

Janusz W. WANDRASZ

Katedra Technologii i Urządzeń Zagospodarowania Odpadów,
Politechnika Śląska

SPALANIE ODPADÓW I PROBLEMY ROZPRZESTRZENIANIA EMISJI

Streszczenie. Procesy spalania wchodzące w skład tzw. procesów termicznego przetwarzania odpadów celem ich pełnej degradacji do substancji zdevaluowanej o składzie zbliżonym do stanu równowagi z otoczeniem przebiegają w powiązaniu z procesem suszenia, pirolizy nisko- i wysokotemperaturowej, z lub bez dostępu tlenu, procesem utleniania – spalanie (chemiczne), a także innymi procesami kombinowanymi. W pracy przedstawiono zarys powyższych technologii ze wskazaniem możliwości ich praktycznego zastosowania. Funkcjonowanie procesu spalania związane być musi nierozdzielnie z problemem rozprzestrzeniania emisji zarówno stałych, ciekłych, jak i gazowych produktów procesu. Końcowa część pracy zawiera wybrane dane o obowiązujących w tym zakresie dyrektywach EWG.

WASTE INCINERATION AND EMISSION SPREADING PROBLEMS

Summary. Waste combustion process is a part of thermal waste treatment and results in full waste degradation to devaluated substances, that contain components in the state close to equilibrium as in the outer environment. Those processes are combined of processes of drying, high and low temperature pyrolysis – with or without oxygen access, of process of oxidation that means burning (chemical) and also of others combined processes. In this work an outline of such technologies is shown with mentioning of their practical aspects. The combustion process must be closely connected with the emission spreading problem – solid, gas or fluid products of the process. The final part of the work contains some chosen actual data taken from instructions that in force in EEC countries.

ABFALLVERBRENNUNG UND PROBLEME DER EMISSIONSVERBREITUNG

Zusammenfassung. Die Verberennungsänge, die ein Bestandteil so genannter thermischen Abfaltersetzung zwecks einer vollen Vernichtung zu einer abgewerteten in Gleichgewicht mit Umwelt stehenden Substanz bilden, werden in enger Verbindung mit Trocknungsprozessen, einer nieder – und hochtemperatur Pyrolyse mit und ohne Luftzutritt, sowohl einer Oxidierung (chemischer Verbrennung) und auch kombinierten Prozessen verlaufen. Im Aufsatz ist ein Grundriß von o.g. Praxis vorgestellt worden. Der Verbrennungsvorgang muß gasförmigen Verbrennungsprodukten betrachtet werden. In der letzten Teil dieses Aufsatzes wurden ausgewählte Angaben und Daten über Richtlinien und Regel gegeben, die in EG-Länder als gültig sein sollen.

1. PROCESY SUSZENIA

Zjawisko suszenia odpadów związane jest bezpośrednio z procesem, a także własnościami fizycznymi i chemicznymi samych odpadów. Odpady komunalne zawierają od 30 – 60% wilgoci, podczas gdy osady z oczyszczalni ścieków po procesie odwirowania lub po prasach zawierają 60 – 75% wody. Inne zawartości wilgoci występują w odpadach przemysłowych i najczęściej związane są z rodzajem technologii, z jakiej dany osad pochodzi. Konieczność prowadzenia procesu suszenia związana jest również z technologią, a w wielu przypadkach prowadzi do znacznego ograniczenia ilości pary wodnej wytwarzanej w procesie głównym lub do niego wprowadzanej. Ponieważ trudno byłoby omówić wszystkie możliwe przypadki realizacji procesu suszenia, Czytelnikowi przedstawiono dwie, dotyczące różnych procesów związanych jednakże z końcowym procesem spalania odpadów.

Pierwszy z rozważanych procesów dotyczy suszenia odpadów komunalnych w komorze paleniskowej najczęściej na ruchomym ruszcie, w jego strefie początkowej. Proces ten obejmuje dwa okresy przebiegające w różnym czasie, a tym samym przebiegające z różną prędkością suszenia. W okresie pierwszym energia dostarczona do substancji suszonej powoduje odparowywanie wilgoci z powierzchni materiału, przy czym jego powierzchnia pozostaje wilgotna o temperaturze równej temperaturze nasycenia określonej panującymi warunkami termicznymi. Dyfuzja wilgoci z głębi materiału uzupełnia wilgoć odparowywaną. Prędkość suszenia wyrażona pochodną ubytku wilgoci „w” ($\text{kg H}_2\text{O}/\text{kg mat. wilg.}$), w czasie, jest wielkością niezmienną określoną warunkami termicznymi realizowanego procesu:

$$-\frac{dw}{dt} = \text{idem} \quad (1)$$

Okres drugi rozpoczyna się w momencie powstania na powierzchni suszonego materiału miejsc suchych, a proces dyfuzji wilgoci, z głębi materiału do jego powierzchni, przebiega zależnie od rodzaju materiału i sposobu wiązania wilgoci. W okresie tym następuje wzrost temperatury materiału suszonego, aż do momentu przejścia do temperatur, w których nastąpi rozerwanie wiązań chemicznych cząsteczki wody ze strukturą materiału. Omawiany proces występuje zarówno w warstwie materiału przemieszczającego się na ruszcie, w komorze spalania, jak i w warstwie fluidalnej.

