

Termiczne przekształcanie odpadów jako ekologiczny sposób na ich zagospodarowanie

Alicja Ossera 

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, Kraków

Streszczenie: Celem pracy była analiza systemu gospodarki odpadami komunalnymi w Polsce. Opisano najważniejsze zagadnienia teoretyczne i prawne, w szczególności dotyczące odpadów komunalnych oraz zanieczyszczenie środowiska wynikające z ich składowania i spalania. Na podstawie danych statystycznych stworzono trzy scenariusze przyrostu ilości odpadów do 2040 roku. Bazując na metodach ustawowych oraz możliwościach instalacji termicznego przetwarzania odpadów w Polsce, oszacowano produkcję energii elektrycznej i ciepła ze spalarni, a także potencjalny zysk finansowy. Na podstawie cenników z 38 miejsc obliczono średnią cenę przyjęcia odpadów do składowania w Polsce, a następnie koszty składowania odpadów dla stworzonych scenariuszy. Uwzględniono także koszt przyjęcia odpadów do spalarni. Z przeprowadzonej analizy wynika, że przy stale rosnącej ilości odpadów komunalnych ich spalanie jest koniecznym elementem domykającym system gospodarki odpadami, który jest nie tylko opłacalny, ale także pozwala uniknąć znaczących zanieczyszczeń środowiska.

Słowa kluczowe: gospodarka odpadami, termiczne przekształcanie odpadów, składowanie odpadów, spalanie odpadów, odpady komunalne

THERMAL TREATMENT OF WASTE AS AN ECOLOGICAL WAY OF WASTE MANAGEMENT

Abstract: The aim of this study was to assess the possibilities of municipal waste management system in Poland. Theoretical and legal issues were delineated, particularly concerning municipal waste, including landfilling and incineration. Statistical data was used to formulate three scenarios of increasing waste generation until the year 2040. Based on statutory methodology and the capabilities of incineration plants in Poland, theoretical energy and heat generations were estimated, along with corresponding financial gains. Data gathered from 38 landfilling sites allowed the estimation of the average price for municipal waste landfilling and enabling the calculation of the total cost of waste landfilling in the scenarios created. The cost of waste admission into incineration sites was also considered. The analysis concluded that waste incineration is a crucial element closing the waste management system. Not only is it economically viable, but it also helps to avoid significant environmental pollution.

Keywords: waste management, thermal treatment of waste, landfilling of waste, waste incineration, municipal waste

1. Wprowadzenie

W XXI wieku na świecie coraz większą wagę przywiązuje się do zagadnień związanych z ochroną środowiska. Ograniczane są emisje dwutlenku węgla jako jednego z groźnych gazów cieplarnianych, podejmowane są starania dotyczące zmniejszenia konsumpcji plastikowych opakowań przez wprowadzanie nowych ustaw i regulacji, a także odbywają się akcje nawołujące do oszczędzania wody. Wciąż jednak niewiele mówi się o odpadach: zapobieganiu ich produkcji, a także o metodach ich przetwarzania. W związku z tym przeprowadzono analizę ekonomiczną i ekologiczną zysków i kosztów wiążących się z gospodarką odpadami komunalnymi w Polsce do roku 2040, skupiając się przede wszystkim na ich spalaniu i składowaniu. W celu porównania kosztów ekologicznych metod unieszkodliwiania odpadów przeanalizowano literaturę na temat zanieczyszczeń powodowanych przez spalanie i składowanie. Następnie na podstawie danych statystycznych i Krajowego Planu Gospodarki Odpadami stworzono trzy scenariusze przyrostu ilości odpadów oraz oszacowano ilość odpadów kierowaną na składowiska każdego roku. Obliczono potencjalny koszt składowania na podstawie średniej ceny przyjęcia na składowiska w Polsce, a także potencjalny koszt przyjęcia do spalarni odpadów oraz możliwy zysk w postaci sprzedanej energii elektrycznej oraz ciepła. Energię wytworzoną w spalarniach oszacowano na dwa sposoby: posługując się wzorem na efektywność energetyczną instalacji spalania odpadów oraz szacując na podstawie możliwości średniej spalarni odpadów, będącej średnią arytmetyczną parametrów z istniejących instalacji w Polsce. Wyniki obliczeń zebrano i przeanalizowano.

2. Część metodyczna

2.1. Opis metod badawczych

Podczas przygotowania pracy skorzystano z badań literaturowych, aby porównać poziom zanieczyszczenia środowiska wynikający ze spalania i składowania odpadów. Natomiast, aby zrozumieć obecną sytuację w Polsce i przedstawić możliwe scenariusze jej rozwoju, posłużono się analizą danych statystycznych oraz innych źródeł, takich jak między innymi strony internetowe polskich spalarni odpadów oraz krajowe źródła rządowe (ustawy).

2.2. Zanieczyszczenia

Zanieczyszczenie środowiska jest nieodłączną częścią prowadzenia gospodarki odpadami. Występuje zarówno przy składowaniu odpadów, jak i przy ich spalaniu, jednak oba te procesy znacząco się różnią.

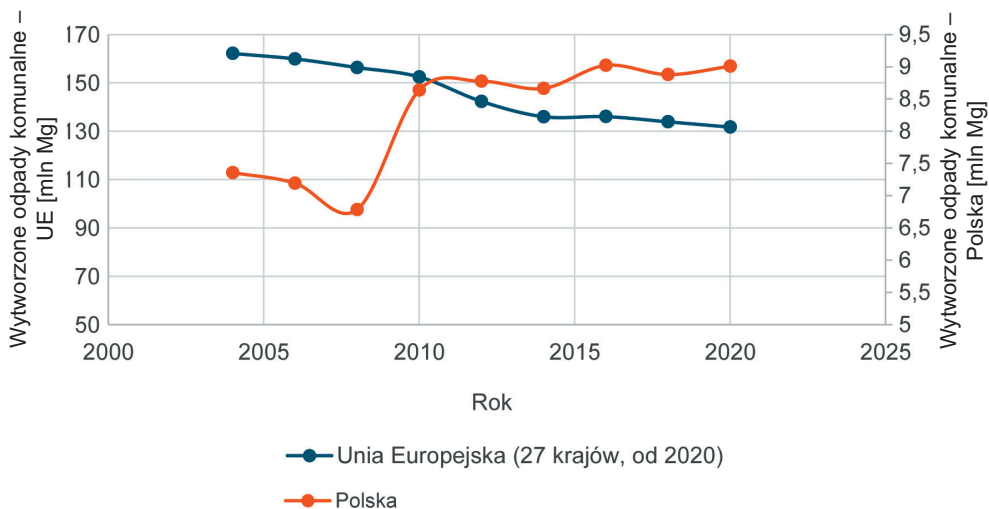
Teoretycznie składowanie odpadów na zorganizowanym składowisku polega na ich bezpiecznym deponowaniu w wyznaczonym do tego celu miejscu. Składowisko zorganizowane, które jest najbezpieczniejsze dla środowiska, jest to obiekt budowlany o jak największej szczelności i jak najmniejszym oddziaływaniu na środowisko (Rosik-Dulewska 2002). W Polsce znacznie więcej jest składowisk niezorganizowanych, tzw. dzikich wysypisk, gdzie odpady składowane są w glebie bez żadnego zabezpieczenia. Skutkami takiego działania są m.in. niekontrolowana emisja gazu wysypiskowego do atmosfery (w większości metanu, gazu cieplarnianego, który w kontakcie z powietrzem tworzy mieszaninę wybuchową (CIRE 2021)), zanieczyszczenie wód powierzchniowych i podziemnych (przesączająca się woda deszczowa staje się niebezpiecznym odciekami), a także obszarów wokół składowiska rozwiewanymi z niego pyłami i frakcją lekką odpadów, nadmierny rozwój gryzoni i ptactwa. Nie można także nie wspomnieć o drażniącym, nieprzyjemnym zapachu rozprzestrzeniającym się wokół składowiska (Rosik-Dulewska 2002).

