

Waste incineration plant as a source of renewable energy based on the Eco-Incineration Plant Cracow

Spalarnia odpadów jako źródło energii odnawialnej na przykładzie Ekospalarni Kraków



DOI: 10.15199/62.2025.4.5

The technol. of thermal waste conversion in a cogeneration system was presented, which allows the production of heat and electricity in cooperation with the municipal heating network. The impact of this process on reducing greenhouse gas emissions was also discussed. As an example of the effective implementation of this model, the Krakow Eco-Incineration Plant was presented, which annually converts more than 230,000 t of waste. About half of the energy generated comes from the biodegradable fraction, which classifies it as a renewable source. The plant also supports a closed-loop economy by recovering metals and reducing CO₂ emissions.

Keywords: thermal waste conversion, renewable energy, CO₂ emissions, heat recovery, metal recovery

Zakłady Termicznego Przekształcania Odpadów (ZTPO) są ważnym elementem gospodarki odpadami, umożliwiając zagospodarowanie frakcji nienadającej się do recyklingu i jednocześnie wytwarzanie energii. W analizie przedstawiono technologię termicznego przekształcania odpadów w układzie kogeneracyjnym, który pozwala na produkcję energii cieplnej i elektrycznej we współpracy z miejską siecią ciepłowniczą. Omówiono także wpływ tego procesu na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych. Przykładem efektywnej realizacji tego modelu jest Ekospalarnia Kraków, która rocznie przekształca ponad 230 tys. t Mg odpadów. Około połowa wytwarzanej energii pochodzi z frakcji biodegradowalnej, co klasyfikuje ją jako źródło odnawialne. Instalacja wspiera również gospodarkę o obiegu zamkniętym poprzez odzysk metali i ograniczanie emisji CO₂.

Słowa kluczowe: termiczne przekształcanie odpadów, energia odnawialna, emisja CO₂, odzysk ciepła, odzysk metali

Termiczne przekształcanie odpadów jako źródło energii

Zakłady termicznego przekształcania odpadów komunalnych (ITPOK) odgrywają kluczową rolę w nowoczesnym zarządzaniu odpadami. Zakłady te, które spalają z odzyskiem energii odpady, w których 60% stanowi biomasa, są

uznawane za odnawialne źródło energii, proporcjonalnie do udziału biomasy w procesie spalania.

ITPOK skutecznie rozwiązują problem odpadów resztkowych, które nawet przy realizacji ambitnego celu recyklingu na poziomie 65% do 2035 r. będą stanowić ok. 30% masy odpadów komunalnych. Zgodnie z obowiązującymi przepisami odpady te nie mogą być składowane, ponieważ jest to najmniej korzystne rozwiązanie dla środowiska w hierarchii gospodarki odpadami. Termiczne przekształcanie odpadów w wyspecjalizowanych zakładach, wykorzystywanych do produkcji energii cieplnej i elektrycznej, stanowi jedyną efektywną metodę ich zagospodarowania. Przykład krakowskiej Ekospalarni pokazuje, jak tego typu instalacje przyczyniają się do rozwoju zrównoważonego mixu energetycznego, zwiększenia efektywności wykorzystania zasobów oraz zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych. ITPOK mogą stanowić istotny element energetycznego mixu, budować niezależność energetyczną regionów, a także stanowić alternatywę dla konwencjonalnych źródeł energii. Analiza uwzględnia również technologiczne i operacyjne aspekty współpracy ITPOK z sieciami ciepłowniczymi, co jest kluczowe dla optymalnego wykorzystania potencjału energetycznego tych instalacji.



Mgr Jakub BATOR (ORCID: 0000-0002-5986-719X) ukończył studia menedżerskie na Uniwersytecie Jagiellońskim. Od 2011 r. jest członkiem zarządu ds. produkcji Krakowskiego Holdingu Komunalnego SA, odpowiedzialnym za funkcjonowanie Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów w Krakowie. W latach 2015–2022 r. pełnił jednocześnie funkcję dyrektora ZTPO. Jest jednym z założycieli oraz członkiem zarządu Stowarzyszenia Producentów Energii z Odpadów (SPEO), wiceprezydentem Confederation of European Waste-to-Energy Plants (CEWEP), członkiem European Federation of Local Energy Companies (CEDEC) oraz członkiem European Energy Forum (EEF). W swojej pracy koncentruje się na idei doskonalenia procesów zarządzania, zarządzania projektami i zarządzania celami. Jest w trakcie pracy nad rozprawą doktorską na AGH w Krakowie pt. „Zastosowanie wysokowapniowych popiołów lotnych z termicznej utylizacji odpadów w procesie karbonatyzacji”.

* Adres do korespondencji:

Krakowski Holding Komunalny SA, ul. J. Brożka 3, 30-347 Kraków; tel.: +48 662-221-211, e-mail: jbator@khk.krakow.pl

Proces technologiczny termicznego przekształcania odpadów na przykładzie Ekospalarni w Krakowie

Zakład Termicznego Przekształcania Odpadów w Krakowie (ZTPO Kraków; Ekospalarnia) został uruchomiony w grudniu 2015 r. Podstawowym procesem prowadzonym w ZTPO jest termiczne przekształcanie odpadów komunalnych z jednoczesnym wytwarzaniem w procesie kogeneracji energii cieplnej i elektrycznej. Odpady przyjmowane do ZTPO poddawane są procesowi termicznego przekształcania w procesie odzysku energii (R1), co oznacza wykorzystanie ich głównie jako paliwa lub innego środka wytwarzania energii. Odzysk energii zawartej w odpadach nienadających się do recyklingu w procesie R1¹⁾ polega na wykorzystaniu energii cieplnej wytworzonej podczas spalania odpadów do produkcji energii elektrycznej oraz wykorzystaniu w procesie kogeneracji pozostałego ciepła do zasilania miejskiej sieci ciepłowniczej²⁾. W procesie odzysku energii realizowanym w krakowskiej Ekospalarni z 1 t odpadów uzyskuje się średnio ok. 400 kWh energii elektrycznej oraz 1666 kWh energii cieplnej³⁾. Roczna maksymalna wydajność masowa instalacji wynosi 245 tys. t/r przetwarzanych odpadów, a maksymalna wydajność godzinowa linii technologicznej 15,5 t/h, przy wartości opałowej odpadów wynoszącej 8,4 MJ/kg oraz przy maksymalnej mocy (pojemności) cieplnej komory spalania wynoszącej 36,03 MW. Roczna nominalna wydajność instalacji wynosi 220 tys. t/r przetwarzanych odpadów, a nominalna wydajność godzinowa jednej linii, przy nominalnej wartości opałowej odpadów wynoszącej 8,8 MJ/kg, wynosi 14,1 t/h. W tabeli 1 przedstawiono ilość przetworzonych odpadów od początku funkcjonowania ZTPO Kraków, a w tabeli 2 informacje o ilości wytworzonej energii elektrycznej i cieplnej.

