

TECHNOLOGIE OCZYSZCZANIA GAZÓW ODLOTOWYCH Z ZAKŁADÓW TERMICZNEGO PRZEKSZTAŁCANIA ODPADÓW

Joanna Żołyńskiak

II stopień, 1 semestr, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
e-mail: aska.zolyniak@gmail.com

Promotor: *dr inż.* Robert Oleniacz

1 WSTĘP

Jeszcze do niedawna w gospodarce odpadami w Polsce główną formą unieszkodliwiania odpadów było ich składowanie, a formy odzysku czy recyklingu były prawie pomijane. Wraz z wejściem Polski do Unii Europejskiej model gospodarki odpadami musiał zostać gruntownie zmodernizowany. Dyrektywa UE 2008/98/WE w sprawie odpadów przedstawia hierarchię postępowania z odpadami, w której podstawowym celem jest zmniejszenie ilości powstających odpadów, a unieszkodliwianie poprzez składowanie jest najmniej pożądaną formą. Nakłada ona obowiązek na kraje członkowskie osiągnięcia odpowiednich poziomów ograniczania masy odpadów komunalnych ulegających biodegradacji przekazywanych do składowania. Ponadto od 2025 r. Komisja Europejska planuje całkowity zakaz składowania odpadów komunalnych. Zmusza to Polskę do inwestowania w instalacje termicznego przekształcania odpadów w celu ograniczenia ilości odpadów, które trafiają na składowiska i spełnienia wymogów UE.

Termiczne przekształcanie odpadów powinno być realizowane nie tylko w celu ich unieszkodliwienia, ale w sytuacji, gdy cena nośników energii stale rośnie, proces ten powinien również stanowić cenne źródło energii elektrycznej i ciepła. W przypadku nowych spalarni stałych odpadów komunalnych realizowane w nich spalanie odpadów kwalifikuje się jako proces odzysku energii, gdy wartość wskaźnika efektywności energetycznej jest wyższa od 0,65 [15].

W związku ze wzrostem zapotrzebowania na tego typu instalacje powstało dużo koncepcji budowy zakładów termicznej utylizacji odpadów w wielu miastach Polski [8]. Budowa instalacji wiąże się z wysokimi kosztami inwestycyjnymi, których znaczną część stanowi system oczyszczania gazów odlotowych. Wynika to z bardzo rygorystycznych przepisów dotyczących emisji zanieczyszczeń ze spalania odpadów. Technologia oczyszczania spalin zależy przede wszystkim od rodzaju unieszkodliwianych odpadów i zawartych w nich składników. Mimo stosowania bardzo wysokich temperatur, proces spalania nie jest idealny tzn. nie jest to spalanie zupełne, którego produktami są wyłącznie dwutlenek węgla i para wodna. Oprócz ww. wymienionych substancji, w procesie tym powstaje znaczna ilość substancji zanieczyszczających, do których zaliczamy m.in.: tlenek węgla (CO), tlenki azotu (NO_x), dwutlenek siarki (SO₂), fluorowodór (HF), chlorowodór (HCl) i lotne związki organiczne (LZO). Ponadto z paleniska są unoszone pary metali ciężkich i pył, mogący zawierać toksyczne metale ciężkie i zaadsorbowane związki organiczne, w tym wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (PAHs), polichlorowane dioksyne i furany

(PCDD/Fs) oraz polichlorowane bifenyle (PCBs). Zadaniem systemu oczyszczania gazów odlotowych jest usunięcie tych substancji ze spalin lub znaczne ograniczenie ich zawartości w tych spalinach przed ich odprowadzeniem do atmosfery [8,10].

