

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/348364792>

Wybór technologii termicznego przekształcania odpadów komunalnych

Article · January 2021

CITATIONS

4

READS

213

1 author:



[Grzegorz Wielgosinski](#)

Lodz University of Technology

88 PUBLICATIONS 416 CITATIONS

SEE PROFILE



dr hab. inż. Grzegorz WIELGOSIŃSKI
Politechnika Łódzka,
Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska

WYBÓR TECHNOLOGII

termicznego przekształcania odpadów komunalnych

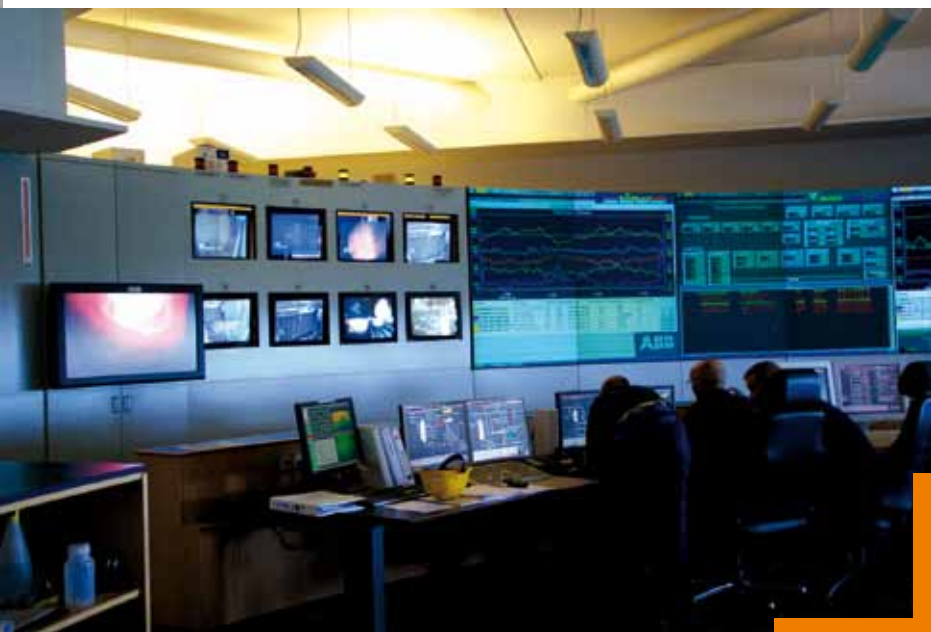
Program budowy spalarni odpadów komunalnych stworzony w 2007 roku i objęty tzw. listą indykatywną Ministerstwa Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego „Infrastruktura i Środowisko” miał początkowo liczyć 11 pozycji. Zakładano wybudowanie w jego ramach 12 spalarni odpadów komunalnych: w Szczecinie, Koszalinie, Poznaniu, Gdańsku, Olsztynie, Białymstoku, Bydgoszczy, Łodzi, Warszawie, Krakowie oraz 2 instalacji na Śląsku.

Sumaryczna wydajność instalacji miała sięgać ok. 2,4 mln Mg rocznie. Nie planowano budowy instalacji w województwach: dolnośląskim, opolskim i lubuskim oraz lubelskim, podkarpackim i świętokrzyskim. Od momentu utworzenia listy zniknęły z niej niektóre pozycje. Pierwszy wycofał się Olsztyn a następnie Gdańsk. W województwie śląskim zdecydowano się wybudować zamiast dwóch instalacji po 250 000 Mg/rok jedną o łącznej wydajności ok. 500 000 Mg/rok.

Tak więc w chwili obecnej wygląda, że w dalszym ciągu „w grze” są jedynie: Szczecin, Poznań, Bydgoszcz, Białystok oraz Kraków. W międzyczasie udało się skompletować stosowną dokumentację oraz uzyskać decyzję środowiskową dla dotychczas nie występującej na liście lokalizacji - dla Konina. Sumaryczna wydajność tych 6 instalacji wynosi maksymalnie ok. 1,1 mln Mg na rok, a planowany termin oddania ich do eksploatacji to koniec 2015 roku. Jest to stanowczo za ma-

nych spalarni odpadów komunalnych np. w Tarnowie, Chrzanowie, Jastrzębiu Zdroju, Rzeszowie, Gorlicach, Włocławku, Gdyni a także w Hrubieszowie czy Chodzieży. Pojawił się więc sprzyjający klimat do rozwoju i budowy kolejnych instalacji w kraju z planowanym przekazaniem do eksploatacji w latach 2015-2020. Jest to bardzo istotne, gdyż rok 2020 jest rokiem, w którym powinniśmy osiągnąć kolejny szczebel redukcji ilości odpadów biodegradowalnych trafiających na składowiska - 65% . Jeżeli dodamy do tego informację, że Komisja Europejska planuje na 2025 rok wprowadzenie całkowitego zakazu składowania odpadów komunalnych ulegających biodegradacji sprawa budowy instalacji termicznego przekształcania odpadów staje się bardzo istotna.

Wróciły więc pytania o docelowy model gospodarki odpadami komunalnymi w Polsce, o zasadność i celowość budowy spalarni odpadów, o technologie alternatywne w stosunku do spalania odpadów, o koszty gospodarowania odpadami. Dyskusję na ten temat wywołały również wymagania stawiane raportom o oddziaływaniu na środowisko obligatoryjnie sporządzanym dla tego typu inwestycji, w celu uzyskania decyzji środowiskowej, jako ważnego etapu na drodze procesu inwestycyjnego [1]. Zawarte w ustawie o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko wymagania dotyczące raportów o oddziaływaniu na środowisko wymuszają każdorazowo dokonanie analizy tzw. wariantów alternatywnych realizacji inwestycji. W praktyce sprowadza się to do analizy proponowanej technologii i porównania jej z innymi znanymi technologiami zarówno w obszarze tzw. elementów generalnych, jak i w obszarze rozwiązań szczegółowych. Ponieważ autorzy wszystkich



Kluczowym terminem wyznaczonym przez Ministerstwo Rozwoju Regionalnego był 1 czerwca 2010 roku, kiedy to wszyscy potencjalni beneficjenci powinni uzyskać dla planowanych inwestycji decyzje środowiskowe oraz 1 marca 2011 roku, kiedy wszystkie wnioski o dofinansowanie powinny trafić do komisji Europejskiej w Brukseli. Z różnych przyczyn z listy indykatywnej zniknęły kolejne instalacje: w Koszalinie, w Łodzi oraz instalacja śląska (Ruda Śląska). Władze Warszawy zdecydowały się na budowę instalacji bez wsparcia z funduszy europejskich

to by sprostać wymogom dyrektywy składowiskowej (1999/31/WE), w myśl której, wstępując do Unii Europejskiej zobowiązaliśmy się do 50% redukcji składowanych na składowiskach odpadów biodegradowalnych w roku 2013.

Przyjęcie w ubiegłym roku nowelizacji ustawy o utrzymaniu porządku w gminach i przekazanie od 1 stycznia 2012 roku władztwa nad odpadami gminom spowodowało gwałtowne zainteresowanie metodami termicznego przekształcania odpadów wśród bardzo wielu samorządów. Pojawiły się liczne inicjatywy budowy regional-

1) Ustawa z dnia 3 października 2008 roku o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko. (Dz. U. z 2008 r. Nr 199, poz. 1227, Nr 227, poz. 1505, z 2009 r. Nr 42, poz. 340, Nr 84, poz. 700, Nr 157, poz. 1241, z 2010 r. Nr 28, poz. 145, Nr 106, poz. 675, Nr 119, poz. 804, Nr 143, poz. 963, Nr 182, poz. 1228, z 2011 r. Nr 32, poz. 159, Nr 122, poz. 695, Nr 132, poz. 766, Nr 135, poz. 789, Nr 152, poz. 897, Nr 163, poz. 981, Nr 170, poz. 1015, Nr 178, poz. 1060);

raportów, w ramach tej analizy dokonali porównania wybranej (zresztą słusznie i zgodnie z tendencją obserwowaną we wszystkich krajach Unii) technologii spalania na ruszcie z instalacjami mechaniczno-biologicznej przeróbki odpadów (MBT) oraz instalacjami pirolizy i zgazowania, a także instalacjami plazmowymi odżyła na nowo dyskusja na wyboiem najlepszej technologii. Wydawało się, że czerpiąc doświadczenia z innych krajów UE, które w ostatnich latach budowały instalacje termicznego przekształcania odpadów, nie ma żadnych powodów do wyważania otwartych drzwi i szukania „trzeciej drogi”. A jednak - pomimo, że powszechnie wiadomo, że w ciągu ostatnich 5 lat wszystkie nowo wybudowane instalacje termicznego przekształcania odpadów komunalnych w skali ponad 100 000 Mg/rok były instalacjami rusztowymi w Polsce powróciła dyskusja: MBT czy spalarnia? Spalanie na ruszcie czy piroliza, plazma lub zgazowanie? W tej sytuacji wydaje się koniecznym zestawienie i powtórzenie jeszcze raz argumentów, dla których w pozostałych państwach UE nikt już podanych powyżej pytań nie stawia, tylko buduje instalacje spalania odpadów komunalnych oparte o sprawdzoną technologię rusztową, argumentów szczególnie przydatnych samorządowcom w dyskusjach z mieszkańcami i organizacjami pozarządowymi, z reguły negatywnie nastawionymi do spalania odpadów.

■ MBT czy spalanie?