Konieczność usunięcia wilgoci z osadów (np. komunalnych) związana jest z realizacją autotermicznego procesu ich spalania. Obecność wilgoci w ilości 60 – 75% wymaga doprowadzenia znacznej ilości energii niezbędnej dla procesu odparowania, przy czym energia ta może być dostarczona w różny sposób np. przeponowo lub bezprzeponowo.

W zależności od ciśnienia, jakie zostanie wytworzone w procesie parowania, uzyskuje się różne temperatury procesu, a tym samym istnieje możliwość sterowania procesem powstawania substancji toksycznych lub zapachowych.

W procesie suszenia osadów w Grupowej Oczyszczalni Ścieków w GOŚ-Dębogórze zastosowano proces odparowania wilgoci przy użyciu pary o temperaturze ~400°C. Energię konieczną do podgrzewu pary uzyskuje się w wyniku realizacji procesu spalania substancji wysuszonej. Ostatnio badania prowadzone są w kierunku zastosowania procesu suszenia próżniowego. Próżnię niezbędną dla przebiegu procesu uzyskać można skraplając powstałą wilgoć w specjalnym skraplaczu. Suszenie może przebiegać w temperaturach poniżej 100°C. Ogranicza to możliwość samozapłonu substancji suszonej i wydzielania się substancji chemicznych związanych z ewentualnym przebiegiem procesu pirolizy. Procesy suszenia, jako niezależne, stosowane są również przy przetwarzaniu odpadów komunalnych w paliwo (PAKOM). Proces ten wymaga doprowadzenia energii z zewnątrz za pomocą gorących spalin lub przegrzanej pary wodnej.

2. PIROLIZA

W rozumieniu chemicznym piroliza jest procesem rozkładu węglowodorów i zachodzi w podwyższonej temperaturze (powyżej 600°C). Procesy te prowadzone są najczęściej w celu otrzymania węglowodorów nienasyconych z węglowodorów nasyconych gazowych lub ciekłych. W procesach termicznej obróbki odpadów pirolizą nazywa się rozkład substancji w temperaturze powyżej 250C. Procesowi pirolizy poddawana jest substancja organiczna, której sumaryczne wzory strukturalne przedstawia się często w postaci:

celuloza: $(C_6H_{10}O_5)_n$
 organiczna frakcja odpadów komunalnych: $(C_{60}H_{97}O_{38}N_1)$
 organiczna substancja osadów z oczyszczalni ścieków:
 $(C_{272}H_{710}O_{236}N_{61}S_3Cl_2P_1)$

W literaturze spotkać można model procesu odgazowania (pirolizy) substancji wg Ch. Nelsa. W modelu tym przyjmuje się zakresy temperatur odpowiadające określonym procesom:

- 25 + 150°C – suszenie odpadów,
 150 ÷ 250°C – wydzielanie wody związanej chemicznie oraz rozdział luźno związanych łańcuchów chemicznych,
 np. $CO\ OH \rightarrow H + CO_2$
 > 250°C – rozpad molekuł i wydzielanie produktów oleistych i smołowych, tworzenie gazów palnych (przeważnie CO , CO_2 , H_2 , CH_4 i C_2H_4),
 np. $(C_6H_{10}O_5)_n \rightarrow 6\ n\ C + 5\ n\ H_2O$
 > 500°C – koniec tworzenia smoły, rozpoczęcie przebiegu reakcji tworzenia wtórnych produktów końcowych przy udziale produktów wejściowych,
 np.
 $C + 2H_2O \rightarrow CO_2 + 2H_2$
 $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$
 Reakcja tworzenia gazu wodnego
 $C + CO_2 \rightarrow 2CO$
 Reakcja Boudouarda
 $C + 2H_2 \rightarrow CH_4$
 $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$
 > 1200°C – początek topienia się substancji nieorganicznych i możliwość otrzymywania ciekłego żużla. Rozpad pirolityczny CH_4 na C i $2H_2$.

Trzeba jednakże pamiętać, że po procesie „pirolizy” pozostaje substancja węglona (proces beztlenowy), ciecze oraz gaz, a w przypadku prowadzenia procesu z udziałem tlenu (zgazowanie) następuje prawie całkowita redukcja pierwiastka węgla w produktach stałych, a powstały gaz zawiera głównie CO , CO_2 i H_2 . Deponowanie stałych produktów procesu odgazowania (tj. substancji uwęglonej) winno podlegać ścisłej kontroli i ograniczeniu.

3. SPALANIE

Spalanie „czyste” jako proces chemicznego egzotermicznego utleniania pierwiastków palnych połączone jest z równoległym przebiegiem innych reakcji, a osiągnięcie nazywanego w termodynamice spalania całkowitego i zupełnego jest jedynie założeniem teoretycznym. Przyjmując definicję pirolizy jako termicznego rozkładu węglowodorów, należy uznać, że każdy proces

spalania rzeczywistego tworzą oba te procesy biegnące równolegle. Od organizacji ich obu, zarówno pod względem parametrów termicznych, wielkości komory, jej kształtu, obecności innych związków chemicznych, metali itd., zależy przebieg kinetyki procesów i skład produktów końcowych. Dla procesów spalania odpadów przyjąć musimy pojęcie **spalania ekologicznego**, tj. takiego procesu, któremu towarzyszy minimalna emisja toksycznych substancji zanieczyszczających środowisko. Proces spalania wymaga więc właściwego przygotowania substratów, doboru właściwych parametrów termicznych, pewnej i skutecznej kontroli jego przebiegu. Zamknięciem przemian jest możliwość dodatkowego ograniczenia emisji przez zastosowanie systemu absorpcji, chemisorpcji i neutralizacji produktów spalania.

