

Janusz W. Wandrasz

Współczesne spalanie odpadów a ochrona środowiska

Nazewnictwo w procesach termicznego przekształcania odpadów

Aby można było zdefiniować proces spalania odpadów, a w szczególności spalanie bezpieczne, należy wyjaśnić i uporządkować podstawowe określenia związane z tym zjawiskiem. W ustawie o odpadach wprowadzono następujący zapis: Ilekroć w ustawie mówi się o termicznym przekształcaniu odpadów, rozumie się przez to proces rozkładu organicznych składników odpadów przebiegający w temperaturze powyżej 600 °C. Dla właściwego zrozumienia tych pojęć należy określić, co ustawodawca rozumie pod pojęciem proces rozkładu.

W skład substancji organicznych zawartych w odpadach komunalnych wchodzi takie substancje, jak białka, celuloza, tłuszcze itd. i żadna z nich nie rozkłada się w temperaturze powyżej 600 °C. Za temperaturę zapłonu odpadów komunalnych przyjmuje się temperaturę 230 °C, co w odpowiednich warunkach pozwala na realizację procesu spalania w temperaturach 400+600 °C. Tak więc procesy omawiane w ustawie nie dotyczą odpadów komunalnych, ani komunalnopodobnych, czy też innych otrzymywanych syntetycznie.

Nieprecyzyjność pojęciowa jest tak daleka, że nie wiadomo, jak interpretować ten przepis, jeśli spośród wielu różnych substancji jedna rozkładać się będzie w temperaturze powyżej 600 °C, a pozostałe w temperaturach znacznie niższych. Nie wiadomo, czy o kwalifikacji procesu decyduje najwyższa temperatura rozkładu jednej z substancji, czy też średnia, a jeśli tak, to jaka: ważona, arytmetyczna, harmoniczna czy inna? Ze wszech miar niezbędne wydaje się więc uporządkowanie pojęć i przestrzeganie ich zarówno w publikacjach jak i ustawach.

Odpady organiczne

W odpadach komunalnych do części organicznych zalicza się przeważnie materiał naturalny (odpady ogrodowe, odpady produktów rolnych, resztki jedzenia, kości zwierzęce, szczątki mięsa itd.), substancje przetworzone (tekstylna, papier, tekstura itd.) oraz substancje syntetyczne – organiczno-chemiczne – jak na przykład tworzywa sztuczne, rozpuszczalniki organiczne itp.

Związki organiczne

Związki organiczne to związki węgla występujące w świecie roślinnym i zwierzęcym, odgrywające istotną rolę we wszystkich procesach życiowych oraz substancje otrzymywane syntetycznie. Charakteryzują się one mniejszą trwałością na działanie czynników chemicznych od związków nieorganicznych,

niską temperaturą topnienia, są przeważnie nierozpuszczalne w wodzie, palne i lotne.

Proces termiczny

Procesem termicznym jest zbiór przemian lub przemiana fizyczna, chemiczna, czy też fizyczno-chemiczna, zachodząca pod wpływem zmian parametrów termicznych (p,t,v) w określonym środowisku (tlenowe, beztlenowe), przy współdziale różnych stymulatorów, jakimi mogą być np. organizmy żywe (procesy biotermiczne), katalizatory itp.

Piroliza

W odniesieniu do gazów i cieczy zjawisko pirolizy dotyczy termicznego rozkładu ciekłych lub gazowych węglowodorów nasyconych do nienasyconych w temperaturze powyżej 600 °C [1], przy czym rozróżnia się pirolizę węglowodorów gazowych (np. metanu do postaci alotropowej węgla – sadzy i wodoru w temperaturze powyżej 1000 °C, etanu i innych węglowodorów) oraz pirolizę węglowodorów ciekłych, najczęściej wobec pary wodnej w temperaturze 600+700 °C (*Catarol Process*, *Thermoform Pyrolytic-Cracking Process* i inne).

Piroliza odpadów

Przez pojęcie pyrolizy (*pyrolyse*) rozumie się termiczne rozbicie odpadów zawierających substancje organiczne bez dostępu tlenu [2]. Inne pojęcia związane z tym procesem to odgazowanie (*Entgazung*), wylewanie (*Verschwelung*), kokowanie (*Verkokung*) oraz konwersja (*Konvertierung*). Proces pirolizy przebiega w temperaturach 450+900 °C, przy czym organiczna część materiału wsadowego przekształca się w fazę gazową (gazy pirolityczne), fazę ciekłą (oleje pirolityczne), a także pozostaje w postaci stałej (koks pirolityczny). Wszystkie produkty tego procesu powinny być wykorzystane jako surowce, a także termicznie w procesie spalania. Produkty pirolizy, ich skład, a także wydajność procesu zależą od rodzaju przetwarzanego materiału, szybkości ogrzewania oraz temperatury i czasu trwania procesu.