Zgodnie z podręcznikową definicją „termin mechaniczno-biologiczne przetwarzanie odpadów (MBP, MBT - mechanical-biological treatment, MBS - mechanical-biological stabilisation), obejmuje procesy rozdrabniania, przesiewania, sortowania, klasyfikacji i separacji, ustawione w różnorodnych konfiguracjach w celu mechaniczne-

go rozdzielania strumienia odpadów na frakcje, które dają się w całości lub w części wykorzystać materiałowo lub energetycznie oraz na frakcje ulegające biodegradacji, odpowiednią dla biologicznego przetwarzania w warunkach tlenowych lub beztlenowych”.

W roku 2005 uznana i ceniona angielska firma konsultingowa Juniper Consultancy Services opublikowała ponad 600 stronicowy raport opisujący wszystkie znane systemy mechaniczno-biologicznej przeróbki odpadów komunalnych wskazując na ich zalety i wady [2]. Typowa instalacja MBT funkcjonuje w sposób następujący: ze strumienia zmieszanych odpadów komunalnych jest wydzielana mechanicznie na drodze przesiewania frak-

stowanie) lub beztlenowej (fermentacja metanowa), zaś przesiew zawierający frakcje mineralna (niepalna, popiół) kierowany jest na składowisko.

Pozostała na drugim sicie frakcja organiczna jest następnie rozdrabniana, usuwane są z niej metale żelazne, a następnie poddawana jest procesom biologicznym. W przypadku kompostowania proces prowadzony jest w sposób następujący - w przeciągu 10 dni odpady są poddawane intensywnemu napowietrzaniu w specjalnie zamykanych tunelach (boksach), w wyniku czego substancje organiczne ulegają utlenieniu do CO₂ zaś pozostałość stanowi kompost. Najczęściej jednak produkt takiej operacji nie spełnia wymagań ustawy o nawozach i nawożeniu



cja energetyczna oraz frakcje metali żelaznych i nieżelaznych (pozostałość na pierwszym sicie o oczkach 80 x 80 mm lub 100 x 100 mm). Uzyskana w ten sposób frakcja organiczna (tzw. frakcja podsitowa) poddawana jest kolejnemu przesiewaniu, tym razem na sicie o oczkach 10 x 10 mm lub 20 x 20 mm. Pozostałość organiczna na drugim sicie poddawana jest biologicznej stabilizacji tlenowej (kompo-

i nie może być wykorzystany jako nawóz. Alternatywą dla kompostowania jest proces beztlenowy - fermentacja metanowa, w wyniku czego pozyskiwany jest biogaz (zawierający metan), który może być następnie wykorzystany do celów energetycznych. Stała pozostałość po procesie fermentacji często poddawana jest jeszcze obróbce tlenowej (kompostowaniu). Ze względu na niską jakość kompostu,

a właściwie stabilizatu pozyskanego ze zmieszanych odpadów komunalnych przeważnie jest on produktem niesprzedawalnym, nie nadającym się do wykorzystanie jako nawóz, a tym samym wymagającym składowania. Stabilizaty otrzymane ze zmieszanych odpadów komunalnych nie mogą być stosowane na gruntach rolnych. Dopuszcza się jedynie stosowanie stabilizatów do rekultywacji gruntów nie użytkowanych rolniczo. Z uwagi na zawartość pewnej ilości substancji organicznych stabilizat taki nie może być składowany na składowiskach odpadów (zgodnie z przepisami zawartość substancji organicznych ponad 3% nie pozwala na składowanie na składowisku). Pojawia się więc istotny problem z zagospodarowaniem otrzymanego w procesie MBT stabilizatu.

Wydzielona na pierwszym sicie frakcja energetyczna poddawana jest następnie licznym procesom mechanicznej obróbki - od separacji metali żelaznych (magnetyczne), metali nieżelaznych i kamieni (bezwładnościowo) po rozdrabnianie i czasami suszenie. Frakcja ta wykorzystywana jest do produkcji tzw. paliwa alternatywnego (RDF - Refuse Derived Fuel, SRF - Secondary Recovered Fuel, EBS - Ersatzbrennstoff). Ilość wytworzonego paliwa alternatywnego sięga 40 - 55% pierwotnej masy odpadów skierowanych do instalacji MBT. Dopuszczalne parametry jakościowe paliwa alternatywnego określa norma europejska

EN-15359 (Solid Recovered Fuels - Specifications and classes), lecz paliwo wytworzone z odpadów zgodnie z prawem europejskim („zgodnie z obowiązującym prawem UE odpady, które są przetwarzane na paliwo, nie przestają być odpadami do czasu ich termicznego przekształcenia lub spalania” - tak brzmi oficjalna interpretacja problemu wg Komisji Europejskiej) nie przestaje być odpadem i może być wykorzystywane do wytwarzania energii jedynie w spalarniach lub współspalarniach odpadów. Energetyka zawodowa, przemysłowa czy ciepłownic-

two, które mogłyby współspalania RDF w procesie współspalania odpadów nie wykazują nadmiernego zainteresowania paliwem alternatywnym, gdyż w celu uruchomienia jego współspalania konieczne są znaczne nakłady inwestycyjne w zakresie przystosowania kotła oraz występują problemy techniczne - korozja instalacji oraz zarastanie części instalacji powstałym żużlem o niższej niż w przypadku spalania węgla temperaturze topnienia. Drugim potencjalnym odbiorcą paliw alternatywnych są cementownie. Polskie cementownie w chwili obecnej w ok. 40-45% zastępują węgiel paliwami alternatywnymi wytworzonymi z odpadów przemysłowych. Sumaryczna zdolność przyjęcia paliw alternatywnych w polskich cementowniach wynosi ok. 0,9 mln Mg, docelowo maksymalnie 1,5 mln Mg, co przy ilości powstających w naszym kraju odpadów komunalnych (ok. 12 mln Mg) jest ilością znikomą. Co więcej wartość opałowa paliwa alternatywnego wytworzonego z odpadów komunalnych wynosząca 14 - 18 MJ/kg jest zbyt niska dla cementowni. Nie ma więc nadziei, że po paliwo alternatywne wytworzone w instalacjach MBT będą ustawiać się kolejki chętnych.

Jak więc z MBT radzą sobie inni i czy jest to rzeczywista alternatywa dla spalania? Praktycznie w każdym kraju Unii Europejskiej istnieją instalacje MBT. Najwięcej jest ich we Włoszech oraz w Niemczech. Są również w Hiszpanii, Francji, Wielkiej Brytanii, Irlandii, Belgii, Austrii, Finlandii). Różne, zależne od kraju są doświadczenia eksploatacyjne. W żadnym jednak z wymienionych krajów Unii Europejskiej MBT nie stało się technologią dominującą, nie wyparło spalarni odpadów, co najwyższe stało się uzupełnieniem systemu gospodarki odpadami komunalnymi.

Dobrym przykładem dla wskazania roli MBT w systemie gospodarki odpadami są Niemcy. W 1993 roku przyjęto wstępne regulacje prawne, w myśl których, od 2005 roku miał obowiązywać zakaz składowania odpadów komunalnych na składowiskach. Zakaz

ten obowiązującym prawem stał się w 2001 roku. Dokonano wtedy przeglądu możliwości spełnienia tych wymagań na obszarze całego kraju. Okazało się, że w zachodnich landach nie powinno być problemu z dotrzymaniem tego zakazu (istniało tam ponad 50 spalarni odpadów komunalnych), to we wschodnich landach liczba spalarni jest niewielka (5 instalacji) i będą duże problemy z dotrzymaniem zakazu. Cykl uzgodnień lokalizacji spalarni trwa zwykle 2-3 lat, a sama budowa około 3 lat. Nie było więc szansy na wybudowanie wystarczającej ilości spalarni na terenie tzw. „nowych landów”. Podjęto więc na szczęblu ministerstwa środowiska decyzje w sprawie promowania instalacji MBT na tym terenie. Budowa takiej instalacji zazwyczaj nie powoduje protestów społecznych i trwa kilka miesięcy. Wybudowano więc w latach 2002-2005 aż 31 nowych instalacji MBT na terenie wschodnich landów i osiągnięto ogólny stan - 81 instalacji o łącznej wydajności ok. 10 mln Mg, w tym 5,2 mln Mg - to wydajność nowych 31 instalacji na terenie wschodnich landów. Bilans odpadów za rok 2003 wskazywał na deficyt właśnie ok. 5 mln Mg mocy przerobowej w spalarniach odpadów. Większość istniejących instalacji MBT w zachodnich landach produkowała paliwo alternatywne dla cementowni, nowe instalacje produkowały to paliwo bez możliwości ich odbioru przez niemieckie cementownie - pojawił się więc wtedy znaczący eksport paliwa alternatywnego do polskich cementowni. Nie rozwiązało to jednak całego problemu. W latach 2004-2010 wybudowano więc w Niemczech sieć 32 instalacji do spalania paliwa alternatywnego (elektrowni opalanych paliwem alternatywnym), rusztowych, z systemami oczyszczania spalin identycznymi jak w spalarniach odpadów. W chwili obecnej w Niemczech funkcjonuje 69 spalarni odpadów komunalnych o łącznej wydajności ponad 19 mln Mg oraz 78 instalacji MBT (pracujących wg różnych technologii) o łącznej