W pojęciu społecznym pokutuje założenie, że spalarnie odpadów emitują substancje toksyczne rozpraszając je w naszej glebie, atmosferze, wodzie, utrudniając w ten sposób identyfikację źródła zanieczyszczeń. Propagując takie stwierdzenia, pomija się milczeniem możliwość emisji innych źródeł, np. energetyki przy spalaniu węgla. Spalarnie odpadów nie są jedynymi źródłami emisji substancji toksycznych, a właściwie opracowane operaty OOS oraz coraz liczniejsze punkty monitoringu pozwalają na dokładną identyfikację źródeł emisji. Jest rzeczą całkowicie niezaprzeczalną, że emisja pochodząca ze spalania odpadów uzależniona jest od systemów oczyszczania spalin i ich skuteczności. W roku 1985, według danych raportu dla spalania odpadów we Francji stopień oczyszczania spalin z HCl wynosił 0%, w Szwajcarii 8%, Szwecji 2%, Norwegii 0%. Nowoczesne spalarnie, obecnej generacji, posiadają systemy oczyszczania spalin gwarantujące maksymalny stopień ich oczyszczenia i zapewniające dotrzymanie ostrych norm prawnych, np. 17BImSchV.

Innym sądem jest rozprzestrzenianie informacji, że obecność chloru w ładunku odpadów powoduje powstawanie wysoce korozyjnego kwasu chlorowodorowego (HCl) oraz niebezpiecznych węglowodorów chlorowanych, takich jak dioksyny i furany.

Liczne dane literaturowe wskazują na obecność chloru również w innych paliwach poza odpadami. I tak w węglu angielskim jest go 0,25%, a polskim dochodzi do 0,7%. Zapomina się o obecności jodu, bromu, fluoru, a także o dioksynach bromowanych, jodowanych itd., przy czym dioksyny i furany produkują np. palacze papierosów, motocykle i inne urządzenia energetyczne.

Stwierdza się również, że związki metali lub inne niepalne substancje zawarte w odpadach nie ulegają zniszczeniu, lecz są emitowane w gazach kominowych lub pozostają w popiołach bądź w ściekach. Można postawić pytanie, czy obecność tych metali w spalanych odpadach zagraża środowisku w mniejszym czy większym stopniu? Czy inne technologie i procesy są od nich wolne? Stosowne urządzenia tzw. ochronne, towarzyszące procesom spalania, nie mają na celu likwidacji odpadów, a niewłaściwie zaprojektowane, mogą przyczynić się do tworzenia innych związków wtórnych. Nie będąc magazyna-

mi, nie mogą też gromadzić części toksycznych substancji. Jest łatwo wykazać, zarówno skuteczność absorpcji, jak i proporcjonalność ilości stałych produktów procesów spalania do warunków wsadowych. Proces spalania jako proces chemiczny ma za zadanie zrealizować określony przebieg technologii i wytworzyć określone produkty.

W dobie dzisiejszej nowoczesne spalarnie odpadów są wyposażone w systemy ciągłego monitorowania emisji z równoczesnym zapisem parametrów. Nie należy i nie wolno przyjmować do realizacji technologii nie sprawdzonych, przestarzałych. Pojęcia **efektywności spalania i efektywności mieszania i usuwania** zastąpić należy **efektywnością ekologiczną instalacji**, tj. takim stopniem dewaluacji substratów, przy którym nie zostaje zachwiana równowaga środowiskowa. Jeśli przyjąć, że przy sprawności spalania (Combustion Efficiency-EC) rzędu 99,99% pozostaje niespalone ~3000 kg z 30 000 Mg spalanych odpadów, to zaniechanie procesu spalania daje tylko $30 \cdot 10^6$ kg odpadów do zagospodarowania.

Każda szanująca się firma, a także prawidłowo zawarty kontrakt musi jednoznacznie precyzować warunki testowania instalacji przed oddaniem, w trakcie eksploatacji, a także uwzględniać stany awaryjne i zagrożenia. Nie jest argumentem przeciwko spalaniu nieudolność ludzi oceniających technologię, odbierających proces, a także nieprzygotowanie kadr przyszłych operatorów. Za sterami nowoczesnego samolotu nie sadza się człowieka bez przygotowania, a często instalację spalania obsługuje pracownik z wykształceniem podstawowym.

4. ZAGADNIENIA ROZPRZESTRZENIANIA EMISJI

4.1. Odpady komunalne

Problem odpadów komunalnych rozwiązywany jest obecnie za pomocą realizacji dwu technologii, tj. składowania lub kompostowania. Brak przyzwolenia na realizację obiektów spalających dość skutecznie ogranicza budowę tych instalacji w kraju, pomimo naukowo i technicznie uzasadnionej skuteczności procesu i jego ekologiczności.