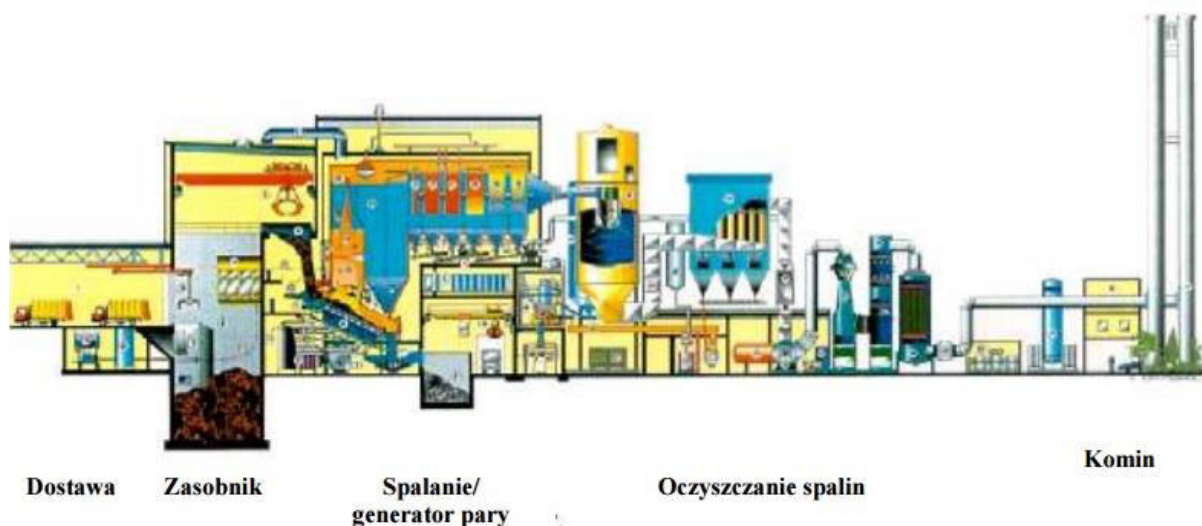
2 PROCES TERMICZNEGO PRZEKSZTAŁCANIA ODPADÓW

Zgodnie z ustawą dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach przez termiczne przekształcanie odpadów rozumie się spalanie odpadów przez ich utlenianie oraz inne procesy termicznego przekształcania odpadów, pirolizę, zgazowywanie i proces plazmowy, o ile substancje powstające podczas tych procesów termicznego przekształcania są następnie spalane. Oprócz organizacji samego procesu termicznego przekształcania odpadów istotne znaczenie ma także sposób oczyszczania spalin i zagospodarowania stałych pozostałości po tym procesie.

W zależności od rodzaju odpadów stosowane są różne metody ich termicznego przekształcania. Do najpopularniejszych technologii należą: bezpośrednie spalanie w piecach rusztowych, obrotowe lub fluidalnych oraz systemy pirolizy i zgazowania. W przypadku stałych odpadów komunalnych najczęściej stosowaną obecnie techniką jest spalanie na ruszcie, gdzie można spalać odpady zarówno niskokaloryczne (4-6 MJ/kg) jak i wysokokaloryczne (12-18 MJ/kg). Rzadziej stosowana jest instalacja fluidalna ze względu na potrzebę wcześniejszego rozdrabniania odpadów, która wymaga doprowadzenia dodatkowej energii elektrycznej, co skutkuje obniżeniem wartości wskaźnika efektywności energetycznej. Spalanie odpadów medycznych i niebezpiecznych najczęściej odbywa się w piecach obrotowych, ale w przypadku odpadów stałych stosuje się również spalarnie rusztowe (w tym także współspalanie z innymi odpadami), spalanie w złożu fluidalnym (w przypadku odpadów o odpowiednim stopniu rozdrobnienia) oraz termiczne przekształcanie z wykorzystaniem procesu pirolizy lub zgazowania bądź procesu plazmowego w systemach wielostopniowych (z komorą dopalania) [14].

Również w przypadku bezpośredniego spalania odpadów spaliny opuszczające komorę spalania często kierowane są do osobnej komory (lub wydzielonej strefy) dopalania, gdzie podawane jest dodatkowe powietrze i dzięki odpowiedniemu przetrzymaniu spalin (średnio 2-3 sekundy) następuje utlenienie produktów niepełnego spalania (w tym CO) i termiczna destrukcja toksycznych związków organicznych. W przypadku stosowania układów kogeneracyjnych spaliny opływają wymienniki ciepła, w których produkowana jest para napędzająca turbogenerator energii elektrycznej oraz ciepło grzewcze. Podczas tego procesu spaliny zostają schłodzone do temperatury ok. 200°C, po czym trafiają do systemu oczyszczania, w którym następuje ich odpylenie oraz usunięcie kwaśnych zanieczyszczeń gazowych i ewentualnie tlenków azotu, a także resztkowych ilości związków organicznych i par metali ciężkich. Tak oczyszczone spaliny trafiają przez emitor (komin) do atmosfery.