Uwęglona struktura stałych produktów procesu pirolizy wiąże nieodgazowane nieorganiczne elementy odpadów. Gazy pirolityczne zawierają głównie dwutlenek węgla, tlenek węgla, wodór, metan, wyższe alifatyczne węglowodory, parę wodną oraz smołę wylewną, a także składniki nieorganiczne, jak H₂S, HCl, HF, HCN, NH₃ i inne. W postaci lotnej występuje w nich smoła pirolityczna, która obok węglowodorów wielopierścieniowych zawiera związki aromatyczne poddające się procesom chlorowania, związane z występowaniem dioksyn i furanów (PCDDs/PCDFs). Gazy te zawierają również pył o względnie wysokiej zawartości metali ciężkich, co wymaga przeprowadzenia procesu ich odpylania jeszcze w zakresie wysokich temperatur [2].

Uwęglanie

Uwęglanie jest beztlenowym procesem rozkładu substancji organicznych (piroliza beztlenowa – chodzi o tlen dostarczany z zewnętrznych źródeł masy), realizowany w niskich temperaturach (wytłewanie) oraz w średnich i wysokich temperaturach (odgazowanie). Uwęglanie opiera się na zjawisku termicznego rozkładu substancji organicznych i przebiega w zakresie temperatur 250+900 °C bez dostępu tlenu z zewnętrznych źródeł masy. W procesie tym udział tlenu równy jest ilości tlenu cząsteczkowego w substratach, a stosunek nadmiaru powietrza $\lambda=0$. Produktami procesu uwęglania są karbonizat (koks procesowy – podejmowane są próby aby nazywać go karbozem, z uwagi na obecność związków toksycznych rzekomo odmiennych niż w procesach uwęglania innych substancji, np. drewna), gaz zawierający różnorodne produkty chemiczne chlorowane i niechlorowane, WWA, a także ciecze, substancje smoliste i inne, których usuwanie do środowiska nie jest ekologicznie przyjazne. Skład produktów uwęglania (odgazowania) zależy od ciśnienia i temperatury przebiegu reakcji.

Spopielanie

Spopielanie, jako proces degradacji stałych substancji palnych, przebiegać może z ograniczonym dostępem tlenu ($\lambda < 1$), jak również przy jego nadmiarze ($\lambda \geq 1$). Pierwszy proces z grupy spopielania nazywany jest zgazowaniem i jego produktami są gaz palny, ciecze oraz substancje mineralne, metale, szkło itp. Produkty stałe nie powinny zawierać palnych części stałych (proces spopielania całkowitego). Proces prowadzony przy nadmiarze tlenu i dużej prędkości utleniania nazywa się spalaniem. Skład produktów tego procesu jest również zależny od wielu istotnych czynników, takich jak sposób doprowadzania reagentów, sposób ich mieszania, warunki wymiany ciepła i masy, a przede wszystkim od składu substratów poddawanych procesowi spalania.

Spalanie

Jest to proces termiczny przebiegający powyżej temperatury zapłonu substancji organicznych (temperatura zapłonu jest właściwością materiałową) i przy określonym nadmiarze tlenu ($\lambda \geq 1$). Procesowi spalania substancji stałych towarzyszą procesy uwęglania i zgazowania, przebiegające współbieżnie lub z przesunięciem czasowym. Proces spalania tylko z pozoru jest procesem prostym w organizacji, a ekologicznie przyjaznym jedynie w odniesieniu do spalania wodoru w czystym tlenie. Reakcje spalania, zarówno hetero- jak i homogeniczne, wzajemnie się zazębiają, a skład produktów zależy od bardzo wielu czynników, w tym od organizacji samego procesu. Z termodynamicznego punktu widzenia procesy spalania podzielić można na spalanie całkowite i zupełne, niecałkowite i niezupełne, a także ich kombinacje, tj. niecałkowite i zupełne oraz całkowite i niezupełne. Wymogi ekologiczne określone licznymi przepisami wprowadzają ponadto pojęcie spalania ekologicznego, tj. takiego, w którym produkty procesu spalania spełniają oczekiwane normy. Pojęcie to należy odnieść do technologii spalania, a nie do całego procesu degradacji odpadów, w skład którego wejść może również proces oczyszczania spalin, nie mający nic wspólnego z technologią spalania.

