

Janusz WANDRASZ

Instytut Techniki Ciepłej

NEUTRALIZACJA ODPADÓW POPRODUKCYJNYCH PRZEZ SPALANIE
W WARSTWIE FLUIDALNEJ

Streszczenie. W pracy przedstawiono, w oparciu o literaturę, podział odpadów przemysłowych oraz metody ich spalania, ze szczególnym uwzględnieniem spalania w warstwie fluidalnej. Analizując spalanie w warstwie wyprowadzono podstawowe zależności ujmujące czas spalania odpadów i ich własności energetyczne na temperaturę warstwy. Końcowa część pracy zawiera zaprojektowaną i wykonaną w ITC prototypową instalację do spalania odpadów ciekłych w warstwie fluidalnej.

1. Podział i rodzaje odpadów

Intensywny rozwój przemysłu, poza wzrostem produkcji głównej, przyczynia się do wzrostu wytwarzania produktu ubocznego, nierozzerwalnie związanego z produktem głównym. Znaczna część produktów ubocznych zastępuje produkt główny wytwarzany w innych gałęziach produkcji (np. para wodna wytwarzana w procesie chłodzenia wyparkowego zastępować może parę z elektrociepłowni) lub wykorzystywana jest do celów energetycznych czy technologicznych. Pozostająca reszta z uwagi na nieprzydatność, a także na cechy fizykochemiczne, nie znajduje zastosowania, będąc zaliczana do odpadów poprodukcyjnych. Odpady te zgodnie z [5] mogą być zakwalifikowane do jednej z grup rodzajowych, jak: mineralne, metaliczne, niemetaliczne lub inne, do których zalicza się m.in. odpady produkcyjne z przemysłu chemicznego i maszynowego.

W każdej z przedstawionych grup rodzajowych wyróżnić można odpady nieszkodliwe (częściowo szkodliwe) i szkodliwe [5]. Ostatnia z wymienionych dotyczy głównie przemysłu chemicznego lub przemysłów przetwórczych, opartych na technologiach chemicznych. Rozeznanie w ilościach i własnościach odpadów nie jest w chwili obecnej pełne i wymaga dalszych badań i opracowań. Nie jest wystarczającym stwierdzeniem przydatność danego odpadu do spalania, ale konieczne jest poznanie całego zespołu jego cech fizykochemicznych klasyfikujących go do spalania lub odgazowania czy zgazowania. Podział taki powinien uwzględnić własności odpadu przed spalaniem i własności produktów spalania. Część odpadów szkodliwych, klasyfikowana do grupy niepalnych w wyższych temperaturach, traci własności szkodliwe. Znane są również zastosowania niektórych związków chemicznych w procesach wiązania

innych (np. SO_2) i uwalniania w ten sposób gazowych produktów spalania od substancji szkodliwych dla otoczenia. Przy wykorzystaniu odpadów należy brać pod uwagę możliwość ich pełnego zastosowania, jako wtórnego źródła surowców lub energii, z równoczesnym uwzględnieniem możliwości odzysku metali czy pierwiastków szlachetnych w tych gałęziach przemysłu, w których pierwiastki te występują (np. przemysł elektroniczny). Tak przeprowadzona klasyfikacja pozwoli łączyć w odpowiednie grupy odpady różnych zakładów z przeznaczeniem do odgazowania lub spalania.

Wybór koncepcji rejonizacji spalarni winien zawierać oprócz analizy ekonomicznej (rachunek efektywności inwestycji) pełną analizę wykorzystania ciepła odpadowego i produktów spalania (lub odgazowania) w oparciu o zagadnienia termoeconomiczne ochrony środowiska [2].

Pomimo dużego rozeznania w urządzeniach służących do spalania odpadów [5] szereg z nich narażać trudności eksploatacyjne, a często brak jest rozwiązań i opracowań krajowych.

