

Joanna M.Łowkis, Roman Jagiełło, Krzysztof K.Kaczmarek, Magdalena Surowiec

Termiczna utylizacja odpadów przemysłowych i jej oddziaływanie na środowisko

Termiczna utylizacja stosowana jest głównie do unieszkodliwiania tych odpadów, których wykorzystanie nie jest możliwe i które ze względu na rodzaj, cechy lub ilość są szczególnie groźne dla zdrowia, powietrza lub wody, grożą eksplozją, a także zawierają lub mogą sprzyjać rozprzestrzenianiu się zarazków chorób zakaźnych. Chodzi tu przede wszystkim o takie rodzaje odpadów, które zawierają związki organiczne w dużych ilościach lub o dużym potencjalnym zagrożeniu. Efektem termicznej utylizacji odpadów może być:

- znaczne zmniejszenie zagrożenia ze strony substancji szkodliwych w nich zawartych,
- zmniejszenie ich ilości i objętości,
- doprowadzenie pozostałych po spalaniu resztek do postaci użytkowej lub możliwej do składowania,
- odzysk energii.

Brak skutecznych działań w zakresie ograniczenia strumienia powstających odpadów (np. poprzez wdrażanie technologii małoi bezodpadowych) oraz ich zagospodarowania (recykling, termiczna utylizacja, kompostowanie i in.) spowodował sytuację, w której składowanie odpadów na wysypiskach wyczerpuje już możliwości stosowania tej metody. Jest paradoksem, że czynione próby rozwiązania tego zagadnienia (m.in. na drodze wdrażania metody termicznej utylizacji odpadów) napotyka obecnie na zdecydowany opór społeczny, wyrażający się w licznych protestach skierowanych przeciwko lokalizacji spalarni odpadów na danym terenie. Protestom tym towarzyszy najczęściej dyskusja, w której racjonalne i merytoryczne argumenty są niezbyt często artykułowane.

Wiadomo, że brak przemysłowych doświadczeń w eksploatacji tego rodzaju obiektów w kraju jest głównym powodem konieczności korzystania z informacji dostępnych jedynie w doniesieniach zagranicznych. Nie znaczy to jednak, że krajowi specjaliści nie są w stanie ocenić oraz wydać opinii o coraz liczniejszych ofertach budowy i eksploatacji spalarni odpadów.

Termiczna utylizacja odpadów

Podstawową zaletą termicznych procesów przeróbki odpadów jest możliwość ich całkowitego unieszkodliwienia i usunięcia z obiegu ekologicznego. Uzyskać można przy tym energię oraz żużel, który następnie może być wykorzystywany bez szkody dla środowiska. Zastosowanie tej metody unieszkodliwiania odpadów ogranicza ilość deponowanych odpadów, zmienia ich skład chemiczny, przedłuża żywotność składowiska, przyczynia się do skrócenia czasu traktowania obszaru jako nieprzydatnego do innych zastoso-

wań. Ogranicza również konieczny zakres monitorowanych komponentów środowiska [1]. Należy jednak pamiętać, że choć w naszym kraju ten sposób unieszkodliwiania odpadów nie jest jeszcze powszechnie wykorzystywany (sposób ten na niewielką skalę zastosowano m.in. w Gliwicach [2]), to w świecie został on przyjęty i jest szeroko stosowany.

W skład instalacji do termicznej utylizacji odpadów wchodzi następujące systemy:

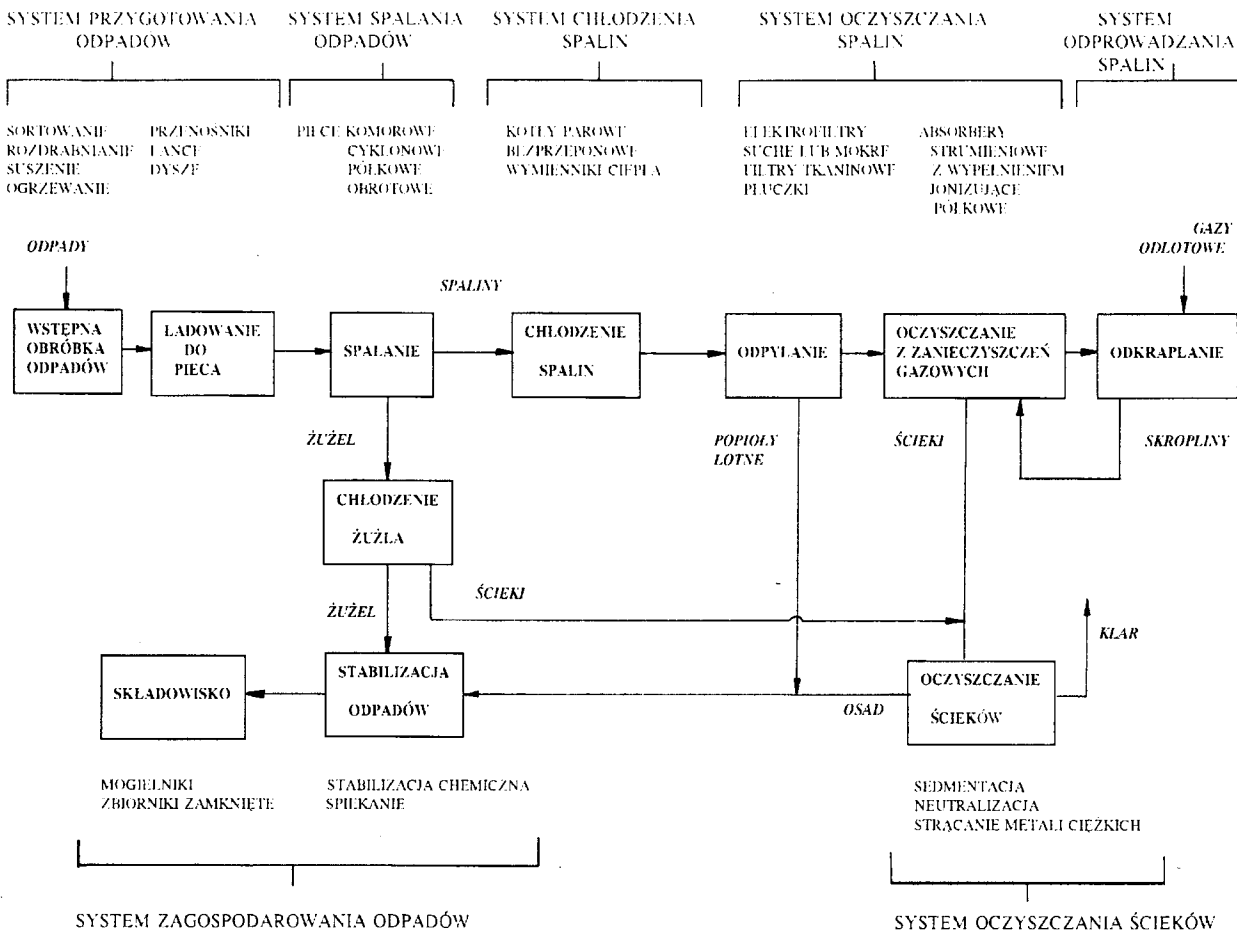
- kontroli i selekcjonowania odpadów,
- wstępnej obróbki i transportu odpadów do pieca,
- spalania,
- odżuzłania,
- schładzania spalin,
- oczyszczania i odprowadzania spalin,
- zagospodarowania odpadów po termicznej utylizacji,
- oczyszczania powstałych ścieków.