Bezpieczne spalanie

Na bazie zaprezentowanych podstawowych pojęć, proces bezpiecznego spalania jawić się musi jako taki, w wyniku

którego nie dochodzi do tak dużej prędkości utleniania, która grozi detonacją (spalanie detonacyjne), a skuteczność samego procesu wyrażona stosunkiem energii chemicznej produktów do energii substratów dąży do zera. Niektórzy autorzy próbują stosować pojęcie bezpiecznej temperatury spalania, co – zdaniem autora – nie jest potwierdzone żadnym merytorycznym uzasadnieniem. Każda temperatura, w której przebiega proces spalania, w sposób niezakłócony winna być uznana za temperaturę bezpieczną. Z uwagi na właściwości paliwa, organizację procesu, kształt komory spalania itd., każdy realizowany proces przebiegać powinien w określonej temperaturze.

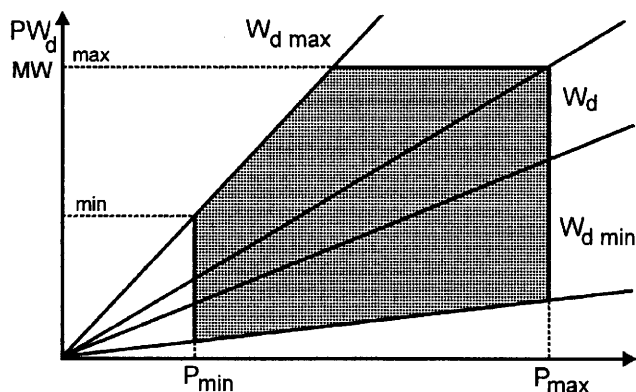
Sposoby ograniczania emisji substancji szkodliwych w procesie spalania odpadów

Każdy proces spalania realizowany jest w odpowiadającym mu i ściśle określonym palenisku, tj. komorze spalania. Zarówno jej konstrukcja, jak i sposób zasilania, rozkład temperatur, obecność stref (suszenia, odgazowania, spalania masy uwęglonej, spalania gazów, dopalania gazów i produktów stałych), rodzaj wprowadzanego czynnika (recyrkulacja spalin, powietrze pierwotne, drugie, trzecie) muszą być dobrane w oparciu o gwarancje właściwego przebiegu procesu.

Spalanie stałych substancji organicznych w postaci ziarna podzielić można na kilka faz. Pierwszą z nich jest proces nagrzewania i suszenia, wiążący się z odparowaniem wilgoci z powierzchni materiału i jego stałą temperaturą, równą temperaturze termometru mokrego. Uwzględniając dwa okresy suszenia (w wypadku odpadów występuje znaczna zawartość wilgoci), dochodzi się do takiego stanu nagrzania cząstki, w którym zainicjowany zostanie proces odgazowania. Z wnętrza całej struktury do powierzchni przepływają produkty reakcji rozkładu, ulegając spalaniu dopiero poza cząstką, w strudze o odpowiedniej zawartości tlenu. Jeśli produkty te trafiają przypadkiem do strugi spalin ubogich w tlen lub zawierających parę wodną unoszącą się z cząstek nie nagranych, mimo średnich parametrów procesu gwarantujących przebieg procesu całkowitego i zupełnego spalania, przemieszczają się przez komorę poza strefę spalania. Analiza derywatograficzna zarejestruje w momencie przejścia w stan odgazowania pik wzrostu temperatury. Prężność par w cząstce nadal ogranicza dyfuzję tlenu, a po pierwszym intensywnym okresie wydzielania gazów ich ilość maleje. Maleje również ich kaloryczność, co jest spowodowane mieszaniną z produktami reakcji spalania w fazie gazowej cząstek sąsiednich. Obniża to temperaturę w strefie, której wzrost notuje się w momencie, kiedy do uwęglonej struktury (koks procesowy) zacznie dyfundować tlen, powodując proces spalania pierwiastka węgla.

W dużych skupiskach materiału o małym współczynniku przewodzenia ciepła, niewielkiej zawartości części lotnych i niedostatecznym czasie przebywania materiału w strefie spalania, proces spalania może zostać przerwany, co uzyskuje się w paleniskach przy spalaniu sprasowanych mas papieru. Z tego względu przy organizacji procesu spalania należy brać pod uwagę zróżnicowany czas przebiegu poszczególnych faz, dostosowując go do potrzeb, a także organizować proces w taki sposób, aby każda z faz miała zapewniony właściwy skład reagentów. Z tego względu w typowych paleniskach spotyka się takie rozwiązania, jak sklepienie susząco-zapłonowe, ruszty posuwiste dzielone, posuwisto-zwrotne, podgrzewanie powietrza do spalania, recyrkulacja spalin, stosowanie powietrza pierwotnego, wtórnego, trzeciego, a także