Podczas działania instalacji spalających odpady zapachy nie roznoszą się wokół zakładu. Spalarnie odpadów w Polsce działają w większości z zasysaniem powietrza z bunkra z odpadami do procesu spalania, tak że zapach nie wydostaje się na zewnątrz – jest tak między innymi w krakowskiej Ekospalarni (KHK... 2023). Niezbędnym warunkiem zachowania bezpieczeństwa środowiskowego jest stosowanie rygorystycznych procesów oczyszczania i neutralizacji gazów spalinowych. Ze względu na bardzo duże zróżnicowanie składu odpadów trudno jest dokładnie określić potencjalny udział substancji i zanieczyszczeń w spalinach, dlatego stosowane metody oczyszczania i neutralizacji muszą być zaprojektowane w taki sposób, aby pomimo znacznych zachwiań koncentracji różnych substancji umożliwić ich redukcję do wartości podawanych przez normy (Rosik-Dulewska 2002). Normy dopuszczalnych zanieczyszczeń powietrza są bardziej rygorystyczne dla spalarni niż dla klasycznych elektrowni (Minister Klimatu 2020), natomiast emisje ze spalarni odpadów w Polsce są ściśle monitorowane. Dane na ten temat są dostępne na stronie internetowej danego zakładu, np. w Poznaniu, Krakowie i Koninie (PreZero Zielona Energia sp. z o.o. 2021, MZGOK... 2024, KHK... 2023).

2.3. Dane bazowe

Aby móc zastanawiać się nad zasadnością spalania odpadów komunalnych jako formy ich przetworzenia, należy najpierw przyjrzeć się ich ilości w Europie, a w szczególności w Polsce – czy ilość odpadów trafiająca na wysypiska każdego roku mogłaby mieć znaczący wpływ ekologiczny i przede wszystkim ekonomiczny na system gospodarki odpadami? Ile odpadów komunalnych jest produkowane? Rysunek 1 prezentuje

relację całkowitej ilości wytwarzanych odpadów tego typu w Unii Europejskiej oraz w Polsce w latach 2004–2020.



Rys. 1. Wytwarzanie odpadów komunalnych w UE i w Polsce w latach 2004–2020 [mln Mg]

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Eurostatu (2023)

W Polsce ilość odpadów komunalnych wytwarzanych co roku systematycznie wzrasta wraz z upływem czasu, zwłaszcza po roku 2008, w którym światowy kryzys ekonomiczny mógł mieć wpływ na nieznaczny spadek ilości wytwarzanych odpadów. W 2020 roku (Eurostat 2023) w Polsce wyprodukowano około 9 mln ton odpadów komunalnych, co przekłada się na 238 kg/osobę. Bardziej szczegółowe dane podaje Główny Urząd Statystyczny (Załącznik 1, GUS, dokumenty 1–16) w raportach „Infrastruktura komunalna” wydanych w latach 2009–2017 oraz „Ochrona środowiska” z lat 2018–2022.

Na podstawie danych z tabeli 1 można zaobserwować opóźniony skutek kryzysu ekonomicznego z roku 2008 w postaci spadku ilości wytwarzanych odpadów komunalnych w Polsce w latach 2010–2014. Po tym czasie trend stale rośnie, co jest związane ze wzrostem gospodarczym państwa i poprawą jakości życia mieszkańców, a także z ogólnym bogaceniem się społeczeństwa, które konsumując więcej, wytwarza więcej odpadów komunalnych. Na potrzeby dalszych oszacowań i obliczeń założono utrzymywanie się trendu wzrostowego, co jest zgodne z ogólnymi przewidywaniami oraz „Krajowym Planem Gospodarki Odpadami 2022” (Rada Ministrów RP 2016), stanowiącym jeden z podstawowych zapisów na ten temat w Polsce.

Tabela 1

Dane o odpadach wytworzonych w Polsce w latach 2009–2021

Rok	Wytworzone odpady komunalne [tys. Mg]
2009	10 053,5
2010	10 044,2
2011	9828,0
2012	9580,9
2013	9473,8
2014	10 330,4
2015	10 863,4
2016	11 654,3
2017	11 969,0
2018	12 485,0
2019	12 753,0
2020	13 117,0
2021	13 674,0

Źródło: Załącznik 1, GUS, dokumenty 1–16

3. Analiza danych

Na potrzeby analizy przygotowano trzy scenariusze przewidywania wzrostu ilości odpadów w Polsce: „Business as Usual” (BaU), który zakładał kontynuację liniowego trendu na podstawie danych z dokumentacji „Ochrona środowiska” i „Infrastruktura komunalna”, oraz dwa „Scenariusze KPGO”, które przedstawiały wzrost ilości odpadów w taki sposób, w jaki założone to zostało w ww. Krajowym Planie.

3.1. Scenariusze

Pierwszym z przygotowanych scenariuszy był „Business as Usual” (BaU). Aby oszacować dalszy wzrost ilości wytwarzanych odpadów komunalnych w Polsce, posłużono się prostym liniowym przybliżeniem, które dobrze opisywało trend od roku 2013. W programie MS Excel wyznaczono linię trendu o równaniu:

$$\text{Ilość odpadów} = 496,18 \cdot \text{rok} - 988\,973 \quad (1)$$

które opisuje wskazane dane ze współczynnikiem determinacji R^2 równym 97,69%, czyli wystarczająco dokładnie.