wydajności ok. 9,5 mln Mg. Instalacje MBT produkują paliwo alternatywne, które dziś stosunkowo rzadko trafia do cementowni ze względu na zbyt niską wartość opałową. Jest ono spalane w 34 spalarniach paliwa alternatywnego o łącznej wydajności 5,8 mln Mg. Z technicznego punktu widzenia te spalarnie paliwa alternatywnego praktycznie nie różnią się od spalarni odpadów komunalnych - mają taki sam system oczyszczania spalin gdyż podlegają pod te same uregulowania prawne co wszystkie spalarnie odpadów. Taki system pozwala na pokrycie wszystkich potrzeb kraju w zakresie zagospodarowania odpadów komunalnych i uzyskania rewelacyjnego wskaźnika - poniżej 2% odpadów komunalnych podlegających składowaniu. Nie jest to jednak system idealny. Doświadczenia eksploatacyjne instalacji MBT wskazują, że są to instalacje awaryjne i zawodne pod względem technicznym oraz uciążliwe dla otoczenia (znaczna emisja substancji złotonnych - odorów). Występują również poważne problemy z zagospodarowaniem produktu po obróbce biologicznej (kompostowaniu lub fermentacji) - stabilizatu, który nie jest dopuszczony do stosowania jako nawóz. Doniesienia z niemieckiego urzędu ochrony środowiska (Bundsumweltamt) wskazują na stopniowe ograniczanie ilości funkcjonujących instalacji MBT. Najnowsze opracowanie Komitetu Doradczego Niemieckiego Ministra Środowiska zdecydowanie odradza stosowanie MBT w gospodarce odpadami komunalnymi. Kilka z nich już zostało wyłączonych z eksploatacji, kolejne najprawdopodobniej zostaną wyłączone w przyszłym roku. Podobne, negatywne doświadczenia eksploatacyjne mają Austriacy.

Jak więc widać MBT nie zastąpi spalarni odpadów. Może być uzupełnieniem systemu, ale nie jedynym jego ogniwem. W Polsce istnieje pokaźna grupa osób zafascynowanych MBT

i chcących za wszelką cenę, wbrew nawet doświadczeniom innych krajów, przenieść tę technologię do naszego kraju. Było by bardzo źle, gdyby wycofywane z rynku niemieckiego wyeksploatowana instalacje MBT trafiły do Polski.

■ Piroliza, zgazowanie, plazma...

Realizacja projektów budowy instalacji termicznego przekształcania odpadów wymaga stosowania technologii sprawdzonych i niezawodnych. W zakresie masowego spalania odpadów komunalnych w chwili obecnej jedyną pewną, sprawdzoną technologią jest spalanie na ruszcie. Technologia ta została stworzona w pierwszej połowie XX wieku i od tego czasu jest systematycznie rozwijana i unowocześniana. Znajduje ona zastosowanie zarówno do odpadów o stosunkowo niskiej kaloryczności (4 - 6 MJ/kg) jak i do odpadów o wysokiej kaloryczności (12 - 18 MJ/kg). W pierwszym przypadku stosuje się ruszty chłodzone powietrzem ze specjalnym systemem mieszania odpadów poddawanych spalaniu, a w drugim ruszty chłodzone wodą. Ruszty pracują niezawodnie w kilkuset instalacjach na całym świecie. Praktycznie żadne inne rozwiązanie techniczne nie pozwala na spalanie tak niskokalorycznych odpadów jak spalarnia rusztowa. Piece obrotowe wymagają do autotermicznej pracy odpadów o wartości opałowej minimum 15 - 18 MJ/kg. Jeszcze wyższe wymagania w zakresie wartości opałowej mają spalarnie komorowe (16 - 19 MJ/kg). Jedynym typem spalarni, która może być porównywalna w zakresie parametrów technicznych, uniwersalności czy niezawodności ze spalarnią rusztową jest spalarnia fluidalna. Może on również pracować przy niskokalorycznych odpadach, jednak wymaga wstępnego rozdrobnienia odpadów, co

zmniejsza ilość wytworzonej użytecznej energii elektrycznej (netto).

Według danych CEWEP (Confederation of European Waste to Energy Plant) oraz WtERT Europe (Waste to Energy Research and Technological Council) większość istniejących w Europie spalarni odpadów komunalnych to sprawdzone spalarnie rusztowe (w 2005 roku 382 instalacje). Niewielki ułamek stanowią spalarnie fluidalne (27 instalacji), spalarnie z oscylacyjnym piecem obrotowym (18 instalacji) i spalarnie dwukomorowe (8 instalacji) [3]. Najważniejszymi dostawcami spalarni rusztowych są: CNIM (Francja), Andritz Energy & Environment (Austria, Niemcy), Martin (Niemcy), Standardkessel Baumgarte (Niemcy), Babcock & Wilcox Volund (Dania), Keppel Seghers (Belgia), Hitachi-Zosen-Inova (Japonia, Szwajcaria), Fisia Babcock (Niemcy), Covanta (USA) oraz Wheelabrator (USA). W zakresie spalarni fluidalnych najważniejszymi dostawcami są: Lurgi & Lentjes (Niemcy), Foster & Wheeler (USA), Ebara (Japonia) oraz Alstom (Francja). Jedynym dostawcą spalarni z oscylacyjnym piecem obrotowym jest francuska firma Cyclerval, zaś dostawca spalarni dwukomorowych (w pierwszej komorze zgazowanie odpadów, w drugiej dopalanie gazów) jest angielsko-norweska firma ENERGOS (ENER-G). Podane powyżej firmy wybudowały praktycznie wszystkie spalarnie odpadów w Europie w ostatnich 10 latach. Nie można więc mówić o spalarniach rusztowych jako przeżytku z ubiegłego wieku. Są to w tej chwili najbardziej niezawodne instalacje o największym stopniu rozpowszechnienia w Europie.

W latach dziewięćdziesiątych podjęte zostały liczne próby opracowania alternatywnych dla spalarni rusztowych technologii termicznego przekształcania odpadów komunalnych. Najbardziej znanymi przykładami takich działań były technologie Schwel-Bren-

n-Verfahren (opracowana w koncernie Simensa) oraz Thermoselect. Obie zrobiły spektakularną klapę na początku lat dwutysięcznych. Siemens wybudował instalację w miejscowości Fürth koło Norymbergi o wydajności ok. 100 000 Mg/rok, która po czterech latach bezowocnych prób została ostatecznie zamknięta w 2001 roku przynosząc stratę około 400 mln DM. Pełnotechniczna instalacja Thermoselect w Karlsruhe o wydajności ok. 225 000 Mg/rok została po 6 latach prób uruchomienia i osiągnięcia zakładanej wydajności w roku 2006 ostatecznie zamknięta przynosząc straty przekraczające 500 mln Euro. Na takie eksperymenty Polski nie stać. Je-

wania lub pirolizy, o wydajności powyżej 50 000 Mg/rok w chwili obecnej w Europie nie ma. Instalacji plazmowych przeznaczonych do termicznego przekształcania odpadów komunalnych jest w chwili obecnej na świecie 6. Dwie największe z nich (o wydajności ok. 45 000 Mg/rok) znajdują się Japonii. Kolejne instalacje o wydajności ok. 25 000 Mg/rok znajdują się w Kanadzie oraz w Japonii. Instalacja w Ottawie w marcu 2011 roku została zamknięta, wymagała ona bardzo kalorycznych odpadów (14 - 16 MJ/kg) i miała problemy z dotrzymaniem dopuszczalnej wielkości emisji zanieczyszczeń. Dwie instalacje badawcze o wydajnościach rzędu

w budowie. Jak więc widać ani zgazowanie, ani piroliza, ani tym bardziej plazma nie stanowią aktualnie żadnej konkurencji dla klasycznych instalacji rusztowych. Więcej informacji na ten temat przedstawiono w numerze pierwszym z 2011 roku czasopisma Nowa Energia [4].

W chwili obecnej niektóre z krajów Unii Europejskiej posiadają całkowicie zaspokojone potrzeby w zakresie funkcjonowania spalarni odpadów komunalnych. Do takich krajów zaliczają się Niemcy (69 instalacji o łącznej wydajności ok. 19,5 mln Mg/rok), Holandia, Szwecja, Belgia i Dania. Trwa budowa spalarni w Hiszpanii, Finlandii, Francji, a przede wszystkim we Włoszech i Wielkiej Brytanii, gdzie opóźnienia w zakresie termicznych metod unieszkodliwiania odpadów komunalnych są największe. Kończy się budowa spalarni odpadów w Dublinie (Irlandia) o wydajności 600 000 Mg/rok, kolejna w Carranstown (hrabstwo Meth) o wydajności 200 000 Mg/rok jest w trakcie budowy (ukończenie - koniec 2012) i następna w Ringaskiddy (hrabstwo Cork) o wydajności 140 000 Mg/rok jest na etapie uzgodnień. W bieżącym roku powinna ruszyć budowa spalarni na Rodos (Grecja), a jednocześnie trwają uzgodnienia budowy ogromnej spalarni (700 000-1 000 000 Mg/rok) niedaleko Aten. U naszych najbliższych sąsiadów kończy się rozruch gruntownie zmodernizowanej (z funduszy europejskich) spalarni w Brnie (Czechy) o wydajności ok. 250 000 Mg/rok i obok dwóch już istniejących spalarni w Pradze i Libercu trwają uzgodnienia budowy kolejnych trzech spalarni (Karlůvka, Pardubice, Jihlava). Na Słowacji obok dwóch istniejących spalarni odpadów komunalnych (Bratislava i Koszyce) ma w ciągu najbliższych 5 lat stanąć kolejna. W Austrii istnieje w chwili obecnej 8 spalarni odpadów (3 w Wiedniu, Wels, Niklasdorf, Arnoldstein, Dürnrohr, Zistersdorf) - budowa



dyną pracującą instalacją pirolityczną dla odpadów komunalnych jest instalacja w Burgau (Niemcy) wybudowana w 1987 roku. Na jej bazie wybudowano podobną instalację w Arras (Francja), która jednak w 2009 roku została zamknięta oraz w Hamm (Niemcy) o wydajności ok. 100 000 Mg/rok, którą zamknięto w czerwcu 2010 roku. Nie jest to więc technologia sprawdzona, niezawodna, godna polecenia. Innych technologii opartych o procesy zgazo-