2. Metody spalania odpadów

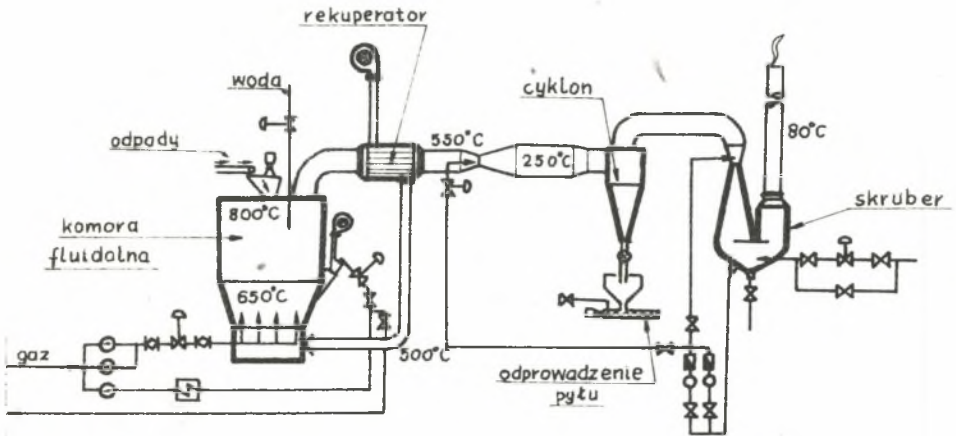
Zagadnienie spalania odpadów, metody i rodzaje spalań omówiono szczegółowo w pracy [5]. Na uwagę zasługuje metoda fluidyzacji, stosowana coraz częściej w szeregu procesach przemysłowych, a także do termicznego unieszkodliwiania ciekłych odpadów. Zasada działania takiego pieca oparta jest na zawieszeniu warstwy rozgrzanego drobnego materiału w strumieniu powietrza. Odpowiednio dobrane prędkości przepływu gazu w stosunku do materiału rozdrobnionego powodują ciągłe ruchy cząstek w warstwie fluidalnej. Rozpylone odpady ciekłe, oklejając rozgrzany materiał warstwy, ulegają natychmiastowemu wysuszeniu, odgazowaniu i spopieleniu, przez co zmienia się ciężar cząsteczki powodując po okresie jej opadania ponowne uniesienie strumieniem gazów do miejsca kolejnego kontaktu z kroplą ciekłego odpadu. Część kropel pod działaniem gorących spalin ulega gwałtownemu odparowaniu i spalaniu, pozostawiając cząstkę wydzielonego popiołu.

Proces taki przebiega bardzo sprawnie w temperaturach niższych od temperatury topnienia popiołu odpadu, powodującego po jej przekroczeniu sklepanie cząstek warstwy.

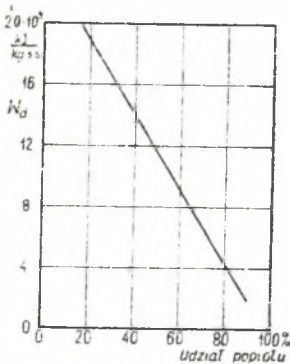
Piece fluidyzacyjne, w porównaniu z innymi piecami stosowanymi do spalania odpadów, odznaczają się prostą budową, przy czym pozwalają uzyskać całkowite wypalenie składników palnych zarówno w gazach, jak i w popiele. Wadą ich jest unoszenie przez gazy odlotowe dużych ilości pyłu (konieczność stosowania bardzo sprawnych urządzeń odpylających i właściwy dobór szeregu istotnych parametrów gwarantujących właściwą pracę pieca (średnica ziarn wypełnienia, ciśnienie, temperatura itp.).