Drugi analizowany przypadek nazwano „Scenariuszami KPGO”, gdyż metoda prognozowania wzrostu ilości odpadów została opisana w dokumencie „Krajowy Plan Gospodarki Odpadami 2022” w rozdziale 3 pt. „Prognoza zmian w zakresie gospodarki

odpadami” w sekcji 3.1. „Odpady komunalne, w tym odpady żywności i inne odpady ulegające biodegradacji” (*Rozporządzenie Ministra Klimatu...* 2016: 83). Przyjęto dwa wskaźniki wytwarzania i dwie hipotezy: „niską” i „wysoką”, za których pomocą oszacowano wzrost ilości wytwarzanych odpadów komunalnych do roku 2025 i 2030, przyjmując jako rok bazowy dane GUS z 2014 roku. Hipoteza niska zakłada wskaźnik wytwarzania wynoszący 0,6% i opisuje znaczne spowolnienie ilości generowanych odpadów. W tej hipotezie uwzględniono także ujemny przyrost naturalny na poziomie $-0,15\%$ rocznie. Hipoteza wysoka zakłada z kolei wskaźnik wytwarzania równy 1% w skali roku i ujemny przyrost naturalny jako $-0,2\%$. Bezpośrednio wskazane w Krajowym Planie Gospodarki Odpadami dane liczbowe po przeprowadzonych oszacowaniach zawiera tabela 2.

Tabela 2

Dane do przybliżenia liniowego przyrostu ilości odpadów według KPGO 2022

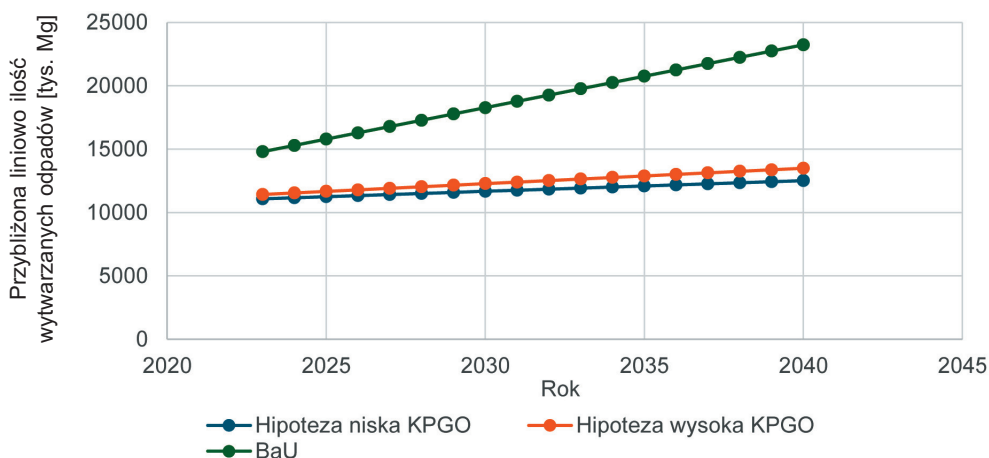
Rok	Ilość odpadów [tys. Mg]	
	hipoteza niska	hipoteza wysoka
2014	10 330,41	10 330,41
2030	11 682,02	12 280,37

Przybliżenia liniowego dokonano za pomocą następujących prostych:

– hipoteza niska: $Ilość\ odpadów = 84,47 \cdot rok - 159\ 804$ (2)

– hipoteza wysoka: $Ilość\ odpadów = 121,87 \cdot rok - 235\ 121$ (3)

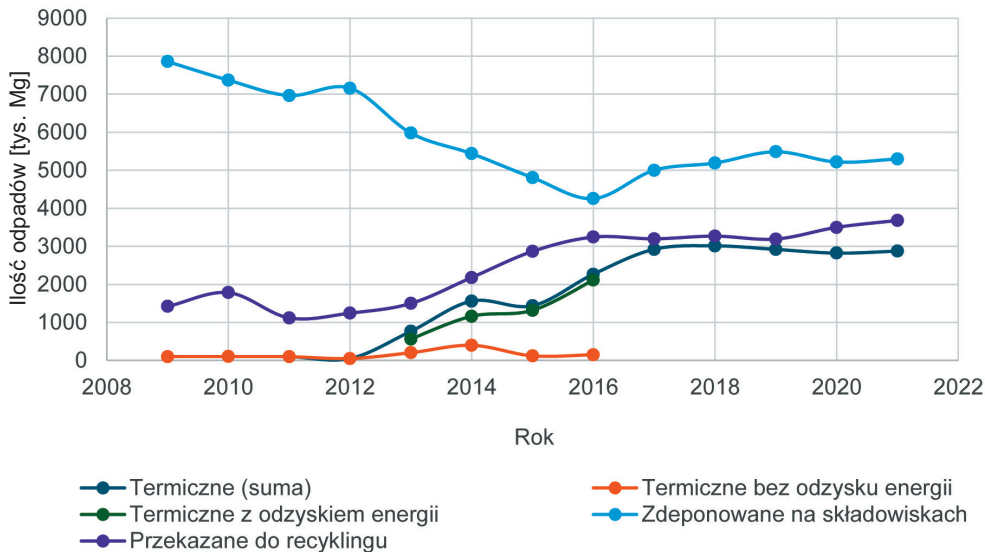
Ostatecznie do dalszych obliczeń przyjęto trzy scenariusze przyrostu ilości odpadów w latach 2023–2040 przedstawione na rysunku 2.



Rys. 2. Scenariusze przyrostu ilości odpadów na lata 2023–2040

3.2. Zagospodarowanie odpadów komunalnych w Polsce

Główne kierunki zagospodarowania odpadów komunalnych opisywane były w dokumentach GUS i zostały przedstawione w formie wykresu (rys. 3).



Rys. 3. Zagospodarowanie odpadów komunalnych w Polsce – główne metody

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

Pomimo że pomiędzy rokiem 2009 a 2021 ogólna ilość odpadów deponowanych na składowiskach zmalała, to można zaobserwować trend rosnący od roku 2016. Ze względu na wymogi Unii Europejskiej i politykę państwa rośnie ilość odpadów przekazywanych do recyklingu. Przede wszystkim warto zauważyć, że rośnie raportowana ilość odpadów przekształcanych termicznie w Polsce, a od roku 2012 przedstawiano przez 4 lata tę zależność osobno z odzyskiem i bez odzysku energii. Na rysunku 3 wyraźnie daje się zauważyć lata, w których pracę rozpoczynały polskie spalarnie odpadów. W 2012 roku w życie weszła ustawa o odpadach (*Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach*), w której zdefiniowano procesy spalania i postępowania z odpadami, jak też podano definicję samych odpadów. Do roku 2015 w Polsce funkcjonowała tylko jedna spalarnia odpadów komunalnych – ZUSOK (Zakład Unieszkodliwiania Stałych Odpadów Komunalnych) w Warszawie, natomiast stale wzrastało wykorzystanie odpadów do wytwarzania paliwa RDF, z którego korzystają cementownie. W latach 2015–2018 działalność rozpoczęło siedem kolejnych instalacji termicznego przekształcania, o wielokrotnie większych mocach i wydajnościach niż spalarnia w Warszawie. W tabeli 3 przedstawiono parametry polskich spalarni odpadów zebrane do dalszych obliczeń.

