



## Flow parameters as a criterion for the selection of a waste incineration facilities

Tomasz Józef JAWORSKI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Katedra Technologii i Urządzeń Zagospodarowania Odpadów, tel.: 0048 32 2372122, fax: 0048 32 237 1167, e-mail: [tomasz.jaworski@polsl.pl](mailto:tomasz.jaworski@polsl.pl)

### Abstract

Selection device for thermal treatment of waste depends largely on the main process parameters such as: temperature regime of the process, the pressure value at which the trial, the type of flow of solid and gaseous phases through the device, the residence time of the waste material in the device, the use of materials and substances further in supporting the process, the possibility of development of the residue from the thermal process and the nature and character of the input waste. The article stated boundaries for each device, with a special emphasis characteristic of the type of device flow parameters, ie. Identify the type of flow factors: the solid phase (solid waste stream) and the gas phase (ie. Combustion air and gas), distributions of times presence and assess the degree of mixing of the waste layer in the device.

**Keywords:** waste incineration, chemical reactor, flow parameters

### Streszczenie

Parametry przepływowe jako kryterium doboru urządzeń termicznego unieszkodliwiania odpadów

Wybór urządzenia do termicznego przekształcania odpadów zależy w dużym stopniu od głównych parametrów procesu do których należą: rodzaj i postać odpadu wejściowego, reżim temperaturowy procesu, wielkość ciśnienia w jakim odbywa się proces, rodzaj przepływu faz stałej i gazowej przez urządzenie, czas przebywania materiału odpadów w urządzeniu, zastosowanie materiałów i substancji dodatkowych we wspomaganie procesu, a także możliwość zagospodarowania pozostałości z procesu termicznego. W artykule podano granice zastosowań poszczególnych urządzeń, ze szczególnym podkreśleniem charakterystycznych dla danego typu urządzenia parametrów przepływowych które identyfikują: -rodzaj przepływu czynników: fazy stałej (strumień odpadu stałego) i fazy gazowej (tj. powietrza do spalania i gazowych produktów spalania), -rozkład czasów przebywania materiału odpadów w urządzeniu, -stopień jego zmieszania i dyspersji.

**Słowa kluczowe:** spalanie odpadów, reaktor chemiczny, parametry przepływowe

### 1. Wstęp

Z punktu widzenia krajowego ustawodawcy procesy termicznego przekształcania odpadów to spalanie odpadów, a także piroliza, zgazowanie i proces plazmowy, o ile substancje powstające podczas tych procesów będą następnie spalane [1]. Wcześniej cytowana ustawa definiuje odzysk energii z którego wynika możliwość zakwalifikowania procesów termicznych dokonywanych na odpadach do dwóch grup mieszczących się na różnych szczeblach hierarchii postępowania z odpadami, a mianowicie: odzysku energii i termicznego unieszkodliwiania odpadów [2,3,4].

Dobór odpowiedniego urządzenia w procesach termicznego przekształcania odpadów lub w odzysku energii z odpadów uzależniony jest w dużym stopniu od wielu czynników-parametrów, do których należą:

- rodzaj i postać odpadu wejściowego,

- reżim temperaturowy procesu,
- wielkość ciśnienia w jakim odbywa się proces,
- rodzaj przepływu faz stałej i gazowej przez urządzenie,
- czas przebywania materiału odpadów w urządzeniu,
- zastosowanie materiałów i substancji dodatkowych we wspomaganie procesu,
- możliwość zagospodarowania pozostałości z procesu termicznego.

## 2. Urządzenia realizujące procesy termicznego przekształcania odpadów

Schemat powiązań możliwości technicznych realizacji termicznego unieszkodliwiania odpadów z rodzajami odpadów podzielonych na trzy podgrupy ze względu na wielkość strumienia powstawania w gospodarkach krajów rozwiniętych szczególnie UE przedstawiono w tabeli 2.1. Natomiast w tabeli 2.2 zestawiono podstawowe technologie termicznego przekształcania odpadów komunalnych i RDF (skrót ang.: paliwo z odpadów) dla większej skali szczegółowości wykorzystywanych urządzeń.