Strumień odpadów kierowanych do instalacji ZTPO składa się z niesegregowanych odpadów komunalnych (kod

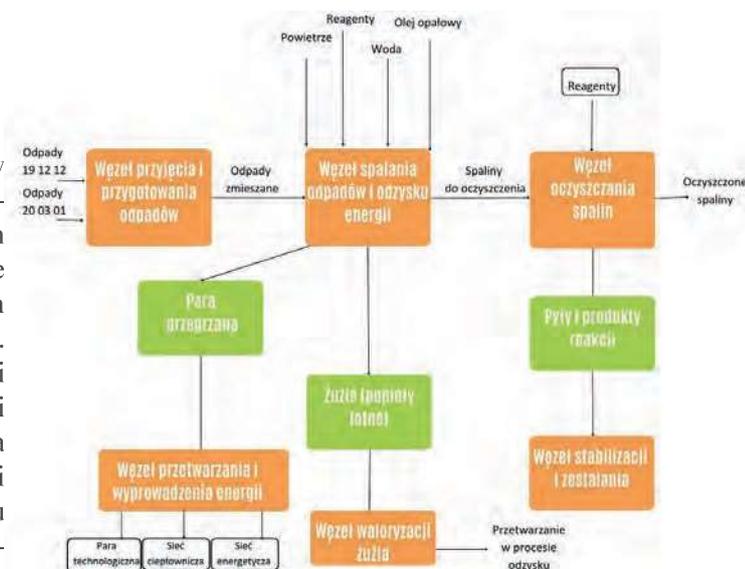


Fig. 1. Block diagram of the technological process at ZTPO (own elaboration based on²⁾)

Rys. 1. Schemat blokowy procesu technologicznego w ZTPO (opracowanie własne na podstawie²⁾)

20 03 01) dostarczanych z miasta Krakowa oraz odpadów z mechanicznej obróbki odpadów innych niż wymienione w 19 12 11 (kod 19 12 12), powstałych w wyniku sortowania odpadów w nowoczesnej sortowni należącej do Spółki MPO Kraków, czyli odpadów materiałowych, wielkogabarytowych i poremontowych. Schemat blokowy procesu technologicznego ZTPO przedstawiono na rys. 1.

Proces termicznego przekształcania odpadów jest prowadzony na dwóch niezależnych liniach technologicznych składających się z 6 węzłów (rys. 2). Węzeł przyjęcia i przygotowania odpadów do procesu spalania jest wspólny dla obydwu linii termicznego przekształcania odpadów. Zważone i zarejestrowane odpady kierowane są do zamkniętej hali rozładunkowej, gdzie znajduje się jednokomorowy bunkier na odpady. W bunkrze zastosowano system odwodnienia i odprowadzania odcieków oraz układ umożliwiający czyszczenie. Bunkier wyposażony jest w dwie suwnice z chwytakami. Za pomocą chwytaków odbywa się mieszanie odpadów mające na celu ujednoczenie składu przed podaniem ich do lejów zsypowych.

Węzeł spalania odpadów i odzysku energii oparty jest na palenisku rusztowym zintegrowanym z kotłem. Każda linia termicznego przekształcania odpadów zawiera oddzielny węzeł spalania odpadów i odzysku energii. Węzeł składa się z systemu spalania odpadów na ruszcie, w skład

Table 1. Amount of treated waste at ZTPO Krakow in 2016–2023 (own calculations based on data from KHK SA)

Tabela 1. Ilość przetworzonych odpadów w ZTPO Kraków w latach 2016–2023 (opracowanie własne na podstawie danych z KHK SA)

Kod odpadów ⁴⁾	06.2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
	t/r							
19 12 12	66 236	107 588	96 784	110 652	142 852	144 046	141 435	144 558
20 03 01	46 598	109 538	123 166	108 916	81 229	87 707	88 900	87 657
Suma	112 834	217 127	219 951	219 570	224 081	231 754	230 335	232 215

Table 2. Amount of energy generated at ZTPO Kraków in 2016–2023 (own study based on data from KHK SA)

Tabela 2. Ilość wytworzonej energii w ZTPO Kraków w latach 2016–2023 (opracowanie własne na podstawie danych z KHK SA)

Rodzaj energii	06.2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
	MWh/r							
Energia elektryczna	42 656	80 544	82 641	91 751	94 278	100 890	98 527	94 935
Energia cieplna	99 646	218 706	229 865	272 662	293 172	295 205	296 514	320 790

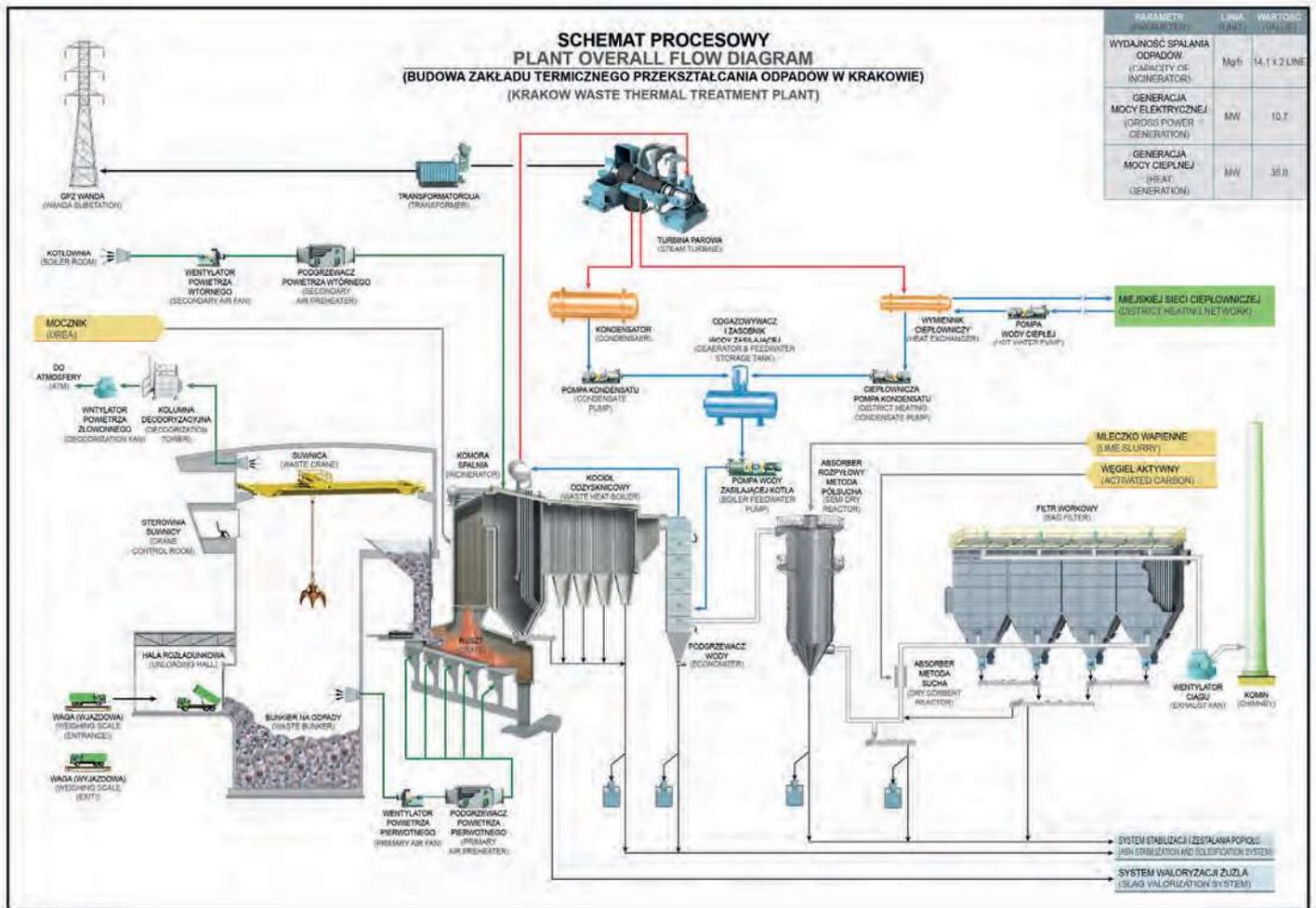


Fig. 2. Thermal waste treatment process at the ZTPO Kraków (own elaboration based on data from KHK SA)

Rys. 2. Przebieg procesu termicznego przekształcania odpadów w ZTPO Kraków (opracowanie własne na podstawie danych z KHK SA)

którego wchodzi: (i) układ podawania odpadów, (ii) układ rusztu chłodzonego powietrzem, (iii) układ doprowadzenia powietrza pierwotnego i wtórnego do spalania, (iv) palniki rozpalkowe i podtrzymujące proces spalania w przypadku spadku temperatury, (v) odzyskanie i odpowielanie oraz (vi) system odzysku energii cieplnej, w skład którego wchodzi obieg wodno-parowy wraz z układem dozowania chemikaliów do wody zasilającej kocioł. Głównym urządzeniem w układzie odzysku energii jest kocioł odzysknicowy walczakowy z naturalnym obiegiem spalin, w którym zachodzi wymiana ciepła.

