



Niebezpieczne odpady wtórne z instalacji termicznego przekształcania odpadów komunalnych

Wacław ANDRUSIKIEWICZ¹⁾

¹⁾ dr hab. inż., prof. AGH; Department of Mining Engineering and Occupational Safety, Faculty of Civil Engineering and Resources Management, AGH University of Krakow; email: andus@agh.edu.pl, ORCID: 0000-0002-4845-1404

<http://doi.org/10.29227/IM-2023-01-34>

Submission date: 22-05-2023 | Review date: 11-06-2023

Abstrakt

Odpady towarzyszą człowiekowi od zawsze. W miarę postępu ewolucyjnego człowieka zmieniała się nie tylko jakość odpadów, ale także ich ilość. Już w starożytności podejmowano próby uporządkowania kwestii odpadów, co poprzez stulecia skutkowało różnymi regulacjami prawnymi.

Ostatnie 150 lat to gwałtowny rozwój technik i technologii mających na celu rozwiązanie problemów związanych z odpadami, w tym także komunalnymi. Wymusiły to m. in. rewolucja przemysłowa, której towarzyszył gwałtowny rozwój miast związany ze wzrostem liczby mieszkańców, a w konsekwencji wzrosła ilość wytwarzanych odpadów.

Aktualne działania, szczególnie w Unii Europejskiej, zmierzają w kierunku maksymalnego wykorzystania odpadów, ograniczając ich składowanie na wysypiskach na rzecz ponownego zagospodarowania. Jednym z elementów w tym łańcuchu działań jest spalanie odpadów komunalnych, które pozwala na istotne ograniczenie ilości odpadów kierowanych na wysypiska. Problemem są jednak odpady wtórne, będące produktami spalania, które są klasyfikowane jako odpady niebezpieczne. Po poddaniu ich odpowiedniej obróbce docelowo trafiają na składowiska odpadów niebezpiecznych, które mimo stosowania zaawansowanych zabezpieczeń stanowią potencjalne zagrożenie dla środowiska.

Słowa kluczowe: odpady komunalne, spalanie odpadów, odpady wtórne

Wprowadzenie

Jednym z elementów towarzyszącym człowiekowi od zarażenia dziejów są odpady. Sięgając czasów prehistorycznych takimi odpadami były np. niejadalne resztki pożywienia, odpady z obróbki skór upolowanych zwierząt, odpady z obróbki drewna, kamienia itp. Nie stanowiły one wówczas i przez kolejne tysiąclecia istotnego problemu, gdyż były to odpady w pełni biodegradowalne bądź neutralne dla środowiska, a do tego powstające w stosunkowo niewielkich ilościach.

Wraz z rozwojem cywilizacyjnym wzrastał wolumen wytwarzanych przez człowieka odpadów, zmieniała się również ich jakość. Mówiąc współczesnym językiem można stwierdzić, że odpady „nadążały” za rozwojem technologicznym.

Problem odpadów dostrzeżono już w starożytnej Grecji w V w. p.n.e. organizując pierwsze wysypiska odpadów, a w 320 r. p.n.e. w Atenach ustanowiono pierwsze regulacje prawne dotyczące odpadów [2]. Pierwsze służby komunalne odpowiedzialne za oczyszczanie miasta powołali Rzymianie w III w. p.n.e.

W 1373 r. w Krakowie wydano jedną z pierwszych w Europie ustawę (tzw. wilkierz) dotyczącą zachowania czystości i porządku w mieście. Mieszkańcy gospodarstw domowych zostali zobowiązani do zbierania nieczystości ze swojego terenu oraz z połowy ulicy. Dopiero ponad 150 lat później podobne ustawy pojawiły się w Paryżu oraz w Wiedniu [2].

XVIII wiek rozpoczyna gwałtowny rozwój przemysłu. Wraz z nim powstają nowe miasta, a istniejące się powiększają. To z kolei napędza konsumpcjonizm, efektem czego jest coraz większe zróżnicowanie odpadów trafiających na wysypiska oraz ich wolumen. Dopiero wiek XIX wraz z rewolucją przemysłową rozpoczął nową erę odpadów: spalanie (o czym dalej), recykling i selektywną ich zbiórkę. Jednak należy za-

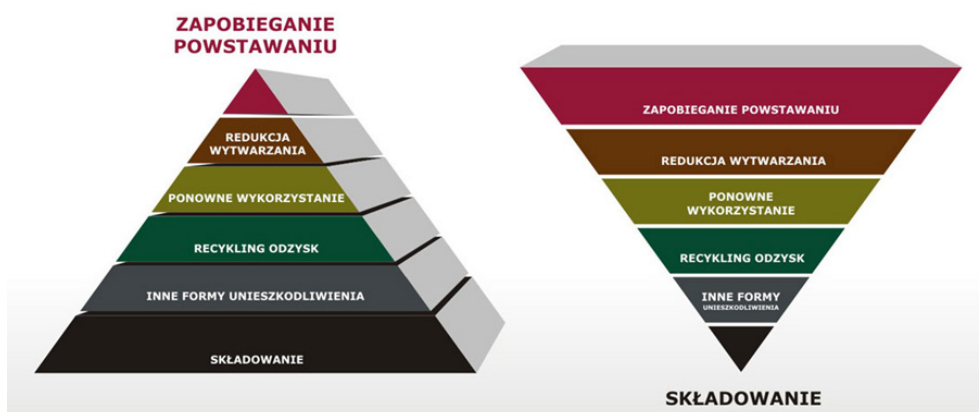
uważyć, że już w XI w. w Japonii przerabiano zużyty papier do ponownego wykorzystania, co niewątpliwie należy uznać za formę recyklingu.