Schemat instalacji do termicznej utylizacji odpadów przedstawia rysunek 1 [3].

Ze względu na różną postać oraz właściwości fizyczno-chemiczne odpadów poddaje się je wstępnej obróbce obejmującej segregację, rozdrabnianie, mieszanie, osuszenie a nawet podgrzewanie. Tak przygotowane odpady są następnie podawane do komory spalania. Sposób podawania zależy od ich stanu skupienia i objętości. Odpady stałe mogą być ładowane za pomocą przenośników ślimakowych, grawitacyjnie, pneumatycznie lub naporowo. Ciecze rozpylane są często dyszami lub podawane lancami, zaś szlamy przetłaczane są bezpośrednio do komory spalania pompami szlamowymi.

System spalania tworzy centralną część całej instalacji. Do spalania odpadów przemysłowych stosuje się piece bezrusztowe, takie jak: obrotowe, fluidalne, komorowe, cyklonowe i półkowe [3,4]. Często stosuje się piece dwukomorowe. W komorze pierwszej spalane są części stałe unieszkodliwianych odpadów, natomiast druga komora (komora dopalania) służy do resztkowej oksydacji znajdujących się w spalinach substancji szkodliwych oraz do spalania odpadów ciekłych. Najczęściej stosowanym piecem w amerykańskich zakładach utylizacji odpadów uciążliwych jest piec obrotowy z wtryskiem cieczy i komorą dopalania [5].

Powstały po spaleniu odpadów żużel odprowadzany jest na mokro lub na sucho. Odżuzłacz mokry jest połączony z komorą dopalania przez zanurzoną rynnę tak, aby uniknąć zasysania powietrza i aby utrzymać stabilizację podciśnienia w komorze dopalania. Schłodzony wodą żużel odprowadzany jest przenośnikiem łańcuchowym i po jego oddzieleniu od wody może być następnie ładowany do hermetycznych beczek. W przypadku suchego odprowadzania żużla jest on schładzany strumieniem powietrza, kierowanym następnie do komory spalania.



Rys. 1. Operacje technologiczne w systemie spalania odpadów [3]

Spaliny uchodzące z pieca, przed wejściem do węzła oczyszczania, muszą zostać schłodzone. Chłodzenie może odbywać się jedno- lub dwustopniowo. Stopień pierwszy stanowi bezprzeponowa chłodnica spalin. Urządzenie to kondycjonuje spaliny przed ich wlotem do kotła parowego. Spaliny są tu schładzane wodą procesową rozpylaną przez dysze do temperatury niższej od punktu topnienia popiołu, tj. około 830 °C. Zapobiega to zaklejaniu zimnych powierzchni kotła przez wytrącające się cząstki popiołów. W kotle wytwarzana jest przegrzana para wodna i następuje schłodzenie spalin do temperatury 100+300 °C, zależnie od sposobu dalszej obróbki spalin. W przypadku schładzania jednostopniowego stosuje się bezprzeponowe wymienniki ciepła, w których spaliny są gwałtownie schładzane do temperatury 100+200 °C bez odzysku ciepła.

System oczyszczania gazów jest najważniejszym elementem całej instalacji. Od jego sprawności i niezawodności zależy często dopuszczenie spalarni odpadów do eksploatacji. Oczyszczanie gazów odbywa się dwustopniowo: najpierw odpylanie i następnie oczyszczanie z zanieczyszczeń gazowych. Wysokie wymagania stawiane przed tym systemem wymagają zastosowania bardzo wydajnych urządzeń odpylających, tj. filtrów tkaninowych, elektrofiltrów, płuczek ze zwężką Venturiego itp. W drugim stopniu, zależnie od zastosowanej technologii oczyszczania gazów, stosuje się różnego typu płuczki, jak: strumieniowe, natryskowe, rzadziej półko-

we, barbotażowe i ze złożem fluidalnym. Oczyszczone spaliny po przejściu przez odkraplacz usuwane są kominem do atmosfery.