1 000 -2 000 Mg/rok znajdują się na Tajwanie oraz w Wielkiej Brytanii. Brytyjska firma planuje podobno budowę takiej instalacji w miejscowości Swindon o wydajności ok. 100 000 Mg/rok, ale prace jeszcze nie zostały rozpoczęte. Jednocześnie w tej samej Wielkiej Brytanii oddano właśnie do użytku spalarnię Belvedere (w Riverside, niedaleko Londynu) - rusztową, o wydajności 585 000 Mg/rok. Kolejna o wydajności 840 000 Mg/rok (Manchester) jest

kolejnej rozpocznie się w przyszłym roku. Warty podkreślenia przy tym jest to, że wszystkie wspomniane powyżej, niedawno oddane do użytku lub aktualnie budowane spalarnie - to spalarnie rusztowe. W technologii rusztowej mają zostać wybudowane również planowane spalarnie w Tallinie i Tartu (Estonia), Wilnie, Kłajpedzie i Kownie (Litwa). Rydze (Łotwa), w okręgu kaliningradzkim (Rosja), Lublanie i Mariborze (Słowenia), Helsinkach, Tampere, Rovaniemi i Oulu (Finlandia), Timisoara, Brasov i Bukareszcie (Rumunia). Widać więc, że w najbliższych latach liczba spalarni będzie systematycznie wzrastać. W chwili obecnej w Europie funkcjonuje ponad 400 spalarni odpadów komunalnych a na całym świecie jest ich ponad 900.

Zgodnie z nową ramową dyrektywą w sprawie odpadów (2008/98/EC) warunkiem koniecznym zaliczenia spalania odpadów w spalarni do procesów odzysku (a nie unieszkodliwiania) jest osiągnięcie przez spalarnie określonej wartości tzw. wskaźnika efektywności energetycznej (dla nowych instalacji powyżej 0,65). Wszystkie nowe spalarnie odpadów uzyskują ten wskaźnik na poziomie 0,75-1,2. Zmodernizowana spalarnia w Brnie ma współczynnik efektywności energetycznej na poziomie 0,82. Podobnego wyniku należy oczekiwać w odniesieniu do planowanych spalarni w Polsce. Spalarnie fluidalne, z uwagi na konieczność rozdrabniania odpadów komunalnych (znaczące zużycie energii elektrycznej) mają współczynnik efektywności energetycznej niższy o ok. 0,1. W świetle posiadanych danych żadna technologia pirolityczna, zgazowania czy też plazmowa nie jest w stanie zapewnić tak wysokiego wskaźnika efektywności energetycznej. Należy oczekiwać, że w większości przypadków będzie on niższy od 0,6. W skrajnym przypadku technologii Thermoselect wiadomo, że współczynnik efektywności energetycznej dla tej technologii wynosi tylko ok. 0,3. Jest to więc kolejny istotny argument za technologią rusztową.

Podstawowym gazowymi produktami spalania są dwutlenek węgla i woda. Ze względu na to, że każdy realizowany w warunkach technicznych proces spalania nie jest ani spalaniem

spalenia przebiegu procesu spalania. Emisji dioksyn nie wolno bagatelizować, pomimo iż ich stężenia w spalalinach są bardzo niskie - sięgające $0,1 \text{ ng/m}^3$ (10^{-10} g/l). Co prawda



całkowity ani też spalaniem zupełnym, zawsze w spalalinach obserwuje się obecność tlenu węgla. Obecność w spalonym materiale (odpadach komunalnych) związków siarki, azotu (materia organiczna), chloru oraz fluoru powoduje również nieuchronną emisję odpowiednio dwutlenku i trójtlenku siarki, tlenu i dwutlenku azotu, chlorowodoru i fluorowodoru. Zawartość w spalonym paliwie (odpadach) frakcji mineralnej skutkuje również emisją pyłu zawierającego liczne metale, w tym, metale ciężkie. Niezależnie od rodzaju stosowanej technologii termicznego przekształcania odpadów każdemu procesowi spalania towarzyszy nieuchronna emisja mikrozanieczyszczeń organicznych, w tym dioksyn i furanów, a także wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych. Emisja dioksyn i furanów jest nie do uniknięcia w procesach spalania. Ich stężenie w spalalinach można jednak minimalizować dzięki zastosowaniu tzw. pierwotnych metod ograniczania emisji zanieczyszczeń, które w tym przypadku w znacznej części sprowadzają się do ulep-

w ostatnich latach udowodniono, że nie są one ani trujące ani kancerogenne, jednak bardzo silnie zaburzają gospodarkę hormonalną organizmu prowadząc do występowania wielu groźnych chorób. Zgodnie z postanowieniami ratyfikowanej przez Polskę Konwencji Sztokholmskiej ich emisja musi być ograniczana. Emisja wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych jest również faktem. Są to w większości związki kancerogenne a ich stężenie w spalalinach jest zazwyczaj wielokrotnie wyższe niż dioksyn. Prawidłowe warunki spalania panujące w nowoczesnych spalarniach rusztowych pozwalają na minimalizację ich emisji. Jak już wspomniano żadna technologia spalania nie gwarantuje braku emisji dioksyn, ale dzięki wieloletnim badaniom, rozwojowi technologii spalania na ruszcie oraz wydajnym systemom oczyszczania spalin ich emisja z sepek istniejących spalarni rusztowych jest niewielka.

Wobec powyższych faktów dotyczących stosowanych technologii termicznego przekształcania odpadów ko-

munalnych należy przyjąć, że jedynym możliwym do zaakceptowania rozwiązaniem technicznym dla spalarni odpadów komunalnych dla polskich miast jest spalarnia pracująca wg sprawdzonej i niezawodnej technologii rusztowej. Alternatywą dla tego rozwiązania może być jedynie spalarnia fluidalna. Wszelkie inne propozycje - zgazowania, piroлиза czy instalacja plazmowa świadczą niestety o elementarnym braku wiedzy zgłaszających je osób.

■ Ruszt, kocioł, odzysk ciepła

Jak już wskazano wszystkie nowoczesne, duże instalacje termicznego przekształcania odpadów, jakie zostały wybudowane w Europie w ostatnich 5 latach to instalacje rusztowe. W latach dziewięćdziesiątych alternatywą wydawały się instalacje fluidalne, ale konieczność wstępnego rozdrabniania odpadów spowodowała, że zrezygnowano z tych technologii. Współczesne konstrukcje rusztu dla spalarni odpadów mają swoje korzenie w latach 20-tych i 30-tych ubiegłego wieku i wywodzą się z konstrukcji rusztów dla energetycznego spalania węgla. Swoje rozwiązania technologiczne opracowały firmy niemieckie -Steinmüller, Niell i Martin, szwajcarski - von Roll, duńskie - Vølund oraz Krüger - wszystkie ruszty schodkowe, a także Deutsche Babcock Anlagen - ruszt walcowy. Konstrukcje te były przez lata rozwijane i z pierwotnymi rozwiązaniami sprzed II wojny światowej nie mają wiele wspólnego. Generalnie ruszty schodkowe można podzielić na ruszty posuwowe (przesuw materiału na ruszcie „do przodu”), ruszty przeciwbieżne (przesuw materiału na ruszcie „do tyłu”) oraz ruszty posuwisto-zwrotne, gdzie jednocześnie materiał przesuwany jest „do przodu” - w dół rusztu i mieszany poprzez przeciwbieżny ruch części rusztowin. Najlepsze efekty daje spalanie na rusztach posuwisto-zwrotnych, gdyż zapewniają one najwyższy stopień wypalenia ma-

teriału (mała zawartość niespalonych substancji organicznych w żużlu) przy jednoczesnym dobrym natlenieniu i wymieszaniu strefy spalania (niskie stężenia tlenu węgla oraz organicznych produktów niepełnego spalania w gazach odlotowych). W świetle doświadczeń eksploatacyjnych nieco gorsze efekty daje zastosowanie rusztów walcowych. Ruszt schodkowy jest najczęściej pochylony o niewielki kąt w kierunku końca rusztu w celu zapewnienia samoczynnego przemieszczania się spalanych odpadów w dół rusztu. Kąt pochylenia rusztu jest tym większy im bardziej wilgotne są odpady komunalne poddawane spalaniu. Dla odpadów o wartości opałowej 6-10 MJ/kg zazwyczaj stosuje się ruszty chłodzone powietrzem (pierwotnym przepływającym w szczelinach pomiędzy rusztowinami), zaś dla wyższych wartości opałowych (10-16 MJ/kg) stosuje się ruszty chłodzone wodą. Często, dla zapewnienia lepszego przebiegu procesu spalania i zmniejszenia strat ciepła powietrze pierwotne wprowadzane do procesu spalania przez ruszt jest wstępnie podgrzewane do temperatury ok. 120-200°C za pomocą ciepła odpadowego z instalacji. Powietrze pierwotne podawane pod ruszt stanowi zazwyczaj ok. 50% całej ilości powietrza podawanej do procesu spalania. Powietrze wtórne podawane jest powyżej strefy spalania, zapewniając skuteczne dopalenie produktów niepełnego spalania i tlenu węgla powstałych bezpośrednio w procesie spalania. Poprzez sterowanie ilością powietrza pierwotnego podawanego do różnych stref rusztu można również sterować przebiegiem procesu spalania. Zazwyczaj, w spalarniach odpadów komunalnych stosuje się ok. 100-120% nadmiar powietrza w stosunku do ilości stechiometrycznej.

