logistyka, nr 2, 2012.
- [86] Kuczyńska E., Ziółkowski J.: Wyznaczanie lokalizacji obiektu logistycznego z zastosowaniem metody wyważonego środka ciężkości - studium przypadku, Biuletyn WAT, vol. LXI, nr 3, 2012, s. 339-351.
- [87] Kulczycka J.: Koszty cyklu życia (LCC) w gospodarce odpadami komunalnymi. Wersja elektroniczna: <http://www.forum-dyktorow.pl/zipy/mat,kolobrzeg,2011/Kolobrzeg1.pdf>, [dostęp: 06.12.2013].
- [88] Lasota A.: UML: modelowanie procesu technologicznego montażu, Control Engineering Polska, nr 10, 2007, s. 46-49. Wersja elektroniczna: <http://www.controlengineering.pl/menu-gorne/artukul/article/uml-modelowanie-procesu-technologicznego-montazu/>; [dostęp: 12.04.2015].
- [89] Lee B.K., Ellenbecker M.J., Moure-Ersaso R.: Alternatives for treatment and disposal cost reduction of regulated medical waste, Waste Management, vol. 24, 2004.
- [90] Lee B.K., Ellenbecker M.J., Moure-Ersaso R.: Analyses of the recycling potential of medical plastic waste, Waste Management, vol. 22, 2002.
- [91] Łatuszyńska A.: Przestrzenne systemy wspomaganie decyzji, Zeszyty naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Studia Informatica nr 26, 2010, s.89-103.
- [92] Madadian E., Amiri L., Abdoli M.A.: Application of analytic hierarchy process and multicriteria decision analysis on waste management: a case study in Iran, Environmental Progress & Sustainable Energy, 32(3), 2014, s.810-817.

- [93] Malinowski M., Woźniak A.: Wybrane metody oznaczania składu morfologicznego odpadów komunalnych w Polsce i wybranych krajach UE, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, Nr 13, 2010.
- [94] Marczak H.: Zmieszane odpady komunalne źródłem energii odnawialnej, *Inżynieria Ekologiczna*, nr 27, 2011, s.120-130.
- [95] Mączka T., Niedźwiecki Ł., Pawlak-Kruczek H.: Przegląd plazmowych instalacji do utylizacji odpadów. Wersja elektroniczna: <http://www.klaster-energia.wroc.pl/storage/File/plazma.pdf>, [dostęp: 22.04.2015].
- [96] Mendel T.: *Metodyka pisanie prac doktorskich*, Wyd. Naukowe CONTACT, Poznań 2010.
- [97] Model ekologicznego i ekonomicznego prognozowania wydobycia i użytkowania czystego węgla. Tom 2: *Ekoefektywność technologii czystego spalania węgla*, (red. J. Sablika), Główny Instytut Górnictwa Katowice 2004.
- [98] Mohd Armi Abu Samah i in.: Solid Waste Management: Analytical Hierarchy Process (AHP) Application of Selecting Treatment Technology in Sepang Municipal Council, Malaysia, *Current World Environment* vol. 6(1), 2011.
- [99] Mokrzycki E., Uliasz-Bocheńczyk A.: Paliwa alternatywne z odpadów dla energetyki, *Politka energetyczna*, t. 8, zeszyt specjalny, 2005.
- [100] Nadziakiewicz J., Waclawiak K., Stelmach Sł.: *Procesy termiczne utylizacji odpadów*, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2012;
- [101] Nikodem W.: *Zgazowanie odpadów komunalnych i przemysłowych*, Energetyka i Ekologia, 2008.
- [102] Nouri J. i in.: Comparison of solid waste management scenarios based on life cycle analysis and multi-criteria decision making (Case study: Isfahan city), *Iranian Journal of Science & Technology*, 38A3, 2014.
- [103] Nowakowski A., Zair A.: *Metodyka budowy modeli matematycznych w systemach wspomagania decyzji*. Konferencja Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie, t. II, Zakopane, 2010.
- [104] Ocena Systemu gospodarki odpadami, Uwarunkowania prawne i technologiczne oraz kryteria oceny funkcjonowania gospodarki odpadami, cz. I, II, III, (red. A. Kraszewskiego i E. Pietrzyk-Sokulskiej), Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 2011.