Oddziaływanie spalarni odpadów na środowisko

Prace studialne obejmujące m.in. analizę takich elementów, jak: stan techniki, technologia spalania odpadów przemysłowych, parametry techniczne procesu, wyniki badań laboratoryjnych próbek odpadów pochodzących z polskich zakładów przemysłowych oraz obecny stan prawny, pozwalają na dokonanie oceny planowanego przedsięwzięcia pod kątem identyfikacji źródeł unosu zanieczyszczeń, a następnie ich emisji do poszczególnych komponentów środowiska. Można zatem stwierdzić, że:

- zakład termicznej utylizacji odpadów przemysłowych zajmuje obszar terenu, na którym są zlokalizowane urządzenia technologiczne oraz obiekty towarzyszące, a teren zakładu uzbrojony jest w konieczną sieć instalacji technicznych (sieć energetyczna, wodno-kanalizacyjna, telekomunikacyjna i in.),

- powstanie zakładu powoduje konieczność wytypowania tras komunikacyjnych, którymi będą transportowane odpady przeznaczone do utylizacji; w zależności od projektu lokalizacji składowiska żużla i popiołu, wytypowane zostaną trasy transportu żużla i popiołu na składowisko,

– na terenie projektowanego zakładu zlokalizowane są magazyny odpadów specjalnych (zbiorniki na olej, beczki i zbiorniki ze zużytymi rozpuszczalnikami i innymi substancjami palnymi itp.) oraz oczyszczalnie ścieków bytowych i technologicznych,

– technologia termicznej utylizacji odpadów przemysłowych wymusza istnienie szczelnego składowiska odpadów stałych, tj. żużła, popiołu i osadów, będących ubocznymi produktami stosowanej technologii utylizacji.

W związku z powyższym, oddziaływanie spalarni odpadów na otaczające środowisko naturalne można określić następująco:

- ◆ oddziaływanie na powietrze atmosferyczne:
 - emisja oczyszczonych spalin do atmosfery,
 - niezorganizowana emisja (przede wszystkim pyłów) z terenu zakładu,
 - emisja oczyszczonego (odpylonego) powietrza z układów wentylacyjnych obiektów towarzyszących (np. hala przygotowania odpadów do utylizacji),
 - emisja spalin z pieca obrotowego w sytuacjach awaryjnych,
 - emisja zanieczyszczeń gazowych i pyłowych wywołana przez środki transportu.
- ◆ oddziaływanie na środowisko wodne:
 - odprowadzanie oczyszczonych ścieków bytowych, technologicznych i wód opadowych do kanalizacji lub innego odbiornika (o ile nie zostaną zastosowane inne metody gospodarki ściekowej),

– pośredni wpływ na stan wód powierzchniowych na skutek procesów transportu, przemian i wymywania (*scavenging*) zanieczyszczeń znajdujących się w powietrzu atmosferycznym,

◆ oddziaływanie na środowisko glebowe, ludzi, zwierzęta i rośliny:

– oddziaływanie to będzie miało charakter pośredni, tj. wywołany efektem emisji zanieczyszczeń do powietrza atmosferycznego,

– zajęta powierzchnia terenu przez zakład i składowisko odpadów stałych oraz efekt krajobrazowy wywołany powstaniem obiektów (komin, konstrukcje stalowe, budynki itp.),

– użytkowanie tras komunikacyjnych,

◆ inne formy oddziaływań na środowisko naturalne:

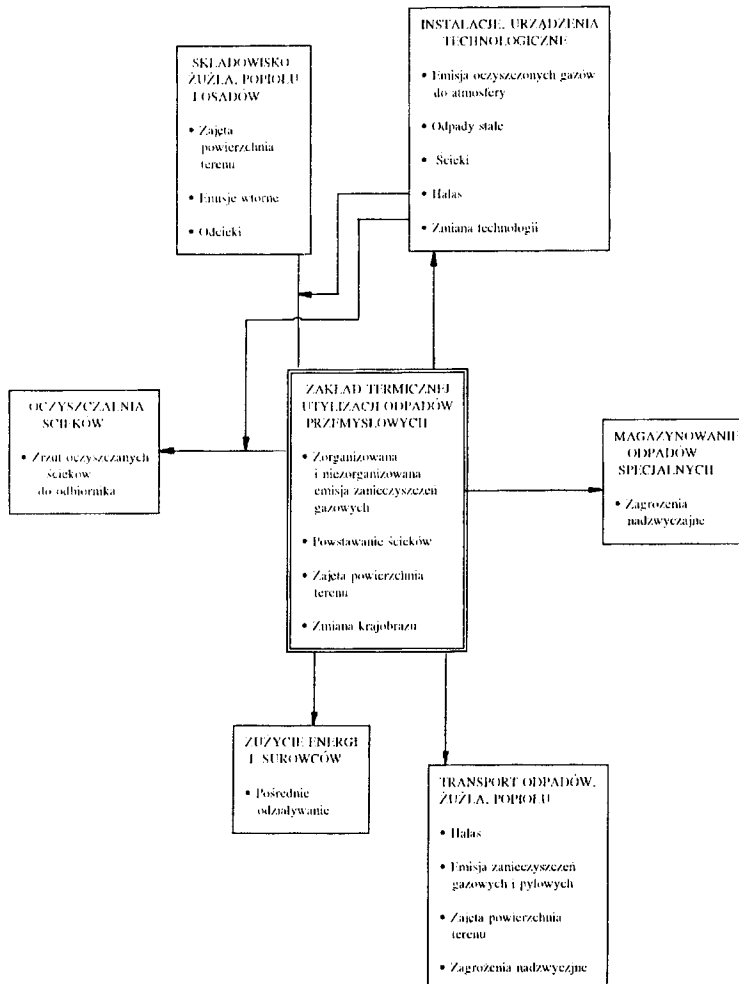
– emisja hałasu wywołanego przez urządzenia technologiczne zakładu oraz środki transportu,

– sytuacje awaryjne związane z transportem i magazynowaniem odpadów (wypadki drogowe, pożary, wybuchy itp.).

Na rysunku 2 przedstawiono schematycznie możliwe oddziaływanie spalarni odpadów na środowisko naturalne.