Ponad komorą spalania, za doprowadzeniem powietrza wtórnego, znajduje się pionowy kocioł, najczęściej 3-ciagowy, rzadziej o większej ilości ciągów, za którym znajdują się wymienniki ciepła, w których produkowana jest

para, a na końcu gorąca woda. Czasami wymienniki ciepła zainstalowane są już w ostatnim, 3 ciągu kotła. Jeżeli powierzchnie ogrzewalne zamontowane są w układzie poziomym mówimy o kotle 3-ciagowym z poziomym wymiennikiem ciepła, zaś jeżeli powierzchnie ogrzewalne zainstalowane są w układzie pionowym mówimy najczęściej o kotle 4- lub 5-ciagowym z pionowym wymiennikiem ciepła. Ostatni wymiennik ciepła wytwarzający gorącą wodę nazywany jest najczęściej ekonomizerem. Do kotła wpływają spaliny o temperaturze ponad 1 000°C, zaś opuszczają ekonomizer w temperaturze ok. 200°C. Parametry produkowanej pary to najczęściej temperatura ok. 400°C i ciśnienie ok. 4 MPa. Para wykorzystywana jest w turbinie do produkcji energii elektrycznej. Jeżeli ma być produkowana jedynie energia elektryczna to jest to zazwyczaj turbina kondensacyjna, zaś w przypadku pracy w skojarzeniu (preferowana jednoczesna produkcja ciepła i energii elektrycznej) jest to turbina przeciwprężna lub przeciwprężno-upustowa albo kondensacyjno-upustowa. Dla nowoczesnych spalarni odpadów planuje się praktycznie zawsze pracę w skojarzeniu (elektrociepłownia), gdyż tylko taki układ zapewnia uzyskanie wymaganego dyrektywą 2008/98/WE współczynnika efektywności energetycznej powyżej 0,65 (dla instalacji nowych).

Każda z firm budujących spalarnie odpadów komunalnych posiada własne, sprawdzone systemy rusztów oraz układów odzysku ciepła, łącznie z konfiguracją kotła. Nie ma żadnego preferowanego rodzaju rusztu (poza aktualnie niezalecanym rusztem walcowym) ani układu konstrukcyjnego kotła, czy wymaganych parametrów produkowanej pary. Jedynym, ale bardzo istotnym ograniczeniem jest tu osiągnięcie wymaganej, dla uznania procesu spalania odpadów za procesu odzysku, wartości współczynnika efektywności energetycznej powyżej 0,65. Doświadczenie funkcjonujących spalarni odpadów komunalnych w Europie pokazuje, że

współczesna instalacja termicznego przekształcania odpadów komunalnych o wydajności ok. 240 000 Mg/rok jest w stanie dostarczyć ok. 35-40 MW energii cieplnej oraz ok. 5-8 MW energii elektrycznej. Według danych zawartych w wytycznych najlepszej dostępnej techniki (BAT) [5] z 1 Mg odpadów komunalnych można przy pracy w układzie skojarzonym uzyskać ok. 0,4 MWh energii elektrycznej oraz ok. 6,6 GJ energii cieplnej netto.

■ System oczyszczania spalin

Spaliny opuszczające kocioł i układy odzysku ciepła kierowane są do systemu oczyszczania spalin. Proces spalania tak niejednorodnego materiału, jakim są odpady, niezależnie od tego czy są to odpady komunalne, przemysłowe, medyczne czy też osady ściekowe, jest źródłem emisji do atmosfery bardzo wielu substancji chemicznych, wśród których są niejednokrotnie substancje toksyczne, rakotwórcze itp. Główną część odpadów stanowi zazwyczaj materia organiczna, stąd też oczywista jest emisja dwutlenku węgla i pary wodnej oraz tlenku węgla, w przypadku niecałkowitego spalania. Obecność w odpadach substancji zawierających w cząsteczce inne, oprócz węgla i wodoru, pierwiastki, jak np. siarka, azot, chlor czy fluor skutkować będzie emisją dwutlenku siarki, tlenków azotu, chlorowodoru czy fluorowodoru. Z kolei obecność w materiale spalonym substancji niepalnych (tzw. popiołu) skutkować będzie emisją pyłu. Mechanizm powstawania dwutlenku siarki czy tlenków azotu jest bardzo dobrze poznany i wielokrotnie opisany w publikacjach dotyczących np. energetycznego spalania paliw kopalnych. Trzeba jednak mieć świadomość, że rzeczywisty proces spalania daleki jest od idealnego - tj. spalania całkowitego i zupełnego. Proces spalania (roz-

kładu termicznego i utleniania) bardzo wielu związków organicznych (zwarłych w odpadach) nie przebiega w sposób idealny z wytworzeniem jedynie dwutlenku węgla, tlenku węgla i wody. Powstaje w tym procesie zazwyczaj znaczna ilość produktów pośrednich rozkładu i utleniania, które nie ulegają następnie dalszemu rozkładowi. Wydawałoby się, że w drastycznych warunkach spalania, w temperaturze około 1000°C wszelkie substancje organiczne muszą ulec spaleni. Niestety nie jest to prawda. Wiele związków chemicznych, często palnych, nie ulega pełnej destrukcji podczas spalania odpadów. Efektem tego jest obecność w spalinach ze spalarni odpadów ponad 350 zidentyfikowanych różnego rodzaju związków chemicznych (organicznych) - tzw. produktów niepełnego spalania.

Kluczową sprawą dla bezpieczeństwa ekologicznego spalarni odpadów jest ograniczanie emisji zanieczyszczeń. Metody ograniczania emisji zanieczyszczeń gazowych z procesów technologicznych można generalnie podzielić na dwie grupy - metody pierwotne i metody wtórne. Metody pierwotne, to ingerencja w proces technologiczny i stworzenie takich warunków jego przebiegu, by ilość powstających zanieczyszczeń była możliwie najmniejsza. Natomiast metody wtórne - to zastosowanie konkretnych urządzeń i technologii w celu ograniczenia emisji zanieczyszczeń. Poznanie mechanizmów tworzenia się zanieczyszczeń w procesie spalania pozwala na opracowanie takich technologii i metod prowadzenia procesu spalania, by ilość powstających zanieczyszczeń była możliwie najmniejsza.

Metody pierwotne nabierają w ostatnich latach coraz większego znaczenia, gdyż z ekonomicznego punktu widzenia są one bardziej opłacalne (tańsze) od metod wtórnych, zwanych „technologiami końca rury”.

Szczególnie istotną sprawą staje się aktualnie określenie wpływu parametrów prowadzenia procesu spalania na emisję metali, wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA), dioksyn (PCDD/F), oraz innych substancji organicznych z procesu spalania. Liczne doniesienia literaturowe wskazują jednoznacznie, że dotrzymanie prawidłowych parametrów procesu spalania wpływa znacząco na obniżenie emisji substancji organicznych (w tym WWA i dioksyn) do atmosfery. Parametrem najlepiej charakteryzującym „prawidłowe warunki spalania” jest stężenie tlenku węgla w spalinach. Pozostałe parametry określające „dobre warunki spalania” to przede wszystkim tzw. „trzy T” - temperatura, turbulencja oraz czas (ang. time) przebywania spalin w odpowiedniej temperaturze. Podstawowe znaczenie ma jednak zapewnienie warunków spalania bliskiego spalaniu całkowitemu i zupełnemu, przy zminimalizowaniu ilości powstającego tlenku węgla. Warunki takie panują przy prawidłowym natlenieniu strefy spalania, przy optymalnym stężeniu tlenu (dla spalania węgla 6 - 8% , współczynnik nadmiaru powietrza ok. 1,7 - 1,8). W przypadku spalania odpadów wymagane jest większe natlenienie strefy spalania i zapewnienie sumarycznego współczynnika nadmiaru powietrza rzędu 2,0 - 2,4 (stężenie tlenu w spalinach opuszczających strefę spalania i dopalania 10 - 13%). Badania prowadzone pod koniec lat dziewięćdziesiątych wykazały bardzo ścisłą korelację pomiędzy stężeniem niektórych zanieczyszczeń w spalinach, a stężeniem tlenku węgla, co jednoznacznie świadczy o wpływie warunków spalania na emisję zanieczyszczeń organicznych (w tym dioksyn i furanów).