Spalanie odpadów prowadzi do powstania różnych typów stałych pozostałości jak popioły i żużle, których ilość zależy od zawartości popiołu w spalanych odpadach. Można rozróżnić pozostałości powstające bezpośrednio w wyniku procesu spalania oraz te, które powstają w wyniku działania systemu oczyszczania gazów spalinowych. Wysoka zawartość minerałów w stałych pozostałościach umożliwia ich dalsze wykorzystanie (po wcześniejszej stabilizacji) w charakterze materiałów budowlanych [3]. Rysunek 1 przedstawia przykładowy schemat spalarni stałych odpadów komunalnych.



Rysunek 1: Przykładowy schemat spalarni stałych odpadów komunalnych

3 METODY OCZYSZCZANIA GAZÓW ODLOTOWYCH

Metody ograniczenia zanieczyszczeń gazowych z procesu spalania można podzielić na: metody pierwotne i wtórne. W ostatnich latach coraz większym zainteresowaniem cieszą się metody pierwotne, które pozwalają na ograniczenie w znaczny sposób kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych związanych z systemem oczyszczania spalin. Polegają one na optymalizacji warunków procesu spalania, wpływających w istotny sposób na ilość powstających zanieczyszczeń. Najczęściej dotyczy to zminimalizowania ilości powstających tlenków azotu i produktów niepełnego spalania (głównie CO i węglowodorów). Natomiast metody wtórne polegają na zastosowaniu konkretnych technologii i urządzeń pozwalających zredukować emisję zanieczyszczeń. W dalszej części opracowania zostaną one bardziej szczegółowo omówione.

3.1 Odpylanie

Proces odpylania jest pierwszym etapem w oczyszczaniu gazów odlotowych. Ważne jest stosowanie wysokosprawnych urządzeń ze względu na fakt, że pył jest głównym nośnikiem metali ciężkich oraz jest dobrym sorbentem toksycznych związków organicznych (PAHs PCDD/Fs, PCBs). Do takich urządzeń zaliczamy elektrofiltry i filtry tkaninowe, które pozwalają na usuwanie pyłu ze strumienia gazu z bardzo wysoką skutecznością (ponad 99%). Na dobór właściwego odpylacza i jego skuteczność ma wpływ skład ziarnowy aerozolu. W pyłe unoszone z procesu spalania odpadów często dominują bardzo drobne cząstki, co przyczynia się do spadku całkowitej skuteczności odpylania gazu. Możliwe jest także odpylanie gazów w sposób wielostopniowy, gdzie jako odpylacz pierwszego stopnia można stosować cyklony lub multicyklony, a następnie elektrofiltr lub filtr tkaninowy [6].

Dotychczas stosowanie filtrów tkaninowych było ograniczone ze względu na małą wytrzymałość materiału filtracyjnego na wysokie temperatury spalin, jednakże postęp techniki pozwolił na wprowadzenie nowoczesnych tkanin (wykonanych np. z włókien szklanych lub teflonowych), cechujących się wysoką skutecznością przy jednocześnie dużej odporności na wysokie temperatury. W filtrach tkaninowych uzyskuje się wysokie stopnie odpylania przy jednoczesnym znacznym ograniczeniu stężenia dioksyn w spalinach. W przypadku gdy do komory spalania dodawany jest sorbent, którego zadaniem jest związanie kwaśnych zanieczyszczeń gazowych oraz związków organicznych, filtr tkaninowy (ewentualnie inny odpylacz) pełni dodatkową rolę zatrzymania tego sorbentu [15].