- [105] Ohri A., Singh P.K.: Development of Decision Support System for Municipal Solid Waste Management in India: A Review, *International Journal of Environmental Sciences* vol. 1 No 4, 2010.
- [106] Olczyk D.: Modelowanie strukturalne – definicje, notacja, techniki i narzędzia, *Warszawska Wyższa Szkoła Informatyki*, Zeszyty Naukowe, nr 4, 2010, s. 87-98.
- [107] Olszak C.M.: *Zarys metodologii multimedialnych systemów wspomagania decyzji w zarządzaniu*, Akademia Ekonomiczna, Katowice 2000.
- [108] Ossowski M.: Identyfikacja i klasyfikacja procesów w przedsiębiorstwie, *Zarządzanie i Finanse*, 2012, nr 4/3, s. 298.
- [109] Pająk T.: Energia z odpadów. Przygotowanie paliwa z odpadów. Wersja elektroniczna: http://www.plan-rozwoju.pcz.pl/wyklady/ener_srod/rozdzial11.pdf, [dostęp: 20.03.2014].
- [110] Pająk T.: *Spalanie odpadów komunalnych - potrzeby, realia, perspektywy budowy, Termiczne unieszkodliwianie odpadów. Restrukturyzacja procesów termicznych*, (red. J.W. Wandrasz), Poznań 2007.
- [111] Pająk T.: *Termiczne unieszkodliwianie odpadów w systemie gospodarki odpadami komunalnymi*, IV Międzynarodowe Forum Gospodarki Odpadami "Systemy gospodarki odpadami", Poznań -Piła, 2001
- [112] Palczak E.: *Praktyczne zastosowanie pracy systemowej w organizacjach z wykorzystaniem narzędzia diagnostycznego Team Diagnostic*. Wersja elektroniczna: <http://www.ipma.pl/sites/default/files/ewa-palczak-24-10-2013.pdf>, [dostęp 15.02.2015].
- [113] Paliwa z odpadów. Wyzwania XXI wieku, pod red. J. Biegańskiej, M. Landrata, Katedra Technologii i Urządzeń Zagospodarowania Odpadów. Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki. Politechnika Śląska, Gliwice 2013.
- [114] Pavlas M. et al.: *Waste-to-Energy Systems Modelling Using In-House Developed Software*, Institute of Process Environmental Engineering, Brno University of Technology. Wersja elektroniczna: <http://www.nt.ntnu.no/users/skoge/prost/proceedings/pres2011-and-icheap10/PRES11/138Kropac.pdf>, [dostęp:15.12.2015].
- [115] Pawlewski P.: *Projektowanie systemów i procesów logistycznych*, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2013

- [116] Pires A., Martinho G., Chang: Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques, *Journal of Environmental Management* vol. 92, 2011.
- [117] Plan gospodarki odpadami dla województwa śląskiego 2014 (załącznik do uchwały Sejmiku Województwa Śląskiego Nr IV/25/1/2012 z dnia 24 sierpnia 2012 roku).
- [118] PN-EN 15359:2012 - Stałe paliwa wtórne - Wymagania techniczne i klasy.
- [119] Polityka spójności 2014 -2020 Inwestycje w rozwój gospodarczy i wzrost zatrudnienia, Wersja elektroniczna: <http://www.npf.rpo.lubelskie.pl/widget/file/get/1353500530951045.pdf/1/>, [dostęp: 15.08.2008]
- [120] Poradnik gospodarowania odpadami, pod red. K. Skalmowskiego, Wyd. Verlag Dashofer, Warszawa 2010.
- [121] Prusak A., Stefanów P.: AHP- analityczny proces hierarchiczny, Wyd. C.H. Beck, Warszawa 2014.
- [122] Przybycin W., Fechner I.: Logistyczne aspekty gromadzenia stałych odpadów komunalnych, *Recykling*, nr 7, 2003, s. 25.
- [123] Przybycin W., Fechner I.: Rola centrum segregacji odpadów w systemowym podejściu do gospodarki odpadami, *Recykling*, nr 11, 2003, s. 28.
- [124] Przybycin W.: Logistyczny system gospodarki stałymi odpadami komunalnymi, *Recykling*, nr 11, 2006, s. 56.
- [125] Przywarska R.: Odpady komunalne źródłem energii odnawialnej, *Recykling*, nr 7, 2009.