Dostrzeżono, że z odpadów można wyselekcjonować pewną ich część do powtórnego wykorzystania. Pierwszy zakład zajmujący się recyklingiem odpadów powstał w Nowym Jorku w 1898 r. [1], to jednak dopiero w 2 poł. XX w. rozpoczęto na szeroką skalę wykorzystywać odpady i surowce wtórne.

Coraz większe ilości odpadów i ich duże zróżnicowanie to efekt z jednej strony zwiększającej się liczby ludności, z drugiej zaś skutek rozwoju gospodarczego. Aby można było racjonalnie postępować z odpadami, koniecznym było stworzenie usystematyzowanego katalogu odpadów, co w przypadku Polski znalazło swoje odzwierciedlenie w obowiązującym prawie [11]. Odpady podzielono na 20 grup w zależności od źródła ich powstawania. Te z kolei podzielono na podgrupy i rodzaje, wskazując równocześnie odpady niebezpieczne. W sumie katalog zawiera ok. 950 rodzajów odpadów.

Przyjmując za kryterium miejsce powstawania odpadów rozróżnia się [10]:

- odpady przemysłowe, związane z działalnością gospodarczą – wg katalogu [11] są to grupy 1-19;
- odpady komunalne, powstające na terenach zamieszkałych i związanych z bytowaniem ludzi – wg katalogu [11] są to odpady o kodzie 20 03 xx (inne odpady komunalne), a także odpady o kodzie 15 01 xx z sektora komunalnego (odpady opakowaniowe, włącznie z selektywnie gromadzonymi komunalnymi odpadami opakowaniowymi) oraz o kodzie 19 12 xx – odpady z mechanicznej obróbki odpadów (np. obróbki ręcznej, sortowania, zgniatania, granulowania) nie ujęte w innych grupach.



Rys. 1. Hierarchia postępowania z odpadami. Po lewej stronie stan obecny, po prawej – stan docelowy. Źródło: [3]
Fig. 1. Waste management hierarchy. On the left, the current state, on the right - the target state. Source: [3]

Tab. 1. Zebrane odpady komunalne w latach 2013–2022. Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

Tab. 1. Municipal waste collected in 2013–2022. Source: own elaboration based on Central Statistical Office data

Rok	Ilość zebranych odpadów	Zmiana rok do roku	Zmiana w stosunku do roku bazowego (2013)	w tym zebrane selektywnie:			
				ilość	udział w całym strumieniu odpadów	zmiana rok do roku	zmiana w stosunku do roku bazowego (2013)
	tys. Mg	%	%	tys. Mg	%	%	%
2013	9 474	0,0	0,0	1 275	13,5	0,0	0,0
2014	10 330	9,0	9,0	2 050	19,8	47,4	47,4
2015	10 864	5,1	14,7	2 537	23,4	17,7	73,5
2016	11 654	7,3	23,0	2 942	25,2	8,1	87,6
2017	11 969	2,7	26,3	3 239	27,1	7,2	101,1
2018	12 485	4,3	31,8	3 608	28,9	6,8	114,7
2019	12 753	2,1	34,6	3 977	31,2	7,9	131,7
2020	13 117	2,9	38,5	4 975	37,9	21,6	181,8
2021	13 674	4,2	44,3	5 440	39,8	4,9	195,6
2022	13 420	-1,9	41,7	5 361	39,9	0,4	196,8

Szeroko rozumiana gospodarka odpadami ma głównie na celu zapobieganie powstawaniu odpadów poprzez rozwiązywanie problemu odpadów „u źródła”, a następnie odzyskiwanie surowców i ponowne wykorzystanie odpadów. W przypadku odpadów niewykorzystanych, celem jest bezpieczne dla środowiska końcowe ich unieszkodliwienie, zaś forma ostateczną jest ich składowanie (Rys. 1).

Przedstawiona procedura dotyczy wszystkich wytwarzanych odpadów. W odniesieniu do odpadów przemysłowych istnieją rozwiązania techniczno-technologiczne, których ciągły rozwój pozwala na coraz efektywniejsze wpisywanie się w poszczególne etapy hierarchii postępowania z odpadami. Problemem są odpady komunalne, gdyż przez długie dziesięciolecia były one składowane na wysypiskach, natomiast nowe regulacje prawne, w tym unijne, dążą do zmiany społecznego myślenia o tych odpadach, a w konsekwencji ograniczania liczby i powierzchni wysypisk oraz poddawania ich procesom związanym z odzyskiem.

Nowe myślenie i postępowanie z odpadami komunalnymi

Szeroka akcja edukacyjno-społeczna na temat odpadów komunalnych prowadzona od kilku lat zdaje się przynosić oczekiwane skutki. Efektem tego jest ustabilizowanie się ilości zebranych odpadów, która w ciągu ostatnich 2 lat oscyluje w okolicy 13,4 – 13,7 mln Mg. Z drugiej strony, w okresie ostatnich 10 lat przyrost zebranych odpadów komunalnych przekroczył 40%. Mimo tego obserwuje się inne pozytywne zjawisko – wzrasta ilość odpadów zbieranych selektywnie. Poziom segregacji wynosi niemal 40% wszystkich zebranych odpadów, a na przestrzeni minionej dekady jest to wzrost blisko 200% – Tab. 1.

Zebrane odpady komunalne zmieszane (a więc te, które nie podlegały zbiórce selektywnej) kierowane są do procesów:

- odzysku, w tym:
 - przekształcania termicznego z odzyskiem energii;
 - przetwarzania biologicznego (kompostowanie lub fermentacja);
 - recyklingu;
- unieszkodliwiania, w tym:
 - przekształcania termicznego bez odzysku energii;
 - składowania.

Analizując minioną dekadę wyraźnie widać zmiany in plus, które w tym czasie nastąpiły – Tab. 2.