System odpylania może być również prowadzony na mokro za pomocą jedno lub wielostopniowego systemu płuczek, które pełnią rolę jednocześnie odpylacza i absorbera kwaśnych zanieczyszczeń gazowych, jakim jest odpylacz Venturiego [6]. Mimo wysokiej skuteczności jest on rzadko stosowany ze względu na duże koszty i kłopoty eksploatacyjne (bardzo wysoki spadek ciśnienia).

3.2 Usuwanie kwaśnych zanieczyszczeń gazowych

Węzeł oczyszczania gazów z zanieczyszczeń kwaśnych ma za zadanie usunięcie HCl, HF i SO₂ ze strumienia spalin. Proces ten może być prowadzony różnymi metodami: mokrą, półsuchą i suchą.

Dotychczas najczęściej stosowaną metodą była metoda mokra – charakteryzująca się wysoką skutecznością. Proces ten zachodzi w nadmiarze ciekłego absorbentu. Mokre oczyszczanie może być prowadzone w różnego rodzaju absorberach: barbotażowych, półkowych,

z wypełnieniem i natryskowych bez wypełnienia. W absorberach następuje intensywne zraszanie strumienia spalin wodą zawierającą czynnik alkaliczny, podczas którego następuje zaabsorbowanie kwaśnych zanieczyszczeń i wytworzenie stałego produktu odsiarczania, którym może być. np. gips. Skuteczną absorpcję zapewniają roztwory NaOH lub Ca(OH)₂, bądź zawiesiny węglanów i kwaśnych węglanów sodu lub wapnia. W ostatnich latach obserwuje się odchodzenie od systemów mokrych ze względu na ponoszenie dodatkowych kosztów na oczyszczanie ścieków oraz podgrzewanie spalin przed wprowadzeniem ich do komina w celu zapobiegnięcia skraplania się pary wodnej (niska temperatura spalin po wyjściu z absorbera) [6].

Metoda półsucha zapewnia podobną skuteczność usuwania gazów kwaśnych, jak metoda mokra, będąc przy tym tańszą. Sorbent w postaci zawiesiny wodnej lub roztworu wodnego wprowadzany jest do suszarki rozpyłowej, gdzie zachodzi absorpcja zanieczyszczeń gazowych w kroplach roztworu alkalicznego. W wyniku kontaktu z gorącymi spalinami następuje całkowite odparowanie wody, tak więc produkty tego procesu, podobnie jak i nie przereagowany sorbent wydzielają się w postaci stałej, przez co mogą zostać usunięte wraz z popiołem lotnym w urządzeniu odpylającym. Gazy odlotowe po tym procesie mają jeszcze na tyle wysoką temperaturę, że można je wprowadzać do atmosfery bez konieczności wcześniejszego podgrzewania.

Coraz więcej nowych instalacji spalarni odpadów komunalnych wybudowanych w ostatnich latach wyposażonych jest w suchy system usuwania kwaśnych zanieczyszczeń gazowych. Proces ten wykorzystuje zjawisko adsorpcji, polegającej na wiązaniu składnika gazowego lub ciekłego na powierzchni zewnętrznej lub wewnętrznej (porach) ciała stałego. Odpowiednio dobrany sorbent stały w postaci mączki o odpowiedniej granulacji wprowadzany jest wprost do komory paleniskowej w strefę wysokich temperatur lub do spalin przed urządzeniem odpylającym, którym jest najczęściej filtr tkaninowy. System ten cechuje się stosunkowo niskimi kosztami inwestycyjnymi i eksploatacyjnymi przy jednocześnie wystarczająco wysokiej skuteczności zatrzymania zanieczyszczeń. Spełnianie standardów emisyjnych obowiązujących dla instalacji spalania odpadów wymaga jednak stosowania odpowiednich sorbentów i ich regularnego dawkowania [7,15].

3.3 Ograniczenie emisji tlenków azotu

W celu ograniczenia powstawania NO_x często stosuje się metody pierwotne polegające na kontroli procesu spalania, czyli stosowanie niższych temperatur, małego nadmiaru powietrza i ewentualnej recyrkulacji spalin. W spalarniach posiadających nowoczesne systemy oczyszczania spalin redukcja tlenków azotu prowadzona jest jednak najczęściej poprzez wykorzystanie selektywnej redukcji niekatalitycznej (SNCR) lub katalitycznej (SCR) [3].