Spaliny po oddaniu ciepła kierowane są do systemu oczyszczania spalin. Jest on zazwyczaj wielostopniowy i zapewnia ponad 99% usunięcie zanieczyszczeń. W świetle licznych doświad-

czeń konstrukcyjnych i eksploatacyjnych można stwierdzić, że współczesny system oczyszczania spalin w instalacji termicznego przekształcania odpadów musi obejmować następujące elementy:

- System odpylania spalin (elektrofiltr lub filtry tkaninowe). Efektywność systemu odpylania jest bardzo istotna z punktu widzenia ochrony środowiska, gdyż to właśnie pył jest nośnikiem emisji metali ciężkich (rtęć, ołów, kadm, miedź, chrom, mangan, arsen, nikiel, antymon i tal), jak również cząsteczki pyłu są doskonałym sorbentem dioksyn, stąd też dążenie do maksymalizacji wydajności urządzeń odpylających. Zazwyczaj w nowoczesnych, dużych spalarniach odpadów (komunalnych lub przemysłowych) do odpylania spalin stosuje się elektrofiltry - urządzenia pozwalające zatrzymać nawet 99,9% emitowanego pyłu. Wadą elektrofiltrów jest dodatni wpływ pola elektrostatycznego na przebieg syntezy „de novo” polichlorowanych dioksyn i furanów. Ostatnio coraz częściej stosuje się filtry tkaninowe. Dzięki zastosowaniu nowoczesnych materiałów filtracyjnych, odpornych na wysokie temperatury (np. włókna szklane powlekane specjalnie preparowanym teflonem) udaje się uzyskać bardzo wysokie stopnie odpylenia przy jednocześnie znacznym ograniczeniu stężenia dioksyn w spalinach. Doświadczenie uczy, że zastosowanie filtrów tkaninowych jest dziś możliwe zarówno w małych spalarniach odpadów medycznych, jak i wielkich spalarniach odpadów komunalnych. Do odpylania spalin w spalarniach odpadów komunalnych nie stosuje się cyklonów i multicyklonów, gdyż nie są one w stanie zapewnić uzyskania stężeń pyłu w spalinach poniżej 10 mg/m³u wymaganego przez przepisy (dyrektywa 2000/76/WE, rozporządzenie w sprawie standardów

emisyjnych z instalacji). Również nie stosuje się bardzo skutecznych, ale jednocześnie bardzo drogiej i kłopotliwych w eksploatacji (bardzo wysoki spadek ciśnienia) odpylaczy mokrych Venturiego.

- Układ usuwania gazów kwaśnych - najczęściej w funkcjonujących dużych spalarniach odpadów komunalnych jest to układ mokry, dwustopniowy. W pierwszym stopniu następuje schładzanie spalin zimną wodą, nawilżanie i absorpcja chlorowodoru oraz fluorowodoru przy pH równym ok. 2,0, zaś w drugim stopniu absorpcja pozostałych gazów kwaśnych (przede wszystkim SO₂) w zawiesinie wodorotlenku lub węglanu wapniowego przy pH ok. 5,5, a czasem wodorotlenku sodowego lub węglanu albo wodorosiarczynu sodowego. Jest to absorpcja połączona z reakcją chemiczną, w wyniku której otrzymuje się zazwyczaj odpadowy gips oraz chlorek i fluorek wapnia. Wariantem metody jest zastosowanie suchej technologii odsiarczania (w oparciu o tlenek, wodorotlenek lub węglan wapniowy lub ostatnio kwaśny siarczyny sodowy), z wcześniejszym schłodzeniem i nawilżeniem spalin wodą (przy okazji absorpcja HCl i HF). Zastosowanie suchych układów usuwania gazów kwaśnych stało się ostatnio coraz częstsze, szczególnie w połączeniu z odpyleniem na filtrach tkaninowych. W takim układzie udaje się osiągnąć stopnie skuteczności usuwania zanieczyszczeń ponad 99% , przy jednocześnie niższych kosztach inwestycyjnych i eksploatacyjnych. Trzeba tu jednak pamiętać, że szczególnie dodatnio na wydajność usuwania gazów kwaśnych metodą suchą wpływa nawilżenie spalin - reakcja chemiczna przebiegająca w warstwie cieczy na powierzchni stałego sorbentu jest wielokrotnie szybsza od reakcji powierzchniowej gaz-ciało stałe. W efekcie układy bez nawilżania

spalin osiągają skuteczności o 10-40% niższe od układów z nawilżaniem. Połączenie metody suchej z cyklonem bądź elektrofiltrem nie jest dobre, gdyż czas kontaktu suchego sorbentu z zanieczyszczonymi gazami spalinowymi jest zbyt krótki dla uzyskania wysokiej skuteczności (najczęściej osiąga się skuteczność usunięcia gazów kwaśnych nie przekraczającą 60%). W przypadku filtrów tkaninowych warstwa ciała stałego (pył z sorbentem) osadzonego na tkaninie filtracyjnej pracuje bardzo skutecznie, co pozwala, przy dobrym nawilżeniu na osiągnięcie skuteczności przekraczającej 99% . Sucha metoda wapniowa swoje optimum ma w temperaturze ok. 140-150°C, zaś sucha metoda z wodorowęglanem sodowym najlepsze efektu daje w temperaturze bliskiej 200°C. Skuteczność suchej metody wodorowęglanowej jest o ok. 10% wyższa od suchej metody wapniowej w tych samych warunkach. W niektórych instalacjach stosowana jest metoda półsucha wapniowa polegająca na wprowadzeniu do urządzenia przypominającego suszarkę rozpyłową zawiesiny wodorotlenku wapnia i uzyskaniu po procesie mieszanek suchej siarczyny i siarczynu wapniowego, który musi być usunięty np. na filtrze tkaninowym. Metoda półsucha zapewnia podobną skuteczność usuwania gazów kwaśnych jak metoda mokra będąc przy tym tańszą. Najtańszą metodą jest jednak metoda sucha z nawilżaniem połączona z odpyleniem na filtrze tkaninowym, zapewniająca również redukcję emisji gazów kwaśnych do poziomu poniżej standardów emisyjnych. W ostatnich latach obserwuje się odchylenie od systemów mokrych, ze względu na konieczność ponoszenia dodatkowych kosztów na oczyszczanie ścieków, względnie ich odparowanie do strumienia spalin (możliwe dzięki ich niewielkiemu

strumieniowi) przed urządzeniem odpylającym. Coraz więcej nowych instalacji spalarni odpadów komunalnych, budowanych w ostatnich latach, wyposażonych jest w suchy system usuwania gazów kwaśnych.

- Dozowanie koksu aktywnego (węgla aktywnego) w celu eliminacji (adsorpcji) polichlorowanych dioksyn i furanów, a następnie odpylanie gazów spalinowych na filtrach tkaninowych - tzw. metoda strumieniowo-pyłowa. Połączenie metody strumieniowo-pyłowej z cyklonem, elektrofiltrem lub odpylaczem mokrym jest niekorzystne, gdyż czas kontaktu zanieczyszczeń z węglem jest zbyt krótki i stąd udaje się osiągnąć skuteczność jedynie ok. 60% . Podobnie jak dla suchej metody usuwania gazów kwaśnych jedynie dobre efekty daje zastosowanie filtrów tkaninowych bądź ceramicznych. Innym wariantem są adsorbenty ze stałym złożem węgla aktywnego usytuowane jako ostatni element systemu oczyszczania spalin przed wprowadzeniem ich do komina. To drugie rozwiązanie wymaga dbałości o bezpieczeństwo pracy, gdyż ze względu na wysokie temperatury spalin (ok. 140 oC) oraz egzotermiczność procesu adsorpcji na węglu zdarza się, że wewnątrz adsorbenta temperatura znacznie wzrasta, co może doprowadzić do samozapłonu węgla. Adsorpcja pozwala na ograniczenie emisji również i innych związków organicznych oraz niektórych metali ciężkich (np. rtęci i kadmu), które adsorbują się na powierzchni węgla (koksu) aktywnego. W niektórych rozwiązaniach technicznych spalarni zużyty węgiel aktywny jest wprowadzany razem z odpadami do komory spalania i w ten sposób nie stanowi on zagrożenia dla środowiska (ustala się równowaga pomiędzy np. rtęcią związaną w żużlu a rtęcią w gazach odlotowych, stąd wprowadzenie

zwiększonej ilości rtęci do procesu spalania - zaadsorbowanej na sorbencie węglowym - nie powoduje istotnego wzrostu jej emisji, choć w szczególnych przypadkach może dojść do kumulacji rtęci w układzie). W warunkach krajowych tego rodzaju sposób unieszkodliwiania zużytego węgla aktywnego może wymagać oddzielnego pozwolenia, mimo, że jak wskazują doświadczenia eksploatacyjne, nie wiąże się on ze wzrostem stężeń zanieczyszczeń. W metodzie strumieniowo-pyłowej zużyty pył węgla aktywnego odpylany jest w układzie filtrów tkaninowych wspólnie z produktami półsuchego lub suchego oczyszczania gazów spalinowych. Stanowi on wtórny odpad, który składowany jest na składowiskach odpadów niebezpiecznych lub coraz częściej poddawany zestalaniu. Ostatnio w wielu spalarniach, szczególnie odpadów medycznych lub przemysłowych, powszechne zastosowanie znalazła mieszanina suchego, dobrze rozdrobnionego tlenku wapnia oraz pylistego węgla aktywnego (w ilości ok. 5 - 10%) powszechnie znana pod handlową nazwą np. SORBALIT®, SORBACAL® lub SPONGIACAL®, której wtrysk do strumienia spalin połączony z odpylaniem na filtrach tkaninowych pozwala bardzo skutecznie (powyżej 99%) usuwać zarówno gazy kwaśne jak i metale ciężkie, a także dioksyny i inne mikrozanieczyszczenia organiczne ze spalin.