- [126] Pyssa J.: Zasady i kryteria doboru technologii unieszkodliwiania odpadów niebezpiecznych, *Przemysł chemiczny*, nr 89/7, 2010, s.927-934.
- [127] Raport Bird & Bird Maciej Gawroński sp.k.: Analiza skutków prawnych wprowadzenia zmian w mechanizmie wsparcia dla producentów energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych, w kontekście zachowania praw nabytych inwestorów korzystających ze wsparcia na dotychczasowych zasadach, Warszawa, listopad 2011.
- [128] Raport Deloitte: Gospodarka odpadami w Polsce. Wyzwania w świetle wymogów unijnych i legislacyjnych, opinie społeczne i perspektywy, wrzesień 2011.
- [129] Raport European Environment Agency: Municipal waste management in Poland, February 2013.
- [130] Raport UOKiK: Konkurencja na polskim rynku usług odbioru i zagospodarowania odpadów komunalnych, luty 2012.
- [131] Redes M.: Energetyczne wykorzystanie odpadów komunalnych na przykładzie Zakładu Termicznego Unieszkodliwiania Odpadów w Szczecinie, Konferencja n.t. Energia z biomasy wizytówką Województwa Zachodniopomorskiego, Szczecin, 2009.
- [132] Rocznik statystyczny- Ochrona Środowiska 2010, Raport GUS, Warszawa 2010.
- [133] Rozporządzenia Ministra Środowiska z 4 listopada 2008 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji oraz pomiarów ilości pobieranej wody (Dz. U. nr 206, poz. 1291).
- [134] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 marca 2002 r., w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów, Dz. U. nr 37 poz. 339
- [135] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 2 czerwca 2010 r. w sprawie szczegółowych warunków technicznych kwalifikowania części energii odzyskanej z termicznego przekształcania odpadów komunalnych, Dz.U. nr 117, poz 788.
- [136] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. Nr 112, poz. 1206).
- [137] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 maja 2012 r. w sprawie poziomów recyklingu, przygotowania do ponownego użycia i odzysku innymi metodami niektórych frakcji odpadów komunalnych.
- [138] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 4 sierpnia 2003 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji, Dz. U nr 163, poz. 1584.
- [139] Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 8 stycznia 2013r., w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu (Dz.U. 2013 nr 0 poz. 38).
- [140] Różalski J.: Energetyczne wykorzystanie odpadów jako remedium na luki paliwowe i rozwiązanie problemu utylizacji odpadów, *Nowa Energia - dodatek tematyczny Termiczne Przekształcanie Odpadów Komunalnych*. Wersja elektroniczna: http://www.cire.pl/pdf.php?plik=/pliki/2/wykorzystanie_odpadow.pdf, [dostęp 05.08.2014]

- [141] Rybarski J.: System komputerowy ułatwiający wykorzystanie informacji o zjawiskach socjalno-ekonomicznych przy wyborze firm inwestujących na danym terenie. Rozprawa doktorska. Wersja elektroniczna: <http://winntbg.bg.agh.edu.pl/rozprawy2/10045/full10045.pdf>, [dostęp: 12.09.2015].
- [142] Saaty T.L.: Decision making the Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP), Journal of Systems Science and System Engineering 13(1), 2004, s. 1-35.
- [143] Saaty T.L. The analytic hierarchy process, McGraw-Hill, New York, 1980.
- [144] Schmuller J.: UML dla każdego, Wyd. Helion, Gliwice 2003.
- [145] Scott-Morton M.S.: Management Decision Systems. Computer-based Support for Decision Making, Division of Research, Graduate School of Business Administration, Harvard University, Boston, 1971.
- [146] Siejka K., Tańczuk M., Trinczek K.: Koncepcja szacowania potencjału energetycznego biomasy na przykładzie wybranej gminy województwa opolskiego, Inżynieria Rolnicza, vol. 6(104), 2008.
- [147] Sobczyk E., Wota A., Krężolek St.: Zastosowanie matematycznych metod wielokryterialnych do wyboru optymalnego wariantu źródła pozyskania węgla, Gospodarka Surowcami mineralnymi, t. 27, z. 3, 2011, s. 51-68.
- [148] Sobolewski A., Wasielewski R., Stelmach R.: Wykorzystanie stałych paliw wtórnych w energetyce, Polityka energetyczna, t. 10, z. 2, 2007, s. 379-389.