Selektywna redukcja niekatalityczna (SNCR) polega na wprowadzeniu do komory spalania gazowego amoniaku, wody amoniakalnej lub wodnego roztworu mocznika, który powoduje redukcję tlenków azotu do wolnego azotu. Proces ten prowadzi się w warunkach wysokiej temperatury z najlepszą wydajnością w temperaturze 900-950°C. Dla optymalizacji procesu SNCR ważne jest skuteczne mieszanie gazów spalinowych i odczynnika redukującego NO_x, a także odpowiedni czas przebywania gazu, niezbędny do umożliwienia wystąpienia reakcji redukcji NO_x [15].

Selektywna redukcja katalityczna (SCR) polega na wymieszaniu spalin o temperaturze ok. 200-350°C z roztworem amoniaku (mocznikiem), a następnie kierowanie mieszaniny na złożę katalityczne, gdzie następuje redukcja tlenków azotu do wolnego azotu. Przy spalaniu odpadów, reaktor katalityczny umieszczany jest zwykle w strefach czystych gazów, czyli po odpyleniu i usunięciu zanieczyszczeń kwaśnych. W związku z tym gazy spalinowe zwykle wymagają podgrzania, aby osiągnięta została skuteczna temperatura dla reakcji w systemie SCR. Prowadzi to do dodatkowego zapotrzebowania na energię w systemie oczyszczania gazów spalinowych. Jednakże gdy poziom SO_x w spalinach został już obniżony do bardzo niskich wartości na wejściu do sekcji SCR, podgrzewanie może zostać znacząco zredukowane, a nawet pominięte [15].

Skuteczność redukcji NO_x metodą SNCR lub SCR wynosi ok. 95-99%. Dodatkowo uzyskuje się zmniejszenie emisji PCDD/Fs.

3.4 Usuwanie toksycznych związków organicznych

W celu usunięcia ze spalin toksycznych związków organicznych, powstających w procesie spalania odpadów zwykle w śladowych ilościach, stosuje się adsorpcję tych zanieczyszczeń na węglu aktywnym dozowanym do spalin przed wysokosprawnym urządzeniem odpylającym, w charakterze którego najlepiej sprawdza się filtr tkaninowy lub ceramiczny. Na węglu aktywnym w miarę dobrze adsorbują się zarówno substancje wysoce toksyczne typu PAHs, PCDD/Fs i PCBs, jak również proste związki aromatyczne z grupy BTEX (benzen, toluen, etylobenzen, ksyleny) [2, 6, 7].

Inną metodą jest zastosowanie adsorberów, które są wypełnione stałym złożem węgla lub koksu aktywnego. Taki system należy stosować na końcu całego systemu oczyszczania gazów odlotowych ze względu na bezpieczeństwo pracy, gdyż wysokie temperatury spalin i egzotermiczność procesu adsorpcji może spowodować samozapłon sorbentu. Za pomocą węgla aktywnego mogą być zatrzymane także pary metali ciężkich (w tym rtęć i kadm) [1, 6]. Adsorpcja fizyczna i odpylanie nie likwidują jednak problemu występowania toksycznych związków organicznych, ale przenoszą je z gazów odlotowych do pozostałości po tych procesach w postaci zatrzymanego pyłu oraz zatrzymanych bądź zużytych sorbentów.

W systemie SCR wykorzystywanym są do redukcji NO_x destrukcji ulegają także gazowe formy PCDD/Fs (nie związane z pyłem), dzięki katalitycznemu utlenianiu (odchlorowaniu). Jednakże system SCR musi w tym przypadku zostać odpowiednio zaprojektowany, ponieważ zwykle wymaga to zastosowania większego, wielowarstwowego reaktora katalitycznego w porównaniu z reaktorem używanym w przypadku usuwania tylko NO_x [3].