Tabela 3
Parametry polskich spalarni odpadów

Parametr		Instalacja							
		Białystok	Bydgoszcz	Konin	Kraków	Poznań	Szczecin	Rzeszów	Warszawa
Wydajność	[Mg/h]	15,00	20,55	12,05	25,11	23,97	20,09	12,5	5,39
	[Mg/rok]	120 000	180 000	94 000	220 000	210 000	176 000	100 000	39 729
Moc nominalna	[MWe]	4,91	9,20	6,75	7,42	12,56	10,00	4,60	2,40
	[MWth]	11,42	27,70	15,50	31,96	36,53	30,00	15,40	9,00
Parametr		Instalacja							
		Białystok	Bydgoszcz	Konin	Kraków	Poznań	Szczecin	Rzeszów	Warszawa
Roczna produkcja energii elektrycznej	[MWh]	43 000,00	69 605,50	47 000,00	65 000,00	110 000,00	87 600,00	37 000,00	10 545,30
Roczna produkcja ciepła	[GJ]	360 000	881 840	120 000	1 008 000	1 152 000	262 800	444 000	243 010

Źródło: opracowanie własne na podstawie materiałów ze stron internetowych zakładów – MZGOK w Koninie (2024), KHK... (2023), ProNatura Sp. z o.o. w Bydgoszczy, (2024), Miasto Bydgoszcz (2016), EcoGenerator S.A. (2023), P.U.H.P. LECH Spółka z o.o. (2017), ZUSOK (2009), Urząd Miasta Poznania (2022). Komórki oznaczone na szaro – wartości obliczone na podstawie innych parametrów

3.3. Obliczenia

3.3.1. Metoda efektywnościowa

W załączniku nr 1 do ustawy (*Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach*) zapisane jest, że spalarnie odpadów mogą korzystać z odpadów jako paliwa lub środka wytwarzania energii pod warunkiem, że spełniają założenie o efektywności energetycznej równej lub większej niż 0,6 w przypadku działających instalacji, które otrzymały wszystkie stosowne zezwolenia, zgodne z przepisami wspólnotowymi obowiązującymi przed 1.01.2009 roku, lub 0,65 dla instalacji, które otrzymały zezwolenie po 31.12.2008 roku, oraz korzystając z następującego wzoru:

$$\text{Efektywność energetyczna} = \frac{E_p - (E_f + E_i)}{0,97 \cdot (E_w + E_f)} \quad (4)$$

gdzie:

- E_p – ilość energii produkowanej rocznie jako energia cieplna lub elektryczna; oblicza się ją, mnożąc ilość energii elektrycznej przez 2,6, a energii cieplnej wyprodukowanej w celach komercyjnych – przez 1,1 (GJ/rok),
- E_f – ilość energii wprowadzanej rocznie do systemu, pochodzącej ze spalania paliw biorących udział w wytwarzaniu pary (GJ/rok),
- E_w – roczna ilość energii zawartej w przetwarzanych odpadach, obliczanej przy zastosowaniu dolnej wartości opałowej odpadów (GJ/rok),
- E_i – roczna ilość energii wprowadzanej z zewnątrz z wyłączeniem E_w i E_f (GJ/rok).

Współczynnik uwzględniający straty energii ze względu na promieniowanie i popiół denny w palenisku przyjmuje się na poziomie 0,97.

Aby oszacować uzysk energetyczny ze spalania odpadów, przyjęto następujące dane:

- efektywność energetyczna = 0,65;
- $WO_{\text{średnia}} = 8,575$ MJ/kg – średnia na podstawie pozwoleń zintegrowanych z działających instalacji (Marszałek Województwa Małopolskiego 2015, Marszałek Województwa Podkarpackiego 2018, Marszałek Województwa Zachodniopomorskiego 2017, Marszałek Województwa Podlaskiego 2015);
- paliwo pomocnicze – lekki olej opałowy, $WO_{\text{olej}} = 42$ MJ/kg;
- wykorzystanie w instalacji wyłącznie energii wytwarzanej w zakładzie, czyli brak dodatkowej energii wprowadzanej z zewnątrz: $E_i = 0$.

Oraz poniższe równania do obliczenia E_w oraz E_f :

$$E_w = IO \cdot WO_{\text{średnia}} \quad (5)$$

$$E_f = IP_p \cdot WO_{\text{olej}} \quad (6)$$

gdzie:

- IO – ilość odpadów,
- IP_p – ilość paliwa pomocniczego.

W wyniku uzyskano $E_w = 1\,221\,647,06$ GJ oraz $E_f = 1\,660\,636,32$ GJ. Co za tym idzie, uwzględniając pozostałe dane, otrzymano E_p , czyli ilość energii produkowanej rocznie jako energia cieplna lub elektryczna równą $3\,477\,915,99$ GJ. Zgodnie z ustawą, dzieląc ten wynik przez 2,6, obliczono możliwy uzysk energii elektrycznej na poziomie $1\,337\,660$ GJ rocznie lub dzieląc przez 1,1 dla ciepła na poziomie $3\,161\,741,81$ GJ rocznie.

W praktyce taka instalacja produkowałaby równocześnie ciepło, jak i energię elektryczną. Średni stosunek mocy elektrycznej zainstalowanej do cieplnej w polskich spalarniach odpadów wynosi 33,4%. Przyjęto więc, że średnia spalarnia produkuje 1/4 energii jako energię elektryczną oraz 3/4 jako ciepło. Ostatecznie więc:

- średni roczny uzysk energetyczny w jednej spalarni – ciepło = $2\,608\,437$ GJ;
 - średni roczny uzysk energetyczny w jednej spalarni – energia elektryczna = $869\,479$ GJ.
- Musi jednak zostać obniżony o średnie zużycie własne energii, na podstawie danych z tabeli 4. Ostatecznie więc uzyskana (sprzedana) energia elektryczna może wynieść $764\,949,40$ GJ, czyli $212\,485,94$ MWh w ciągu jednego roku.

3.3.2. Metoda średniej instalacji

Aby oszacować możliwości spalania odpadów w przyszłości, obliczono średnią wydajność instalacji termicznego przetworzenia odpadów z odzyskiem energii na podstawie danych o istniejących w Polsce zakładach z tabeli 3. Wyniki obliczeń zebrano w tabeli 4.