Problemy reakcji chemicznych biegnących w składowiskach odpadów (wielkogabarytowych reaktorach chemicznych o niekontrolowanych reakcjach i procesach) rozwiązać ma foliowanie różnego typu mniej lub bardziej przepuszczalnymi tworzywami sztucznymi o różnej grubości. Powstające produkty ciekłe, jak i gazowe wymagają jednak specjalnego traktowania i wydatkowania odpowiednich nakładów inwestycyjnych. Prawidłowo zorganizowane składowisko musi posiadać wstępną oczyszczalnię ścieków, zbiorniki gromadzenia odcieków nierozkładalnych, a także instalację zagospodarowania gazów. Rozprzestrzenianie informacji o nieaktywności składowiska przeczy takim proce-

som jak dyfuzja, konwekcja masy itp., a doświadczenia śląskich hałd i ich częste samozapalanie się winny zwrócić uwagę na konieczność dążenia do ograniczenia deponowania związków i substancji znacznie odbiegających swym składem fizycznym i chemicznym od stanu równowagi ze środowiskiem, a w tym różnych uwęglonych produktów procesów pirolizy.

Produkty kompostowania, pomimo ograniczenia przetwarzanej masy do substancji względnie czystych, z uwagi na specyfikę procesu przenoszą do produktu znaczną część substancji toksycznych, a także metali ciężkich.

W realizacji zadań efektywnej gospodarki odpadami, mimo niedoskonałości różnych procesów jednostkowych, należy przyjąć konieczność stosowania gospodarki systemowej. Polegać ona powinna na skojarzeniu wszystkich procesów w jedną całość. Rozdział obciążeń na poszczególne technologie zależy od wydajności źródeł, zdolności przerobowej poszczególnych procesów i oceny kosztów funkcjonowania systemu. W skład systemu przerobu odpadów komunalnych wchodzić powinny takie technologie jak recykling, kompostowanie, przetwarzanie w paliwo, spalanie oraz składowanie. Ten ostatni proces powinien zamykać cykl przemian przyjmując jedynie substancje o odpowiednim stopniu dewaluacji (skład chemiczny zbliżony do stanu równowagi z otoczeniem).

Osobną uwagę należy poświęcić instalacjom spalania odpadów komunalnych, których obecność wymusi życie. Europejskie uwarunkowania w tym zakresie uwzględniają dwie dyrektywy z roku 1989: 89/369/EWG z dnia 8 czerwca 1989 roku oraz 89/429/EWG z dnia 21 czerwca 1989 roku, a także SSN 235/93 z dnia 28 czerwca 1993 roku.

Pierwsza z nich dotyczy zapobiegania zanieczyszczeniu powietrza powodowanego przez nowe zakłady spalające odpady komunalne, a druga obejmuje zakłady istniejące. Ponieważ zgodnie z wcześniejszym stwierdzeniem brak w Polsce obiektów istniejących, uwaga Czytelnika skupiona będzie na zakładach nowych.

Dyrektywa ta wyraźnie stwierdza, że odnosi się do „Opadów komunalnych”, tzn. – śmieci domowych, jak również śmieci powstających w przedsiębiorstwach usługowych lub handlowych, a także do innych odpadów, które ze względu na ich charakter i skład są podobne do śmieci domowych. „Zakład spalania odpadów” obejmuje każde urządzenie techniczne używane do utylizacji odpadów komunalnych przez spalanie, z odzyskiem lub bez odzyskiwania ciepła, ale **z wyłączeniem zakładów** służących do spalania osadów ściekowych, odpadów chemicznych, toksycznych lub niebezpiecznych, odpadów medycznych, poszpitalnych oraz innych odpadów specjalnych, na lądzie i na morzu, nawet jeśli zakłady te mogą spalać odpady komunalne. Dla tych instalacji (zakładów) wymagane jest przestrzeganie dopuszczalnych wartości emisji określonych dla warunków normalnych: temperatura 273K przy ciśnieniu 101,3 kPa i zawartości 11% O₂ lub 9% CO₂, w odniesieniu do gazu suchego. Dopuszczalne wartości emisji, zgodnie z cytowaną dyrektywą (tablica 1) różnią

się w zależności od wydajności instalacji, przy czym wyróżnia się trzy zakresy obciążeń: $\hat{W} < 1$ Mg/h, $1 \leq \hat{W} < 3$ Mg/h, oraz $\hat{W} \geq 3$ Mg/h. Każdy z zakresów wydajności instalacji spalającej ma inne (lub zbliżone) wartości emisji. Dla instalacji o wydajności $\hat{W} < 1$ Mg/h dopuszczalne wartości emisji mogą się odnosić do **umownej zawartości tlenu w spalinach równej 17%**, ale wymagane jest **skorygowanie wskaźnika odpowiadającego 11% tlenu na 17%** według zależności:

$$E_D = E_{D(N)} \frac{O_{2(P)} - O_{2(K)}}{O_{2(P)} - O_{2(N)}} \quad (2)$$

gdzie:

$E_{D(N)}$ – dopuszczalna emisja zgodnie z normą (11% O_2),

$O_{2(P)}$ – udział tlenu w powietrzu (21%),

$O_{2(K)}$ – korygowany udział tlenu (17%).