Analizując dane przedstawione w Tab. 1 i 2 oraz inne statystyki podane przez GUS można wyciągnąć kilka istotnych wniosków:

- ilość zbieranych odpadów komunalnych ma tendencję rosnącą, choć w 2022 r. obserwuje się niewielkie przełamanie tego trendu;
- w wydzielonym strumieniu odpadów zebranych selektywnie obserwuje się istotny wzrost ilości tak zebranych odpadów, jednak w okresie ostatnich 3 lat sytuacja uległa pewnej stabilizacji. Prawdopodobnie można to zjawisko powiązać z liczbą Punktów Selektywnego Zbierania Odpadów Komunalnych (tzw. PSZOKów). Jak podaje GUS, w 2022 r. w Polsce było 2301 PSZOKów, wobec 2477 gmin. Wynika z tego, że statystycznie blisko 10% gmin nie posiada w swoich granicach takich punktów. Z kolei w przypadku dużych aglomeracji miejskich takich punktów powin-

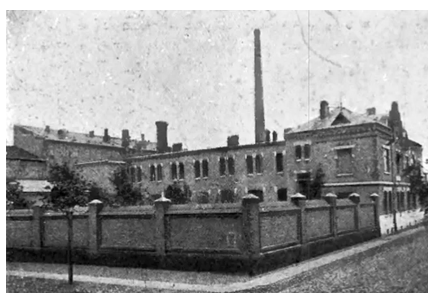
Tab. 2. Sposób zagospodarowania zebranych odpadów komunalnych w latach 2013-2022. Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS
 Tab. 2. Method of managing collected municipal waste in 2013-2022. Source: own elaboration based on Central Statistical Office data

Rok	Ilość zebranych odpadów	w tym przeznaczone do:			
		przekształcenia termicznego	przetwarzania biologicznego	recyklingu	składowania
tys. Mg					
2013	9 474	766	1 230	b.d.	5 979
2014	10 330	1 560	1 154	2 180	5 437
2015	10 864	1 439	1 750	2 867	4 808
2016	11 654	2 266	1 890	3 244	4 255
2017	11 969	2 724 ^{a)} 198 ^{b)}	848	3 199	5 000
2018	12 485	2 822 ^{a)} 191 ^{b)}	1 012	3 269	5 191
2019	12 753	2 742 ^{a)} 179 ^{b)}	1 153	3 192	5 487
2020	13 117	2 656 ^{a)} 166 ^{b)}	1 578	3 499	5 218
2021	13 674	2 702 ^{a)} 171 ^{b)}	1 824	3 681	5 296
2022	13 420	2 741 ^{a)} 113 ^{b)}	1 899	3 585	5 108

a) z odzyskiem energii, b) bez odzysku energii



Fot. 1. Paleniska w spalarni „Descructor”. Źródło: [8]
 Photo. 1. Hearths in the "Descructor" incinerator. Source: [8]



Fot. 2. Miejskie Zakłady Sanitarne w Warszawie wraz ze spalarnią odpadów komunalnych. Źródło: [15]
 Photo. 2. Municipal Sanitary Works in Warsaw with a municipal waste incineration plant. Source: [15]

- no być co najmniej kilka. W związku z tym poprawy w zakresie ilości odpadów zebranych selektywnie należy upatrywać w zwiększeniu liczby PSZOKów;
- ilość odpadów poddawana przekształcaniu termicznemu wynika z możliwości (wydajności) istniejących zakładów. Niewątpliwie budowa kolejnych jest w stanie zwiększyć wolumen odpadów przeznaczonych do tej formy utylizacji, dodatkowo generując odzysk energii;
 - ilość odpadów przeznaczonych do przetwarzania biologicznego (kompostowanie i fermentacja) również uległa stabilizacji ilościowej, natomiast od strony procentowej udziału w całym strumieniu odpadów obserwuje się nieznaczny wzrost tej formy odzysku odpadów;
 - podobną stabilizację ilościową można zauważyć w odpadach poddanych procesom recyklingu, jednak procentowo można odnotować spadek;
 - za mniej więcej stabilną można uznać ilość odpadów kierowaną na składowiska, przy równoczesnym

- spadku liczby tych obiektów z 431 o powierzchni 1944, 3 ha w 2013 r. do 259 o powierzchni 1624 ha w 2022 r. Porównując rok 2013 z rokiem 2022 można stwierdzić spadek powierzchni składowisk o ok. 15%, co jest wprost proporcjonalne do ilości umieszczonych na tych składowiskach odpadów – ich ilość również spadła o ok. 15%;
- ilość odpadów lokowanych na składowiskach w odniesieniu do całego strumienia odpadów komunalnych ma trend malejący. W 2013 r. odpady na składowiskach stanowiły ok. 63% wszystkich odpadów komunalnych, gdy w 2022 r. było to już 38%;
 - ponadto 92% składowisk jest wyposażonych w instalacje służące do odgazowywania, w wyniku czego w 2022 r. poprzez spalanie ujętego gazu odzyskano ok. 30,9 GWht (energia cieplna) oraz ok. 102,5 GWhe (energia elektryczna).

Szacuje się, że w ciągu kolejnych 10 lat ilość wytwarzanych odpadów komunalnych osiągnie poziom ok. 15,5 mln Mg [14].