Tabela 4

Parametry modelowej, średniej instalacji termicznego przekształcania odpadów w Polsce

Parametr	Jednostka	Dane
Wydajność	[Mg/h]	16,83
	[Mg/rok]	142 466,13
Moc nominalna	[Mwe]	7,23
	[MWth]	22,19
Roczna produkcja energii elektrycznej	[MWh]	58 718,85
	[GJ]	211 387,86
Roczna produkcja ciepła	[GJ]	558 956,25
Maksymalne roczne zużycie paliwa pomocniczego (olej opałowy lekki)	[Mg/rok]	39 538,96
Zużycie energii własne	[MWh]	29 036,00

Źródło: opracowanie własne na podstawie materiałów ze stron internetowych polskich spalarni oraz pozwoleń zintegrowanych na ich budowę

3.4. Zyski ze spalania

W przypadku każdego ze scenariuszy przyrostu ilości odpadów komunalnych udział przeznaczanych do składowania odpadów określono jako 41%; jest to średnia wartość z ostatnich kilku lat, która zmienia się powoli. Składowana ilość została wykorzystana do oszacowania wielkości strumienia paliwa do nowych spalarni. Na tej podstawie określono, ile modelowych instalacji musiałoby działać każdego roku, aby przetworzyć wszystkie odpady. Następnie mnożąc liczbę spalarni przez uzyskane powyżej średnioroczne zyski energii elektrycznej i ciepła (metoda efektywnościowa) lub możliwości uzysku średniej instalacji (metoda średniej instalacji), oszacowano całkowite możliwe zyski ze spalania odpadów komunalnych.

Cena energii elektrycznej w 2022 roku gwałtownie wzrosła (co mogło mieć związek ze wstrzymaniem importu gazu ziemnego z terytorium Rosji po wybuchu wojny w Ukrainie) i – mimo wcześniejszego dość stabilnego wzrostu cen od około roku 2017 – do dalszych obliczeń przyjęto cenę średniorocznej sprzedaży energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym równą 523,71 zł/MWh ze względu na jej trudne do oszacowania zmiany (URE 2023a). Natomiast przyjęta na podstawie wypowiedzi prezesa Urzędu Regulacji Energetyki z dnia 21.09.2022 (URE 2023b) cena sprzedaży ciepła wynosiła 103,82 zł/GJ.

4. Koszty składowania odpadów

Aby oszacować koszty składowania odpadów komunalnych, odszukano cenniki przyjęcia/odbioru/składowania odpadów, dostępne na stronach składowisk odpadów i punktów selektywnej zbiórki odpadów komunalnych (PSZOK) na terenie Polski. Uwzględniono co najmniej po jednym zakładzie w każdym województwie, na podstawie dostępnych danych rozdzielając ceny przyjęcia w zależności od kodu odpadów. Nie wszystkie cenniki udostępniły bezpośrednio dane o zmieszanych odpadach komunalnych z kodem 20 03 01. W przypadku wszystkich instalacji do obliczeń przyjmowano przynajmniej po cztery rodzaje odpadów, uwzględniając szczególnie zmieszane odpady komunalne. Wyjątkiem były zakłady, które tej informacji nie podawały – wtedy przyjmowano najbardziej zbliżone składem mieszaniny rodzaje odpadów, między innymi odpady o kodzie 02 01 04 – odpady tworzyw sztucznych (z wyłączeniem opakowań) lub o kodzie 15 01 06 – zmieszane odpady opakowaniowe, aby uzyskać szacunkową, średnią cenę za odpady podobne do zmieszanych komunalnych. Do obliczenia średniej skorzystano z cenników z 10 gmin miejsko-wiejskich (MW), 8 wiejskich (W) oraz 21 miejskich (M), znajdujących się we wszystkich województwach. Wyznaczono średnią cenę składowania odpadów w każdej z lokalizacji, a następnie średnią dla całego

kraju. Ostatecznie średnia cena składowania uwzględniająca wszystkie dostępne dane o odpadach oznaczonych kodami wymienionymi powyżej wyniosła 572,96 zł/Mg odpadów. Po uwzględnieniu tylko tych składowisk (33), które podawały bezpośrednio cenę za przyjmowanie odpadów o kodzie 20 03 01 (zmieszane odpady komunalne), średnia cena za składowanie samych niesegregowanych zmieszanych odpadów komunalnych zbieranych w sposób selektywny wyniosła 616,01 zł/Mg. Do obliczenia kosztów składowania odpadów w Polsce przyjęto jednak tę pierwszą wartość ze względu na pokrycie całego obszaru kraju (Załącznik 2, Cenniki 1–38). Biorąc pod uwagę prognozowaną ilość odpadów komunalnych w każdym ze scenariuszy, obliczono koszty składowania odpadów, jakie do 2040 roku będzie musiało ponieść polskie społeczeństwo. Obliczono je jako ilość odpadów przeznaczaną do składowania, pomnożoną przez średnią cenę przyjęcia do składowania w Polsce. Całkowita kwota w tym okresie w zależności od scenariusza wynosi odpowiednio 49,88 mld zł (Scenariusz Hipoteza niska KPGO), 52,68 mld zł (Scenariusz Hipoteza wysoka KPGO) lub 80,41 mld zł (Scenariusz BaU).

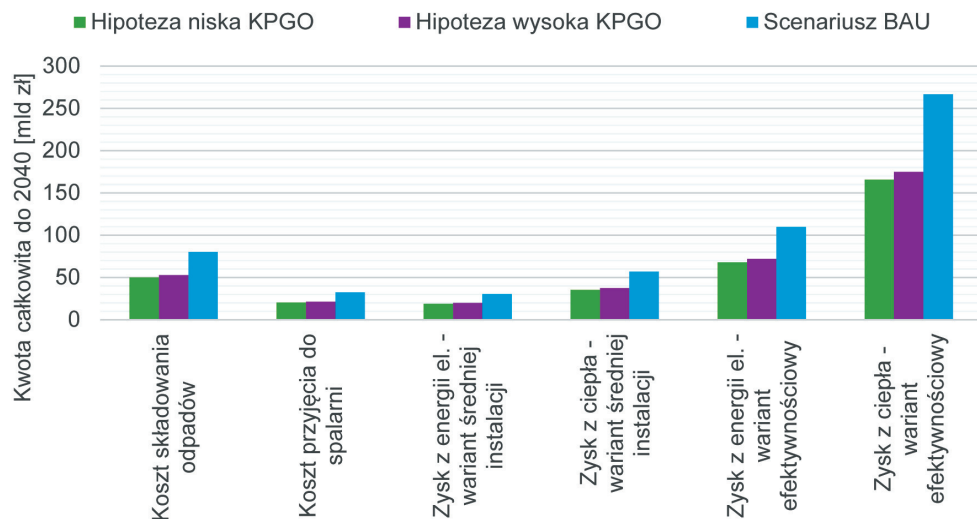
Dodatkowo uwzględniono koszt przyjęcia odpadów w spalarni. Skorzystano przy tym z informacji o kwocie 231,53 zł/Mg odpadów przyjętych do spalania w krakowskiej Ekospalarni (Miejska Platforma Internetowa „Magiczny Kraków” 2022). Cenę tę pomnożono przez strumień odpadów kierowanych do spalania w modelowanych scenariuszach.