Węzeł przetworzenia i wyprowadzania energii jest wspólny dla obydwu linii. W jego skład wchodzi wyspa turbinowa wraz z wymiennikiem ciepła, układem kolektorowym odbioru pary oraz układem wyprowadzania energii. Proces wytwarzania energii elektrycznej bazuje na obiegu wodno-parowym, w skład którego wchodzi następujące układy technologiczne: (i) układ turbiny (układ turbiny wraz z generatorem energii elektrycznej), (ii) układ pary głównej, pary o niskim ciśnieniu oraz pary upustowej, (iii) kondensator z chłodzeniem wodnym, (iv) układ wody zasilającej, (v) układ kondensatu i (vi) próżniowy układ skraplacza. Wytworzona energia cieplna jest dostarczana do miejskiej sieci ciepłowniczej miasta Krakowa w postaci wody pod-

Table 3. Results of the morphological analysis of municipal waste delivered to ZTPO Kraków (own study based on data from KHK SA)

Tabela 3. Wyniki analizy morfologicznej odpadów komunalnych dostarczanych do ZTPO Kraków (opracowanie własne na podstawie danych z KHK SA)

Fracja morfologiczna	20 03 01	19 12 12
	% mas.	
Odpady organiczne kuchenne	24,05	6,24
Odpady organiczne ogrodowe	4,73	6,28
Papier	18,76	29,72
Drewno	0,65	2,37
Tworzywa sztuczne twarde	7,63	8,51
Tworzywa sztuczne miękkie	8,26	9,37
Szkoło	5,2	2,75
Tekstyli	4,88	3,4
Metale żelazne	2,23	1,37
Metale nieżelazne	0,7	0,85
Odpady niebezpieczne	0,1	0,22
Kompozyty (odpady wielomateriałowe)	5,69	7,62
Odpady inertne	0,85	1,33
Inne kategorie	9,11	6,91
Fracja < 10 mm	7,16	13,06
Łącznie	100,00	100,00

grzanej do temperatury zależnej od warunków pogodowych, a w okresie letnim o stałej temp. 70°C, i wykorzystywana jest do ogrzewania ciepłej wody użytkowej. Wytworzona energia elektryczna zużywana jest na potrzeby własne ZTPO Kraków oraz przekazywana do sieci zewnętrznej.

W węźle waloryzacji żużla następuje odzysk metali żelaznych i nieżelaznych. Żużel oraz popioły paleniskowe powstające w procesie spalania odpadów kierowane są do odżuźlaczy z zamknięciem wodnym, skąd po schłodzeniu do temperatury poniżej 90°C kierowane są za pomocą przenośników na sita wibracyjne. Na sitach wibracyjnych wydzielana jest frakcja o rozmiarze nie większym niż 300 mm, kierowana następnie za pomocą zamkniętego układu przenośników, z zainstalowanym separatorem metali żelaznych i nieżelaznych, z głównego budynku procesowego do węzła waloryzacji żużla zlokalizowanego w budynku gospodarki pozostałościami procesowymi. Powstały żużel może być wykorzystany powtórnie. Klasyfikuje się go jako odpad obojętny i w takiej postaci może zostać użyty do recyklingu materiałowego, np. jako kruszywo w budownictwie drogowym⁴). Otrzymany podczas spalania popiół paleniskowy zawiera materiały, które można ponownie wykorzystać jako źródło odzysku metali żelaznych i nieżelaznych. Warto tu wspomnieć, że są to metale z odpadów o takim zanieczyszczeniu lub składzie, że nie jest możliwe odzyskanie ich w żaden inny sposób aniżeli poprzez proces termicznego przekształcania odpadów.

Szacuje się, że żużle oraz popioły paleniskowe zawierają 5–15% metali żelaznych i 1–5% metali nieżelaznych. Należy jednak zaznaczyć, że zawartość metali w żużu i popiołach jest zależna również od składu spalanych odpadów oraz od ich eksploatacji. Wydajne odzyskiwanie metali z procesu spalania odpadów komunalnych stanowi integralną część zrównoważonej gospodarki odpadami. Dzięki zaawansowanym technikom pozwalającym na separację metali proces ten przyczynia się do wypełnienia luki w gospodarce o obiegu zamkniętym⁵).

Dla powstających w procesie spalania gazów odlotowych zaprojektowano węzeł oczyszczania spalin metodą półsuchą, składający się z następujących etapów: (i) redukcja tlenków azotu metodą selektywnej niekatalitycznej redukcji tlenków azotu (SNCR) z wtryskiem mocznika, (ii) neutralizacja związków chloru, siarki i fluoru półsuchą metodą odsiarczania spalin (SDR) z wtryskiem mlecza wapiennego, (iii) usuwanie całkowitego węgla organicznego, dioksyn i furanów oraz par rtęci poprzez wtrysk pylistego węgla aktywnego, i (iv) filtrowanie cząstek stałych z zastosowaniem filtrów workowych.

W węźle stabilizacji i zestalania obróbce poddawane są popioły lotne wytworzone w urządzeniach układu odzysku energii oraz stałe pozostałości z systemu oczyszczania spalin, zlokalizowanych w głównym budynku procesowym. Podstawowym celem stabilizowania i zestalania jest przekształcenie pozostałości procesowych wykazujących właściwości niebezpieczne na odpady inne niż niebezpieczne,

przez ich mieszanie z odpowiednimi dodatkami i spoiwami hydraulicznymi²).

Odpady w Krakowie

W 2022 r. jeden mieszkaniec Polski wytworzył średnio 355 kg odpadów komunalnych⁶). Zgodnie z systemem gospodarowania odpadami komunalnymi w Krakowie zebrane odpady trafiają m.in. do ZTPO. Przed uruchomieniem ZTPO w Krakowie w czerwcu 2016 r. odpady trafiały głównie na składowisko odpadów komunalnych „Barycz”. W ostatnich latach oprócz składowiska centrum ekologiczne Barycz zostało wyposażone w instalację mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów (MBP), kompostownię oraz sortownię odpadów. Na terenie Krakowa znajdują się również punkty selektywnej zbiórki odpadów. W 2023 r. w krakowskiej Ekospalarni termicznie przetworzono ponad 232 tys. t odpadów pochodzenia komunalnego.

Aby określić skład morfologiczny odpadów komunalnych, które są poddawane termicznej obróbce, przeprowadzana jest analiza morfologiczna i chemiczna odpadów. Analizie poddawane są próbki odpadów komunalnych zmieszanych (20 03 01) oraz odpadów balastowych po przetwarzaniu odpadów komunalnych (19 12 12). Naważka każdej próbki wynosiła ok. 200 kg lub 1 m³. W tabeli 3 przedstawiono przykładowo wybrane wyniki przeprowadzonych badań (badania zostały przeprowadzone w dniach 27 kwietnia i 4 maja 2023 r.).