Emisja spalin

Ilość spalin generowanych w procesie termicznej utylizacji odpadów jest uwarunkowana nie tylko ilością odpadów, ale zależy również od właściwości odpadów jako paliwa (tj. od jego ciepła spalania, wartości opałowej, zawartości substancji lotnych, składu



Rys. 2. Oddziaływanie spalarni odpadów na środowisko naturalne

elementarnego) oraz od rodzaju urządzenia stosowanego do utylizacji odpadów.

Główne składniki spalin generowanych w procesie termicznej utylizacji odpadów stanowią pyły, tlenki siarki, azotu i węgla, pochodne halogenków (głównie HCl i w mniejszej ilości HF) oraz związki organiczne, z których na szczególną uwagę, ze względu na swój toksyczny charakter, zasługują dioksyny i furany. W tabeli 1 przedstawiono przykładowy unos pyłu i gazów ze spalania różnych typów odpadów [6].

Tabela 1. Unos wybranych zanieczyszczeń dla różnych odpadów[6]

Substancja	Rodzaj spalanych odpadów		
	komunalne	przemysłowe	szpitalne
	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³
Pył	180	890	440
Pb	3,5	2,5	3,5
Cd	0,2	0,14	0,26
SO ₂	286	348	152
HCl	623	327	727
NO _x	450	260	203

Dane te są średnimi wartościami otrzymanymi z pomiarów przeprowadzonych w 11 spalarniach odpadów komunalnych, 8 spalarniach odpadów przemysłowych i 2 spalarniach odpadów szpitalnych pracujących w Wielkiej Brytanii. Względnie niskie stężenie pyłów, zmierzone w spalarni odpadów komunalnych, wynika z pomiaru tego składnika za pierwszym stopniem odpylania.

Tlenki siarki, a głównie SO₂ (SO₃ występuje tu w bardzo małych ilościach – 1÷5 % całkowitej ilości tlenków), powstają ze spalania siarki obecnej w odpadach lub paliwie pomocniczym. Przeprowadzona analiza porównawcza zawartości siarki w spalanych odpadach komunalnych ze stężeniem SO₂ w spalinach wykazała, że jedynie 45 % siarki z odpadów komunalnych przechodzi w SO₂, zaś pozostała jej część pozostaje w żużlu [7]. Oczywiście wartość ta zmienia się w zależności od ilości związków alkalicznych zawartych w spalanych odpadach. Emisja SO₂ do atmosfery zależy od wielkości unosu i skuteczności stosowanej metody odsiarczenia spalin.

Związki chloru w spalinach są głównie pochodzenia organicznego. Podczas spalania związków organicznych zawierających chlor – głównie PCW i PCBs (polichlorobifenyle) – uwalniany jest chlor, który następnie reaguje z parą wodną zawartą w spalinach tworząc kwas solny. Spaliny ze spalarni mogą ponadto zawierać HF (głównie z utylizacji teflonu) i śladowe ilości HBr.

Tlenki azotu wydzielają się w wyniku utleniania azotu zawartego w powietrzu oraz spalania naturalnych związków organicznych zawierających azot (mięso, skóra, jedwab, wełna itp.), a także związków syntetycznych zawierających azot. Badania porównujące ilość azotu w odpadach i zawartość NO_x w spalinach wykazały, że bardzo mała część azotu (3,8 %) z odpadów stałych jest uwalniana w postaci NO_x [7].

Emisja pyłu ze spalarni, podobnie jak i z innych procesów spalania, zależy od zawartości popiołu lotnego w spalonym materiale oraz sposobu organizacji i prowadzenia procesu spalania. Większość odpadów nieorganicznych jest niepalna i pozostaje obojętna podczas spalania odpadów tworząc popiół. Skład tego popiołu stanowią w większości tlenki krzemu, glinu, wapnia i żelaza; toksyczne metale stanowią zwykle 1÷10 %. Niewielka ilość popiołu

unoszona jest z komory spalania w postaci pyłu, natomiast pozostała część pozostaje w żużlu. W skład emitowanego popiołu wchodzi również związki organiczne. Ograniczenie emisji pyłu jest głównym sposobem obniżenia emisji związków organicznych i metali ciężkich do środowiska.

Związki organiczne emitowane ze spalarni pochodzą głównie z niepełnego spalania substancji zawartych w utylizowanych odpadach. Dlatego też wielkość ich emisji zależy głównie od składu odpadów i sposobu prowadzenia procesu spalania. Wybrana technologia spalania określonego typu odpadów musi zapewnić bardzo wysoką skuteczność ich rozkładu (co najmniej 99 %). Na obecność dioksyn i furanów w gazach odlotowych ze spalarni odpadów wpływają następujące czynniki:

- nierozłożenie dioksyn i furanów obecnych w odpadach,
- synteza, w wyniku reakcji zachodzących podczas rozkładu związków organicznych (chlorowcopochodnych) w systemie spalania,
- wtórna reakcja produktów niepełnego spalania związków organicznych.

Wtórne powstawanie dioksyn i furanów ma miejsce poza systemem spalania w układzie chłodzenia spalin, w obszarze temperatur 250÷400 °C. Ich prekursorami mogą być chlorowcopochodne węglowodory alifatyczne, aromatyczne lub np. benzen z AlCl₃ [8]. Nie ma dowodów na tworzenie się dioksyn i furanów w reakcjach, w których głównym źródłem węgla są tlenki węgla [2]. Jednak w niektórych opracowaniach dopuszcza się możliwość takich reakcji, w przypadku braku innych źródeł węgla. Powstawaniu dioksyn i furanów sprzyja obecność w spalinach O₂, HCl, Cl₂, CuCl₂ i chlorków (NaCl, MgCl₂, CaCl₂, AlCl₃, KCl). Z HCl w obecności O₂ powstaje bardzo reaktywny rodnik Cl[•], który w reakcji ze związkami organicznymi tworzy prekursor dioksyn i furanów. Obecne w spalinach chlorki metali działają jak katalizatory [8]. W tabeli 2 przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w kilku różnych spalarniach odpadów komunalnych, szpitalnych i niebezpiecznych [9]. Duży zakres występowania dioksyn sugeruje, że w badanych instalacjach nie są w pełni wykorzystane możliwości ograniczania ich stężeń. Duże emisje dioksyn i furanów ze spalarni odpadów szpitalnych wynikają z braku odpowiednich urządzeń zmniejszających emisję zanieczyszczeń gazowych oraz z rodzaju utylizowanych odpadów.