Fot. 3. Spalarnia odpadów w Poznaniu uruchomiona w 1927 r. Źródło: [15]
Photo. 3. Waste incineration plant in Poznań launched in 1927. Source: [15]



Fot. 4. Elektrociepłownia Zabrze z kotłem wielopaliwowym. Źródło: [15]
Photo. 4. Zabrze Heat and Power Plant with a multi-fuel boiler. Source: [15]

Z kolei oczekuje się, że poziom przygotowania do ponownego użycia i recyklingu odpadów komunalnych wyniesie 55% w roku 2025, 60% w roku 2030 oraz 65% w roku 2035. Równocześnie zakłada się, że na składowiska odpadów komunalnych trafi 30% wytworzonych odpadów w 2025 r., 20% w 2030 r. i 10% w 2035 r. W związku z tym w perspektywie do roku 2034 zakłada się budowę 814 nowych PSZOKów oraz modernizację ok. 30% obecnie funkcjonujących. Oceniono, że w dużych miastach (aglomeracjach miejskich) powinien funkcjonować 1 PSZOK na 50 tys. mieszkańców. W przypadku małych miast (poniżej 50 tys. mieszkańców) – 1 PSZOK, podobnie w gminach wiejskich. Łącznie w skali kraju występuje zapotrzebowanie na poziomie ok. 2 714 PSZOKów [12].

Tymczasem obecnie poziom przygotowania do ponownego użycia i recyklingu odpadów komunalnych wynosi ok. 40%, a na składowiska trafia ok. 38% odpadów komunalnych.

Aby sprostać tym wyzwaniom jednym z kierunków działania powinno być zwiększenie potencjału instalacji do termicznego przekształcania odpadów komunalnych.

Termiczne przekształcanie odpadów komunalnych szansą na poprawę obecnej sytuacji?

Z dużą dozą prawdopodobieństwa można domniemywać, że proceder spalania odpadów towarzyszy człowiekowi od chwili opanowania przez niego ognia. I trwa po dzień dzisiejszy, choć w różnych formach. Najbardziej pożądaną to sposób kontrolowanego spalania w dostosowanych do tego urządzeniach, najlepiej z odzyskiem energii. Inną formą jest spalanie odpadów w paleniskach domowych, aktualnie w Polsce zakazaną z uwagi na znaczny stopień szkodliwości, co nie oznacza, że niepraktykowaną. Na szczęście wzrasta poziom świadomości społecznej w tym zakresie, co jest niewątpliwie skutkiem kampanii edukacyjnych.

Pierwsze próby spalania odpadów na większą skalę podjęto w 2 poł. XIX w. w Wielkiej Brytanii. W 1870 r. uruchomio-

no w Paddington pod Londynem pierwszą spalarnię, jednak w krótkim czasie została ona zamknięta z uwagi na niską efektywność. Kolejną, tym razem udaną, próbę podjęto w Nottingham w 1874 r. Powstała spalarnia „Destructor” (Fot. 1) pracowała 24 godz./dobę, a jej roczna wydajność wynosiła ok. 24 tys. Mg spalanych odpadów.

Projekt ten można określić mianem sukcesu, gdyż w do 1890 r. na terenie Wielkiej Brytanii pracowało 39 takich instalacji. W tym czasie instalacja pierwotna była udoskonalana, czego efektem było odzyskiwanie ciepła i produkcja pary do napędu generatorów elektrycznych [8].

Technologia ta zyskała na tyle dużą popularność, że w latach 1876–1908 w Europie wybudowano ponad 210 instalacji do spalania odpadów, i ponad 180 w Stanach Zjednoczonych [15].

Pierwsza spalarnia w Polsce powstała w 1912 r. w Warszawie przy ul. Spokojnej 15 (Fot. 2). Działała do 1944 r., zniszczona w trakcie Powstania Warszawskiego.

Kolejna, jedna z najnowocześniejszych w owym czasie, powstała w 1927 r. w Poznaniu (Fot. 3) i pracowała przez kolejnych 30 lat.

Z początkiem lat 50. XX w. spalarnie uznano za obiekty zbyt kosztowne wobec składowisk odpadów. Było to przyczyną regresu w budowie nowych obiektów termicznego nieszkodliwiania odpadów, który trwał do lat 70. Wówczas zaczęły powstawać instalacje kolejnej generacji, których zadaniem było wytworzenie energii elektrycznej i ciepłej, ale równocześnie ograniczenie nadmiernej emisji odprowadzanych do atmosfery zanieczyszczeń pyłowych i gazowych [2].

Aktualnie w Europie działa blisko 500 instalacji termicznego przekształcania odpadów, z czego 8 w Polsce – Tab. 3.

Łącznie aktualnie pracujące instalacje są w stanie przetworzyć 1114 tys. Mg odpadów komunalnych. Po zakończeniu rozbudowy instalacji w Warszawie i Rzeszowie zdolności przerobowe osiągną wartość 1459 tys. Mg.

Tab. 3. Instalacje termicznego przekształcania odpadów w Polsce. Źródło: opracowanie własne

Tab. 3. Waste thermal treatment installations in Poland. Source: own study

Nazwa	Lokalizacja	Rok uruchomienia	Wydajność tys. Mg/rok	Zdolność odzysku energii
Zakład Unieszkodliwiania Stałych Odpadów Komunalnych	Warszawa	2001 po rozbudowie 2024	40 po rozbudowie 305	10,5 GWh _e 67 GWh _t po rozbudowie 100 GWh _e 200 GWh _t
Zakład Termicznego Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych	Konin	2015	94	47 GWh _e 33 GWh _t
Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych	Białystok	2016	120	43 GWh _e 100 GWh _t
Zakład Termicznego Przekształcania Odpadów w Krakowie (Ekospalarnia)	Kraków	2016	220	65 GWh _e 280 GWh _t
Instalacja Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych	Poznań	2016	210	130 GWh _e 83 GWh _t 108 GWh _e ^{a)} 146 GWh _t ^{a)}
Zakład Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych	Bydgoszcz	2017	180	88,5 GWh _e 180 GWh _t
Zakład Unieszkodliwiania Odpadów	Szczecin	2017	150	88 GWh _e 256 GWh _t 88,5 GWh _e ^{a) b)} 202 GWh _t ^{a) b)}
Instalacja Termicznego Przetwarzania z Odzyskiem Energii	Rzeszów	2018 po rozbudowie 2024	100 po rozbudowie 180	37 GWh _e 123 GWh _t