W składzie morfologicznym analizowanych próbek dominowały odpady organiczne, w dalszej kolejności istotną część masy stanowił papier i tworzywa sztuczne. Frakcje te są w dużej mierze pozbawione materiałów nadających się do recyklingu (papier i tworzywa sztuczne są mocno zabrudzone; znaczną część papieru stanowią zużyte jednorazowe ręczniki). W odpadach o kodzie 19 12 12 dominował papier oraz tworzywa sztuczne. Z przeprowadzonej analizy wynika, że odpady te składają się głównie

Table 4. The amount of heat recovered by individual municipal waste incineration plants in 2022¹⁰

Tabela 4. Ilość ciepła odzyskanego przez poszczególne spalarnie odpadów komunalnych w 2022 r.¹⁰

Przedsiębiorstwo	Produkcja ciepła z odpadów komunalnych, GJ
Polska (ogółem)	6 294 153
Krakowski Holding Komunalny	1 433 689
ZUO Szczecin	961 440
Pronatura Bydgoszcz	868 184
MZGOK Konin	831 491
PUHP Lech Białystok	544 688
PGE Energia Rzeszów	461 624
MPO Warszawa	277 190
PREZERO Poznań	915 847
ZUO Szczecin	628 667

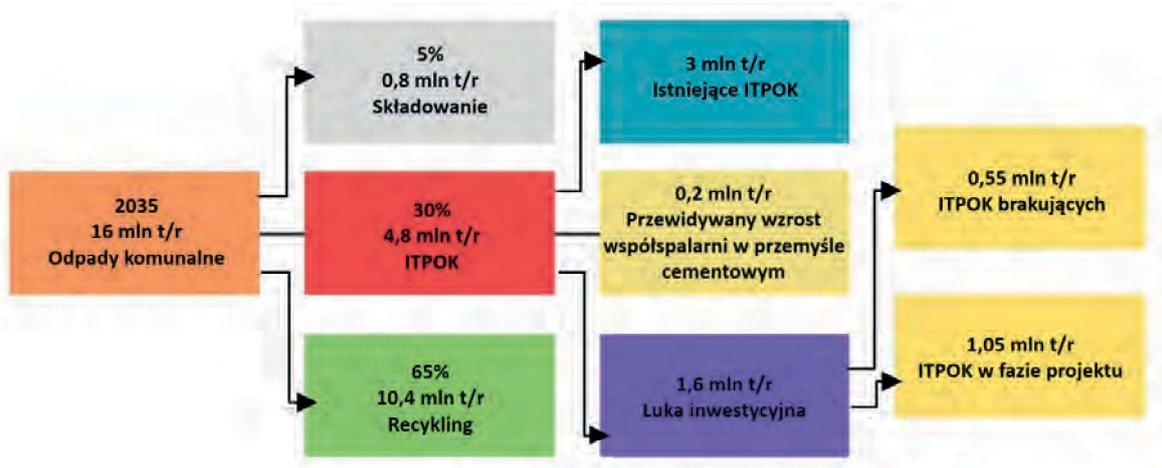


Fig. 3. Polish TPOK plants compared to a circular economy – outlook for 2035¹⁾

Rys. 3. Polskie instalacje TPOK a gospodarka o obiegu zamkniętym – perspektywa 2035 r.¹⁾

z materiałów nienadających się do recyklingu lub których recykling można uznać za nieuzasadniony ze względów technicznych lub ekonomicznych. Są to m.in. opakowania składające się z kilku rodzajów tworzyw (PP/PE/PS/PET), opakowania spożywcze zanieczyszczone resztkami żywności oraz opakowania w postaci folii PP.

W ZTPO Kraków pobiera się próbkę na każde 500 t dostarczonych opadów dla obu kodów: 20 30 01 oraz 19 12 12, jednak nie rzadziej niż jeden raz w każdy dzień roboczy. Minimalna liczba próbek pierwotnych pobieranych z partii odpadów wynosi 24, pojedyncza próbka waży ok. 1 g. Pobrane zgodnie z normą próbki wysyłane są do akredytowanego laboratorium, które przeprowadza analizę zawartości biomasy. Zawartość biomasy w próbce ustalana jest na podstawie metody selektywnego rozpuszczania lub zawartości izotopu węgla ¹⁴C. Po wykonanym badaniu zakład otrzymuje raport z badań, na podstawie którego składa wniosek do Urzędu Regulacji Energetyki (URE) o wydanie certyfikatu pochodzenia.

Dostawy tych odpadów odbywają się w dni robocze. Każdego dnia do zakładu dostarczanych jest do 1 tys. t odpadów. Pobór próbek odbywa się ręcznie ze świeżej hałdy odpadów tworzonej w bunkrze na odpady. Próbka pierwotna wydobywana jest za pomocą koparko-ładowarki lub ręcznie wsięgnikiem. W okresie dostaw partii pobierane są przynajmniej 3 próbki ważące ok. 12 kg każda. Z tych próbek powstaje średnia dobowo uzyskana metodą uśredniania, kartowania i pomniejszania. Masa próbki laboratoryjnej po tym procesie waha się w zakresie 5–10 kg.

Następnie próbki przekazywane są do akredytowanego laboratorium, gdzie dokonuje się badań kaloryczności dostarczonych odpadów. Równolegle kaloryczność oblicza się metodą pośrednią na podstawie danych z systemu sterowania i wizualizacji (DCS), opracowanego przez producenta kotłów, na podstawie bilansu energetycznego kotłów. Otrzymując te dwa wyniki, dokonuje się ich uśrednienia i powstaje średnia wartość opałowa dostarczonych

odpadów w danym dniu, a następnie w danym miesiącu i roku.

W Polsce odpady pochodzące z selektywnej zbiórki (tzw. odpady resztkowe) są kierowane do instalacji mechaniczno-biologicznego przetwarzania (MBP), gdzie podlegają segregacji na poszczególne frakcje. Frakcja balastowa (kod 19 12 12) o wysokiej wartości opałowej trafia do dalszego energetycznego wykorzystania w cementowniach oraz instalacjach termicznego przekształcania odpadów komunalnych (TPOK).

W kraju funkcjonuje obecnie 9 instalacji TPOK (kolejne powstają np. w Gdańsku, Olsztynie, Warszawie, Krośnie, Starachowicach i Nysie). W Krajowym Planie Gospodarki Odpadami 2028⁷⁾ określono wymagane moce przerobowe instalacji termicznego przekształcania odpadów, które mają być dostępne do eksploatacji do 2034 r., z łączną roczną wydajnością na poziomie 4,2 mln t. Oznacza to, że brakująca wydajność tych instalacji, po uwzględnieniu instalacji, które są aktualnie w fazie eksploatacji, o wydajności łącznej 1,435 mln t/r wyniesie ok. 2,765 mln t/r¹⁾.

Na rys. 3 przedstawiono graficzne zobrazowanie bilansu luki inwestycyjnej w zakresie instalacji termicznego przekształcania odpadów w odniesieniu do wymagań gospodarki o obiegu zamkniętym przewidzianych na 2035 r.¹⁾ i najistotniejsze kierunki wzrostu udziału termicznego przekształcania w gospodarce odpadami komunalnymi w Polsce od 2024 r. Kolejnym blokom przypisano kolory charakterystyczne dla metod przetwarzania odpadów: szary – składowanie, zielony – recykling i czerwony – przetwarzanie odpadów na energię. Niebieski i fioletowy opisują kolejne kroki w opisie bilansu potencjału ITPOK w Polsce, a żółte bloki opisują realistyczne prognozy wzrostu udziału ITPOK i lukę inwestycyjną w tym obszarze¹⁾.

Termiczne przekształcanie odpadów z odzyskiem energii pełni i nadal będzie pełnić rolę uzupełniającą wobec recyklingu w systemie gospodarowania odpadami komu-

nalnymi. Instalacje spalania odpadów stanowią integralny element kompleksowego systemu gospodarki o obiegu zamkniętym³⁾.

Termiczny odzysk energii z odpadów jako źródło energii odnawialnej

Termiczne przekształcanie odpadów z odzyskiem energii może odbywać się wg różnych technologii, a do najważniejszych z nich należy zaliczyć: (i) klasyczne spalanie na ruszcie, (ii) pirolizę, (iii) zgazowanie i (iv) instalacje plazmowe³⁾.