3.5 Ograniczenie emisji rtęci i innych metali ciężkich

Wybór metody pozwalającej na ograniczenie emisji rtęci do powietrza z procesu spalania odpadów zależy m.in. od zawartości nie tylko samej rtęci, ale i chloru w spalonym materiale. Przy podwyższonej zawartości chloru w odpadach, a tym samym wysokim lokalnym stężeniu chloru atomowego w płomieniu oraz HCl w spalinach rtęć będzie przechodzić w formę jonową, która może być skutecznie zatrzymana w systemach mokrych (płuczkach). Przy mniejszej zawartości chloru skuteczność procesu absorpcji Hg gwałtownie spada. Jest to szczególnie ważne w spalarniach osadów ściekowych, gdyż zawartość chloru w spalinach

nieoczyszczonych może być tutaj dosyć niska. Rtęć metaliczna może być również zatrzymana w procesie absorpcji poprzez wcześniejsze jej utlenienie za pomocą odpowiednich utleniaczy. Wydzielona w systemie mokrym może zostać przekształcona do bardziej stabilnej postaci (np. HgS). W procesie oczyszczania gazów odlotowych z rtęci możliwe jest także wykorzystanie odpowiednich sorbentów stałych na bazie węgla, nieorganicznych lub pokrytych warstwą metaliczną [1].

W przypadku usuwania metali ciężkich ze spalin występujących w fazie stałej stosuje się analogiczne rozwiązania jak przy usuwaniu pyłu, a więc skuteczne odpylanie [15].

4 PRZYKŁADOWE SYSTEMY OCZYSZCZANIA GAZÓW ODLOTOWYCH

4.1 Zakład Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych w Krakowie

Zakład Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych w Krakowie jest aktualnie w fazie budowy, której zakończenie przewiduje się na koniec roku 2015 [13]. Zakład ten przeznaczony będzie do spalania frakcji resztkowej zmieszanych odpadów komunalnych. W jego skład wchodzić będą następujące instalacje: dwie linie termicznego przekształcania odpadów komunalnych oparte na palenisku rusztowym, instalacja zestalania i chemicznej stabilizacji popiołów lotnych oraz instalacja waloryzacji żużla i odzysku metali żelaznych i nieżelaznych. W procesie spalania odpadów komunalnych produkowana będzie energia elektryczna i ciepła (kogeneracja). Planowana zdolność przerobowa zakładu wynosi 220 tys. Mg/rok, a maksymalna wydajność jednej linii spalania – 14,1 Mg/h. Minimalny czas pracy instalacji to 8100 godzin w ciągu roku. Jednoczesna produkcja energii elektrycznej i ciepła będzie możliwa dzięki zastosowaniu turbiny upustowo-kondensacyjnej. Planowana moc elektryczna to ok 11 MW, a ciepła – ok. 35 MW. Wartość przewidywanego współczynnika efektywności energetycznej wynosi 0,88.

System oczyszczania spalin z kwaśnych zanieczyszczeń gazowych będzie prowadzony z zastosowaniem metody półsuchej (sorbentem będzie zawiesina mleka wapiennego podawana do reaktora) w połączeniu z wtryskiem węgla aktywnego lub koksu aktywnego do kanału spalinowego przed reaktorem(co wydłuży czas kontaktu sorbentu z adsorbowanymi zanieczyszczeniami takim jak metale ciężkie, dioksyny i furany). Następnym etapem będzie wysokosprawne odpylanie na filtrze workowym z wszelkich substancji pyłowych, gdzie będą zatrzymywane również przereagowane i nieprzereagowane sorbenty wraz z zaadsorbowanymi zanieczyszczeniami. W celu redukcji tlenków azotu (NO_x) instalacja spalania odpadów komunalnych przewiduje zastosowanie metody selektywnej redukcji niekatalitycznej (SNCR) poprzez kontrolowane wstrzykiwanie stałego mocznika (CO(NH₂)₂) do komory paleniskowej. Ponadto planowane jest wprowadzenie kontroli procesu spalania i dopalania spalin w piecu rusztowym jako metody pierwotne [13].

Powstałe odpady stałe z oczyszczania gazów odlotowych (ok. 4700 Mg/rok) i popioły lotne zawierające substancje niebezpieczne (ok. 6600 Mg/rok) po wydzieleniu w filtrze workowym będą transportowane do instalacji zestalania i chemicznej stabilizacji popiołów lotnych.