- [149] Somplak R., Prochazka V., Pavlas M., Popela P.: The logistic model for decision making in waste management, Chemical Engineering Transactions, vol. 35, 2013.
- [150] Specyfikacja Techniczna CEN/TS 15359 Solid recovered fuels – specifications and classes, 2006.
- [151] Sprawozdanie z realizacji Krajowego planu gospodarki odpadami 2010 za okres od dnia 1 stycznia 2007 r. do dnia 31 grudnia 2008 r. Ministerstwo Środowiska, Warszawa, grudzień 2009.
- [152] Stan środowiska w województwie śląskim w 2009 roku, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Katowicach, Katowice 2010.
- [153] Stelmach S.: Termochemiczna konwersja biomasy i bioodpadów z wykorzystaniem procesów pirolizy i zgazowania, Otwarte seminarium: Piroliza biomasy - zrównoważona technologia wytwarzania biowęgla i energii odnawialnej, 06 grudnia 2013, Opole.
- [154] Szołtysek J.: Ewolucja logistyki zwrotnej, Logistyka, nr 5, 2009, s. 9.
- [155] Szołtysek J.: Logistyka wnosi wartość do gospodarki odpadami, Przegląd Komunalny nr 2, 2007.
- [156] Szpadt R.: Prognoza zmian w zakresie gospodarki odpadami, Kamieniec Wr., wyd. Ministerstwo Środowiska, marzec 2010.
- [157] Szpręgłewska P., Zięba M.: Ekologia jako nowy pomysł na sukces. Rozwój łańcucha dostaw z uwzględnieniem ochrony środowiska, Zeszyty naukowe Politechniki Poznańskiej: Organizacja i Zarządzanie nr 60, 2013.
- [158] Szyjko T.: Odzysk energii z odpadów komunalnych. Wyzwania dla Polski, Energia Gigawat, nr 1, 2013. Wersja elektroniczna: <http://www.cire.pl/pliki/2/Odpady2012.pdf>, [dostęp: 21.03.2015].
- [159] Szymańska A., Płaziak M.: Klasyczne czynniki w procesie lokalizacji przedsiębiorstwa na wybranych przykładach, Przedsiębiorczość - Edukacja, nr 10, 2014, s. 71-84.
- [160] Ściążko M. i in.: Zalety i wady współspalania biomasy w kotłach energetycznych na tle doświadczeń eksploatacyjnych pierwszego roku współspalania biomasy na skalę przemysłową, Energetyka i Ekologia, 2006.
- [161] Ścierski J.: Mapowanie procesów, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej: Organizacja i Zarządzanie z. 52, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010, s. 1-17.
- [162] Tan Y.: Feasibility Study on Solid Waste to Energy. Technological Aspects, College of Engineering University of California, Berkeley, 2013.
- [163] Tora B., Wasielewski R.: Bariery stosowania paliw alternatywnych w energetyce, Czysta energia - Czyste środowisko, t. 11, z. 2, 2008, s. 129-137.
- [164] Trzaskalik T.: Wprowadzenie do badań operacyjnych z komputerem, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2008.
- [165] Tułeczki A., Król S.: Modele decyzyjne z wykorzystaniem metody Analytic Hierarchy Proces (AHP) w obszarze transportu, Problemy eksploatacji, nr 2, 2007.
- [166] Ustawa z dnia 1 lipca 2011 roku o zmianie ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach oraz niektórych innych ustaw (Dz. U. 2011 nr 152 poz. 897).

- [167] Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne (t.j. Dz. U. z 2006 r., Nr 89, poz. 625 z późn. zm.).
- [168] Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach z 2012 r. (Dz. U. z 2013 r. poz. 21).
- [169] Ustawa z dnia 15 kwietnia 2011 r. o efektywności energetycznej (Dz. U. 2011 nr 94 poz. 551).
- [170] Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii (Dz. U. 2015 poz. 478).
- [171] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 roku, Prawo ochrony środowiska Dz.U.2001.62.627 z późniejszymi zmianami.
- [172] Venkata Rao R.: Comparison of Different MADM Methods for Different Decision Making Situations of the Manufacturing Environment, Decision Making in Manufacturing Environment Using Graph Theory and Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods, vol.2, pp 205-242. Wersja elektroniczna: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4471-4375-8_7, [dostęp: 24.11.2015].