Tabela 2. Emisja dioksyn i furanów ze spalarni odpadów (w nawiasach liczba przebadanych instalacji) [9]

Rodzaj spalanych odpadów	Dioksyny	Furany
	ng/Nm ³	ng/Nm ³
Szpitalne (3)	117÷450	52÷30.000
Komunalne (7)	1÷10.700	2÷37.300
Niebezpieczne (4)	ND÷16	ND÷56
Niebezpieczne spalane w kotłach (4)	ND÷1	ND
Niebezpieczne spalane w piecach do wypalania cementu (4)	ND	ND

ND – wartości nieoznaczalne

Spalanie zmienia formę występowania metali w odpadach, ale nie zawsze eliminuje szkodliwe oddziaływanie metali w stosunku do środowiska naturalnego. Metale występują we wszystkich produktach spalania, tj. w żużlu, w odpadach z procesu oczyszczania spalin i w pyłach emitowanym z komina. Niektóre metale i ich związki, w warunkach panujących w komorze spalania, są lotne i dopiero w

chłodniejszej części instalacji kondensują na cząstkach stałych. Pary tych metali mogą ulegać reakcjom z chlorkami, fluorkami i tlenem. Powstałe związki są bardziej lotne od pierwotnych, co dodatkowo utrudnia ich eliminację ze spalin.

Odpaady stałe

Proces termicznej utylizacji odpadów minimalizuje ich objętość (do 10÷20 % obj. początkowej) i masę (do 5÷30 % masy wyjściowej), ograniczając w ten sposób kubaturę składowisk odpadów [10]. Następuje tu również ograniczenie uciążliwości odpadów poprzez znaczną eliminację związków organicznych.

Odpaady stałe powstające w procesie spalania odpadów to żużel (ok. 30 kg/t utylizowanych odpadów), stała pozostałość z procesów oczyszczania gazów i pył (ok. 30 kg/t utylizowanych odpadów) [11]. Z punktu widzenia ochrony środowiska i dalszego zagospodarowania tych odpadów ważny jest poziom i rodzaj zawartych w nich związków organicznych oraz zawartość metali ciężkich.

Badania nad składem żużla z około 10 % amerykańskich spalarni odpadów niebezpiecznych wykazały obecność związków organicznych w ilości ponad 35 mg/kg w odpadach pochodzących jedynie z dwóch spalarni [3]. W większości przebadanych przypadków, zawartość związków organicznych w żużlu wynosiła poniżej 30 mg/kg. Stwierdzono obecność 43 różnych związków w żużlu, przy czym w największych ilościach występowały toluen, fenol i naftalen. Najczęściej wykrywane metale występujące w żużlu to chrom, miedź, cynk, nikiel, arsen i srebro. Stężenia tych metali zmieniały się w szerokim zakresie i były funkcją typu pracujących urządzeń oraz warunków i sposobu organizacji pracy.

Skład popiołu lotnego niewiele odbiega od składu żużla, przy czym znajduje się w nim więcej substancji lotnych. Badania ekstraktów wodnych z popiołu i żużla ze spalania odpadów w Malmö wykazały, że w badanym popiele obserwowano niższe stężenia As, Cd i Hg, a wyższe Cu i Fe niż w żużlu.

Trudno jest jednoznacznie ocenić uciążliwość omawianych odpadów dla środowiska. Krajowe dane literaturowe [2] wykazują ich pełną nietoksyczność. Wyniki badań amerykańskich [3] wskazują na konieczność dalszej obróbki badanych odpadów. Pełna ocena tych odpadów jest możliwa jedynie dla konkretnego przypadku, gdyż wymaga dokładnej znajomości składu spalanych odpadów i sposobu prowadzenia procesu ich utylizacji.

Ścieki

W spalarniach odpadów powstają niewielkie ilości ścieków – zwykle rzędu kilku m³ na tonę spalanych odpadów. W skład tego strumienia wchodzi następujące rodzaje ścieków:

- bytowo-gospodarcze (sanitarne),
- technologiczne,
- z gaszenia żużla,
- z mokrego oczyszczania gazów,
- z uzdatniania wody do celów kotłowych,
- wody opadowe (z opadów atmosferycznych).

Ścieki bytowo-gospodarcze oczyszczane są w niewielkich oczyszczalniach ścieków znajdujących się na terenie zakładu lub odprowadzane są do kanalizacji miejskiej.

Ścieki technologiczne pochodzą z mycia urządzeń technologicznych i dostawczych (transportery, zbiorniki, przyczepy) oraz sprzątnięcia terenu zakładu. Mogą one zawierać, oprócz detergentów, duże ilości zawieszin zarówno organicznych jak i nieorganicznych, rozpuszczone sole i produkty ropopochodne (oleje, smary).

Ścieki z mokrego oczyszczania gazów charakteryzują się dużym zasoleniem, obecnością metali ciężkich oraz śladowych ilości związków organicznych. Badania amerykańskie wykazały w roztworze posorpcyjnym obecność 13 różnych związków organicznych o łącznym stężeniu do 135 mg/m³ [3].

Wody z chłodzenia żużla mogą krążyć w obiegu otwartym lub zamkniętym. W przypadku obiegu otwartego powstałe ścieki kierowane są do zakładowych oczyszczalni, gdzie wytrącane są metale ciężkie, następuje sedymentacja zawieszin i odsalanie ścieków. Oczyszczona woda może być wykorzystywana do celów technologicznych w innych elementach instalacji lub odprowadzona do odbiorników powierzchniowych.