Na rys. 1 przedstawiono francuską instalację do spalania odpadów o różnej zawartości wilgoci [4] z zastosowaniem pieca fluidalnego S.A.Heurtey-

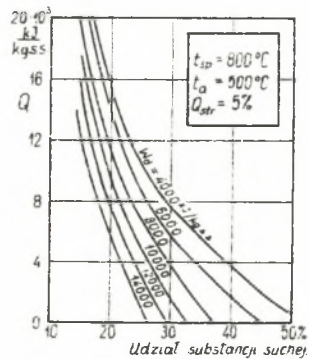
Ahiström. Wartość opałową odpadów w zależności od zawartości popiołu, odniesioną do 1 kg substancji suchej oraz zapotrzebowanie energii do spalania 1 kg tej substancji przedstawiono na rys. 2 i 3.



Rys. 1. Schemat instalacji do spalania w warstwie fluidalnej odpadów miękkich [4]



Rys. 2. Wartość opałowa odpadów



Rys. 3. Zapotrzebowanie energii paliw dodatkowych do spalania odpadów [4]

3. Spalanie odpadów w warstwie fluidalnej

Spalaniu w warstwie fluidalnej mogą być poddawane zarówno ciekłe, półpłynne jak i stałe substancje, po uwzględnieniu odpowiedniej technologii ich przygotowania. Wprowadzenie tych substancji do warstwy utworzonej z cząstek ciała stałego powoduje wzrost jej temperatury. Ilość ciepła pochłonięta przez masę stałą w chwili dt wynika z bilansu energii warstwy

$$\left\{ \dot{n}_g [MW_d + \Delta(Mi)_g] + \dot{G}_{odp} [W_d + \Delta(i)_{odp}] + \dot{n}_a [\Delta(Mi)_a + X_a \Delta(Mi)_{H_2O}] \right\} d\tau = m_m c_{pm} dt_m + [\dot{n}_{sp}(MS)(t_{sp} - t_{ot}) + \dot{Q}_{ot}] d\tau, \quad (1)$$

gdzie:

- $\dot{n}_g, \dot{n}_a, \dot{n}_{sp}$ - natężenie strumienia gazu, powietrza i spalin, kmol/s,
- $\Delta(Mi)_g, \Delta(i)_{odp}, \Delta(Mi)_a, \Delta(Mi)_{H_2O}$ - nadwyżka entalpii gazu, odpadów, powietrza i pary wodnej ponad otoczeniem, kJ/kmol, kJ/kg,
- MW_d, W_d - wartość opałowa gazu, kJ/kmol i odpadów kJ/kg,
- (MS) - pojemność cieplna spalin, kJ/kmol K,
- m_m - masa cząstek ciała stałego w warstwie, kg,
- c_{pm} - pojemność cieplna wypełnienia, kJ/kg K,
- t_m, t_{sp}, t_{ot} - temperatura masy wypełnienia, spalin i otoczenia, °C,
- \dot{Q}_{ot} - straty ciepła do otoczenia, kW.

Lewa część równania (1) wyraża energię doprowadzoną z gazem podtrzymującym proces spalania (podgrzanie do temperatury zapłonu, odparowanie wilgoci itp.), energię odpadów i powietrza. Energia ta idzie częściowo na podniesienie energii warstwy oraz odpływa ze spalinami i do otoczenia. Stosując przekształcenie polegające na zastąpieniu energii doprowadzonej iloczynem pojemności cieplnej spalin odniesionej do ilości spalanych odpadów i różnicy temperatury kalorymetrycznej [3] i otoczenia wg zależności

$$\begin{aligned} \dot{n}_g [MW_d + \Delta(Mi)_g] + \dot{G}_{odp} [W_d + \Delta(i)_{odp}] + \dot{n}_a [\Delta(Mi)_a + X_a \Delta(Mi)_{H_2O}] &= \\ &= \dot{G}_{odp} S(t_{kal} - t_{ot}) \end{aligned} \quad (2)$$

Uwzględniając ponadto proporcjonalność straty ciepła do otoczenia do energii doprowadzonej

$$\dot{Q}_{ot} = a \dot{G}_{odp} S(t_{kal} - t_{ot}) \quad (3)$$

i odnosząc ilość spalin i ich pojemność do ilości spalanych odpadów, otrzymamy po przekształceniu

$$\dot{G}_{odp} S [(t_{kal} - t_{sp}) - a(t_{kal} - t_{ot})] d\tau = m_m c_{pm} dt_m. \quad (4)$$