- [173] Volk W.: Statystyka stosowana dla inżynierów, Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa 1965.
- [174] Wager P.A., Hilty L.M.: A simulation system for waste management - from system dynamics modelling to decision support, Integrated Assessment and Decision Support (red. Rizzoli, A.E. Jakeman A.J.), Proc. iEMSS, Lugano 2002, s.174-179.
- [175] Walendziewski J., Kułczyński M., Surma A.: Określenie potencjału odpadów i ich rodzajów do produkcji stałych paliw alternatywnych, Sieć Naukowo - Gospodarcza "Energia", Wrocław 2007.
- [176] Walery M., Podwójci P., Biedugnis St.: Wpływ wybranych parametrów wejściowych systemu gospodarki odpadami medycznymi na koszt jego funkcjonowania i strukturę, Rocznik Ochrona Środowiska, t. 11, 2009, s. 1329-1340.
- [177] Wandrasz J., Wandrasz A.: Paliwa formowane, Wyd. Seidel-Przywecki Sp.z. o. o., Warszawa, 2006.
- [178] Wandrasz J.W., Wandrasz A.J.: Wykorzystanie energii z odpadów - aspekty techniczne i ekologiczne, Referat wygłoszony na konferencji Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, Warszawa 2009.
- [179] Wandrasz Jb W., Hryb W.: Rola i znaczenie instalacji sortowania w systemie gospodarki odpadami, Czysta Produkcja w Polsce, nr 6, 2003.
- [180] Wasiak M.: O optymalności lokalizacji obiektów metodą sieciową, Prace naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport, z.78, 2011.
- [181] Wasielewski R. i in.: Propozycje w zakresie bilansowania energii odnawialnej z wykorzystaniem stałych paliw wtórnych, Polityka energetyczna, t. 10 zeszyt specjalny 2, 2007.
- [182] Wasielewski R.: Paliwa z odpadów - możliwości i uwarunkowania wdrożenia systemu w Polsce, Materiały konferencyjne. Wersja elektroniczna: http://www.pie.pl/materialy/_upload/konf_oir/RWasilewski_ICHPW.pdf; [dostęp: 15.02.2015].
- [183] Wasilewski R., Tora B.: Bariery stosowania paliw alternatywnych w energetyce, Polityka Energetyczna, t. 11, z. 2, 2008, 129–137.
- [184] Waste-to-Energy Handbook: Everything you always wanted to know about Waste-to-Energy. Wersja elektroniczna: <http://www.eswet.eu/waste-to-energy-handbook.html>, [dostęp: 15.03.2014].
- [185] Wengierek M.: System logistyczny odpadów. Sfera regulacji. Współpraca uczestników łańcucha dostaw, Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej: Organizacja i Zarządzanie z. 56, 2011.
- [186] Wielgosiński G.: Przegląd technologii termicznego przekształcania odpadów, Nowa energia, nr 1, 2011.
- [187] Wielgosiński G.: Wybór technologii termicznego przekształcania odpadów komunalnych, Nowa Energia, nr 1, 2012 r., s. 66-79.
- [188] Wilson B., Williams N., Liss B.: A comparative Assessment of Commercial Technologies for Conversion of Solid Waste to Energy, 2013.
- [189] Winnicki K., Jurek A., Landowski M.: Zastosowanie metody analizy hierarchicznej problemu, niepublikowany. Wersja elektroniczna: <http://p-e.up.krakow.pl/article/view/682/554>, [dostęp: 10.05.2015].
- [190] Winsławska E.: Spalanie biomasy, Wersja elektroniczna: <http://www.uwm.edu.pl/kolektory/biomasa/spalanie.htm>, [dostęp: 15.09.2015].
- [191] Wojtacha-Rychter K., Białecka B.: Ocena potencjału produkcji i termicznej destrukcji paliw z odpadów w warunkach śląska, Systemy wspomagania w inżynierii produkcji. Jakość i bezpieczeństwo (red. J. Sitko, B. Szczęśniak), Gliwice 2014.

- [192] Wolny T. (red.), Sprawdzone metody gospodarowania odpadami komunalnymi: Zbiór informacji i założenia dla zrównoważonej gospodarki odpadami komunalnymi wraz z odpowiednimi instalacjami i technologiami. Stowarzyszenie Technologii Ekologicznych SILESIA. Opole. 2010.