Tabela 2.1 Przykładowy schemat powiązań technicznej realizacji (urządzenia) procesów termicznego przekształcania odpadów z głównymi rodzajami odpadów

Rodzaj procesu termicznego	Rodzaj odpadu	Urządzenie
Piroliza	Odpad komunalny	Piec obrotowy, piec retortowy
		Komora z rusztem posuwistym
Zgazowanie	Odpad niebezpieczny, osady ściekowe	Piec obrotowy
		Warstwa fluidalna, piec szybowy
Spalanie	Odpad komunalny	Ruszt, warstwa fluidalna
	Odpad niebezpieczny	Piec obrotowy, warstwa fluidalna
	Osady ściekowe	Warstwa fluidalna, piec półkowy

Tabela 2.2. Zestawienie podstawowych technologii termicznego przekształcania odpadów stosowanych do odpadów komunalnych i RDF [5]

Technologia	Nieprzerobione odpady komunalne	Wstępnie obrobione odpady komunalne i RDF
Ruszt posuwisto-zwrotny	Szeroko stosowany	Szeroko stosowany
Ruszt ruchomy (taśmowy)	Stosowany	Stosowany
Ruszt wahadłowy	Stosowany	Stosowany
Ruszt walcowy	Stosowany	Szeroko stosowany
Ruszt chłodzony wodą	Stosowany	Stosowany
Ruszt plus piec obrotowy	Stosowany	Zwykle niestosowany
Piec obrotowy	Zwykle niestosowany	Stosowany
Piec obrotowy chłodzony wodą	Zwykle niestosowany	Stosowany
Piec statyczny trzonowy	Zwykle niestosowany	Zwykle niestosowany
Piec statyczny	Zwykle niestosowany	Zwykle niestosowany
Pęcherzowe złożo fluidalne	Rzadko stosowany	Stosowany
Cyrkulacyjne złożo fluidalne	Rzadko stosowany	Stosowany
Rotacyjne złożo fluidalne	Stosowany	Stosowany
Piroliza	Rzadko stosowany	Rzadko stosowany
Zgazowanie	Rzadko stosowany	Rzadko stosowany

## 2.1. Porównanie urządzeń do termicznego przekształcania odpadów pod kątem analizy parametrów przepływowych

W rzeczywistości istnieje wiele innych rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych urządzeń poza przedstawionymi w powyższych zestawieniach tabelarycznych, są to jednak rozwiązania wykorzystywane w mniejszym stopniu. Wybór urządzenia do termicznego przekształcania odpadów zależy w dużym stopniu od głównych parametrów procesu, które zostały zdefiniowane w rozdziale 1. W tabeli 2.3 [6] podano granice zastosowań poszczególnych urządzeń, ze szczególnym podkreśleniem charakterystycznych dla danego typu urządzenia parametrów przepływowych do których zakwalifikowano [9]:

- rozkład czasu przebywania masy odpadów na ruszcie,
- stopień mieszania wzdłużnego materiału odpadów na ruszcie,
- współczynniki dyspersji wzdłużnej i poprzecznej.

Poniżej podano krótką charakterystykę stopnia mieszania i dyspersji:

- analizowany układ mieszaniny materiałów został zdefiniowany jako wieloskładnikowy i niejednorodny. Stopień mieszania określony został w odniesieniu do składnika kluczowego. Składnik kluczowy to ten, którego udział decyduje o jakości mieszaniny. Pozostałe składniki są rozpatrywane wspólnie jako „drugi składnik”. Założono, że oczekiwana mieszanina powinna odpowiadać warunkom, w których po zmieszaniu udziały masowe poszczególnych składników będą odpowiadały stosunkowi, w jakim je wprowadzono w stanie segregacji [7].
- dyspersja jest następstwem uśredniania prędkości przepływu masy i stężeń w urządzeniu. Stanowi ona składnik powstały w wyniku uśredniania równania transportu masy. Współczynnik dyspersji wzdłużnej określa transport masy materiału w kierunku równoległym do głównego kierunku przepływu odpadu w urządzeniu. Dzięki mieszanemu wzdłużnemu uzyskuje się równomierny rozkład materiału na całej długości rusztu. Im większe są wartości współczynników dyspersji wzdłużnej, tym silniej tłumione są profile stężeń. Odwrotnością współczynnika dyspersji jest liczba Pecleta której wartość zgodnie z [8] w istotny sposób charakteryzuje wielkość dyspersji np.:  $Pe=0$ -idealne wymieszanie składników,  $Pe<5$ -duża -intensywność dyspersji,  $Pe =$  nieskończoność, -przepływ tłokowy co jest równoznaczne z brakiem mieszania wzdłużnego

W pracy [9] zdefiniowano, opisano i wielostronnie przebadano parametry przepływowe charakterystyczne dla urządzeń termicznego przekształcania odpadów.