Tablica 1

Wartości emisyj granicznych w mg/m^3 dla instalacji spalania odpadów komunalnych (Dyr. 89/369/EWG)

$T = 273$ K, $p = 101,3$ kPa, $O_2 = 11\%$ ($CO_2 = 9\%$) gaz suchy

Zanieczyszczenie	Wydajność instalacji		
	poniżej 1 Mg/h	1 ÷ 3 Mg/h	powyżej 3 Mg/h
1. Pył ogólny	200	100	30
2. Metale ciężkie			
Pb, +Cr, +Cu, +Mn	–	5	5
Ni, +As	–	1	1
Cd, +Hg	–	0,2	0,2
3. Kwas HCl	250	100	50
4. Kwas HF	–	4	2
5. SO_2	–	300	300

Wartość współczynnika korekcyjnego wynosi w tym przypadku 0,4 i każdą z podanych wartości w normie należy przemnożyć przez tę wielkość. Dodatkowe wymagania stawiane nowym zakładom (instalacjom) określają dodatkowe wymogi temperatury spalin po ostatnim dodatku tlenu. Temperatura ta winna wynosić **co najmniej 850°C**, przy czym czas rezydencji spalin w tej temperaturze powinien wynosić **dwie sekundy** przy zawartości tlenu co najmniej **6%**. **Można udzielić zezwolenia na warunki odmiennie** od ustalonych, jeśli zastosuje się odpowiednie techniki, w piecach do spalania lub urządzeniach oczyszczających spaliny, z zastrzeżeniem, aby w tych warunkach stężenia PCDDs/PCDFs były równe lub mniejsze od uzyskanych w warunkach ustalonych powyższymi wymaganiami. Dyrektywa precyzuje również warun-

ki dokonywania pomiarów i zasady monitoringu, przy czym określa wymóg dokonywania następujących pomiarów:

- pomiar stężenia pyłu ogólnego, CO, O₂ i HCl dokonywane w sposób ciągły i rejestrowany dla jednostek $\hat{W} \geq 1$ Mg/h,
- pomiar TOC (węgiel organiczny całkowity), pomiar okresowy dla każdej wydajności,
- pomiar stężenia metali ciężkich, oraz HF i SO₂ okresowo dla $\hat{W} \geq 1$ Mg/h,
- pomiar stężenia pyłu ogólnego, HCl, CO, O₂ okresowo dla wydajności $\hat{W} < 1$ Mg/h.

Wszystkie wyniki pomiarów winny być odniesione do wyżej podanych warunków umownych, przeliczone, zarejestrowane i przedstawione w sposób umożliwiający kontrolę ich prawidłowości. Dyrektywa ta nie dotyczy całości zagadnień ekologicznych, a między innymi dopuszczalnej emisji stałych produktów wtórnych procesów oraz cieczy. Zezwala to na przeniesienie obciążenia substancjami toksycznymi innych ciał stałych i cieczy.

Podjęcie realizacji procesu degradacji odpadów metodą spalania winno prowadzić do takiej dewaluacji substancji wyjściowej, aby jej skład nie odbiegał od powszechnie występujących związków w otoczeniu. Można wprowadzić albo wskaźnik sprawności spalania (Combustion Efficiency – EC), lub wskaźnik dewaluacji spalaniem (ED) gdzie:

$$ED = \frac{\sum_s D_s - \sum_p D_p}{\sum_s D_s} \quad (3)$$

oraz wartości D_s , D_p oznaczają entalpie dewaluacji substratów (s) i produktów (p) [25]. Wartość współczynnika ED winna dążyć do 1. Dla układów złożonych (wieloogniowych) osłona bilansowa obejmuje wszystkie jego elementy, w których realizowany jest proces termiczny. Ponieważ ustalenie wartości entalpii dewaluacji może nastrożać pewne trudności niespecjalistom, a pojęcie to jest uogólnieniem wartości opałowej, do obliczeń dogodnie jest wprowadzić energię chemiczną substratów i produktów. Równanie (2) przekształci się do postaci:

$$EC = \frac{\sum_s \dot{W}_s \cdot (W_d)_s - (\sum_{ps} \dot{G}_{ps} \cdot (W_d)_{ps} + \sum_c \dot{G}_c \cdot (W_d)_c + \sum_g \dot{G}_g \cdot (W_d)_g)}{\sum_s \dot{W}_s \cdot (W_d)_s} \quad (4)$$

poszczególne pozycje równania (3) oznaczają:

$\sum_s \dot{W}_s \cdot (W_d)_s$ – energia chemiczna wszystkich składników wprowadzanych do procesu,

$\sum_{ps} \dot{G}_{ps} \cdot (W_d)_{ps}$ – energia chemiczna stałych produktów procesu wyrażona iloczynem wartości opałowej składnika i ilości danego składnika,

$\sum_c \dot{G}_c \cdot (W_d)_c$ – energia chemiczna ciekłych produktów procesu np. (energia wykroplonych substancji ciekłych pirolizy itp.),

$\sum_g \dot{G}_g \cdot (W_d)_g$ – energia chemiczna gazowych produktów procesu.

Wskaźnik ten dla różnych typów instalacji powinien być jednym z podstawowych wskaźników określających skuteczność procesu. W przypadku realizacji procesu sorpcji różnych składników, za pomocą substancji aktywnych, wartości energetyczne tych substancji wraz z wysorbowanymi produktami winny być uwzględnione po obu stronach bilansu (np.: węgiel aktywny).