5. Wnioski

Uzyskane zyski i koszty we wszystkich analizowanych przypadkach zebrano na rysunku 4. Należy podkreślić, że uzyskane wyniki stanowią szacunkowe, nie zaś dokładne kwoty. Są efektem uśredniania wielu czynników i przybliżania ich do prostych zależności, podczas gdy w rzeczywistości procesy gospodarowania odpadami są znacznie bardziej kompleksowe i składają się na nie czynniki, które nie zostały uwzględnione w niniejszej pracy, jak na przykład koszty transportowe odpadów. Nie zostały obliczone także nakłady finansowe na inwestycję polegającą na budowie kilkadziesiątu nowych spalarni odpadów, które byłyby bardzo duże: wykup ziemi oraz koszty projektów, budowy, a oprócz kosztów finansowych proces projektowania, budowy i rozruchu takich instalacji jest także czasochłonny – nie byłoby możliwe już od 2023 roku nagłe rozpoczęcie spalania w tylu nowych instalacjach. Zanim pojawiłyby się obliczone powyżej zyski z działania przedsiębiorstw, należałoby zainwestować ogromne kwoty.

Koszt systemu gospodarki odpadami nie maleje przy budowie spalarni odpadów, wręcz przeciwnie – cena, jaką zapłacą mieszkańcy za odbiór i gospodarowanie odpadami, może rosnąć wraz ze stopniem zaawansowania systemu ich przetwarzania. Instalacja

cje termicznego przetwarzania muszą pobierać opłaty z powodu konieczności zwrotu wspomnianych nakładów inwestycyjnych. Spalarnie ponoszą też koszty operacyjne, o których nie należy zapominać, na przykład: utrzymanie techniczne instalacji, zużycie materiałów, w tym paliwa pomocniczego, oraz substancji wykorzystywanych przy oczyszczaniu spalin, a także gospodarka pozostałościami poprocesowymi. Mimo to analiza wykazała, że możliwe zyski z wykorzystania odpadów jako paliwa mogą sięgać wielu milionów złotych.



Rys. 4. Uzyskane w analizie wyniki

Najprawdopodobniej to właśnie koszty inwestycyjne i pozwolenia środowiskowe sprawiają, że obecnie w Polsce jest tylko osiem spalarni odpadów z odzyskiem energii. Z Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW) do polskich firm na wsparcie budowy spalarni odpadów przygotowano środki w wysokości 3 mld złotych i zgłoszonych projektów od 2021 roku jest bardzo wiele (Fundusz Modernizacyjny 2022) – ale koszty budowy są każdorazowo wysokie. Na przykład instalacja w Gdańsku otrzymała pożyczkę z NFOŚiGW w wysokości prawie 700 mln złotych. Jej budowa miała zostać zakończona w czerwcu 2023 roku (Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej 2021), jednak w sierpniu 2023 roku źródła internetowe podawały, że ukończono dopiero 80% inwestycji (Oleksy 2023).

6. Podsumowanie

System gospodarki odpadami ma duży potencjał rozwoju. Budowa nowych spalarni odpadów z odzyskiem energii umożliwiłaby znaczne ograniczenie wielkości składowisk

odpadów – zarówno zorganizowanych, jak i bardziej niebezpiecznych, niezabezpieczonych „dzikich wysypisk”. Wykorzystanie odpadów komunalnych jako paliwa jest kluczowym elementem gospodarki o obiegu zamkniętym i dopełnieniem systemu gospodarki odpadami. Nie wszystkie odpady można poddać recyklingowi. Zdecydowanie lepszym rozwiązaniem jest wykorzystanie do końca ich potencjału energetycznego niż pozwolenie na zmarnowanie go na składowisku, co przyczynia się do zanieczyszczenia środowiska – wód, gruntów i powietrza.

Literatura

- CIRE, 2021, *Metan jest większym problemem niż CO₂, jest plan redukcji emisji metanu o 30 proc. O tym się mówi*, <https://www.cire.pl/artykuly/o-tym-sie-mowi/metan-jest-wiekszym-problemem-niz-co2-jest-plan-redukcji-emisji-metanu-o-30-proc> [dostęp: 2.01.2024].
- Eurostat, 2023, *Generation of waste by waste category, hazardousness and NACE Rev. 2 activity*, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_wasgen/default/table?lang=en [dostęp: 30.05.2023].
- Fundusz Modernizacyjny, 2022, *Dodatkowe 2 mld zł z Funduszu Modernizacyjnego dla przedsiębiorców na wykorzystanie odpadów w energetyce*, <https://www.gov.pl/web/funduszmodernizacyjny/dodatkowe-2-mld-zl-z-funduszu-modernizacyjnego-dla-przedsiębiorców-na-wykorzystanie-odpadów-w-energetyce> [dostęp: 16.10.2023].
- KHK (Krakowski Holding Komunalny) S.A. w Krakowie, 2023, *Ekospalarnia*, <https://khk.krakow.pl/pl/ekospalarnia/> [dostęp: 30.05.2023].
- Marszałek Województwa Małopolskiego, 2015, *Pozwolenie zintegrowane dla instalacji ZTPO*.
- Marszałek Województwa Podkarpackiego, 2018, *Pozwolenie zintegrowane spalarnia IPPC ITPOE*, https://bip.podkarpackie.pl/attachments/article/4044/pozwolenie%20zintegrowane%20spalarnia%20IPPC_ITPOE%20OS-I.7222.42.6.2017.RD.pdf [dostęp: 16.12.2023].
- Marszałek Województwa Podlaskiego, 2015, *Pozwolenie zintegrowane*.
- Marszałek Województwa Zachodniopomorskiego, 2017, *Pozwolenie zintegrowane (IPCC)*, https://www.zuo.szczecin.pl/dokumenty/pozwolenie_zintegrowane_ipcc.pdf [dostęp: 16.12.2023].
- Miejska Platforma Internetowa „Magiczny Kraków”, *Zmiana stawki za odpady w pytaniach i odpowiedziach*, 2022, www.krakow.pl/aktualnosci/258529,2163,komunikat,zmiana_stawki_za_odpady_w_pytaniach_i_odpowiedziach.html [dostęp: 7.01.2024].
- MZGOK (Miejski Zakład Gospodarki Odpadami Komunalnymi) w Koninie, 2024, <https://www.mzgok.konin.pl/> [dostęp: 2.01.2024].

- Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, 2021, *NFOŚiGW wspiera budowę spalarni odpadów w Gdańsku – Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej – Portal Gov.pl*, <https://www.gov.pl/web/nfosigw/nfosigw-wspiera-budowe-spalarni-odpadow-w-gdansk> [dostęp: 25.06.2024].
- Oleksy E., 2023, *Budowa spalarni zbliża się do końca. 80 proc. inwestycji gotowe*, <https://www.trojmiasto.pl/wiadomosci/Budowa-spalarni-zbliza-sie-do-konca-80-proc-inwestycji-gotowe-n180986.html> [dostęp: 27.12.2023].
- PreZero Zielona Energia sp. z o.o., 2021, *Monitoring emisji – PreZero Zielona Energia sp. z o.o.*, <https://prezero-zielonaenergia.pl/raporty-z-pracy-instalacji/monitoring-emisji/> [dostęp: 2.01.2024].
- Rosik-Dulewska C., 2002, *Podstawy gospodarki odpadami*, Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Klimatu z dnia 24 września 2020 r. w sprawie standardów emisyjnych dla niektórych rodzajów instalacji, źródeł spalania paliw oraz urządzeń spalania lub współspalania odpadów*, Dz.U. 2020, poz. 1860, <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20200001860/O/D20201860.pdf> [dostęp: 22.10.2023].
- Uchwała Nr 88 Rady Ministrów z dnia 1 lipca 2016 r. w sprawie Krajowego planu gospodarki odpadami 2022*, Monitor Polski. Dziennik Urzędowy Rzeczypospolitej Polskiej, 2016, poz. 784.
- URE, 2023, *Średnia cena sprzedaży energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym (roczna i kwartalne)*, Regulacji Energetyki, <https://www.ure.gov.pl/pl/urząd/informacje-ogolne/aktualnosci/11001,Urząd-Regulacji-Energetyki-publikuje-zestawienia-srednich-cen-sprzedazy-energii-.html> [dostęp: 16.12.2023].
- URE, 2023, *Ustawa o ciepłe może nie zatrzymać wszystkich podwyżek*, Urząd Regulacji Energetyki, <https://www.ure.gov.pl/pl/urząd/informacje-ogolne/edukacja-i-komunikacja/ure-w-mediach-1/10539,Ustawa-o-ciepłe-może-nie-zatrzymac-wszystkich-podwyżek.html> [dostęp: 16.12.2023].
- Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach*, Dz.U. 2013, poz. 21, <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20130000021/U/D20130021Lj.pdf> [dostęp: 4.04.2023].
- Miasto Bydgoszcz, Biuro Zarządzania Gospodarką Odpadami Komunalnymi w Bydgoszczy, 2016, *100 dni ekoelektrociepłowni*, <https://web.archive.org/web/20160806220708/http://www.odpady.czystabydgoszcz.pl/aktualnosci/100-dni-ekoelektrociepłowni> [dostęp: 9.12.2023].
- ZUSOK, Zakład Unieszkodliwiania Stałych Odpadów Komunalnych w Warszawie, 2009, *Edukacja*, <https://web.archive.org/web/20090401224016/http://www.zusok.com.pl/edukacja.htm> [dostęp: 11.04.2023].

Urząd Miasta Poznania, 2022, *Poznańska spalarnia ma już pięć lat*, <https://www.poznan.pl/mim/info/news/poznanska-spalarnia-ma-juz-piec-lat,184005.html> [dostęp: 10.04.2023].

Załącznik 1. Dokumenty Głównego Urzędu Statystycznego

1. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2023, *Ochrona środowiska*, Tabl. 10(245). Odpady komunalne zebrane_a według sposobu zagospodarowania i województw.
2. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2022, *Ochrona środowiska*, Tabl. 10(245). Odpady komunalne zebrane_a według sposobu zagospodarowania i województw.
3. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2021, *Ochrona środowiska*, Tabl. 10(245). Odpady komunalne zebrane_a według sposobu zagospodarowania i województw.
4. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2020, *Ochrona środowiska*, Tabl. 10(245). Odpady komunalne zebrane_a według sposobu zagospodarowania i województw.
5. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2019, *Ochrona środowiska*, Tabl. 10(245). Odpady komunalne zebrane_a według sposobu zagospodarowania i województw.
6. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2018, *Ochrona środowiska*, Tabl. 10(245). Odpady komunalne zebrane_a według sposobu zagospodarowania i województw.
7. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2017, *Ochrona środowiska*, Tabl. 10(245). Odpady komunalne zebrane_a według sposobu zagospodarowania i województw.
8. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2005, *Ochrona środowiska*.
9. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2016, *Infrastruktura komunalna*, Tabl. 25 Gospodarowanie odpadami komunalnymi.
10. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2015, *Infrastruktura komunalna*, Tabl. 25 Gospodarowanie odpadami komunalnymi.
11. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2014, *Infrastruktura komunalna*, Tabl. 25 Gospodarowanie odpadami komunalnymi.
12. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2013, *Infrastruktura komunalna*, Tabl. 25 Gospodarowanie odpadami komunalnymi.
13. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2012, *Infrastruktura komunalna*, Tabl. 25 Gospodarowanie odpadami komunalnymi.
14. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2011, *Infrastruktura komunalna*, Tabl. 25 Gospodarowanie odpadami komunalnymi.
15. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2010, *Infrastruktura komunalna*, Tabl. 25 Gospodarowanie odpadami komunalnymi.
16. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2009, *Infrastruktura komunalna*, Tabl. 25 Gospodarowanie odpadami komunalnymi.

Załącznik 2. Cenniki

1. Burmistrz Tucholi, 2022, *Zarządzenie nr 120.127.2022 Burmistrza Tucholi z dnia 14.11.2022.*
2. EKO DOLINA Sp. z o.o. z siedzibą w Łęczycach, 2023, *Uchwała nr 17/2023 Zgromadzenia Wspólników „EKO DOLINA” Sp. z o.o. z siedzibą w Łęczycach z dnia 11.09.2023 r.*
3. ELWOZ ECO Sp. z o.o., 2023, *Cennik za przyjęcie odpadów w ZZO Chlewnica.*
4. Legnickie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej, 2023, *Cennik za przyjęcie odpadów do Zakładu Zagospodarowania Odpadów w Legnicy.*
5. MASTER – Odpady i Energia Sp. z o.o., 2022, *CENNIK na rok 2023 usług świadczonych przez MASTER – Odpady i Energia Sp. z o.o. w Tychach.*
6. Miejski Zakład Oczyszczania Leszno Sp. z o.o., 2023, *Cennik za przyjęcie i zagospodarowanie odpadów Stacja Przeladunkowa Odpadów Komunalnych w Goli, gm. Gostyń.*
7. Miejski Zakład Oczyszczania Leszno Sp. z o.o., 2023, *Cennik za przyjęcie i zagospodarowanie odpadów Stacja Przeladunkowa Odpadów Komunalnych w Rawiczu, gm. Rawicz.*
8. Miejski Zakład Oczyszczania Leszno Sp. z o.o., 2023, *Cennik za przyjęcie i zagospodarowanie odpadów Stacja Przeladunkowa Odpadów Komunalnych w Trzebani, gm. Osieczna.*
9. Miejskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej Sp. z o.o. w Chełmie, 2023, *CENNIK 1/2023 przyjęcia odpadów komunalnych do Zakładu Przetwarzania Odpadów Komunalnych regionu chełmskiego.*
10. Miejskie Przedsiębiorstwo Oczyszczania Kraków Sp. z o.o., 2023, *Cennik za przyjęcie odpadów „Lamusownia” przy ul. Nowohuckiej 1D w Krakowie.*
11. Miejskie Wodociągi i Oczyszczalnia sp. z o.o. w Zakurzewie, 2022, *Cennik za przyjęcie odpadów do zakładu gospodarki odpadami w Zakurzewie.*
12. MPGK Katowice, 2023, *Wysokość opłat za usługi zagospodarowania odpadów w Zakładzie Odzysku i Unieszkodliwiania Odpadów MPGK SP. z o.o. w Katowicach przy ul. Miłowickiej 7A.*
13. PGK Sp. z o.o. w Opocznie, 2020, *Cennik przyjęcia odpadów do ZUO.*
14. PGK Sp. z o.o. w Słupsku, 2023, *Cennik zagospodarowania odpadów Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej Sp. z o.o. w Słupsku.*
15. PGKiM Łęczna sp. z o.o., 2023, *Cennik usług zagospodarowania odpadów w Dziale Utylizacji Odpadów w ms. Stara Wieś, gm. Łęczna.*
16. PGO Sp. z o.o. w Promniku, 2023, *Zarządzenie nr 03/10/2023 Prezesa Zarządu PGO Sp. z o.o. w Promniku z dnia 31.10.2023 r.*