4.2 Zakład Unieszkodliwiania Stałych Odpadów Komunalnych w Warszawie

Funkcjonujący od roku 2000 Zakład Unieszkodliwiania Stałych Odpadów Komunalnych w Warszawie skoncentrowany jest na odzysku surowców wtórnych ze stałych odpadów komunalnych i termicznym przekształcaniu odpadów nie nadających się już do odzysku. Wiąże się to z produkcją energii elektrycznej a także ciepła. ZUSOK w Warszawie zajmuje się przerabianiem powstającego w procesie spalania popiołu i pyłu na nieszkodliwy dla środowiska naturalnego granulata stanowiący surowiec dla przemysłu budowlanego oraz kompostowanie

części organicznych. Moc przerobowa zakładu wynosi ok 70 tys. Mg/rok stałych odpadów komunalnych. Proces spalania zachodzi w piecu rusztowym o wydajności ok. 7,54 Mg/h współpracującym z kotłem odzysknicowym [9, 11].

System oczyszczania spalin odbywa się wielostopniowo. Następuje kolejno dopalanie spalin w komorze dopalania w temperaturze powyżej 850°C, wtrysk wody amoniakalnej w celu redukcji tlenów azotu (SNCR) do spalin w kotle odzysknicowym. Następnie podawany jest suchy sorbent (wapno hydratyzowane) do spalin przed filtrem tkaninowym w celu sorpcji zanieczyszczeń kwaśnych. Odpylanie spalin oraz zatrzymywanie sorbentu odbywa się na filtrze tkaninowym. Ostatnim etapem oczyszczania gazów odlotowych jest adsorpcja pozostałych substancji zanieczyszczających (par metali ciężkich, PCDD/Fs) za pomocą koksu aktywnego w przeciwnieprądowym reaktorze ze stałym złożem typu WKV.

4.3 Spalarnia SARPI Dąbrowa Górnicza Sp. z o.o.

Spalarnia odpadów przemysłowych i niebezpiecznych SARPI w Dąbrowie Górniczej została uruchomiona na przełomie lat 2002/2003. Jej zdolność przerobowa wynosi 20000 Mg/rok, a maksymalna wydajność to 3000 kg/h. Instalacja ta składa się z: pieca obrotowego z mokrym odżużlaniem (umożliwiającego spalanie wielu rodzajów odpadów stałych, półpłynnych i ciekłych, w tym też niebezpiecznych), komory dopalania spalin oraz systemu urządzeń do odzysku ciepła i produkcji energii elektrycznej [12].

Układ oczyszczania i odprowadzania spalin jest tutaj bardzo rozbudowany i wielostopniowy. Odpylanie wstępne zachodzi w elektrofiltrze dwusekcyjnym, następnie w celu związania rtęci w postaci trudno rozpuszczalnych siarczków dodawany jest czterosiarczek sodu (Na_2S_2). Kolejnym elementem systemu jest suszarka rozpyłowa, która jest zasilana zneutralizowanymi ściekami pochodzącymi z płuczek HCl i SO_2 . Zatrzymywanie resztek pyłów oraz soli wydzielonych w suszarce rozpyłowej odbywa się w czterosekcyjnym filtrze workowym. Płuczka HCl zasilana jest kwaśną cieczą płuczącą (solanką), regenerowaną w sposób ciągły mlekiem wapiennym ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), czterosiarczkiem sodu (Na_2S_4) i środkiem przeciwnarostowym. W płuczce tej następuje dalsze schłodzenie spalin oraz absorpcja HCl i HF, a także częściowo par metali ciężkich i wyższych związków organicznych. Kolejnym elementem jest płuczka SO_2 zasilana roztworem wodorotlenku wapnia (odsierczanie spalin z wytworzeniem gipsu). Adsorpcja PCDD/Fs, PCBs i innych związków organicznych oraz reszkowych ilości metali ciężkich i składników kwaśnych odbywa się na filtrze węglowym z przesuwającym się złożem węgla aktywnego. Na końcu układu znajduje się katalizator SCR do selektywnej katalitycznej redukcji NO_x .