Drugim wskaźnikiem reprezentującym funkcjonowanie instalacji i wyrażającym jej ekologiczność powinien być ogólny wskaźnik toksyczności. Wartość jego można ustalić, podobnie jak wyznacza się toksyczność ekwiwalentną dla dioksyn i furanów. Wartość wskaźnika może być odniesiona do m^3_n spalin suchych w 11% O_2 , przy czym wymagane jest określenie na drodze bilansu mas wszystkich składników procesu jako wielkości względnych odniesionych do m^3_n spalin według wzoru:

$$TET = \sum_k \sum_i t_{ij} \cdot u_i \cdot g_k \quad \text{mg}/m^3_n \quad (5)$$

gdzie:

t_{ji} – toksyczność ekwiwalentna substancji względem substancji odniesionej np. CO wyrażona liczbą dodatnią,

u_i – udział składnika i w danej substancji $\text{mg}/\text{jednostkę } k$ lub $\text{ng}/\text{jednostkę } k$

g_k – udział substancji k zawierającej składnik i w produktach np. m^3 wody/ m^3_n spalin; kg popiołu/ m^3_n spalin.

Ogólność wartości wskaźnika TET uzyskuje się dzięki przyjęciu umownych wartości toksyczności ekwiwalentnych. Propozycje stosowania obu wskaźników zostaną podane w odrębnym opracowaniu. Podstawą wyznaczania obu wskaźników (3) i (4) winny być pomiary gwarancyjne lub odbiorowe dokonywane dla identyfikowalnych i porównywalnych warunków wsadowych.

4.4.2. Odpady przemysłowe i specjalne

Do zagadnień związanych z unieszkodliwianiem odpadów przemysłowych i specjalnych włączyć należy cały system ich pozyskiwania, identyfikacji, przetwarzania, transportu i wreszcie liczne technologie od składowania przez proces chemicznej przeróbki do metod termicznej degradacji. Zagadnienia te są niezmiernie skomplikowane i ich omówienie w ramach podrozdziału nie jest możliwe. Ponieważ w chwili obecnej zarysowuje się tendencja budowy w urządzeniach spalających odpady przemysłowe, a także na bazie innych instalacji dopuszczanie do spalania odpadów przemysłowych, wydaje się za celowe zwrócić uwagę Czytelnika na uwarunkowania obowiązujące w EWG.

W odniesieniu do zanieczyszczenia powietrza przez zakłady przemysłowe przytoczyć należy dyrektywę 84/360/EWG z dnia 28 czerwca 1984 roku wraz z ze zmianami (dyrektywa 90/656/EWG z dnia 4 grudnia 1990 roku).

Załącznik I do cytowanej dyrektywy precyzuje kategorie zakładów, a załącznik II listę ośmiu najważniejszych substancji zanieczyszczających. Szczegółowe warunki prowadzenia procesu spalania odpadów niebezpiecznych precyzuje dokumentacja ze spotkania ENV/93/4 o symbolu SN/235/93. Propozycje te należy uznać za istotny postęp w doskonaleniu wymogów ochrony środowiska i winny stać się podstawą uwarunkowań krajowych.

Z odpadów niebezpiecznych wyłączone być mogą palne odpady płynne z wyjątkiem olejów odpadowych (Dyrektywa Rady 75/434/EEC i 87/101/EEC), pod warunkiem że spełniają następujące warunki:

- udział gramowy węglowodorów chlorowanych i aromatycznych PCB i PCT mieści się w wymaganych granicach (20 ppm – dyrektywa 76/403/EEC),
- wartość opałowa wynosi ~30 MJ/kg,
- odpady te nie są niebezpieczne zgodnie z dyrektywami 75/442/EEC i 91/156/EEC,

a także: inne odpady płynne, które nie spowodują w spalinach emisji, jaką zdefiniowano dyrektywą 75/716/EEC, odpady niebezpieczne pochodzące z baddań eksploatacyjnych zasobów ropy naftowej i gazu (w instalacjach na morzu i spalanych na pokładzie), odpady miejskie oraz osady z oczyszczalni ścieków rmiejskich.

Zezwolenie na spalanie musi zawierać wyraźne zestawienie typów i ilości odpadów i wartości granicznych ich dotyczących (strumienie, wartość opałowa, zawartość PCB, PCT, chloru, fluoru, siarki, metali ciężkich). Przed przystąpieniem do spalania operator musi mieć udostępnienie danych o odpadach (mnp. własności fizyczne, chemiczne, zagrożenia itp.), a próbki spalanych odpadów muszą być przechowywane przez okres 1 miesiąca celem umożliwienia kontroli. Podobnie jak dla spalarni odpadów miejskich spełnione być muszą warunki realizacji procesu termicznego z dodatkowym wymogiem dla substancji chlorowanych o udziale ich powyżej 1% Cl, gdzie temperatura w komorze reakcyjnej musi być równa 1100°C. Udział tlenu przy spalaniu olejów

(odpadów ciekłych) po ostatnim miejscu doprowadzenia powietrza musi wynosić co najmniej 3%.