W równaniu (4) zgodnie z [1] można uwzględnić wyrównanie temperatury między fazą stałą i gazową na wypływie z warstwy

$$t_{sp} = t_m \quad (5)$$

a po uwzględnieniu warunków brzegowych dla $\tau = 0$, $t_m = t_{m p}$ i po scałkowaniu, otrzymamy

$$\frac{\theta - a}{\theta_p - a} = \exp\left(-\frac{\dot{G}_{odp} S}{m c_{pm}} \tau\right), \quad (6)$$

gdzie $\theta = (t_{kal} - t_m)/(t_{kal} - t_{ot})$ - wyraża względną energię przekazaną do warstwy w stosunku do całej energii doprowadzonej w danej chwili τ . Dla komory adiabatycznej ($a = 0$) równanie sprowadza się do postaci

$$\frac{t_{kal} - t_m}{t_{kal} - t_{m p}} = \exp\left(-\frac{\dot{G}_{odp} S \tau}{m c_{pm}}\right). \quad (7)$$

Równanie (6) dla znanego czasu reakcji chemicznej spalania odpadu i ograniczenia wzrostu temperatury warstwy spowodowanego temperaturą mięknięcia żużla i wypełnienia, pozwala wyznaczyć stosunek strumienia masy odpadu do masy wypełnienia. Po uwzględnieniu dodatkowo zależności ujmujących własności warstwy fluidalnej, do równania (6) można wprowadzić porowatość złoża (ϵ_m), przekrój aparatu (F) i wysokość złoża (L_m) według zależności

$$m_m = F L_m (1 - \epsilon_m) \rho_m. \quad (8)$$

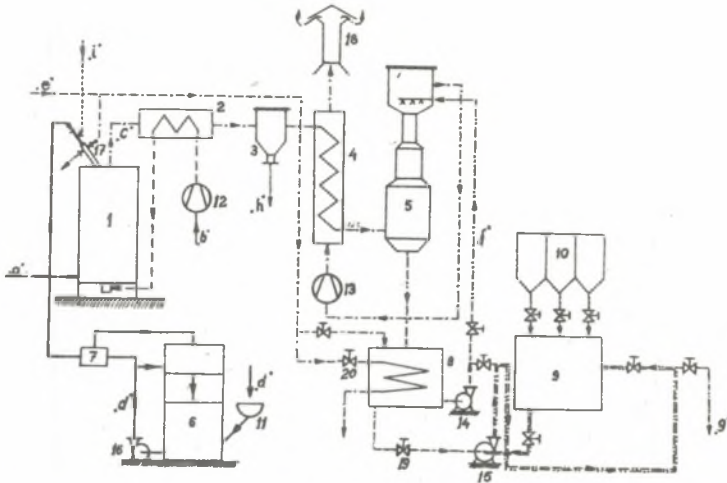
Wielkości występujące z prawej i lewej strony równania (6) (t_{kal}, S) są funkcjami szeregu własności spalanych odpadów oraz organizacji procesu spalania (stosunek nadmiaru powietrza λ , temperatura podgrzania powietrza, rodzaj i ilość używanego paliwa dodatkowego).

4. Opis instalacji do spalania odpadów ciekłych

Wykorzystując dostępne w literaturze informacje oraz po przeprowadzeniu szeregu badań własnych [6] w ITC Politechniki Śląskiej opracowano i uruchomiono instalację do spalania i neutralizacji odpadów ciekłych wytwarzanych w jednym z zakładów przemysłowych. Analizę elementarną odpadów wykazała udziałą gramowe składników: $c = 48,8-59$, $h = 4,0-5,6$, $o = 0,1-8,3$, $n = 0,2-0,3$, $s = 0,1-0,2$, $cl = 0,7-8,1$ (chlor), $w = 4,3-27,0, p = 0,42-3,03\%$.