Wykorzystywana w ZTPO w Krakowie metoda to spalanie na ruszcie. Około połowa energii wytwarzanej w tej technologii jest kwalifikowana jako energia odnawialna. Jednocześnie ZTPO posiadają status odnawialnego źródła energii.

Podstawą do zakwalifikowania energii odzyskanej z odpadów jako źródła energii odnawialnej jest udział frakcji biodegradowalnej w odpadach. Zawartość frakcji biodegradowalnej w odpadach poddanych termicznemu przekształcaniu jest potwierdzana urzędowo poprzez zielone certyfikaty. Certyfikaty te są wydawane przez prezesa Urzędu Regulacji Energetyki na wniosek producenta energii elektrycznej. Zielone certyfikaty stanowią instrument PMOZE (prawa majątkowe do świadectw pochodzenia dla energii elektrycznej pochodzącej ze źródeł odnawialnych), potwierdzający jej pochodzenie ze źródeł, takich jak wiatr, woda, geotermia, słońce i biomasa. Krakowski Holding Komunalny SA w 2017 r., jako operator ZTPO Kraków i jako pierwszy w Polsce zakład termicznego przekształcania odpadów, otrzymał od Urzędu Regulacji Energetyki zielone certyfikaty. Warunkiem możliwości starania się o uzyskanie świadectw pochodzenia energii ze źródeł odnawialnych jest ciągle przeprowadzanie badań przetwarzanych odpadów. Badania te określają udział frakcji biodegradowalnej w ogólnej masie przyjmowanych odpadów.

Aby zwiększyć udział energii pochodzącej z odnawialnego źródła, w ZTPO podejmowanych jest wiele inicjatyw mających na celu implementację nowych technologii zwiększających efektywność energetyczną. Przykładem takiego działania jest zamontowanie modułów fotowoltaicznych na dachach obiektów ZTPO Kraków. Kolejną inicjatywą było zamontowanie na elewacji ultralekkich, wytrzymałych i elastycznych paneli wykonanych z włókna szklanego z krystalicznymi krzemowymi ogniwami słonecznymi. Zastosowanie tych paneli jest programem pilotażowym, ponieważ ten rodzaj paneli został wykorzystany po raz pierwszy w Polsce. Obecnie z instalacji

fotowoltaicznej wytwarza się 51 MWh energii elektrycznej. Jest ona wykorzystywana na potrzeby własne Zakładu.

Kolejnym projektem mającym na celu zwiększenie wydajności energetycznej jest oddana do eksploatacji w 2023 r. instalacja odzysku ciepła ze spalin. Odpady komunalne przekształcane w ZTPO Kraków zawierają 30–50% wilgoci. W rezultacie część ciepła generowanego podczas procesu spalania jest wykorzystywana do odparowania wilgoci zawartej w paliwie. Przed uruchomieniem instalacji odzysku ciepła energia ta była bezpowrotnie tracona wraz ze spalinami. Obecnie zastosowanie instalacji odzysku ciepła umożliwi jego odzyskiwanie w procesie kondensacji pary wodnej. Uruchomienie instalacji pozwoliło na dodatkową produkcję ok. 66 GWh ciepła rocznie oraz ok. 1,8 GWh energii elektrycznej rocznie, bez konieczności zwiększania ilości spalanych odpadów.

Źródła energii cieplnej w Krakowie

Kraków w 2021 r. wykazał szczytowe zapotrzebowanie na moc cieplną w wysokości ok. 1900 MW. Blisko 90% tej energii wytworzono ze spalania węgla kamiennego. Głównym producentem energii w Krakowie jest Elektrociepłownia PGE Energia Ciepła Oddział nr 1 w Krakowie, odpowiadająca za ponad 70% ciepła dostarczanego do mieszkańców. Drugim największym przedsiębiorstwem dostarczającym energię w Krakowie jest elektrociepłownia Skawina z udziałem w rynku ok. 20%. Zakład wytwarza energię ze spalania węgla. Trzecim co do wielkości dostawcą energii w Krakowie jest ZTPO Kraków odpowiadający za dostarczenie ok. 10% zapotrzebowania miasta na energię cieplną⁸⁾. W ZTPO Kraków energia produkowana jest w procesie wysokosprawnej kogeneracji z wykorzystaniem odpadów komunalnych. Największych producentów ciepła w Krakowie przedstawiono na rys. 4.

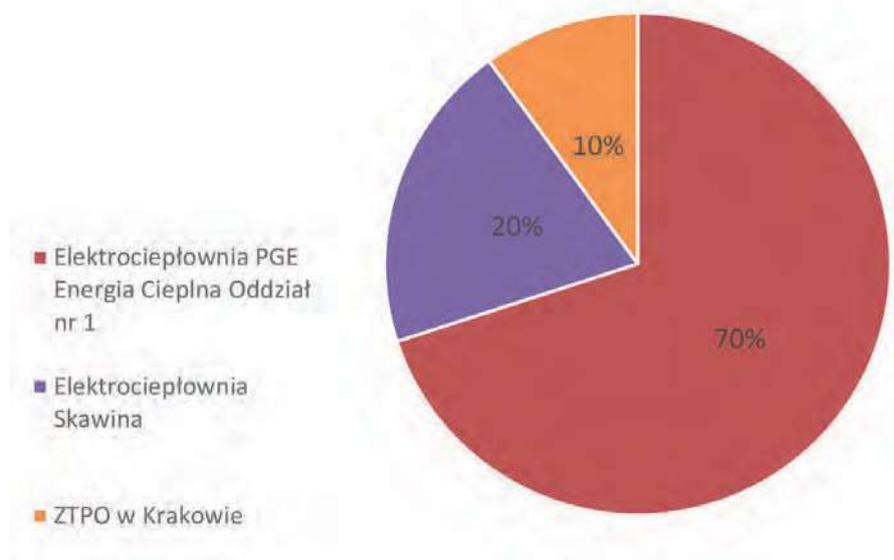


Fig. 4. The largest heat producers in Krakow (own study)

Rys. 4. Najwięksi producenci ciepła w Krakowie (opracowanie własne)

Warto zwrócić uwagę, że energia wyprodukowana przez ZTPO Kraków powoduje mniejszą emisję zanieczyszczeń (w tym CO₂) niż ta wyprodukowana w elektrociepłowniach węglowych. Około 50% energii wytwarzanej w ZTPO pochodzi z termicznego przetworzenia biomasy, która jest neutralna pod względem emisji CO₂. Dzięki temu działalność ta wspiera realizację celów Unii Europejskiej dotyczących zmniejszenia emisji CO₂ poprzez zwiększenie udziału energii z odnawialnych źródeł w miksie energetycznym⁹⁾.

Współpraca z siecią ciepłowniczą jako warunek wysokiej efektywności energetycznej

Spalarnie odpadów komunalnych w procesie R1 odzyskały łącznie 6 294 153 GJ energii w 2022 r. (tabela 4), co w przeliczeniu na 1 t przekształcanych odpadów wynosiło 5,7 GJ energii¹⁰⁾. Z tabeli 4 wynika, że sieć ciepłownicza w Krakowie odbiera największą ilość ciepła pochodzącego z termicznego przetworzenia odpadów. Zgodnie z danymi przekazanymi przez MPEC Kraków w 2024 r. na potrzeby systemu ciepłowniczego zakupiono 1 324 213 GJ ciepła wytworzonego w ITPOK i 11 279 068 GJ ciepła od PGE, CEZ i ZTPO. Udział ciepła z ZTPO Kraków w miejskiej sieci ciepłowniczej wyniósł 11,7% w 2024 r.