cały zestaw różnego typu rozwiązań konstrukcyjnych komór paleniskowych. Należą do nich również komory obrotowe, w których ruch pieca powoduje przemieszczanie się materiału spalanego w kierunku pochylenia pieca. Wielkość tych komór oraz trudne warunki eksploatacyjne (szczelność części obrotowych, trwałość wymurówki itp.) ograniczają zakres ich stosowania. Każda komora spalania charakteryzuje się specyficznymi właściwościami i ma odpowiadającą jej charakterystykę energetyczną, której przykład pokazano na rysunku 1. Zaznaczony obszar pracy komory ograniczony jest maksymalną i minimalną wydajnością cieplną komory ($PW_d \max$ i $PW_d \min$), maksymalną i minimalną jej przepustowością ($P_{\max}$ i $P_{\min}$) oraz maksymalną i minimalną wartością opałową ($W_d \max$ i $W_d \min$).



Rys. 1. Charakterystyka energetyczna komory spalania

Optymalny punkt pracy komory jest jedną z tajemnic firmy produkującej dane rozwiązanie. Szczegółowe opisy stosowanych rozwiązań komór paleniskowych, systemu służącego załadunkowi odpadów, uszczelnieniu itp. wykraczają poza ramy wiedzy o gospodarce odpadami. Tym niemniej należy wiedzieć, że przekroczenie maksymalnej wartości $PW_d \max$ grozi przepaleniem wymurówki, uszkodzeniem elementów komory, a przeciążenie paleniska powyżej wartości $P_{\max}$ musi spowodować wydzielenie nadmiernych ilości spalin, które zakłóca pracę dalszych podsystemów procesu technologicznego. Zjawisko takie obserwuje się ostatnio w instalacjach spalania odpadów medycznych, w których komora zaprojektowana na warunki

wsadowe odpadów o średniej wartości opałowej $6+14 \text{ MJ/kg}$ otrzymuje odpady workowane (same tworzywa sztuczne) o kaloryczności $20+30 \text{ MJ/kg}$. Łatwo zauważyć, że w tym wypadku zakres projektowanej pracy komory nie obejmuje powstałych nowych warunków eksploatacyjnych, co grozi szeregiem istotnych konsekwencji.

Podsumowanie

Stosowane w technice spalania odpadów różnego rodzaju rozwiązania praktyczne, takie jak regulowany strumień powietrza, zmienny skład strumienia gazów wprowadzanych do komory, zawracanie odpowiednio przygotowanego lotnego pyłu do strefy paleniskowej, stosowanie różnego rodzaju sorbentów redukowanych następnie w procesie wysokotemperaturowym, wtrysk amoniaku i wiele innych rozwiązań, pozwalają na znaczne ograniczenie emisji związków toksycznych i sprostanie wymogom ekologii. Na uwagę zasługują także całkiem nowe technologie mało- lub bezskładowiskowego przetwarzania odpadów w paliwo możliwe do spalania w istniejących paleniskach energetycznych (technologia ORFA) oraz technologie spalania odpadów w przedpaleniskach kotłów energetycznych (technologia Höltera), jak również proces zgazowania odpadów połączony z produkcją metanolu.

LITERATURA

1. Praca zbiorowa: Encyklopedia Techniki „CHEMIA”. PWN, Warszawa 1965.
2. Was Sie schon immer über Abfall und Umwelt wissen wollten. Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart-Berlin 1994.
3. K. J. THOME-KOZMIENSKY: Thermische Abfallbehandlung. EF-Verlag Umwelttechnik, 1994.
4. J. W. WANDRASZ, J. ZIELIŃSKI: Procesy fluidalne utylizacji odpadów. Ossolineum, Wrocław 1983 (tom I) i 1984 (tom II).
5. J. W. WANDRASZ: Procesy termiczne średnio- i wysokotemperaturowe w gospodarce odpadami. Karbo-Energochemia-Ekologia, 1998, nr 11, ss. 354-359.

Waste Incineration Process and Environmental Pollution Control

Basic notions were defined and the nomenclature made use of in thermal processes of waste disposal were systemized. Particular consideration was given to a safe incineration of waste substances and to reliable methods of reducing the emission of hazardous species in the course of municipal waste combustion. It was found that a controlled air stream, a variable composition of the gas stream entering the combustion chamber, recirculation of the fly ash (after appropriate processing) into

the furnace zone, application of sorbents, and injection of ammonia reduced considerably atmospheric emissions of toxic substances from the incinerator. Attention was also directed to some novel methods enabling conversion of the wastes into a fuel that might be used to fire power-plant boilers (ORFA and Hölter process). Gasification combined with methanol production seems to give promise for the future.