Wartość opałowa tych odpadów wahała się w granicach 19 600±22 700 kJ/kg, przy korozyjności 0,32±3,12 mg/cm³/24 h.

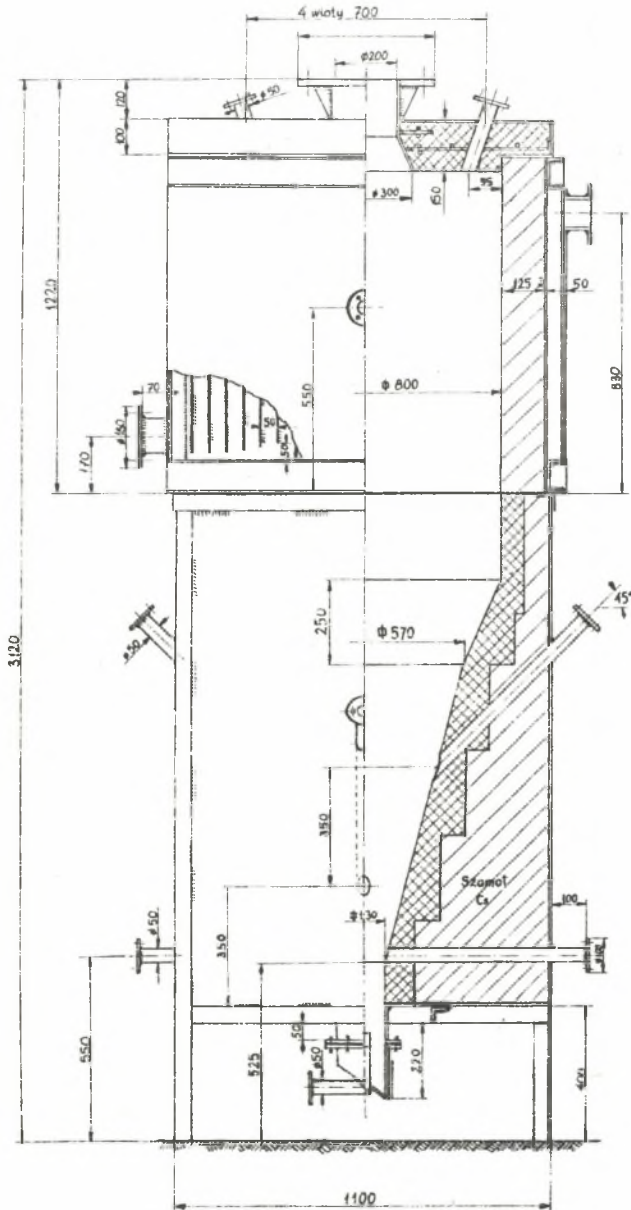
Schemat instalacji dla spalania 30 kg odpadów/h przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Instalacja do spalania ciekłych odpadów przemysłowych

Uzyskane produkty spalania "C" z pieca fluidalnego 1 (rys. 5) zasilanego gazem koksowniczym lub ziemnym odprowadzane są do rekuperatora powietrznego 2 podgrzewającego powietrze dostarczone wentylatorem 12. Rekuperator ten składa się z dwu części, z których jedna stanowi chłodzenie górnej części komory, druga umieszczona jest w ciągu konwekcyjnym spalin nad piecem. Schłodzone do $\sim 700^{\circ}\text{C}$ spaliny przez odpylnik statyczny 3 płyną do kolejnego rekuperatora spalin 4, gdzie schładzają się do temperatury $\sim 120^{\circ}\text{C}$ podgrzewając spaliny z płuczki 5 do temperatury powyżej punktu rosy. W układzie zastosowano kolumnę absorpcyjną (płuczkę) z wykorzystaniem fluidyzacji trójczynnikowej. Oczyszczone spaliny z płuczki odsysa wentylator 13, odprowadzając je przez układ rekuperatora do komina 18. Wypłukane pyły oraz substancje gazowe odprowadza się wraz z wodą do zbiornika 8 stąd pompą 15 podaje się do zbiornika neutralizacji 9. Zneutralizowany roztwór "g" odpływa poza instalację do dalszego oczyszczenia. Zbiornik 8 posiada automatycznie sterowany układ chłodzenia. Woda przemysłowa "e" używana jest również do chłodzenia dyszy wtryskowej odpadów płynnych 17 oraz stanowi uzupełnienie wody obiegowej instalacji.