Zarówno ZTPO Kraków, jak i sieć ciepłownicza spełniają określone warunki pozwalające na osiągnięcie tak wysokiego wyniku. W ZTPO Kraków znajduje się układ ciepłowniczy złożony z 3 wymienników ciepłowniczych: poziomych, cylindrycznych płaszczowo-rurowych, z czego jeden wymiennik pracuje tylko w warunkach małego obciążenia. Podstawowe wymienniki ciepła mogą dostarczyć do sieci ciepło w ilości minimalnej 4,4 MWh. Przepływ wody w miejskiej sieci ciepłowniczej jest wymuszany przez 2 odśrodkowe pompy wody gorącej z regulacją obrotów za pomocą przetwornika częstotliwości. Obie pompy pracują jako pompy podstawowe. Przepływ wody sieciowej jest zmienny w okresie grzewczym, a stały w pozostałym okresie. Zakres zmienności strumienia wody sieciowej wynosi 500–1500 m³/h. Regulacja mocy cieplnej następuje w sposób jakościowo-ilościowy, w zależności od zewnętrznej temperatury powietrza. Właścicielem sieci ciepłowniczej jest Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej SA w Krakowie (MPEC). Ciepło z miejskiej sieci, liczącej obecnie 948,89 km¹¹⁾ (z czego niemal 70% to rury preizolowane wykonane w najnowocześniejszej technologii umożliwiającej sygnalizowanie ewentualnych, niekontrolowanych wycieków wody) trafia do mieszkańców i budynków użyteczności publicznej¹²⁾.

ZTPO Kraków wytwarza stały strumień ciepła wynikający z ilości i jakości aktualnie dostarczanego paliwa, czyli odpadów, nie gwarantując tym samym ciągłego zasilania dla wydzielonego obszaru, którego cechą charakterystyczną jest zmienne zapotrzebowanie na ciepło.

W celu wypełnienia postanowień ustawy¹³⁾ oraz stworzenia możliwości ekonomicznej pracy źródła i tym samym zapewnienia odbioru przez miejskie sieci ciepłownicze maksymalnych ilości ciepła wytwarzanego w ZTPO Kraków, konieczna jest praca na tzw. wspólną i otwartą sieć ciepłą ze źródłem o zmiennej charakterystyce, w tym przypadku z Elektrociepłownią PGE Energia Ciepła Oddział nr 1 w Krakowie. O tym, w jaki sposób i w jakiej ilości odbierana będzie ze źródeł ciepła energia, decyduje operator systemu.

Po zakończeniu sezonu grzewczego dla zmaksymalizowania odbioru ciepła wytworzonego przez ZTPO Kraków konieczne jest poszerzenie jego obszaru zasilania. W tym okresie źródło to będzie praktycznie pracowało na obszar wydzielony, jednak z zachowaniem możliwości kompensacji zmian w zapotrzebowaniu na moc cieplną przez źródło PGE, które będzie także stabilizowało poziom ciśnienia w tym obszarze.

Rola ITPOK w energetyce cieplnej w Polsce

Energetyka cieplna w Polsce musi zmierzyć się z procesem przejścia od paliw kopalnych do innych źródeł energii. ITPOK mogą stanowić ważny element tej transformacji, dostarczając 10% potrzebnej energii cieplnej. Jak podaje Urząd Regulacji Energetyki (URE)¹⁴⁾, w 2022 r. badane przedsiębiorstwa ciepłownicze dysponowały sieciami o łącznej długości 22 578,4 tys. km (w 2021 r. było to 22 223,0 km), a wartość mocy cieplnej zainstalowanej wynosiła 53 188,4 MW, zatem w okresie 2002–2022 zmniejszyła się z 70 952,8 MW. Dywersyfikacja paliw zużywanych do produkcji ciepła postępuje bardzo powoli. W dalszym ciągu dominują paliwa węglowe, których udział w 2022 r. stanowił niemal 66,2% paliw zużywanych w źródłach ciepła (w 2020 r. było to 69%, w 2019 r. 71%, w 2018 r. 72,5%, a w 2017 r. 74%). Od 2002 r. udział paliw węglowych zmniejszył się o 15,5%, a jednocześnie wzrósł o 5,6% udział paliw gazowych i o 9,7% z OZE.

W kolejnych latach, jak podaje URE, do 2040 r.¹⁴⁾ strumień ciepła pochodzącego z instalacji termicznego przekształcania odpadów powinien mieć pierwszeństwo nad innymi dostawcami ciepła do systemu, w ilości wynikającej z udziału ilości paliw pochodzących z lokalnych odpadów w całym strumieniu paliw zużywanych do procesu spalania.

Średnia wartość opałowa odpadów przekształcanych w ZTPO Kraków wynosi za okres 6 lat 9,23 MJ/kg (tabela 5). Jednak jest ona zmienna w ciągu roku i może wahać się od średniej miesięcznej wartości 8,2 MJ/kg do nawet 10,3 MJ/kg.

Zgodnie z danymi opublikowanymi przez URE, w 2022 r.¹⁴⁾ ilość ciepła dostarczonego do odbiorców przyłączonych do sieci wyniosła 233 134,41 TJ. Spalarnie odpadów w Polsce odpowiadały za ok. 2% całkowitej ilości ciepła dostarczonego do sieci ciepłowniczych, co stanowiło łącznie 6 294 153 GJ. Produkcja tej ilości energii wymagała

Table 5. Average calorific value of waste energetically transformed at ZTPO Kraków in 2018–2023 (own study based on KHK SA data)

Tabela 5. Średnia wartość opałowa energetycznie przekształcanych odpadów w ZTPO Kraków w latach 2018–2023 (opracowanie własne na podstawie danych KHK SA)

Rok	Kaloryczność, MJ/kg
2018	8,95
2019	9,82
2020	8,78
2021	9,50
2022	9,38
2023	8,94
Średnia	9,23

wskazują na lukę w zagospodarowaniu odpadów wynoszącą ok. 3 mln t/r. Są to odpady, które nie nadają się do recyklingu, a jedyną alternatywą dla ich składowania pozostaje termiczne przekształcenie³⁾. Zakładając, że morfologia odpadów pozostanie zbliżona do obecnej, a ich wartość opałowa nie ulegnie zmianie, potencjalna produkcja energii mogłaby wzrosnąć do 20 PJ, co stanowiłoby ok. 9% udziału w krajowym rynku ciepła.

Emisja CO₂ i możliwości jej zmniejszenia

Aby zakłady termicznego przekształcania odpadów mogły odgrywać istotną rolę w strukturze źródeł energii, konieczne będzie rozwiązanie problemu emisji ditlenku węgla. W pierwszej kolejności należy powiedzieć o tym, że spalanie odpadów w ZTPO powoduje znacznie mniejszą emisję gazów cieplarnianych niż ich składowanie. Nawet przy ostatnich postępach w zwiększeniu poziomu recyklingu odpadów ok. 175 mln t odpadów jest nadal składowanych w krajach UE. Składowanie odpadów w takiej ilości w konsekwencji doprowadziło do ponad 140 mln t emisji CO₂¹⁵⁾.

Analizując emisję CO₂ z ZTPO Kraków, nie można ograniczać się jedynie do rejestracji ilości CO₂ emitowanego przez komin do atmosfery. Należy uwzględnić również takie czynniki, jak: (i) odzysk metali w procesie przeróbki żużli, który istotnie przyczynia się do ograniczenia emisji CO₂, (ii) udział frakcji biodegradowalnej, który wpływa na emisję CO₂ neutralną pod względem wpływu na zmiany klimatu i (iii) zwiększona emisja gazów cieplarnianych, jaka wystąpiłaby w przypadku składowania odpadów, w tym znaczna emisja metanu.