- [193] Wota A., Woźniak A.: Metodyka wyboru lokalizacji składowisk odpadów komunalnych, Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, PAN w Krakowie nr 8/2008, s. 143-156.
- [194] Wota A., Optymalizacja wyboru lokalizacji składowisk odpadów komunalnych z wykorzystaniem metody AHP (Analytic Hierarchy Process), Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2008.
- [195] Wójcik P.: Odpady paliwem alternatywnym, Środowisko, nr 18(354), 2007, s.28-31.
- [196] Wójcik W.: Charakterystyka odpadów komunalnych w oparciu o badania morfologiczne odpadów dla miasta Rzeszowa, Interdyscyplinarne zagadnienia w inżynierii i ochronie środowiska (red. T.M.Traszewska, B. Kaźmierczak), t. 4, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2014, s. 994-1013.
- [197] Wrembel R.: Zintegrowane systemy informatyczne a nowe prawo o zagospodarowaniu odpadów - problematyka i rozwiązania, Przegląd komunalny, nr 6, 2013.
- [198] Zielona Księga: Ramy polityki w zakresie klimatu i energii do roku 2030, COM(2013)169, Komisja Europejska, Bruksela 2013.
- [199] Zińczuk W.: Siedem przykładów modelowania gospodarki odpadami komunalnymi, Odpady i środowisko, Nr 2 (32)/05, 2005, s. 69-70.
- [200] Źródło informacji: Eurostat (<http://ec.europa.eu/eurostat>), [dostęp:16.04.2015].
- [201] Źródło informacji: strona internetowa firmy Smart Energy (<http://www.smartenergy.biz.pl/>).
- [202] Źródło informacji: strona internetowa Bizagi modeler (<http://www.bizagi.com/en/products/bpm-suite/modeler>).
- [203] Źródło informacji: strona internetowa Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (<http://www.codgik.gov.pl/index.php/darmowe-dane/prg.html>)
- [204] Źródło informacji: strona internetowa Earth Resources Observation and Science (EROS) Center (https://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3/Eurasia/).
- [205] Źródło informacji: strona internetowa EEW Energy from Waste (<https://www.eew-energyfromwaste.com/pl.html>).
- [206] Źródło informacji: strona internetowa Ekologicznej Spalarni Odpadów w Krakowie (<http://www.spalarnia.krakow.pl/>), [dostęp:12.01.2016].
- [207] Źródło informacji: strona internetowa Głównego Instytutu Górnictwa (<https://www.gig.eu/pl>)
- [208] Źródło informacji: strona internetowa Głównego Urzędu Statystycznego (<http://stat.gov.pl/>).
- [209] Źródło informacji: strona internetowa koncernu Fortum (<http://www.fortum.com/>), [dostęp:12.01.2016].
- [210] Źródło informacji: strona internetowa Krajowego Ośrodka Bilansowania i Zarządzania Emisjami (<http://www.kobize.pl/en>)
- [211] Źródło informacji: strona internetowa Portalu Geostatystycznego (<https://geo.stat.gov.pl/imap/>)
- [212] Źródło informacji: strona internetowa projektu LIFEcogeneration.pl (<http://investeko.pl/badania/lifecogeneration/>), [dostęp:12.01.2016].
- [213] Źródło informacji: strona internetowa Społecznej Rady ds. Zrównoważonego Rozwoju Energetyki (<http://www.rada-zre.pl/>), [dostęp:12.01.2016].
- [214] Źródło informacji: strona internetowa StartUML (<http://staruml.io/>), [dostęp:12.01.2016].
- [215] Źródło informacji: strona internetowa firmy (www.darsoft.pl), [dostęp: 07.04.2015].
- [216] Źródło informacji: strona internetowa firmy (www.odpadywgminie.com), [dostęp: 07.04.2015].
- [217] Źródło informacji: strona internetowa firmy (www.systemecosanit.pl), [dostęp: 07.04.2015].
- [218] Źródło informacji: strona internetowa Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla (<http://www.ichpw.pl/>), [dostęp: 15.06.2015].
- [219] Źródło informacji: strona internetowa portalu Spalania śmieci (<http://www.spalarnia.slask.pl/>), [dostęp: 15.01.2016].