^{a)} dane za 2022 r., ^{b)} produkcja brutto bez uwzględnienia potrzeb zakładu

Tab. 4. Cementownie posiadające instalacje do termicznego przekształcania odpadów. Źródło: opracowanie własne na podstawie [6, 14]

Tab. 4. Cement plants with installations for thermal waste treatment. Source: own study based on [6, 14]

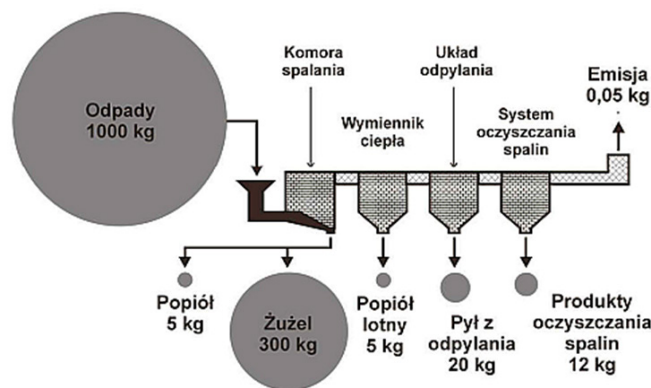
Cementownia	Właściciel	Lokalizacja (województwo)	Moce przerobowe [tys. Mg/rok]	Moce wykorzystane ^{a)} [%]	Odzysk energii ^{a)} [GWh _t]
Karsy	Cement Ożarów S.A.	świętokrzyskie	1 000	30,9	1 718
Chełm	Cemex Polska sp. z o.o.	lubelskie	934	33,8	1 674
Rudniki		śląskie	201		387
Bielawy	Lafarge Cement S.A.	kujawsko-pomorskie	430	32,5	1 155
Małogoszcz		świętokrzyskie	634		1 018
Góraźdże	Góraźdże Cement S.A.	opolskie	580	80,2	2 874
Nowiny	Dyckerhoff Polska sp. z o.o.	świętokrzyskie	510	27,7	848
Trębaczew	Warta S.A.	łódzkie	260	55,3	0,3
Opole	Odra S.A.	opolskie	85	36,4	229

^{a)} dane za rok 2020, za [14]

Tab. 5. Planowane budowy instalacji termicznego przekształcania odpadów. Źródło: opracowanie własne na podstawie [7]

Tab. 5. Planned construction of thermal waste treatment installations. Source: own study based on [7]

Lokalizacja	Wydajność [tys. Mg/rok]	Uwagi
Łódź	150	
Łódź	200	
Bełchatów	180	
Ruda Śląska	80–120	
Bielsko-Biała	100	min. wartość opałowa odpadów 12 MJ/kg
Będzin	200	
Chorzów	100	
Oświęcim	130 + 20 ^{a)}	^{a)} odpady komunalne + osady ściekowe
Inowrocław	310	głównie odpady komunalne z niewielkim strumieniem odpadów przemysłowych
Gliwice	46	w tym 6 tys. Mg podsuchzonych osadów ściekowych
Tychy	25	spalanie RDFu Refuse Derived Fuel – paliwa obejmujące szeroką gamę odpadów, które zostały przetworzone w celu osiągnięcia wysokiej wartości opałowej. RDF, najczęściej stosowany jest w odniesieniu do frakcji kalorycznej odpadów o dużej wartości opałowej (zwykle około 18 MJ na kilogram masy).
Rzeszów	50–100	druga spalarnia w mieście
Chrzanów	23,6	spalanie RDFu w ciepłowni
Andrychów	30	
Krosno	22	
Starachowice	30	



Rys. 2. Przykładowy bilans masy spalarni odpadów komunalnych. Źródło: [4]
 Fig. 2. An example of a mass balance of a municipal waste incineration plant. Source: [4]

W trakcie budowy są instalacje w Gdańsku i Olsztynie, których realizacja powinna być zakończona w 2023 r. Ich uruchomienie to szansa na przetworzenie kolejnych 260 tys. Mg odpadów.

Pócz typowych instalacji do termicznego przekształcania odpadów komunalnych z odzyskiem energii (Tab. 3) istnieją współspalarnie odpadów w cementowniach oraz w zakładzie energetycznym. Należy jednak zauważyć różnicę pomiędzy spalarnią a współspalarnią. Ta pierwsza ma za zadanie przekształcanie odpadów, natomiast używana energia jest niejako efektem ubocznym. W przypadku współspalarni spalane odpady wraz z innymi paliwami mają na celu wytworzenie energii, która jest wykorzystywana w procesach podstawowych danego zakładu (produkcja cementu i klinkieru, wytwarzanie energii elektrycznej i ciepłej) [13].

Współspalanie odpadów w cementowniach jest możliwe dzięki specjalnie dedykowanym instalacjom do termicznego przekształcania odpadów, których w Polsce jest 9 – Tab. 4.

Wskazane w Tab. 4 cementownie mają łączny potencjał przerobowy na poziomie ok. 4,6 mln Mg odpadów rocznie. W 2020 r. wykorzystane zostało tylko 39,3% mocy przerobowych, tj. przekształceniu poddano 1819,9 tys. Mg odpadów odzyskując przy tym energię w ilości 9,9 TWh. Należy zaznaczyć, że ponad 87% spalonych odpadów to odpady o kodzie 19 12 10, natomiast nie spalano odpadów z grupy 20, tj. odpadów komunalnych [14]. Na uwagę zwraca również fakt, że sukcesywnie w cementowniach węgiel zastępowany jest paliwami alternatywnymi (tu: odpadami). W 2019 r. w ogólnym wolumenie paliwa do zasilania procesów produkcyjnych udział odpadów stanowił 75% [5].