17. Prezydent Miasta Biała Podlaska, 2021, *Załącznik do zarządzenia nr 239/21 Prezydenta Miasta Biała Podlaska z dnia 23 grudnia 2021 r.*
18. Prezydent Miasta Bydgoszczy, 2023, *Zarządzenie nr 435/2023 Prezydenta Miasta Bydgoszczy z dnia 20.07.2023 r.*
19. Prezydent Miasta Krosna, 2011, *Załącznik nr 2 do zarządzenia nr 108/11 Prezydenta miasta Krosna z dnia 18.04.2011 r.*
20. Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej Sp. z o.o. w Biłgoraju, 2023, *Zarządzenie nr 08/11/2023 Prezesa Zarządu Przedsiębiorstwa Gospodarki Komunalnej Sp. z o.o. w Biłgoraju z dnia 30.11.2023 r.*
21. Przedsiębiorstwo gospodarki komunalnej w Końskich Sp. z o.o., 2023, *Cennik usług odbioru i zagospodarowania odpadów obowiązujący w Przedsiębiorstwie Gospodarki Komunalnej w Końskich Sp. z o.o. na terenie Gminy Końskie.*
22. Przedsiębiorstwo Gospodarowania Odpadami w Płocku Sp. z o.o., 2023, *Cennik za przyjęcie odpadów obowiązujący od 1 stycznia 2023 r.*
23. Przedsiębiorstwo Zagospodarowania Odpadów Sp. z o.o. Gliwice, 2023, *Cennik odpadów przyjmowanych do instalacji przetwarzania odpadów w Gliwicach przy ul. Rybnickiej 199B obowiązujący od 1 stycznia 2023 roku.*
24. PUK Sp. z o.o. w Ciechanowie, 2023, *Ceny za przyjęcie do zagospodarowania 1Mg (tony) odpadów w Regionalnym Zakładzie Gospodarki Odpadami Komunalnymi w Woli Pawłowskiej.*
25. Rada Miasta Białegostoku oraz Zarząd P.U.H.P. LECH Sp. z o.o., 2020, *Wysokość opłat za przyjmowanie odpadów do Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych w Białymstoku od dn. 12.12.2020 r.*
26. Rada Miasta Elbląg, 2023, *Uchwała nr XX/X/848/2023 Rady miejskiej w Elblągu z dnia 09.03.2023 r.*
27. Składowisko Odpadów Komunalnych Sp. z o.o. w Oświęcimiu, 2023, *CENNIK za przyjęcie odpadów do Instalacji Komunalnej w Oświęcimiu.*
28. URBIS Sp. z o.o. w Gnieźnie, 2022, *Uchwała Nr 31 / 2022 z dnia 12 września 2022 r. Zarządu URBIS Sp. z o. o. w Gnieźnie.*
29. Zakład Gospodarki Komunalnej Sp. z o. o. w Zielonej Górze, 2023, *Uchwała nr 02/2023 Zarządu Zakładu Gospodarki Komunalnej Sp. z o.o. z dnia 24.02.2023*
30. Zakład Gospodarki Odpadami S.A. w Bielsku-Białej, 2023, *Cennik za przyjęcie i zagospodarowanie odpadów w Instalacji Komunalnej Zakład Gospodarki Odpadami SA w Bielsku-Białej.*
31. Zakład Gospodarowania Odpadami GAĆ Sp. z o.o., 2023, *Zarządzenie nr 4/2023 Prezesa Zarządu Zakładu Gospodarowania Odpadami GAĆ Sp. z o.o. z dnia 12.09.2023 r.*
32. Zakład Komunalny Opole Sp. z o.o., 2022, *Cennik za przyjęcie i zagospodarowanie odpadów Obowiązujący od dnia 1 stycznia 2022 r.*

33. Zakład Unieszkodliwiania Odpadów „Janik” Sp. z o.o., 2022, *Ceny odpadów przyjmowanych przez Z.U.O. „JANIK” Sp. z o.o.*
34. Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych Spytkowo Sp. z o.o., 2022, *Cennik za przyjęcie i zagospodarowanie odpadów w ramach świadczenia usług publicznych przez Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych Spytkowo Sp. z o.o. od dnia 16.05.2022 r.*
35. Zakład Utylizacyjny Sp. z o.o. w Gdańsku, 2023, *Wysokość opłat pobieranych przez Zakład Utylizacyjny Sp. z o.o. w Gdańsku za przyjęcie IMG do zagospodarowania w Gdańsku-Szadółkach od gmin, które nie podpisały porozumienia z Gminą Gdańsk oraz innych kontrahentów ważny od 23.11.2023 r.*
36. Zakład Zagospodarowania Odpadów w Poznaniu Sp. z o.o., 2023, *Załącznik nr 1 do Uchwały Zarządu Zakładu Zagospodarowania Odpadów w Poznaniu Sp. z o.o. nr 7/I/2023 z dnia 25.01.2023 r.*
37. ZUK Puławy, 2023, *Cennik przyjęcia odpadów ZUK Sp. z o.o. w Puławach.*
38. ZWiUK EKOWOD Sp. z o.o. w Namysłowie, 2023, *Zarządzenie nr 01/2023 Prezesa Zarządu ZWiUK „EKOWOD” Sp. z o.o. w Namysłowie z dnia 17.01.2023 r.*