Wody kotłowe znajdują w obiegu zamkniętym, który obejmuje kocioł oraz układ do dekarbonizacji i demineralizacji. Ścieki z dekarbonizacji oczyszczane są w osadniku, woda nadosadowa jest kierowana z powrotem do procesu, natomiast osad jest zagęszczany i kierowany na składowiska odpadów. Ścieki z demineralizacji wody zawierają duże ilości substancji rozpuszczonych, głównie siarczianów i chlorków. Ze względów technologicznych i ekonomicznych rzadko poddaje się je dalszej obróbce, np. przez destylację, odwróconą osmozę i elektrodializę, częściej wykorzystuje się je do zraszania, przy suchym transporcie odpadów na składowiska, lub odprowadza na mokre składowiska odpadów bądź (rozcieńczone) do odbiorników powierzchniowych [13].

Wody opadowe mają podobny skład do ścieków technologicznych. Zarówno wody opadowe jak i ścieki technologiczne charakteryzują się nierównomiernością powstającego strumienia, dlatego konieczne jest zastosowanie zbiornika retencyjnego dla tych ścieków, który pełni zarazem funkcję osadnika. Woda nadosadowa musi być oczyszczona z produktów naftowych w odolejaczu i może zostać wykorzystana do celów technologicznych lub po dalszym oczyszczeniu odprowadzona do odbiorników powierzchniowych. Ze względu na dużą zawartość związków organicznych w osadzie z oczyszczania ścieków, może zaistnieć konieczność spalania tego osadu.

Możliwości ograniczenia emisji substancji toksycznych

Skład i ilość odpadów powstających w spalarniach zależy od następujących czynników:

- składu spalanych odpadów,
- sposobu prowadzenia procesu spalania,
- metody oczyszczania gazów odlotowych,
- metody oczyszczania ścieków,
- sposobu dalszej obróbki odpadów stałych pochodzących ze spalania (żużla, popiołu, odpadów z systemu oczyszczania gazów).

Sortowanie odpadów powinno odbywać się już w źródle ich powstania. Należy eliminować odpady zawierające PCW i PCB, odpowiedzialne za powstawanie uciążliwych chlorowcopochodnych związków organicznych, głównie dioksyn i furanów oraz eliminować odpady o bardzo niskiej wartości opałowej, dużej zawartości wody i dużej zawartości popiołu. Wsad do pieca powinien być ujednolicony poprzez rozdrabnianie odpadów i mieszanie odpadów różnego typu. Wskazane jest takie prowadzenie tego procesu, aby można było uzyskać wsad o optymalnych właściwościach do spalania, tzn. o wartości opałowej umożliwiającej samopalenie odpadów, co pozwala na ograniczenie zużycia paliwa pomocniczego i w ten sposób sprzyja ograniczeniu emisji zanieczyszczeń. Należy jednak pamiętać aby powstała mieszanka nie stanowiła zagrożenia wybuchowego.

Przy optymalizowaniu procesu spalania odpadów ważne jest uwzględnienie tzw. zasady trzech „T”, tzn. zachowanie odpowiedniej temperatury, turbulencji i czasu (*time*) przebywania odpadów w komorze spalania. Wskazane jest spalanie dwustopniowe. W pierwszym stopniu, który stanowi piec do spalania odpadów, stałe związki organiczne przechodzą w lotne. Spalanie powinno się tu odbywać z nadmiarem tlenu i ciągłym mieszaniem spalanych odpadów w temperaturze 850+1.200 °C. W drugim stopniu, tj. w komorze dopalania, następuje dopalenie lotnych substancji w wysokiej temperaturze 1.200+1.600 °C, z czasem przebywania spalin w tej komorze wynoszącym co najmniej 2 sekundy. Takie prowadzenie procesu spalania zapewnia niemal całkowity rozkład związków organicznych zawartych w spalanych odpadach. Przez zastosowanie drugiej komory zmniejszana jest prędkość porywania cząstek stałych i dlatego zmniejszany jest unos pyłu. Ma to jednak znaczenie tylko dla jego grubych frakcji.

Bardzo trudne technicznie jest takie prowadzenie procesu schładzania spalin, aby uniknąć wtórnego powstania dioksyn, furanów i innych chlorowcopochodnych związków organicznych. Dla uniknięcia powstawania tych związków w wymienniku ciepła, nawilżone spaliny powinny być gwałtownie schłodzone do temperatury poniżej 250 °C. Takie schłodzenie można osiągnąć jedynie w wymiennikach bezprzeponowych, jednak główną wadą tego procesu jest brak odzysku ciepła odpadowego niesionego przez spaliny, co podnosi koszty eksploatacyjne instalacji. Prowadzone są badania nad dozowaniem amoniaku do kotłów parowych w strefę temperatur 250+400 °C [8,14]. Amoniak działa tu jak trucizna na związki katalizujące reakcje powstawania dioksyn i furanów.

W przypadku usuwania pyłów ważna jest efektywna eliminacja najdrobniejszych – submikronowych frakcji pyłowych, skąd wynika konieczność zastosowania wysoko skutecznych urządzeń odpylających. W celu zwiększenia efektywności odpylania spaliny przed wejściem na odpylacz są nierzadko kondycjonowane wodą z aktywnościami w suszarkach rozpyłowych. Sprzyja to aglomeracji cząstek stałych, kondensacji na ich powierzchni zanieczyszczeń występujących w spalinach w postaci par, a w przypadku stosowania odpylaczy elektrostatycznych – poprawia elektrostatyczne właściwości pyłów.