Współspalarnia w zakładzie energetycznym została zrealizowana w Elektrociepłowni Zabrze (Fot. 4) w zakładzie energetycznego spalania paliw. Zgodnie z posiadanym pozwoleniem, Elektrociepłownia może poddawać termicznemu przekształceniu 450 tys. Mg odpadów rocznie, w tym 250 tys. Mg odpadów komunalnych oraz pochodzących z przetworzenia odpadów komunalnych. W 2020 r. instalacja odzyskała 396 GWh spalając 101,7 tys. Mg odpadów o kodzie 19 12 10, z czego 81,1 tys. Mg stanowiły odpady komunalne [14].

Obecnie w Polsce istnieje kilkadziesiąt projektów, które rozważają na przestrzeni najbliższych kilku – kilkunastu lat możliwość budowy instalacji termicznego przekształcania odpadów. Stopień zaawansowania tych projektów jest mocno zróżnicowany i obejmuje instalacje o wydajności od 22 do

310 tys. Mg/rok – Tab. 5. Jest również wskazanych kilkanaście innych lokalizacji (np. Katowice, Wodzisław Śląski), jednak w chwili obecnej brak jest jakichkolwiek danych na temat ewentualnych instalacji.

Aktualnie przepustowość czynnych instalacji przekształcania odpadów jest niewystarczająca w stosunku do potrzeb, co może skutkować tym, że zabraknie wolnej pojemności na składowiskach [1]. Wobec powyższego, budowa kolejnych instalacji wydaje się być koniecznością. Jednak dążąc w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym należy dążyć w kierunku maksymalnego wykorzystania surowców. Przekształceniu termicznemu powinny być poddawane przede wszystkim odpady nienadające się do recyklingu.

Odpady generują nowe odpady

Na skutek termicznego przekształcania odpadów komunalnych powstaje szereg produktów, będących efektem spalania. Ich rodzaj oraz ilość w głównej mierze zależy od struktury spalanych odpadów komunalnych (należy zauważyć, że struktura ta charakteryzuje się pewną zmiennością w czasie – sezonowością, co jest związane z porami roku, w których powstają spalane odpady komunalne), ale także od technologii spalania odpadów oraz technologii oczyszczania spalin.

Efekt termicznego przekształcania odpadów komunalnych (w procesie spalania) jest powstawanie stałej pozostałości w postaci żużli i popiołów paleniskowych. Do tego dochodzą jeszcze tzw. popioły lotne. Powstają one na skutek przepływu powietrza przez strefę spalania, które „porywa” drobne cząsteczki ciał stałych tworząc emisję pyłu z procesu spalania. Wraz ze wzrostem prędkości przepływu powietrza i w związku z tym lepszym natlenianiem strefy spalania emisja pyłów jest większa. Wielkość emisji pyłów jest uzależniona od wielu czynników, m. in. technologii spalania odpadów, ale też od zawartości substancji niepalnych w paliwie (odpadach komunalnych). Głównym składnikiem pyłów są związki krzemu, glinokrzemiany, tlenki żelaza, ale też związki alkaliczne, w szczególności tlenki siarki. Z uwagi na ochronę środowiska niezbędne jest oczyszczanie spalin – reguluje to dyrektywa unijna 2010/75/WE. System oczyszczania spalin jest dość skomplikowany i składa się z kilku elementów:

- odpylania gazów spalinowych;
- usuwania gazów kwaśnych;
- usuwania tlenków azotu;

Tab. 6. Klasyfikacja produktów termicznego przekształcania odpadów komunalnych wg [11]. Źródło: opracowanie własne

Tab. 6. Classification of municipal waste thermal treatment products according to [11]. Source: own study

Miejsce powstania odpadów	Nazwa odpadu wg Rys. 2	Kod odpadu	Grupy, podgrupy i rodzaje odpadów wg katalogu odpadów
Komora spalania	Żużel, popiół paleniskowy	19 01 11*	Żużle i popioły paleniskowe zawierające substancje niebezpieczne
		19 01 12	Żużle i popioły paleniskowe inne niż wymienione w 19 01 11
Wymiennik ciepła	Popiół lotny	19 01 13*	Popioły lotne zawierające substancje niebezpieczne
		19 01 14	Popioły lotne inne niż wymienione w 19 01 13
Układ odpylania	Pył z odpylania	19 01 15*	Pyły z kotłów zawierające substancje niebezpieczne
		19 01 16	Pyły z kotłów inne niż wymienione w 19 01 15
System oczyszczania spalin	Produkty oczyszczania spalin	19 01 05*	Osady filtracyjne (np. placek filtracyjny) z oczyszczania gazów odlotowych
		19 01 06*	Szlamy i inne odpady uwodnione z oczyszczania gazów odlotowych
		19 01 07*	Odpady stałe z oczyszczania gazów odlotowych
	Zużyte sorbenty (węgiel aktywny)	19 01 10*	Zużyty węgiel aktywny z oczyszczania gazów odlotowych

Odpady oznaczone * (gwiazdka) oznaczają odpady niebezpieczne

Tab. 7. Gospodarcze wykorzystanie żużli i popiołów paleniskowych w niektórych państwach UE. Źródło: opracowanie własne na podstawie [16]

Tab. 7. Commercial use of slags and bottom ashes in some EU countries. Source: own study based on [16]

Państwo	Stopień wykorzystania gospodarczego [%]	Sposób wykorzystania gospodarczego
Austria	0	kierowane na składowiska
Belgia	100	materiały budowlane
Czechy	0	kierowane na składowiska
Dania	98	budownictwo drogowe
Francja	30	materiały budowlane
Hiszpania	0	kierowane na składowiska
Holandia	75	budownictwo drogowe
Niemcy	85	budownictwo drogowe
Portugalia	0	kierowane na składowiska
Szwecja	85	budownictwo drogowe
Wielka Brytania	40	budownictwo drogowe
Włochy	20	budownictwo drogowe

- usuwania metali ciężkich;
- usuwania związków organicznych.