- System redukcji tlenków azotu (DeNOx) dotychczas instalowany opcjonalnie, lecz dziś już coraz częściej, ze względu na konieczność spełnienia wymogów określonych w rozporządzeniu w sprawie standardów emisyjnych z instalacji. Aktualnie, we współczesnych spalarniach posiadających nowoczesne instalacje oczyszczania gazów spalinowych system redukcji tlenków azotu jest powszechnie

instalowany. Proces redukcji tlenków azotu może być realizowany dwiema podstawowymi technikami:

- SNCR - selektywna redukcja niekatalityczna polegająca na wprowadzeniu do komory spalania (pierwszego ciągu kotła, za doprowadzeniem powietrza wtórnego) gazowego amoniaku, wody amoniakalnej bądź wodnego roztworu mocznika, które to substancje w temperaturze ok. 850 - 1050 oC redukują tlenki azotu do wolnego azotu. Istotną sprawą jest tutaj odpowiedni zakres temperatury. Selektywna niekatalityczna redukcja tlenków azotu przebiega z najlepszą wydajnością w temperaturze ok. 900 - 950 oC. Zarówno wzrost temperatury powyżej 1050 oC, jak i spadek poniżej 850 oC powodują spadek efektywności redukcji, który maksymalnie wynosi ok. 50 - 70% .
- SCR - selektywna redukcja katalityczna polegająca na tym, że gazy spalinowe w temperaturze ok. 200 - 350 oC i wymieszaniu z roztworem amoniaku (mocznika) kierowane są na monolityczne złożo katalityczne (katalizator wolframowo-wanadowo lub manganowo-wanadowy na nośniku z dwutlenku tytanu), gdzie następuje redukcja tlenków azotu do wolnego azotu. Proces ten przebiega bardzo dobrze z wydajnością powyżej 90% , często 95 - 99% .

Zarówno selektywna niekatalityczna redukcja tlenków azotu (SNCR) jak i selektywna katalityczna redukcja tlenków azotu (SCR) prowadzone są przy udziale roztworu amoniaku lub mocznika. Dodatkowym efektem zastosowania systemu katalitycznej lub niekatalitycznej redukcji tlenków azotu jest również skuteczna redukcja emisji polichlorowanych dioksyn i furanów - przebiegająca dla układów katalitycznych z wydajnością ok. 90 - 99% (katalityczny rozkład - odchlorowanie i utlenienie dioksyn), zaś dla układów niekatalitycznych

z wydajnością ok. 60 - 70% (wiązanie chloru w strefie spalania i poza strefą spalania, podczas chłodzenia spalin, a przede wszystkim inhibicyjne działanie azotu w odniesieniu do syntezy de novo dioksyn i furanów).

Systemy oczyszczania gazów odlotowych w spalarniach odpadów na przestrzeni lat ulegały licznym modyfikacjom. W miarę rozwoju nauki dokonywał się równocześnie istotny postęp techniczny. W latach sześćdziesiątych i wcześniej budowano spalarnie odpadów praktycznie bez jakichkolwiek systemów oczyszczania spalin. W latach siedemdziesiątych pojawiły się systemy odpylania, w latach osiemdziesiątych systemy usuwania gazów kwaśnych. Pod koniec lat dziewięćdziesiątych dominowało przekonanie, że nowoczesna spalarnia odpadów musi posiadać następujące elementy w systemie oczyszczania spalin - elektrofiltr do usunięcia pyłów, mokry (najlepiej dwustopniowy) układ absorpcyjny do usunięcia gazów kwaśnych, adsorber węglowy w celu usunięcia dioksyn i lotnych metali

w sposób istotny na kosztach eksploatacyjnych. Po roku dwutysięcznym, w wyniku prowadzonych badań zmniejszono system oczyszczania spalin na prostszy, lecz równie wydajny. Składa się on z reguły z układu DeNOx metodą SNCR, absorbera pól suchego (lub suchego), wtłoku węgla aktywnego i odpylania na filtrach tkaninowych. Koszt takiego systemu nie przekracza dziś 30% kosztów budowy spalarni. W tym podkreślenia jest fakt, że współczesne suche systemy oczyszczania spalin z nawilżaniem są równie skuteczne, co droższe systemy mokre. Technologie oczyszczania gazów odlotowych ze spalarni odpadów osiągnęły dziś taki stopień rozwoju, że nie stanowi żadnego problemu osiągnięcie stężeń zanieczyszczeń w spalinach na poziomie 10-20% wartości dopuszczalnych określonych w dyrektywie 2000/76/WE i rozporządzeniu w sprawie standardów emisyjnych z instalacji.

W zakresie usuwania dioksyn furanów pojawiły się również nowe technologie - jest to zastosowanie do odpyla-

których równocześnie zachodzi katalityczny rozkład dioksyn oraz zastosowanie wypełnień i elementów konstrukcyjnych ze specjalnie preparowanego polipropylenu (z dodatkiem węgla aktywnego), w którym zachodzi trwała absorpcja cząsteczek dioksyn (dodatkowe wiązanie wewnątrz elementów z polipropylenu poprzez adsorpcję na cząstkach węgla aktywnego) zwana metodą absorpcyjno-adsorpcyjną wykorzystującą tzw. „efekt pamięci” - technologia ADIOX®. Obie technologie znalazły już zastosowanie w licznych spalarniach. Można więc stwierdzić, że dziś, na początku drugiej dekady XXI wieku problem emisji dioksyn w spalarniach odpadów praktycznie nie istnieje.

■ Postępowanie z żużłami i popiołami oraz produktami oczyszczania spalin

Ilość żużli i popiołów po procesie termicznego przekształcania odpadów jest ściśle proporcjonalna do ilości substancji niepalnych zawartych w odpadach komunalnych poddawanych spalaniu. Zdecydowana większość substancji niepalnych, których główną część stanowią metale oraz zawiązki krzemu, tworzy żużel i popiół zwany czasem popiołem dennym. Zazwyczaj jest go ok. 25-30% masy odpadów poddawanych spalaniu. Metale w żużlu znajdują się w postaci tlenków, soli (głównie siarczanów, czasem chlorków), a także w postaci metalicznej. W wyniku sezonowania (kilkutygodniowego składowanie na otwartym, uszczelnionym placu) większość metali przechodzi w formy trudnomywalne i tym samym żużel może być w sposób bezpieczny wykorzystany gospodarczo, np. w budownictwie drogowym. Taki sposób postępowania z żużlem i popiołem jest powszechny we wszystkich krajach UE za wyjątkiem Austrii, gdzie jest on składowany jako odpad.



ciężkich (np. rtęci) oraz układ DeNOx. Koszt takiego systemu stanowił ponad 50% kosztów budowy spalarni i ważył

nia membran filtracyjnych nasyconych solami wolframu i wanadu (metoda filtracyjno-katalityczna REMEDIA®), na

Stężenie metali w żużlu jest stosunkowo wysokie i tym samym może być on również poddany procesom odzysku. Przykładowo stężenie aluminium oraz cynku jest często porównywalne ze stężeniem w niektórych rudach tych metali. Według najnowszych danych CEWEP (Confederation of European Waste-to-Energy Plant) z żużli i popiołów pochodzących z wszystkich spalarni odpadów komunalnych w Europie (ponad 400 instalacji o łącznej wydajności blisko 70 mln Mg/rok) można odzyskać około 200 000 Mg aluminium. W dobie kurczących się zasobów (światowe zasoby niektórych metali mogą ulec wyczerpaniu w przeciągu 20-50 lat!) należy oczekiwać, że w niedalekiej przyszłości żużel i popiół po termicznym przekształcaniu będzie wykorzystywany do odzysku zawartych w nim metali. Już dziś trwają intensywne prace badawcze nad technologią odzysku fosforu z popiołów po spalaniu osadów ściekowych.

Drugim wtórnym odpadem powstającym w procesie termicznego przekształcania odpadów są produkty oczyszczania spalin. W przypadku suchej i półsuchej metody oczyszczania gazów odlotowych jest to zazwyczaj mieszanka pyłów z procesu spalania oraz związków wapnia (siarczanu, siarczynu, chlorku i fluorku oraz węglanu, tlenku i wodorotlenku wapniowego). Do odpadów tych zalicza się również popioły lotne wytrącone w kotle i układach odzysku ciepła. Mieszanka tych odpadów jest trudnorozpuszczalna w wodzie, lecz zawiera znaczne ilości metali ciężkich (o różnym stopniu związania) oraz zaadsorbowanych produktów niepełnego spalania (WWA, chlorofenoli i chlorobenzenów, a także dioksyn i furanów, polichlorowanych bifenyli i polichlorowanych naftalenów). Stanowi ona odpad niebezpieczny, który w większości krajów UE jest stabilizowany (np. cementowany) w celu zmniejszenia wymywalności oraz składowany

na składowiskach odpadów niebezpiecznych. W Niemczech składowany jest w wyrobiskach starej kopalni soli niedaleko Heilbronn, razem z odpadami wypalonego paliwa jądowego. Odpadu tego jest zazwyczaj ok. 4-5% początkowej masy odpadów poddawanych spalaniu. Jego charakterystyka jest znana, jak również opracowane są metody bezpiecznego postępowania z nim.