Parametry przepływowe identyfikują rodzaj przepływu czynników: fazy stałej (strumień odpadu stałego) i fazy gazowej (tj. powietrza do spalania i gazowych produktów spalania), rozkład czasu przebywania materiału odpadów na rusztach, a także określają stopień mieszania i dyspersji materiału odpadów w warstwie, w urządzeniu.

Tabela 2.3. Podsumowanie najważniejszych parametrów przepływowych podstawowych urządzeń termicznego przekształcania odpadów [6]

Rodzaj urządzenia	Postać wejściowa odpadu	Temperatura	Czas przebywania	Stopień zmieszania i dyspersja odpadu w warstwie	Stopień zmieszania odpadu z gazem reakcyjnym	Rodzaj reaktora
Piec obrotowy	Forma stała, kawałkowa, pastowata, ciekła, gazowa	do 1200°C	ca. 1 h	dobry	dostateczny	Faza stała, w pojedynczych strefach przeważa przepływ zbliżony jak w reaktorze zbiornikowym, dla całej długości pieca przepływ zbliżony jest do tego, jaki jest w reaktorze rurowym. Faza gazowa, przepływ mało odbiegający od przepływu, jaki jest w reaktorze rurowym.
Komora rusztowa	Forma stała, kawałkowa, pastowata	do 850°C	ca. 2 h	dobry	bardzo dobry	Faza stała, w strefach działania poszczególnych rusztowin przepływ zbliżony do przepływu jak w reaktorze rurowym (np. ruszt posuwisto-zwrotny) lub jak w przypadku rusztu walcowego - przepływ zbliżony jak w reaktorze rurowym. Rozpatrując ruszt dla całej jego długości przeważa przepływ jak w reaktorze rurowym. Faza gazowa: 1) powietrze pierwotne przepływa przez warstwę odpadów na ruszcie mając z nim bardzo dobry kontakt, 2) gazowe produkty procesów termicznych przepływają przez komorę w układzie współprądu lub przeciwpądu. Przepływ wszystkich gazów zbliżony jest do przepływu tłokowego.
Piec półkowy	Forma stała, kawałkowa, pastowata	do 950°C	ca. 1/2 h	dobry	dostateczny do dobrego	Faza stała - na poszczególnych półkach może przeważać przepływ zbliżony jak w reaktorze zbiornikowym, jednakże w bilansie całego pieca przepływ zbliżony jest do reaktora rurowego. Faza gazowa, przepływ zbliżony do przepływu w reaktorze rurowym.
Reaktor fluidalny	Ciało stałe z zawężonym składem frakcyjnym, ciekła	do 850°C	Minutowy	bardzo dobry	bardzo dobry	Faza stała, faza gazowa - realizacja przepływu idealnie wymieszanego jak w reaktorze zbiornikowym.
Piec przepływowy (tunelowy, taśmowy)	Forma stała, kawałkowa	do 1400°C	Wielogodzinny do wielodniowego	nie dotyczy	dostateczny do dobrego	Faza stała, przepływ jak w reaktorze tłokowym. Faza gazowa-zasadniczo przepływ podobny jak w reaktorze rurowym, jednak w strefach możliwy przepływ zbliżony do reaktora zbiornikowego (palniki impulsowe).
Piec szybowy	Faza stała w formie warstwy, ciekła	do 1600°C	Godzinny do dniowego	dost	bardzo dobry	Faza stała, przepływ odpowiada podobieństwu jak w reaktorze rurowym. Faza gazowa, przepływ odpowiada podobieństwu jak w reaktorze rurowym.
Komora spalania	Ciekła, gazowa, pyłowa	do 1500°C	Sekundowy	bardzo dobry	bardzo dobry	Pył/gaz, w zależności od rozwiązania technicznego: przepływ bliski tłokowego lub z idealnym wymieszaniami

Obecnie najczęściej wykorzystywaną, ze względu na swoje zalety (tabela 2.4) konstrukcją w realizacji procesu spalania odpadów stałych jest urządzenie wyposażone w komorę spalania z odpowiednio dobranym rusztem.