Niewątpliwą zaletą termicznego przekształcania odpadów jest redukcja objętości odpadów na wejściu do instalacji w porównaniu z objętością na wyjściu z instalacji i kształtuje się na poziomie 80–95%. Z kolei redukcja masy wynosi od 60 do 70% [9].

Na Rys. 2 pokazano przykładowy bilans masy spalarni odpadów komunalnych. Pokazane wartości wychodu poszczególnych frakcji należy traktować orientacyjnie.

Prócz produktów spalania pokazanych na Rys. 2 występują również jako odpady wszelkiego rodzaju sorbenty wykorzystane w procesie oczyszczania spalin, albo w postaci ciał stałych (np. węgiel aktywny w przypadku metody „suchej”) bądź szlamów (w przypadku technologii „mokrej”). Wysuszone szlamy określane są jako tzw. placki filtracyjne.

Każdy produkt spalania (tu: odpad wtórny) podlega zaklasyfikowaniu do właściwej grupy odpadów zgodnie z katalogiem odpadów [11]. Klasyfikację tę w odniesieniu do odpadów zidentyfikowanych na Rys. 2 przedstawiono w Tab. 6.

Jak wynika z Tab. 6, część odpadów jest kwalifikowana jako niebezpieczne z uwagi na zawartość w nich substancji niebezpiecznych. W zdecydowanej większości żużle i popioły paleniskowe nie są kwalifikowane jako odpady niebezpieczne, dzięki czemu mogą być wykorzystane gospodarczo. Niemniej jednak przed skierowaniem ich do ponownego wykorzystania poddaje się je wstępnej obróbce, której celem jest separacja frakcji metalicznej (odzyskanie złomu metali). Docelowo

materiał ten najczęściej wykorzystywany jest w budownictwie drogowym (Polska), bądź do produkcji prefabrykatów budowlanych.

Mimo możliwości wykorzystania żużli i popiołów paleniskowych w budownictwie, w niektórych krajach Unii Europejskiej odpady te kierowane są na składowiska – Tab. 7. Najprawdopodobniej jest to konsekwencja bardziej restrykcyjnych przepisów krajowych w stosunku do Dyrektywy Unijnej.

O wiele poważniejszy problem stanowią odpady z oczyszczania gazów spalinowych (popioły lotne, pyły z oczyszczania gazów odlotowych), które zawierają znaczne ilości metali ciężkich oraz produkty niepełnego spalania (dioksyny, bifenyle, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne itp.). Ponieważ są to odpady zaliczane do grupy odpadów niebezpiecznych, w Polsce odpady te kierowane są – po wcześniejszej dodatkowej obróbce (immobilizacji) – na specjalnie przygotowane powierzchniowe składowiska odpadów niebezpiecznych. W Tab. 8 zestawiono ilości popiołów i pyłów zakwalifikowanych jako niebezpieczne (odpady „z gwiazdka”), wytwarzanych przez spalarnie odpadów komunalnych.

W przypadku odpadów stanowiących mieszkankę odpadów oznaczonych odpowiednimi kodami, mieszkanka może być przyporządkowana tylko do jednego kodu odpadów. Wówczas pod tym kodem próbka odpadów przechodzi przez cały proces zarządzania odpadami dla potrzeb odzysku lub unieszkodliwiania.

Odpady wskazane w Tab. 8 stanowią niespełna 4% masy przekształcanych termicznie odpadów komunalnych. Wydaje się to być sukcesem, ale tylko pozornie. Trzeba pamiętać, że ta

Tab. 8. Roczny wolumen wtórnych odpadów niebezpiecznych (frakcja sucha) wytworzonych w 2019 r. przez krajowe instalacje termicznego przekształcania odpadów komunalnych. Źródło: opracowanie własne

Tab. 8. Annual volume of secondary hazardous waste (dry fraction) generated in 2019 by domestic installations for the thermal treatment of municipal waste. Source: own study

Nazwa instalacji, lokalizacja	Ilość wytworzonych odpadów o określonych kodach [Mg/rok]			
	19 01 07*	19 01 11*	19 01 13*	19 01 15*
Zakład Unieszkodliwiania Stałych Odpadów Komunalnych, Warszawa	952,52		196,08	
Zakład Termicznego Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych, Konin	2 533,36 ^{a)}		^{a)}	698,72
Instalacja Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych, Poznań	7 487,34 ^{b)}	^{b)}		b.d.
Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych, Białystok	3 024,91 ^{c)}			^{c)}
Zakład Termicznego Przekształcania Odpadów, Kraków	2 211,76		6 051,78	
Zakład Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych, Bydgoszcz	5 069,00		900,00	
Zakład Unieszkodliwiania Odpadów, Szczecin			300,00 ^{d)}	7 000,00 ^{e)}
Instalacja Termicznego Przetwarzania z Odzyskiem Energii, Rzeszów	2 000,00		2 000,00	
R A Z E M	23 278,89		9 447,86	7 698,72
S U M A	40 425,47			

^{a)} mieszanka 19 01 07* i 19 01 13*, odpady zbierane we wspólnym silosie, kod 19 01 07* dominujący

^{b)} mieszanka 19 01 07* i 19 01 11*, odpady zbierane we wspólnym silosie, kod 19 01 07* dominujący

^{c)} mieszanka 19 01 07* i 19 01 15*, odpady zbierane we wspólnym silosie, kod 19 01 07* dominujący

^{d)} mieszanka dodatku i sorbentu

^{e)} ciężka frakcja pyłu kotłowego i lekka frakcja z filtra elektrostatycznego łącznie

W przypadku odpadów stanowiących mieszankę odpadów oznaczonych odpowiednimi kodami, mieszanka może być przyporządkowana tylko do jednego kodu odpadów. Wówczas pod tym kodem próbka odpadów przechodzi przez cały proces zarządzania odpadami dla potrzeb odzysku lub unieszkodliwiania.

ilość odpadów po odpowiedniej obróbce trafi na składowisko odpadów niebezpiecznych.