Tablica 2

Wartości emisji granicznych według dyrektywy SN 235/93

Zanieczyszczenie	A mg/m ³ _n	B mg/m ³ _n
I. Wartości średnie dobowe		
1. Pył całkowity	10	10
2. Gazy i pary substancji organicznych wyrażone przez całkowity udział węgla	10	10
3. HCl	10	10
4. HF	1	1
5. SO ₂	50	50
II. Wartości średnie półgodzinne		
1. Pył całkowity	30	10
2. Gazy i pary substancji organicznych wyrażone przez całkowity udział węgla	20	10
3. HCl	60	10
4. HF	4	2
5. SO ₂	200	50
III. Wartości średnie w okresie 0,5 ÷ 8 h		
1. Cd i jego związki jako Cd	0,05/0,1	
2. Tl i jego związki jako Tl	0,05/0,1	
3. Hg i jego związki jako Hg	0,05/0,1	
4. Sb i jego związki jako Sb	0,05/1,0	
5. As i jego związki jako As		
6. Pb i jego związki jako Pb		
7. Cr i jego związki jako Cr		
8. Co i jego związki jako Co		
9. Cu i jego związki jako Cu		
10. Mn i jego związki jako Mn		
11. Ni i jego związki jako Ni		
12. V i jego związki jako V		
13. Ti i jego związki jako Ti		

Dane dla 273K, p = 101,3 kPa, 11% O₂, gaz suchy. Dla spalania olejów odpadowych O₂ = 3% przy niezmiennych pozostałych warunkach technicznych.

Odrębne wymagania stawiane są palnikom i systemom ochronnym. Podczas pracy spalarni koncentracja CO w spalinach nie może przekraczać $50 \text{ mg/m}^3_{\text{n}}$ jako średnia dobową, a $150 \text{ mg/m}^3_{\text{n}}$ co najmniej dla 95% wszystkich pomiarów określonych jako średnie 10-minutowe lub $100 \text{ mg/m}^3_{\text{n}}$ jako średnie półgodzinne, brane w dowolnym okresie 24 h wagowe. Wartości emisji zestawiono w załączonej tablicy 2. Wartości emisji dioksyn i furanów mierzone przez okres prób minimum 6 i maksimum 8 godzin nie mogą przekraczać limitu $0,1 \text{ ng/m}^3_{\text{n}}$. Osobnym przepisem objęte są zawartości substancji toksycznych i niebezpiecznych w ściekach wodnych, a także stałych odpadów wtórnych (dyrektywa 80/68/EEC z dnia 26. 01. 1980).

Każde dopuszczenie instalacji do działania wymaga określenia, w zezwoleniu, warunków jej monitorowania, a aneks III dyrektywy określa dodatkowe warunki działania instalacji funkcjonujących okresowo. Wymóg ciągłych pomiarów obowiązuje dla pomiaru temperatury, stężenia tlenu, ciśnienie i zawartości pary wodnej w spalinach, przynajmniej 2 pomiary w roku wymagane są dla metali ciężkich i dioksyn, a w ciągu pierwszych 12 miesięcy działania instalacji wykonywany będzie pomiar tych substancji co 2 miesiące. Uznaje się, że normy są przestrzegane, jeśli w ciągu roku wartości wszystkich średnich emisji półgodzinnych nie przekroczą norm emisji w kolumnie A lub jeśli 97% wartości średnich półgodzinnych w ciągu roku nie przekroczy wielkości normowanych w kolumnie B (tablica 2). Dyrektywa w aneksie I podaje współczynniki toksyczności dla dioksyn i benzofuranów, a w aneksie III sposób i warunki dokonywania pomiarów okresowych.

Uwagi o efektywności realizacji procesu i jego skuteczności ekologicznej zawarte w rozdziale poprzednim odnoszą się do tego przypadku w pełnej rozciągłości.

5. ZAŁOŻENIA DLA OCENY KOSZTÓW REALIZACJI PROCESU

Określenie kosztów realizacji każdego z przedsięwzięć jest niezmiernie trudne do oceny. Zależą one od szeregu czynników nie zawsze wynikających z realnych przesłanek. Każda analiza winna uwzględniać takie pozycje jak koszty stałe i zmienne liczone zgodnie z rachunkiem efektywności inwestycji. Z doświadczeń autora wynika, że niejednokrotnie w kosztach zmiennych zapomina się o wielu istotnych wielkościach, jak np. amortyzacja czy płace. Nie ujawnia się kosztów dodatkowych substancji wymaganych w procesie, a wynikających z niejawności technologii. Łączny koszt odniesiony do wydajności instalacji stanowi tzw. koszt jednostkowy degradacji. Wartość tego kosztu jest stała jedynie przy zagwarantowaniu niezmienności warunków wsadowych i przebiegu procesu. Ponieważ gwarancje takie nie są możliwe, w wielu przypadkach (np. dobór instalacji o wydajności znacznie przekraczającej potrzeby) wartości kosztów jednostkowych powinny być podawane jako funkcja

uwzględniająca zmienne warunki procesu. Rzetelność tych danych oparta być musi na prawidłowo sporządzonym bilansie energii instalacji i jego charakterystykach dynamicznych pracy.

6. WNIOSKI

Problematyka niniejszego opracowania jest tak obszerna, że nie sposób zawrzeć ją w kilkustronicowym opracowaniu. Autor starał się zwrócić uwagę na wybrane zagadnienia, konieczne do uwzględnienia w obecnej chwili, kiedy podejmowanych jest wiele decyzji, a także poszukuje się ogólnych ocen różnego typu instalacji. Oparcie się na dyrektywach EWG wydaje się ze wszelkich miar słuszne. Są one aktami prawnymi głęboko przemyślanymi i opartymi na wieloletnim doświadczeniu.