W przypadku usuwania zanieczyszczeń gazowych najczęściej stosuje się metody wapniakowe polegające na wiązaniu zanieczyszczeń gazowych tlenkiem, wodorotlenkiem lub węglanem wapnia. W zależności od sposobu prowadzenia procesu możliwe są metody suche, półsuche i mokre. Najwyższą skuteczność usuwania większości zanieczyszczeń gazowych, bo ponad 90 %, wykazują mokre metody oczyszczania spalin. Prowadzone są one zwykle dwustopniowo. W stopniu pierwszym następuje absorpcja zanieczyszczeń gazowych w kwaśnym roztworze sorpcyjnym. Zadaniem tego procesu jest wymycie halogenowych zanieczyszczeń gazowych (głównie HF i HCl) oraz metali ciężkich ze spalin. W drugim stopniu prowadzona jest absorpcja zanieczyszczeń w roztworze alkalicznym mająca za zadanie usunięcie ze spalin głównie zanieczyszczeń zawierających siarkę (przede wszystkim SO₂).

W powyższych procesach oczyszczania spalin uzyskuje się niewielkie skuteczności usuwania tlenków azotu, bo około 20+30 %. W przypadku właściwego prowadzenia procesu spalania są to skuteczności wystarczające aby zapewnić dotrzymanie przez tlenki azotu norm emisyjnych. Dlatego rzadko jest tu wymagane stosowanie wysoko skutecznych metod redukcji tlenków azotu, jak np. amoniakiem w obecności katalizatora w temperaturze 300+450 °C lub bezkatalicznie w temperaturze 850+1.000 °C.

Dioksyny i furany mogą być usuwane w procesach oczyszczania spalin ze skutecznością ponad 90 %. Efektywność tych procesów

można zwiększyć poprzez dodatek jako sorbentu węgla aktywnego lub Na₂S [8]. Ponadto można stosować usuwanie tych związków na złożach węgla aktywnego lub na katalizatorach tytanowo-wanadowo-wolframowych [2,8]. Oba te procesy znacznie podwyższają koszty inwestycyjne i eksploatacyjne całej instalacji.

W celu zminimalizowania ilości ścieków powstających w spalarni powinno się dążyć do zamykania obiegów wody. Możliwości zamknięcia obiegu ścieków powstających na terenie spalarni odpadów zilustrowano na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat gospodarki ściekowej w spalarni odpadów

Optymalizacja gospodarki odpadami stałymi powstałymi w procesie spalania odpadów przemysłowych (żużel, popioły, osady z procesów oczyszczania spalin) powinna rozważać możliwość selekcji tych odpadów (w miejscu ich powstania) na trzy grupy:

- odpady pozwalające na ich gospodarcze wykorzystanie,
- odpady, których składowanie będzie możliwe na istniejących otwartych składowiskach,
- odpady, których składowanie możliwe będzie jedynie w szczelnych składowiskach odpadów szczególnie toksycznych.

Ze względu na to, że żużel, popioły i osady mają często różny skład i wynikające stąd inne właściwości fizyczno-chemiczne, właściwa gospodarka tymi odpadami może doprowadzić do zmniejszenia strumienia odpadów toksycznych przez niedopuszczenie do mieszania się odpadów o różnym stopniu toksyczności, a przez to do uzyskania większego strumienia odpadów zakwalifikowanych do niższej klasy uciążliwości dla środowiska. Ponadto odpady te w celu zmniejszenia ich uciążliwości dla środowiska mogą być poddane obróbce przez spiekanie lub stabilizację związkami chemicznymi.

Jak wykazuje praktyka, teren wielu obiektów przemysłowych jest źródłem emisji wtórnych lub nieorganizowanych. Często zapomina się o uwzględnieniu tych emisji, a ich ograniczenie jest możliwe już na poziomie projektowania zakładu i można je osiągnąć przede wszystkim przez właściwe zaprojektowanie:

- powierzchni terenu zakładu, a zwłaszcza powierzchni technologicznych (płace transportowe, manewrowe, załadunkowe, rozładunkowe, składowiska kontenerów i beczek, stanowiska mycia samochodów); powinny być to powierzchnie utwardzone, często splukiwane, z systemem studzienek ogólnospławnych,
- przestrzeni technologicznych (hale przygotowania odpadów, magazyny); ważne jest zaprojektowanie systemu wentylacji tych hal wraz ze sposobem postępowania z powietrzem wywiewnym (sposób oczyszczania, parametry emitora).

Podsumowanie

Należy podkreślić, że obecny stan gospodarki odpadami w Polsce powinien być poddany uzasadnionej krytyce. Powszechnie stoso-

wana metoda zagospodarowania i utylizacji odpadów, polegająca jedynie na ich składowaniu, staje się już niewystarczająca i stanowi jedynie odsunięcie rozwiązania tego problemu w czasie. Metoda ta nie jest zresztą doskonała, gdyż sama w sobie stanowi źródło poważnych zagrożeń ekologicznych (zajmowanie znacznych powierzchni terenu i zmiany krajobrazowe, emisja wtórnych toksycznych zanieczyszczeń do powietrza atmosferycznego, infiltracja toksycznych substancji do podłoża i wód podziemnych itp.).

Innym poważnym problemem, związanym z powstawaniem odpadów nie nadających się do składowania, trudnych i wręcz niemożliwych do wtórnego wykorzystania, wytwarzanych w stosunkowo niewielkich ilościach, jest problem ich kontrolowania przez instytucje dozoru ochrony środowiska. Powszechnie wiadomo, że zakłady przemysłowe radzą sobie z tym problemem sposobami nielegalnymi, wprowadzając do środowiska toksyczne substancje poza wszelką kontrolą. Takie postępowanie wynika przede wszystkim z braku technicznej, organizacyjnej i finansowej możliwości rozwiązania tego problemu.

Spalarnie odpadów przemysłowych są stosowane w praktyce przemysłowej już prawie od pięćdziesięciu lat. W chwili obecnej uzyskały one taki poziom techniczny, który umożliwia ich lokalizację nawet w dużych aglomeracjach miejskich (spalarnie odpadów komunalnych). Potwierdza to możliwość stosowania technologii termicznej utylizacji odpadów jako metody ich unieszkodliwiania. Opisana technologia może być zatem wprowadzona i upowszechniona w naszym kraju.