Podsumowanie

Instalacje do termicznego przekształcania odpadów komunalnych cieszą się dużą popularnością na całym świecie, a w szczególności w krajach o wysokim stopniu rozwoju. Wymusza to niewątpliwie rozwój cywilizacyjny w poszczególnych krajach. Polska stara się nadążyć za tym trendem, o czym świadczą działające już spalarnie, oraz te, które zostaną uruchomione w najbliższej przyszłości. I choć budzą wiele kontrowersji, to niewątpliwie mają duży wpływ na rozwiązania związane ze składowaniem odpadów. Nie podlega dyskusji uzyskany efekt energetyczny.

Jakikolwiek proces spalania pozostawia po sobie spalania. Podobnie jest w spalarniach odpadów komunalnych. Spórą część produktów spalania – odpadów wtórnych – można wykorzystać gospodarczo. Jednak pozostają niewielkie ilości odpadów („z gwiazdką”), które ze względu na swoją specyfikę nie mogą być wykorzystane gospodarczo i w związku z tym trafiają na składowiska odpadów niebezpiecznych. Działanie to nie jest korzystne od strony finansowej, niesie ze sobą także potencjalnie niekorzystne oddziaływanie na środowisko. W związku z tym koniecznym staje się poszukiwanie innych rozwiązań, które pozwolą na ograniczenie ilości odpadów trafiających na składowiska odpadów niebezpiecznych.

Literatura – References

1. Hryb W., Cęglarz K. Odpady komunalne w aspekcie gospodarki o obiegu zamkniętym. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2021.
2. <http://www.forum-dyrektorow.pl/cms/artykuly/cykl-artykulow-autor-wojciech-janka#historia-gospodarki-odpadami> (dostęp 12.06.2023).
3. <http://www.kampania-ekon.pl/pl/odpady> (dostęp: 12.06.2023).
4. <https://docplayer.pl/21778633-Wtorne-odpady-ze-spalania-odpadow-komunalnych-bariery-i-perspektywy-ich-wykorzystania.html> (dostęp 13.06.2023).
5. <https://www.polskicement.pl/2022-informator-spc-przemysl-cementowy-w-liczbach/> (dostęp 13.06.2023).
6. <https://przemylisrodowisko.pl/cementownie-i-zaklady-energetycznego-spalania-paliw-ich-udzial-w-termicznym-przekształcaniu-odpadow-w-polsce/> (dostęp 13.06.2023).
7. Koziół M. Możliwość substytucji węgla paliwami z odpadów w warunkach polskich. Rynek Energii nr 3, 2022.
8. Lewis H. Centenary History of Waste and Waste Managers in London and South East England. The Chartered Institution of Wastes Management. 2007.
9. Mokrosz W. Ekologiczne aspekty oczyszczania spalin ze spalarni odpadów komunalnych i przemysłowych. <https://docplayer.pl/6677159-Ekologiczne-aspekty-oczyszczania-spalin-ze-spalarni-odpadow-komunalnych-i-przemyslowych.html> (dostęp 13.06.2023).
10. Ochrona środowiska 2022. Główny Urząd Statystyczny. Warszawa 2022.
11. Rozporządzenie Ministra Klimatu z dnia 2 stycznia 2020 r. w sprawie katalogu odpadów. Dz. U. 2020 r., poz. 10.
12. Uchwała Rady Ministrów z dnia 12 czerwca 2023 r. w sprawie Krajowego planu gospodarki odpadami 2028. Monitor Polski z 2023 r. poz. 702.
13. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach. Dziennik Ustaw 2013, poz. 21.
14. Waszczyłko-Miłkowska B., Kamińska-Borak J. Raport Termiczne przekształcanie odpadów komunalnych w Polsce w roku 2020 – dane BDO. Instytut Ochrony Środowiska, Państwowy Instytut Badawczy. Warszawa 2021.
15. Wielgosiński G. Termiczne przekształcanie odpadów. Wydawnictwo Nowa Energia, Racibórz 2020.
16. Vehlou J., Bergfeldt B., Wilen C., Ranta J., Schwaiger H., Visser H J.M., Gu S., Gyftopoulou E., Brammer J. Management of Solid Residues In Waste-to-Energy and Biomass Systems. Forschungszentrum Karlsruhe (FZKA 7347). Karlsruhe 2007.

Hazardous Secondary Waste from Municipal Waste Incineration Installations

Waste has always accompanied man. As human evolution progressed, not only the quality of waste changed, but also its quantity. Already in antiquity, attempts were made to organize the issue of waste, which over the centuries resulted in various legal regulations. The last 150 years have seen a rapid development of techniques and technologies aimed at solving problems related to waste, including municipal waste. This was forced, among others, by the industrial revolution, which was accompanied by the rapid development of cities associated with the increase in the number of inhabitants, and as a consequence, the amount of generated waste increased. Current activities, especially in the European Union, are aimed at the maximum use of waste, limiting its storage in landfills for re-use. One of the elements in this chain of activities is the incineration of municipal waste, which significantly reduces the amount of waste sent to landfills. However, the problem is secondary waste, which is the product of combustion and is classified as hazardous waste. After being properly treated, they end up in hazardous waste landfills, which, despite the use of advanced security measures, pose a potential threat to the environment.

Keywords: *municipal waste, waste incineration, secondary waste*