Oprócz CO₂ zakłady termicznego przekształcania odpadów emitują również inne rodzaje zanieczyszczeń. Dzięki zaawansowanym systemom oczyszczania spalin poziom tych emisji pozostaje jednak znacznie poniżej restrykcyjnych norm prawnych. W tabeli 6 przedstawiono wartości dopuszczalnych emisji dla instalacji termicznego przekształcania odpadów¹⁶⁾ oraz emisje zarejestrowane przez ZTPO Kraków.

spalania ok. 1 mln t odpadów, przy średniej wartości opałowej wynoszącej 10 MJ/kg, zależnej od rodzaju odpadów dostarczanych do instalacji¹⁴⁾. Jak już wspomniano, analizy dotyczące wymaganej wydajności krajowych spalarni odpadów komunalnych w kontekście spełnienia wymagań gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ) na 2035 r.

Table 6. Air pollution emissions at ZTPO Kraków (after December 3, 2023)²⁾

Tabela 6. Emisja do powietrza zanieczyszczeń w ZTPO Kraków (po dniu 3.12.2023 r.)²⁾

Substancja	Dopuszczalna emisja, kg/r	Emisja z instalacji ZTPO w 2023 r., kg/r
Pył ogółem	6 918	305,3
Substancje organiczne w postaci gazów i par wyrażone jako całkowity węgiel organiczny	13 556	437,3
Chlorowodór	10 845	894,6
Fluorowodór	1 356	124,3
Ditlenek siarki	54 224	13 237,8
Tlenek węgla	67 780	10 648,9
Tlenki azotu	245 316	174 705,6
Dioksyiny i furany	0,000081	0,00001
Amoniak	21 918	952,2
Siarkowodór	990	2,4
Metale ciężkie i ich związki wyrażone jako metal		
Kadm + tal	27	1,9
Rtęć	14	2,4
Antymon + arsen + ołów + chrom + kobalt + miedź + mangan + nikiel + wanad	407	98,1

Niezbędnym krokiem dla osiągnięcia zrównoważonego rozwoju ZTPO, ukierunkowanym na dalsze ograniczenie emisji CO₂, może być wdrożenie technologii wychwytu, składowania i utylizacji ditlenku węgla CCUS (*carbon capture, utilization and storage*). Technologia ta zyskuje rosnące zainteresowanie wśród państw członkowskich UE oraz Szwajcarii i Norwegii, które wspólnie eksploatują ponad 530 spalarni odpadów komunalnych. Priorytetem pozostaje rozwój technologii CCUS oraz zmniejszenie jej kosztów, co zwiększyłoby dostępność tej metody w praktyce przemysłowej¹⁷⁾.

Wychwyty i magazynowane CO₂ (sekwestracja) to proces, który polega na wyizolowaniu tego gazu cieplarnianego ze strumieni gazów procesowych lub spalin (skompresowany ditlenek węgla), a następnie przetransportowanie go gazociągami lub statkami do obszarów permanentnego składowania w formacjach geologicznych CCS (*carbon capture and storage*). Może też być wykorzystany do produkcji chemikaliów, paliw, nawozów i innych produktów CCU (*carbon capture and utilization*)¹⁸⁾.

Wśród obecnie stosowanych metod sekwestracji najistotniejszą rolę odgrywają: (i) metody biologiczne, czyli wychwyty CO₂ poprzez biosferę (proces fotosyntezy, który zapewnia redukcję ditlenku węgla za pomocą naturalnej energii słonecznej i procesu biologicznego do postaci tlenu¹⁹⁾), fitoremediacja, definiowana jako wykorzystanie roślin zielonych do usuwania zanieczyszczeń z miejsca skażenia lub unieszkodliwiania¹⁹⁾; (ii) fizyczne składo-

wanie, czyli tzw. składowanie w głębokich strukturach geologicznych lub w dnach morskich, w celu ograniczenia emisji CO₂ do atmosfery; technologia wychwytu i składowania ditlenku węgla w głębokich strukturach geologicznych (w górotworze lub w dnach morskich), co prawda nie pozwala na bezpośrednie obniżenie antropogenicznej emisji CO₂, uważana jest jednak za najbardziej obiecującą i dostępną w krótkim czasie technologię, która pozwalałaby na zmniejszenie ilości emitowanego do atmosfery CO₂, a tym samym na złagodzenie skutków antropogenicznej emisji tego gazu¹⁸⁾; oraz (iii) metody chemiczne, czyli mineralna karbonatyzacja, zwana również mineralną sekwestracją; metoda ta może być rozważana zarówno w kontekście składowania, jak i utylizacji CO₂; polega na reakcji CO₂ z tlenkami metali (np. tlenek magnezu, tlenek wapnia); w wyniku połączenia powstają cementopodobne substytuty, gotowe do dalszego przetwarzania, takie jak substytut materiału budowlanego (pustaki, materiały budowlane), substytut nawozu mineralnego (wzmoczona humifikacja, biologiczna inicjacja kwasów huminowych, pozwalająca roślinom przy rekultywacji nieużytków wzbogacić wegetację), który może być również wykorzystywany jako nawóz wapniowy do odkwaszania gleb w rolnictwie.

Metoda chemicznej sekwestracji pozwala przekształcać CO₂ z odpadów w wartościowe produkty, takie jak chemikalia, paliwa, jednocześnie przyczyniając się do łagodzenia zmian klimatu. Dobrym przykładem jest tu zastosowanie geopolimerów, które są produkowane z żużla wielkopieczowego i stanowią ciekawą alternatywę dla materiałów budowlanych, które są stosowane obecnie w przemyśle. Żużel wielkopieczowy powstaje podczas produkcji surówki z rudy żelaza, a tym samym stanowi produkt poboczny, który przy zastosowaniu odpowiedniej technologii może zostać wykorzystany jako wartościowy produkt w przemyśle budowlanym. Z uwagi na fakt, że w Polsce zwiększa się zapotrzebowanie na cement o ok. 10% w skali rocznej, a branża cementowa należy do jednej z najbardziej energochłonnych gałęzi przemysłu, istotne jest poszukiwanie rozwiązań, które ostatecznie będą powodować mniejszą emisję CO₂ do atmosfery i jednocześnie zaspokajać zapotrzebowanie na podstawowe materiały budowlane¹⁸⁾.

Kluczowe znaczenie ma również opłacalność tej działalności, ponieważ produkty powstałe w procesie muszą być możliwe do sprzedaży na rynku. Istotne jest, aby dekarbonizacja środowiska odbywała się nie tylko poprzez wcześniej wskazane procesy, które wymagają dużych nakładów finansowych, technologicznych oraz odpowiednich uwarunkowań środowiskowych. Równie ważne jest prowadzenie badań na małą skalę przy uwzględnieniu lokalnych uwarunkowań jednostki powodującej emisję gazów cieplarnianych do atmosfery, które prowadzą do uzyskania wartościowych produktów. Przykładem może być wychwytywanie i utylizacja CO₂ z zastosowaniem popiołów lotnych²⁰⁾. Popioły

lotne, będące produktami ubocznymi procesu spalania paliw kopalnych, charakteryzują się różnorodnym składem chemicznym, zależnym od źródła ich pochodzenia. Ze względu na zawartość takich związków, jak ditlenek krzemu (SiO₂), tlenek glinu (Al₂O₃), tlenek żelaza(III) (Fe₂O₃) oraz tlenek wapnia (CaO) stanowią cenny materiał odpadowy o dużym potencjale do ponownego wykorzystania zarówno pod względem ekologicznym, jak i ekonomicznym. Dzięki wysokiej zawartości glinu i krzemu popioły lotne są szczególnie obiecujące w kontekście syntezy geopolimerów, co czyni je wartościowym materiałem do dalszego przetwarzania²⁰⁾.