5 PODSUMOWANIE

Termiczne przekształcanie odpadów jest powszechnie stosowanym w krajach Unii Europejskiej elementem systemu gospodarki odpadami. Oczyszczanie gazów odlotowych powstających w tym procesie jest konieczne ze względu na znaczną zawartość substancji toksycznych w spalinach i potrzebę spełnienia wymogów związanych z ochroną środowiska. Przy obecnym stanie wiedzy i techniki możliwe jest znaczne ograniczenie emisji substancji zanieczyszczających do powietrza (przynajmniej do poziomu standardów emisyjnych), przede wszystkim poprzez wychwycenie ich ze strumienia spalin lub przekształcenie w związki neutralne dla środowiska. Należy jednak mieć na uwadze, że koszt instalacji oczyszczania jest wysoki i wzrasta wraz ze wzrostem ładunków zanieczyszczeń wymagających usunięcia.

LITERATURA

- [1] Bogacki, M., Przegląd metod i systemów usuwania par rtęci z gazów odlotowych, *Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów*, 31(1), s. 14-16, 1997.
- [2] Chi, K.H., Chang, S.H., Huang, C.H., Huang, H.C. and Chang M.B., Partitioning and removal of dioxin-like congeners in flue gases treated with activated carbon adsorption, *Chemosphere*, 64(9), pp. 1489-1498, 2006.
- [3] European Commission, *Integrated Pollution Prevention and Control – Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration*, August 2006.
- [4] Gottschalk, J. and Buttmann, P., Modern flue-gas cleaning system for waste incineration plants, *Filtration & Separation*, 33(5), pp. 383-388, 1996.
- [5] Mazur, M., Systemy ochrony powietrza, Wyd. AGH, Kraków 2004.
- [6] Oleniacz, R., Oczyszczanie gazów odlotowych ze spalania odpadów niebezpiecznych, *Inżynieria Środowiska*, 5(2), s. 363-382, 2000.
- [7] Oleniacz, R., Suchy system oczyszczania spalin ze spalania odpadów niebezpiecznych – ocena skuteczności usuwania substancji gazowych i możliwości spełniania standardów emisyjnych, *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 9(2), s. 85-99, 2009.
- [8] Oleniacz, R., Assessment of the impact of municipal waste incineration plants on air quality and the possibilities of its reduction, *Polish Journal of Environmental Studies*, 23(3A), pp. 95-104, 2014.
- [9] Oleniacz, R., Impact of the municipal solid waste incineration plant in Warsaw on air quality, *Geomatics and Environmental Engineering*, 8(4), pp. 25-42, 2014.
- [10] Oleniacz, R., *Ocena oddziaływania na środowisko instalacji spalania odpadów- wybrane problemy*, II Konferencja „Instrumenty Zarządzania Ochroną Środowiska”, Wyd. AGH, Kraków 2005, s. 327-335.
- [11] Oleniacz, R. i Antolak, J., *Wpływ Zakładu Unieszkodliwiania Stałych Odpadów Komunalnych w Warszawie na jakość powietrza*, VIII Konferencja „Dla miasta i środowiska – Problemy unieszkodliwiania odpadów”, Warszawa, 29.11.2010.
- [12] Oleniacz, R. i Rusztowicz, L., Wpływ dużej spalarni odpadów przemysłowych i niebezpiecznych na jakość powietrza, *Geomatics and Environmental Engineering*, 1(1), pp. 83-92, 2007.
- [13] Rzeszutek, M. i Oleniacz, R., *Zakład termicznego przekształcania odpadów komunalnych w Krakowie – założenia projektowe i stan realizacji budowy*, XI Konferencja „Dla miasta i środowiska – Problemy unieszkodliwiania odpadów”, Warszawa, 25.11.2013.
- [14] Wielgościński, G., Przegląd technologii termicznego przekształcania odpadów, *Nowa Energia*, nr 1, s. 55-67, 2011.
- [15] Wielgościński, G., Wybór technologii termicznego przekształcania odpadów komunalnych, *Nowa Energia*, nr 1, s. 66-79, 2012.