Na podstawie obecnego stanu techniki można stwierdzić, że spalanie odpadów umożliwia bezpieczną dla środowiska naturalnego utylizację odpadów stałych i płynnych oraz gwarantuje dotrzymanie wszystkich wymogów stanowiących o neutralności ekologicznej eksploatowanego obiektu. Powyższe warunki zostaną spełnione, jeśli projekt techniczny inwestycji oraz jej budowa i eksploatacja zostaną wykonane zgodnie z wymogami współczesnej techniki i obowiązującego prawa, a działający zakład i otaczające środowisko będą systematycznie kontrolowane. Możliwa jest eliminacja unosu zanieczyszczeń ze wszystkich potencjalnych źródeł występujących na terenie zakładu w dostatecznym stopniu, za pomocą odpowiednich działań organizacyjnych i istniejących rozwiązań technicznych. Wdrożenie do przemysłowego stosowania metody termicznej utylizacji odpadów jest obecnie przedsięwzięciem nowatorskim w skali całego kraju. Z tego tytułu prace wdrożeniowe napotykać mogą na szereg barier, jak np.:

- brak unormowań prawnych (np. brak określonej normy stężeń dopuszczalnych w środowisku dla dioksyn i furanów, brak normatywnych metod analityczno-pomiarowych itp.),
- brak danych (np. fizyczno-chemicznych) opisujących właściwości krajowych odpadów w aspekcie możliwości ich termicznej utylizacji,
- brak krajowych urzędów do spalania odpadów,
- brak społecznej akceptacji tej technologii utylizacji odpadów w gospodarce krajowej itp.

Postulować zatem należy rozpoczęcie prac zmierzających do usunięcia powyższych barier. Znajomość obecnego stanu gospodarki odpadami w przemyśle krajowym pozwala określić następujące korzyści wynikające z uruchomienia spalarni odpadów przemysłowych na danym terenie:

- ♦ zdyscyplinowanie procesów utylizacji odpadów oraz możliwość objęcia kontrolą działań nielegalnych aż do ich całkowitego wyeliminowania,
- ♦ komercjalizacja utylizacji odpadów (świadczenie usług) pozwalająca na osiągnięcie korzyści ekonomicznych,
- ♦ wydłużenie czasu eksploatacji istniejących składowisk,
- ♦ stworzenie nowych miejsc pracy, wprowadzenie nowoczesnych rozwiązań techniki światowej do gospodarki krajowej, dających możliwość wykorzystania istniejących zapasów odpadów, które niejednokrotnie są nośnikami energii (rozpuszczalniki, oleje palne itp.),
- ♦ zmniejszenie obciążenia środowiska naturalnego substancjami toksycznymi.

LITERATURA

1. J. WANDRASZ: Spalanie odpadów komunalnych elementem ekologicznego oddziaływania na środowisko. *Ekologia i Technika*, 1993, nr 2, ss. 7-10.
2. J. WANDRASZ: Termiczna obróbka odpadów komunalnych i specjalnych. *Ochrona powietrza*, 1993, nr 6, ss. 118-121.
3. C.R. DEMPSEY, E.T. OPPELT: Incineration of hazardous waste. A critical review update. *Air & Waste*, 1992, Vol. 42, No. 4, pp. 25-72.
4. N. KROGULEC: Spalanie odpadów przemysłowych. *Ochrona powietrza*, 1994, nr 1, ss. 22-24.
5. N. BEHMANESH, D.T. ALLEN, J.L. WARREN: Flow rates and composition of incinerated waste stream in the United States. *Air & Waste*, 1992, Vol. 42, No. 4, pp. 437-442.
6. C.J. PETERS: Monitoring pollutants from waste combustion plant. *Cambridge Proc. Conf. Energy Recovery Through Waste Combustion*. EAS, London 1988, pp. 338-341.
7. D.G. WILSON: *Handbook of Solid Waste Management*. VNR, New York 1977.
8. P. ACHARYA, S.G. DECICCO, R.G. NOVAK: Factor that can influence and control the dioxins and furans from hazardous waste incinerators. *Air & Waste*, 1991, Vol. 41, No. 12, pp. 1605-1615.
9. E.M. STEVERSON: Provoking a firestorm: Waste incineration. *Environ. Sci. & Technol.*, 1991, Vol. 25, No. 11, pp. 1808-1813.
10. E.S. KEMPA: *Gospodarka odpadami miejskimi*. Arkady, Warszawa 1983.
11. O. TABASARAN: Flue gas purification in the scope of mass combustion with optimized solid residue treatment. *Cambridge Proc. Conf. Energy Recovery Through Waste Combustion*. EAS, London 1988, pp. 221-230.
12. T. BRAMRYD: Leaching heavy metals from solids waste incinerator ashes. *Cambridge Proc. Conf. Energy Recovery Through Waste Combustion*. EAS, London 1988, pp. 326-329.
13. J. KUCOWSKI i inni: *Energetyka a ochrona środowiska*. WNT, Warszawa 1994.
14. L. TAKACS, A. McQUEEN, G.L. MOILANEN: Development of the ammonia injection technology (AIT) for the control of PCDD/PCDF and acid gases from municipal solid waste incinerators. *Air & Waste*, 1993, Vol. 43, No. 5, pp. 889-897.

The Utilization of Industrial Wastes by Incineration – Environmental Aspects

The objective of the study was to examine the state-of-the-art in industrial waste incineration. The paper describes different systems which are part of the incinerating units, as well as some typical technological processes used in these systems. Typical emissions from industrial waste incinerators are

described. The paper discusses methods for the management of fly and bottom ash, as well as of the wastes from emission control units. The possibilities of abating air and water pollution are examined and new approaches to the problem of interest are presented.