Spośród głównych parametrów charakteryzujących procesy zachodzące w komorach zaopatrzonych w ruszty, dwa związane są bezpośrednio z transportem masy materiału odpadów stałych wewnątrz tego urządzenia. Są nimi:

- rodzaj przepływu fazy stałej przez urządzenie,
- czas przebywania materiału odpadów w urządzeniu.

Tabela 2.4. Zalety i wady spalania w komorze rusztowej [5]

Kluczowe charakterystyczne cechy i właściwości odpadów	Wydajność 1 linii	Informacje środowiskowe/eksploatacyjne		Jakość popiołu dennego	Objętość spalin	Informacja dotycząca kosztów
		Zalety	Wady/ /ograniczenia w stosowaniu			
Niskie do średnich wartości opałowe ( $W_d=5-16,5\text{MJ/kg}$ dla rusztu chłodzonego powietrzem; $W_d=10-20\text{MJ/kg}$ dla rusztów chłodzonych wodą), -odpady komunalne i inne heterogeniczne odpady stałe, - zastosowany w najnowocześniejszych instalacjach	1 do 50 Mg/h, w większości projektów od 5 do 30 Mg/h. Większość zastosowań przemysłowych nie jest dostępna poniżej 2,5 lub 3 Mg/h	- szeroko rozpowszechnione na dużą skalę, - solidne wykonanie, niskie koszty konserwacji, -długa historia eksploatacji, -mogą być stosowane odpady bez specjalnego przygotowania	Generalnie nie przystosowany do paliwa sproszkowanego, płynnego, gazowego i materiałów o niskiej temperaturze mięknięcia żużła	TOC = 0,5-3%	od 4000 do 7000 m <sup>3</sup> /Mg surowych odpadów. Zależy od wartości opałowej	Wysoka wydajność wpływa na obniżenie kosztów na Mg odpadów (ruszty chłodzone powietrzem). W przypadku rusztów chłodzonych wodą-nieco wyższe koszty inwestycyjne

### 3. Podsumowanie

Analiza tzw. parametrów przepływowych do których należą: rozkład czasu przebywania materiału odpadów na ruszcie w urządzeniu, stopień zmieszania tej masy z uwzględnieniem jej wielo-frakcyjności i wielo-materiałowości, a także współczynniki dyspersji mogą stanowić podstawę doboru i modernizacji konstrukcji urządzeń do termicznego przekształcania odpadów stałych, zgodnie z cytowaną zasadą, że im wyższe wartości stopnia zmieszania i współczynnika dyspersji, tym bardziej równomierny jest rozkład materiału na ruszcie i większy stopień jego wymieszania, co niewątpliwie sprzyja intensywności procesów wymiany ciepła i masy między poszczególnymi cząstkami materiału odpadów, będącego w różnych formach przeobrażenia, podczas procesu spalania w warstwie w urządzeniu. Przydatność przeprowadzonej w niniejszej pracy analizy cytowanych wcześniej parametrów przepływowych, a w szczególności współczynnika dyspersji wzdłużnej, może być przydatna także, w innych konstrukcjach przenośników i mieszalników mechanicznych materiałów stałych niezależnie od ich przeznaczenia.

### Literatura

1. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r „o odpadach”, Dz.U. 2013 poz. 21
2. Nadziakiewicz J.: Procesy termiczne utylizacji odpadów. Gliwice: Wydaw. Politechniki Śląskiej, 2007.
3. Nadziakiewicz J.: Spalanie stałych substancji odpadowych. Wydawnictwo Gnome. Katowice. 2001.
4. Thome-Kozmiensky K. J.: Thermische Abfallbehandlung. EF-Verlag. Berlin. 1994.

5. World Wide Web.: <http://eippcb.jrc.es/>, Reference documents, BREF.
  6. Scholtz R., Beckmann M., Schulenburg F.: Abfallbehandlung in thermischen Verfahren. Verbrennung, Vergasung, Pyrolyse, Verfahren- und Anlagenkonzepte. Verlag G. Teubner Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden 2001.
  7. Boss J.: Mieszanie materiałów ziarnistych. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa 1987.
  8. Burghardt A., Bartelmus G.: Inżynieria reaktorów chemicznych. Tom I - Reaktory dla układów homogenicznych. PWN, Warszawa 2001.
  9. Jaworski T.J.: Modelowanie procesu transportu masy na rusztach urządzeń termicznego przekształcania odpadów. Monografia habilitacyjna. Nr 419/2012r. Politechnika Śląska. Gliwice 2012.
-