LITERATURA

- [1] Wandrasz J., Zieliński J.: Procesy fluidalne utylizacji odpadów. Tom I i II, Ossolineum, 1983, 1984.
- [2] Praca zbiorowa: Nie ma rady na odpady. Urząd Wojewódzki Katowice, Wyd. Wokół Nas, Gliwice, 1992.
- [3] Kempa E.: Gospodarka Odpadami na wysypiskach. Arka Konsorcjum s.c., Poznań 1993.
- [4] Bunin L.J., Edwards B.: Let the earth breathe stop incineration! Greenpeace 1991 (tłumaczenie na język polski)
- [5] Sloss L.L.: Halogen emissions from coal combustion. IEA Coal Research, London February 1992.
- [6] Reimann D.O.: Schwermetalle und anorganische Schadstoffe im Hausmüll mit ihrer Verteilung auf die feste und gasförmige Phase. VGB Kraftwerkstechnik 68. Heft 8.
- [7] Reimann D.O.: Auslaugrerhalten und Aulangerfuhren von Reststaffen aus Abfallverbrennungs anlagen VDI BW 9783, 1993.
- [8] Fichtel K., Beck W.: Austaugverhalten von Rückständen aus Abfallverbrennungsanlagen, Müll und Abfall 8, 1984.
- [9] Wandrasz J.W.: Termiczna degradacja substancji toksycznych i niebezpiecznych. Sympozjum OPAM-Katowice: Oczyszczanie i dezodoracja gazów metodami biologicznymi i chemicznymi, 1993.
- [10] Wandrasz J.W.: Termiczne metody unieszkodliwiania odpadów. Materiały konferencji naukowo-technicznej Kieksz k. Poznania, 1993.
- [11] Wandrasz J.W.: Ekologia i Technika Nr 2, Bydgoszcz 1993, s.710.
- [12] Wandrasz J.W., Janusz M., Przywarska R.: Gospodarka paliwami i energią, Nr 7, 1993 s.15.

- [13] Grant Nr 7 0690 91 01: Termiczny rozkład węglowodorów chlorowanych wykonany pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. J.W. Wandrasza (maszynopis w Katedrze Technologii i Urzędzeń Zagospodarowania Odpadów).
- [14] Wandrasz J.W.: Perspektywy termicznego unieszkodliwiania odpadów w Polsce. Nowoczesna gospodarka odpadami, Poznań 1993. Materiały Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej.
- [15] Wandrasz J.W., Jaworski T.: Spalanie odpadów stałych w przedpaleniskach kotłowych. „Eko-Problemy utylizacji odpadów przemysłowych i komunalnych”, 1993.
- [16] Wandrasz J.W.: Termiczne metody obróbki odpadów komunalnych i specjalnych. Ochrona Powietrza, Nr 6, 1993.
- [17] Nels Ch.: Pyrolysetechnik – Müll und Abfallbesaitigung MuA Lfg. 3/93. 7955.
- [18] Wandrasz J.W.: Termiczne metody zagospodarowania odpadów, Warsztaty Szkoleniowe Ochrona Środowiska – powietrze, woda, odpady. Bielsko-Biała, 1995, s. 109-115.
- [19] Dyrektywa 76/403/EEC z 6 kwietnia 1976 r. o gospodarowaniu polichlorowanymi-dwufenylami (PCB) i polichlorowanymi trójfenylami (PCT).
- [20] Dyrektywa 84/360/EEC z 28 czerwca 1984 r. w sprawie ograniczenia zanieczyszczeń powietrza powodowanych przez zakłady przemysłowe.
- [21] Dyrektywa 89/369/EEC z 8 czerwca 1989 r. w sprawie zapobiegania zanieczyszczeniu powietrza powodowanemu przez nowe zakłady spalania odpadów komunalnych.
- [22] Dyrektywa 89/429/EEC z 21 czerwca 1989 r. w sprawie zmniejszenia zanieczyszczenia powietrza powodowanego przez istniejące zakłady spalania odpadów komunalnych.
- [23] Sitzungsdocument ENV/93/4 SN 235/93 z dnia 28 czerwca 1993 r.
- [24] TA-Luft-Vorschriften zur Reinhalung der Luft Fassung vom 27 Februar 1986.
- [25] Szargut J.: Ogólne zasady bilansowania energetycznego procesów chemicznych oraz nowa metoda bilansowania. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Energetyka nr 1/1956 oraz Termodynamika. PWN, Warszawa 1971.
- [26] Wandrasz J.W.: Odpady przygotowanie i unieszkodliwianie – normy, efektywność, technologie, koszty. Materiały Międzynarodowego Forum Poznań'95 (w druku).

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Wojciech NOWAK

Abstract

Combustion as an element of general waste management often meets some legal barriers. The society often takes it as a process emitting numerous toxic substances. But in fact the combustion process with full detoxication of postcombustion gases is much more advanced than other industrial processes. Waste combustion process is a part of thermal waste tretment and results in full waste degradation to devaluated substances, that contain components in the state close to equilibrium as in the outer enviroment. Those processes are combined of processes of drying, high and low temperature pyrolysis – with or without oxygen access, of process of oxidation that means burning (chemical) an also of others combined processes. In this work an outline of such technologies is shown with mentioning of theirs practical aspects. The combustion process must be closely connected with the emission spreading problem- solid, gas or fluid products of the process. The final part of the work contains some choosen actual data taken from instructions that are in force in EEC contries.