Z uwagi na niejednorodny skład odpadów "d", w układzie zastosowano dwa zbiorniki 6 umieszczone jeden nad drugim. Odpady transportowane są częściowo przez rozdrabniacz 7 do instalacji spalania a w znacznej większości odpływają do zbiornika górnego, skąd opadają przez przelew do zbiornika 6.



Rys. 5. Komora pieca

Wykonaną instalację przed zainstalowaniem w zakładzie przemysłowym poddano badaniom eksploatacyjnym, polegającym na określeniu stabilności spalania w komorze fluidalnej - dobór temperatur warstwy gwarantujących stabilną pracę warstwy (nieprzekraczanie temperatury topnienia żużla) - ustalenie czynników neutralizujących w układzie neutralizacji. Zużycie gazu dodatkowego do ogrzewania warstwy zależne było od okresu pracy pieca i tak w okresie rozruchowym wahało się w granicach 9-12 m³/h, aby po osiągnięciu ustabilizowanej pracy pieca (uzyskanie właściwych temperatur podgrzania powietrza [7]) spaść do wartości zerowych lub bliskich zeru. Komora pieca pokazana na rys. 5 stanowi pierwszą wersję pieca i w pracy eksploatacyjnej wyposażona została w układ regulacji temperatury z automatycznym zaworem gazowym szybko odcinającym własnej konstrukcji działającym w przypadku zaniku płomienia.

LITERATURA

- [1] Kunii D., Levenspiel O.: Fluidization engineering. New York, London, Sydney, Toronto 1969, Tłumaczenie na rosyjski Wyd. Chémia, Moskwa 1976.
- [2] Szargut J.: Zagadnienia termoeconomiczne ochrony środowiska, Archiwum Energetyki Nr 1/2, 1973.
- [3] Szargut J.: Energetyka cieplna w hutnictwie. Wyd. Śląsk, Katowice 1971.
- [4] Tamalet M.: Incineration des boues urbaines en lit fluidise. Rev.Gen. Therm. Fr. nr 150-151 Juin-Juillet 1974.
- [5] Zieliński J., Przywarska R.: Oczyszczanie miast i unieszkodliwianie odpadów cz. I, II, III, Skr. Uczeln. Pol. Śl. nr 688, 688a, 727, Gliwice 1977.
- [6] Sprawozdanie z realizacji pracy NB-594/RME-3/73. Maszynopis dostępny w ITC. Pol. Śl.
- [7] Sprawozdanie z realizacji pracy NB-515/RME-3/75 cz. I i II.

НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ СГОРАНИЕМ В ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕ

Р е з ю м е

На основе анализа литературы по данной теме в работе приводится классификация промышленных отбросов и методы их сгорания с учётом особенностей сгорания в псевдоожигенном слое. Получены аналитические уравнения, связывающие температуру слоя с временем сгорания и свойствами энергетических отбросов. В заключительной части работы описывается экспериментальная установка, созданная в Силезском политехническом институте, которая предназначена для сжигания промышленных жидких отбросов в псевдоожигенном слое.

COMBUSTION OF WASTE PRODUCTS IN FLUIDISED BED

S u m m a r y

The paper reviews waste products species and methods of their combustion, particularly in a fluid bed. Fundamental dependencies between the fluidised bed temperature and combustion time of waste products and their energetic properties are derived.

A prototype installation for the combustion of liquid waste products in a fluidised bed designed and manufactured in ITC is also shown.