Podsumowanie

Zakłady Termicznego Przekształcania Odpadów (ZTPO) odgrywają kluczową rolę w nowoczesnej gospodarce odpadami i energetyce. Proces termicznego przekształcania, na przykładzie ZTPO Kraków, skutecznie zagospodarowuje odpady, które nie mogą być poddane recyklingowi, jednocześnie dostarczając energię cieplną i elektryczną. W Krakowie udział ciepła z ZTPO w miejskiej sieci ciepłowniczej wynosi ok. 10%, co stanowi znaczący wkład w zrównoważone zaopatrzenie w energię.

Technologia ta umożliwia efektywne wykorzystanie odpadów, z których ok. 50% masy stanowią frakcje biodegradowalne, neutralne pod względem emisji CO₂. Dzięki temu ZTPO wspierają realizację celów unijnych dotyczących zmniejszania emisji gazów cieplarnianych oraz zwiększania udziału odnawialnych źródeł energii w miksie energetycznym.

Wprowadzenie instalacji odzysku ciepła ze spalin oraz implementacja systemów fotowoltaicznych w ZTPO Kraków wskazuje na ciągły rozwój technologiczny w kierunku poprawy efektywności energetycznej i ekologicznej. Dodatkowo odzysk metali z żużli i popiołów paleniskowych wpisuje się w założenia gospodarki o obiegu zamkniętym, minimalizując ilość odpadów trafiających na składowiska.

Mimo wielu korzyści, wyzwaniem pozostaje emisja CO₂. W przyszłości wdrożenie technologii wychwytu, składowania i utylizacji CO₂ (CCUS) może stanowić istotny krok w dalszym ograniczaniu negatywnego wpływu na środowisko.

Podsumowując, ZTPO to nie tylko efektywna metoda zagospodarowania odpadów, ale również istotny element systemu energetycznego, który przyczynia się do dekarbonizacji sektora energetyki cieplnej i realizacji założeń gospodarki o obiegu zamkniętym. Model krakowskiej Ekospalarni może posłużyć jako wzór dla innych miast w Polsce, poszukujących zrównoważonych i ekonomicznych rozwiązań w gospodarce odpadami i energetyce.

Otrzymano: 17-02-2025

Zrecenzowano: 17-03-2025

Zaakceptowano: 30-03-2025

Opublikowano: 18-04-2025

LITERATURA

- [1] M. Banaś, T. Pająk, J. Bator, W. Wróbel, J. Ciuła, *Energies (Basel)* 2024, **17**, nr 10, 7.
- [2] Decyzja Pozwolenie Zintegrowane dla: Instalacji – Zakład Termicznego Przekształcania Odpadów, zlokalizowanego przy ul. Jerzego Giedroycia 23 w Krakowie, z dnia 16 kwietnia 2024 r.
- [3] G. Wielgosiński, *Termiczne przekształcanie odpadów*, Nowa Energia, Racibórz 2020.
- [4] N. Czuma, W. Franus, P. Baran, A. Ćwik, K. Zarębska, *Turk. J. Chem.* 2020, **44**, nr 1, 155.
- [5] P. Baran, M. Nazarko, E. Włosińska, A. Kanciruk, K. Zarębska, *J. Clean Prod.* 2021, **293**, 1.
- [6] Główny Urząd Statystyczny, *Analizy statystyczne. Ochrona środowiska*, Warszawa 2023.
- [7] Uchwała nr 96 Rady Ministrów z dnia 12 czerwca 2023 r. w sprawie Krajowego planu gospodarki odpadami 2028, BIP MŚIK.
- [8] Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej SA w Krakowie, Taryfa dla ciepła z dnia 13 grudnia 2021 r.
- [9] M. Gurin, O. Niemyjski, *Instal* 2015, nr 7/8, 10.
- [10] B. Waszczytko-Miłkowska, J. Kamińska-Borak, *Termiczne przekształcanie odpadów komunalnych w Polsce w roku 2020, Raport IOŚ-PIB*, 2021.
- [11] Raport Środowiskowy za rok 2023, Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej SA w Krakowie, 2023, <https://www.mpec.krakow.pl/o-nas/raporty>.
- [12] Mapa ciepła dla Krakowa, 2021, <https://www.mpec.krakow.pl/news/mapa-ciepła-dla-krakowa/46>.
- [13] Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii, *Dz.U.* 2024, poz. 1361.
- [14] Urząd Regulacji Energetyki, *Energetyka ciepła w liczbach – 2022*, <https://www.ure.gov.pl/pl/ciepło/energetyka-ciepła-w-l/11407,2022.html>.
- [15] J. Hausner, B. Białecka, *Prace Nauk. GIG Górnictwo Środ.* 2012, nr 2, 37.
- [16] 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.
- [17] International Energy Agency, *Global CO₂ emissions in 2019*, IEA, 2020, <https://www.iea.org/articles/global-co2-emissions-in-2019>.
- [18] B. Igliński, R. Buczkowski, M. Cichosz, *Technologie bioenergetyczne*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 2009.
- [19] S. Tripathi, V.K. Singh, P. Srivastava, R. Singh, R.S. Devi, A. Kumar, R. Bhadouria, [w:] *Abatement of environmental pollutants* (red. P. Singh, A. Kumar, A. Borthakur), Elsevier 2020.
- [20] N. Czuma, D. Ciupek, J. Bator, K. Czerw, K. Zarębska, *Mat. Konf. Energy Environment and Storage of Energy*, 19–21.11.2020 r., Kayseri, Turcja.



Przemysł Chemiczny jest najstarszym polskim, branżowym czasopismem, wydawanym od 1917 r. Miesięcznik od 1964 r. jest notowany na tzw. liście filadelfijskiej najlepszych naukowych pism świata.

Miesięcznik adresowany jest do **menedżerów krajowego przemysłu chemicznego, inżynierów i technologów w przemyśle, projektantów w biurach projektowych oraz pracowników naukowych w instytutach naukowo-badawczych i na wyższych uczelniach oraz studentów chemii.**

Wszystkie publikowane prace poddawane są recenzji.

dyscypliny powiązane

1. Badania środowiska
2. Bezpieczeństwo chemiczne i ochrona zdrowia
3. Bioinżynieria
4. Biomateriały
5. Biotechnologia
6. Biotechnologia i mikrobiologia stosowana
7. Chemia (ogólnie)
8. Chemia materiałowa
9. Chemia środowiskowa
10. Ekologia
11. Energetyka i inżynieria jądrowa
12. Ekonomia
13. Ekonomia i organizacja przedsiębiorstw
14. Farmakologia, toksykologia i farmaceutyka (różne)
15. Geochemia i petrologia
16. Gospodarka odpadami i utylizacja
17. Inżynieria bezpieczeństwa
18. Inżynieria chemiczna i procesowa
19. Inżynieria energetyczna
20. Inżynieria biomedyczna
21. Inżynieria chemiczna (ogólnie)
22. Inżynieria chemiczna (różnie)
23. Inżynieria przemysłowa
24. Inżynieria środowiskowa
25. Inżynieria materiałowa

26. Inżynieria mechaniczna
27. Marketing
28. Mikrotechnologia i biotechnologia stosowana
29. Modelowanie ekologiczne
30. Multidyscypliny
31. Nauki leśne
32. Ochrona różnorodności biologicznej
33. Ochrona środowiska
34. Organizacja i zarządzanie
35. Polimery i tworzywa sztuczne
36. Powierzchnie, powłoki i warstwy
37. Rachunkowość
38. Rolnictwo i ogrodnictwo
39. Stosunki przemysłowe
40. Strategia i zarządzanie
41. Systemy informacyjne zarządzania
42. Sztuczna inteligencja
43. Technologia paliw
44. Technologia żywności i żywienia
45. Weterynaria
46. Zachowania organizacyjne i zarządzanie zasobami ludzkimi
47. Zanieczyszczenie środowiska
48. Zarządzanie technologią i innowacjami
49. Zastosowania informatyki
50. Zootechnika i rybactwo



www.przemyslchemiczny.com