■ Podsumowanie

Spalanie odpadów budzi wiele kontrowersji i protestów społecznych. Bardzo trudno jest uzyskać społeczną akceptację dla lokalizacji tego typu instalacji. Większość obaw bierze się z nieznajomości zagadnienia oraz obaw przed negatywnymi skutkami emisji zanieczyszczeń. Wiele obaw, wątpliwości i oporów społecznych przed budową spalarni odpadów komunalnych bierze się z nieznajomości stanu współczesnej techniki oraz własnych, nienajlepszych doświadczeń dotyczących spalania odpadów. Każdy z nas w swoim życiu rozpałał ognisko i widział jak pali się węgiel lub drewno w piecu lub w kominku. Każdy więc wie, że procesowi spalania towarzyszy powstawanie dymu i emisja zanieczyszczeń, często o przykrym zapachu. Każdy więc spodziewa się, że podobnie jest w spalarni odpadów. Rzeczywistość jest jednak inna i są to sprawy całkowicie nieporównywalne.

Wszystko co nowe i nieznanie zawsze budziło i budzi obawy o bezpieczeństwo, oddziaływanie na zdrowie ludzi i środowisko, możliwe awarie. Nie inaczej jest w przypadku instalacji termicznego przekształcania odpadów zwanych najprościej spalarniami. Obawy o prawidłowe funkcjonowanie, o oddziaływanie na zdrowie ludzi i środowisko, obawy o bezpieczeństwo zamieszkujących w pobliżu osób towarzyszyły zawsze budowie tego typu instalacji. Jest rzeczą oczywistą, że

każdy z nas chciałby żyć w czystym, bezpiecznym środowisku mając pewność, że nic mu nie zagraża. Doświadczenia budowy i eksploatacji ponad 400 spalarni odpadów komunalnych w Europie i ponad 900 funkcjonujących na całym świecie wskazują jednoznacznie, że zagrożenie takie nie występuje i zamieszkiwanie w pobliżu spalarni odpadów nie wiąże się z żadnym dodatkowym ryzykiem. Najważniejsze dane dotyczące oddziaływania spalarni odpadów na środowisko opisano w publikacji w numerze 1 Nowej Energii z 2008 roku [6].

Szczegółowe badania dotyczące rzeczywistego oddziaływania instalacji termicznego przekształcania odpadów na środowisko oraz zamieszkujących w pobliżu ludzi przeprowadzili na przełomie lat dziewięćdziesiątych i na początku lat dwutysięcznych Portugalczycy. W 1999 roku w Portugalii uruchomiono dwie duże spalarnie odpadów komunalnych - jedną w Lizbonie (600 000 Mg/rok) i drugą w Porto (400 000 Mg/rok). Ponieważ na tych terenach (jak i w całej Portugalii) nie było wcześniej spalarni odpadów porównali oni bardzo szczegółowo stan środowiska oraz stan zdrowia mieszkańców na terenie w pobliżu lokalizacji spalarni przed ich wybudowaniem oraz przez kilka lat po ich wybudowaniu i uruchomieniu. Wyniki swoich prac opublikowali w prestiżowych czasopismach naukowych w latach 2006-2007. Konkluzja ich badań jest następująca - nie zaobserwowano zwiększenia stężenia metali ciężkich oraz dioksyn w środowisku i w organizmach zamieszkujących w pobliżu ludzi oraz nie stwierdzono żadnego wpływu funkcjonowania spalarni odpadów na zdrowie okolicznych mieszkańców.

Podobną analizę wykonano w latach 2005-2008 rozpatrując problem zmiany systemu gospodarki odpadami w Nowym Yorku. Stwierdzono wtedy, że zamieszkiwanie w pobliżu

istniejących, zarówno czynnych, jak i wyłączonych z eksploatacji składowisk odpadów stwarza wielokrotnie wyższe zagrożenie zdrowotne niż zamieszkiwanie w pobliżu spalarni odpadów. W bogatej literaturze przedmiotu można znaleźć wiele publikacji naukowych w poważnych czasopismach naukowych jak i raportów dotyczących zagrożeń - a właściwie braku zagrożeń ze strony spalarni odpadów komunalnych dla środowiska i zdrowia okolicznych mieszkańców. Chronologicznie pierwszy był raport niemieckiego związku lekarzy z 1993 na temat skutków zdrowotnych zamieszkiwania w pobliżu spalarni odpadów. Późniejszy raport rządowej agencji zdrowia Wielkiej Brytanii (2000) potwierdził te dane.

Jak więc widać, na przykładzie sektek istniejących i funkcjonujących instalacji termicznego przekształcania odpadów zarówno w Europie jak i na świecie, spalanie odpadów jest powszechną praktyką, a instalacje tego typu (w szczególności klasyczne spalarnie rusztowe stanowiące zdecydowaną większość instalacji) są instalacjami niezawodnymi, bezpiecznymi, nieoddziaływującymi w sposób szkodliwy na środowisko. Polska jako członek Unii Europejskiej musi dostosować swoją gospodarkę odpadami do standardów unijnych, a to oznacza jednoznacznie budowę spalarni odpadów. Współczesne konstrukcje spalarni odpadów podlegają takim samym regułom technicznym i prawnym w Polsce jak i w innych krajach Unii, a to oznacza, że budowane w Polsce spalarnie będą tak samo bezpieczne jak te, które od lat z powodzeniem funkcjonują np. w Niemczech, Austrii, Szwecji, Danii czy Holandii.

Podstawowe kierunki działań w gospodarce odpadami komunalnymi zostały wytyczone przez kraje Unii Europejskiej już w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku i są z powodzeniem od lat wprowadzane w życie. Podstawowym, strategicznym celem jest zmniejszenie ilości powstających odpadów (co jednak jest w praktyce

mało realne), maksymalne wykorzystanie powstałych odpadów w postaci recyklingu materiałowego, surowcowego lub energetycznego, a dopiero na końcu składowanie tego, czego nie udało się zagospodarować innymi metodami. Jest całkowicie zrozumiałym i jasnym, że polski system gospodarki odpadami powinien być zgodny z polityką UE w tym zakresie. Widać w tym zakresie oznaki poprawy sytuacji, ale w dalszym ciągu sytuacja w Polsce jest daleko niezadowalająca i odmienna niż w najbardziej uprzemysłowionych krajach UE.

Czołowe kraje Unii takie jak Niemcy, Holandia, Francja, Austria, Belgia, Dania czy Szwecja składają zaledwie kilka procent (1 - 5%) odpadów komunalnych, znaczną część poddają recyklingowi (ok. 60%), niewielka część wykorzystują do produkcji kompostu (1 - 10%) i blisko 30 - 40% spalają w nowoczesnych, bezpiecznych spalarniach odpadów. W Polsce udział recyklingu sięga ok. 13%, kompostowania ok. 4%, spalania ok. 0,5% zaś reszta (ok. 83%) jest składowana. To musi ulec zmianie.

Podstawową barierą rozwoju technologii termicznego przekształcania odpadów komunalnych, czyli mówiąc prościej ich spalania jest przede wszystkim opór społeczny przed realizacją tego typu inwestycji. Na drugim miejscu należy wymienić brak kapitału dla sfinansowania tego typu przedsięwzięć. Druga bariera (kapitałowa) jest obecnie stosunkowo łatwa do pokonania, gdyż od 1 stycznia 2012 roku odpady stają się własnością gmin, które od mieszkańców będą pobierać opłaty za ich odbiór. Pozwoli to na zaprojektowanie odpowiedniego systemu gospodarki odpadami, w którym znajdzie się również mniejsze dla spalarni odpadów. Bariera pierwsza jak na razie wydaje się niepokonywalna. Strach przed spalarnią jest powszechny i umiejętnie podsycany przez niektóre ruchy ekologiczne programowo, wbrew logice i oczywistym faktom, zwalczające spalarnie odpadów. Okazuje się, że łatwiej do świadomości publicznej przebija się

agresywna, często kłamliwa propaganda przeciwników spalarni niż rzeczowe argumenty specjalistów.

Niezależnie jednak od oporów społecznych zmiana systemu gospodarki odpadami w Polsce musi nastąpić. Z jednej strony wymaga tego konieczność dostosowania do standardów Unii Europejskiej, z drugiej względy praktyczne - kłopoty z pozyskiwaniem nowych terenów pod składowiska odpadów, kurczące się zasoby surowców, w tym energetycznych (wykorzystanie właściwości palnych odpadów) przy jednoczesnym, stale rosnącym zapotrzebowaniu na energię.

Czeka nas więc ogromne wyzwanie - konieczność przekonania społeczeństwa do wybranej drogi postępowania, szeroka akcja edukacyjna skierowana zarówno do dzieci i młodzieży, ale także do ludzi starszych, często rozczarowanych własną sytuacją ekonomiczną, programowo nie wierzącą w żadne zapewnienia tzw. „władzy” i niechętną jakimkolwiek zmianom. Będzie to również walka ze stereotypami typu „czarny, trujący dym ze spalarni odpadów”, „uciążliwość zapachowa spalarni” (przez analogię do odorów wydobywającego się z pojemnika na śmieci), „częste awarie”, „emisja trujących dioksyn” (które nie wcale nie są takie trujące i rakotwórcze jak powszechnie się sądzi) itp.

Reasumując przedstawione powyżej rozważania, należy wyraźnie podkreślić, że spalarnie odpadów pracują bezpiecznie w Europie od ponad stu lat, a ilość aktualnie działających instalacji w krajach Unii Europejskiej jest bliska 400 (na całym świecie jest ich ok. 900). Z roku na rok ilość i ich wydajność rośnie, buduje się spalarnie coraz większe i nowocześniejsze. Należą one do najbardziej bezpiecznych i niezawodnych, a zarazem nieodczuwanych elementów systemu gospodarki odpadami.