



Politechnika
Śląska



UCZELNIA
BADAWCZA
INICJATYWA DOSKONAŁOŚCI

OPTIMALIZACJA PRACY PIECA OBROTOWEGO SPALAJĄCEGO ODPADY NIEBEZPIECZNE

dr hab. inż. Tomasz Jaworski, prof. PŚ

Cel, zakres i tezy pracy

Celem pracy było rozpoznanie obszarów pracy pieca obrotowego, w tym ujęciu spalarni odpadów niebezpiecznych, które mogą zostać poddane optymalizacji.

Wyznaczone zagadnienia następnie zostały poddane badaniom oraz analizie, dzięki której określono możliwości optymalizacji pracy pieca obrotowego w kontekście spalania odpadów stałych.

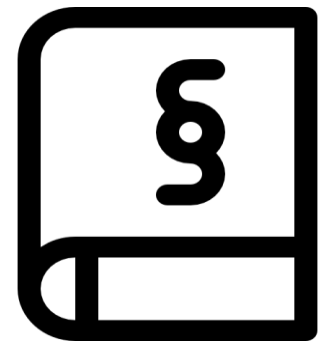
Zakres pracy obejmował między innymi:

- badania wybranych odpadów i procesów,
- pozyskanie danych z obiektu rzeczywistego,
- opracowanie eksperymentów, narzędzi i modelu
- analiza wyników i konkluzje.

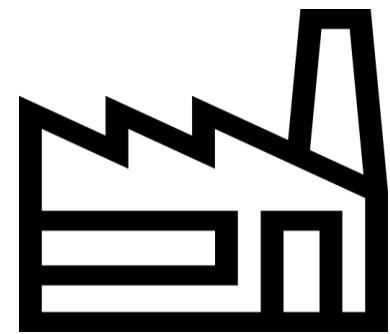
Tezy badawcze pracy scharakteryzowano w następujący sposób:

- Technologia pieca obrotowego nie koliduje a uzupełnia system gospodarki odpadami zgodnie z ideą GOZ.
- Prowadzenie procesu termicznego przekształcania odpadów w instalacji wyposażonej w piec obrotowy, pomimo dojrzałości technologicznej tego urządzenia, może być poddawane czynnościom optymalizującym proces w nim prowadzonego.

Proces spalania odpadów



UWARUNKOWANIA PRAWNE - termiczne przekształcanie odpadów podlega określonym aktom prawnym. Do nadrzędnego należy ustawa o odpadach, a następnie szczegółowe rozporządzenia ministerialne. Do najważniejszych warunków prowadzenia procesu termicznego w spalarniach i współspalarniach odpadów należą: wskazanie wartości temperatur gazów spalinowych, zawartość węgla organicznego w stałej pozostałości oraz monitorowanie składu gazów spalinowych.



URZĄDZENIA REALIZUJĄCE PROCES - termiczne przekształcanie odpadów stałych może być prowadzone w urządzeniach różniących się zasadą działania, budową czy parametrami procesu. W praktyce najczęściej stosowanymi urządzeniami są: komory rusztowe, piece obrotowe oraz piece fluidalne. Komora rusztowa znajduje zastosowanie na szeroką skalę w spalarniach odpadów komunalnych, wykorzystanie techniki fluidalnej w szczególności dotyczy grup odpadów jakimi są osady ściekowe i biomasa, natomiast piece obrotowe są wykorzystywane w przekształcaniu odpadów niebezpiecznych.



SPALANIE ODPADÓW A GOZ - zgodnie z ideą gospodarki obiegu zamkniętego powinno się możliwie najwięcej odpadów poddać ponownemu przygotowaniu do użytkowania, a dalej recyklingowi. Można wskazać następującą zależność wynikającą z wdrażania GOZ: stopniowe ograniczanie spalania odpadów komunalnych, dla których możliwy jest recykling. Spalanie odpadów niebezpiecznych, dla których często nie ma innej alternatywnej metody zagospodarowania, nie podlega w tym zakresie ograniczaniu.

Wykorzystane piktogramy pochodzą ze strony Freepik.

Charakterystyka pieca obrotowego

Wśród najważniejszych cech pieca obrotowego wymienić można:

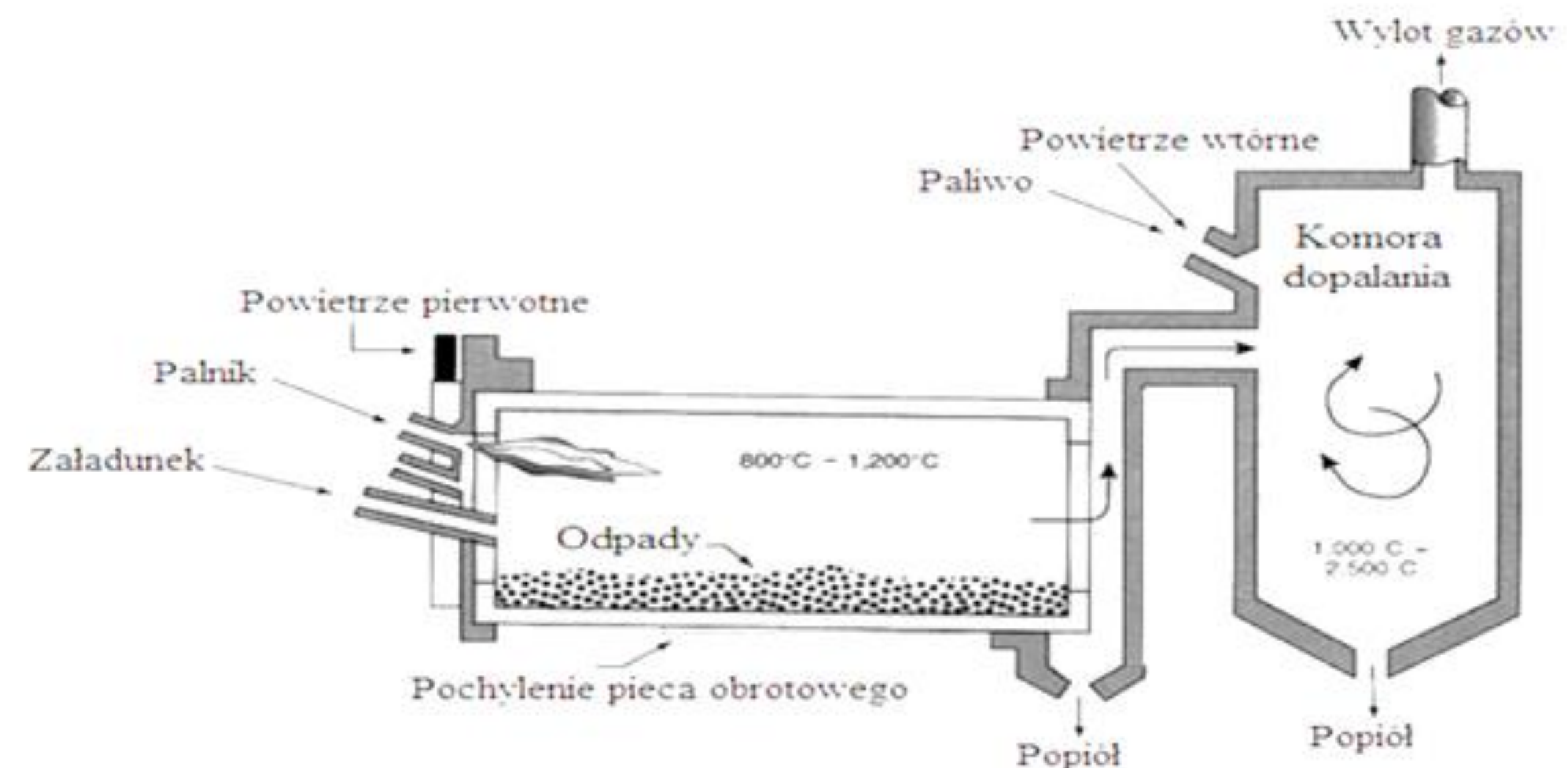
- Zastosowanie w wielu dziedzinach gospodarki, między innymi: przetwarzanie rud żelaza, wypalanie klinkieru, termiczne przekształcanie odpadów.
- Jego budowę można określić jako cylindryczny stalowy walczak w ułożeniu prawie poziomym.
- Obrotowy cylinder jest pochylony do podłoża pod niewielkim kątem.
- Jako, że urządzenie pracuje najczęściej w wysokich temperaturach, wewnątrz pieca stanowi ognioodporna wymurówka.
- Piec wykonuje obroty wokół własnej osi z prędkością obrotową mieszczącą się w przedziale 0,25-4,5 obrotów/minutę.
- W przypadku termicznego unieszkodliwiania odpadów, materiał wsadowy mogą stanowić odpady w różnej postaci.



Termiczne przekształcanie odpadów w piecu obrotowym

W odniesieniu do zastosowania instalacji z piecem obrotowym w termicznym przekształcaniu odpadów w Polsce można wskazać na dwa procesy: spalanie odpadów niebezpiecznych w dedykowanych spalarniach oraz współspalanie odpadów w piecach cementowych.

Pomimo pewnych podobieństw obydwu procesów, należy wskazać znaczące różnice pomiędzy wyposażonymi w piec obrotowy spalarnią odpadów oraz cementownią. Podstawowe różnice można określić w ramach trzech kryteriów: budowa pieca, elementy składowe instalacji oraz warunki prowadzenia procesu.



Procedura przyjmowania odpadów do spalarni

Podmioty realizujące termiczne przekształcanie odpadów niebezpiecznych mają określone wewnętrznie procedury przyjmowania odpadów do unieszkodliwienia. Operatorzy tego typu obiektów określają metodykę postępowania w tym zakresie zgodną z realnym zapotrzebowaniem. Stąd można się spotkać z dwoma różnymi metodykami zależnymi między innymi od: wielkości danej spalarni oraz rodzajów odpadów możliwych do unieszkodliwienia.

I Metodyka

1

Dokumentacja

Obejmuje informacje od dostawcy odpadów

2

Sprawdzenie

Sprawdzenie podstawowych danych o odpadach – masa, promieniotwórczość

II Metodyka

1

Dokumentacja

Obejmuje informacje od dostawców odpadów

2

Badanie własności

Obejmuje badanie szeregu własności przywiezionych odpadów

3

Klasyfikacja

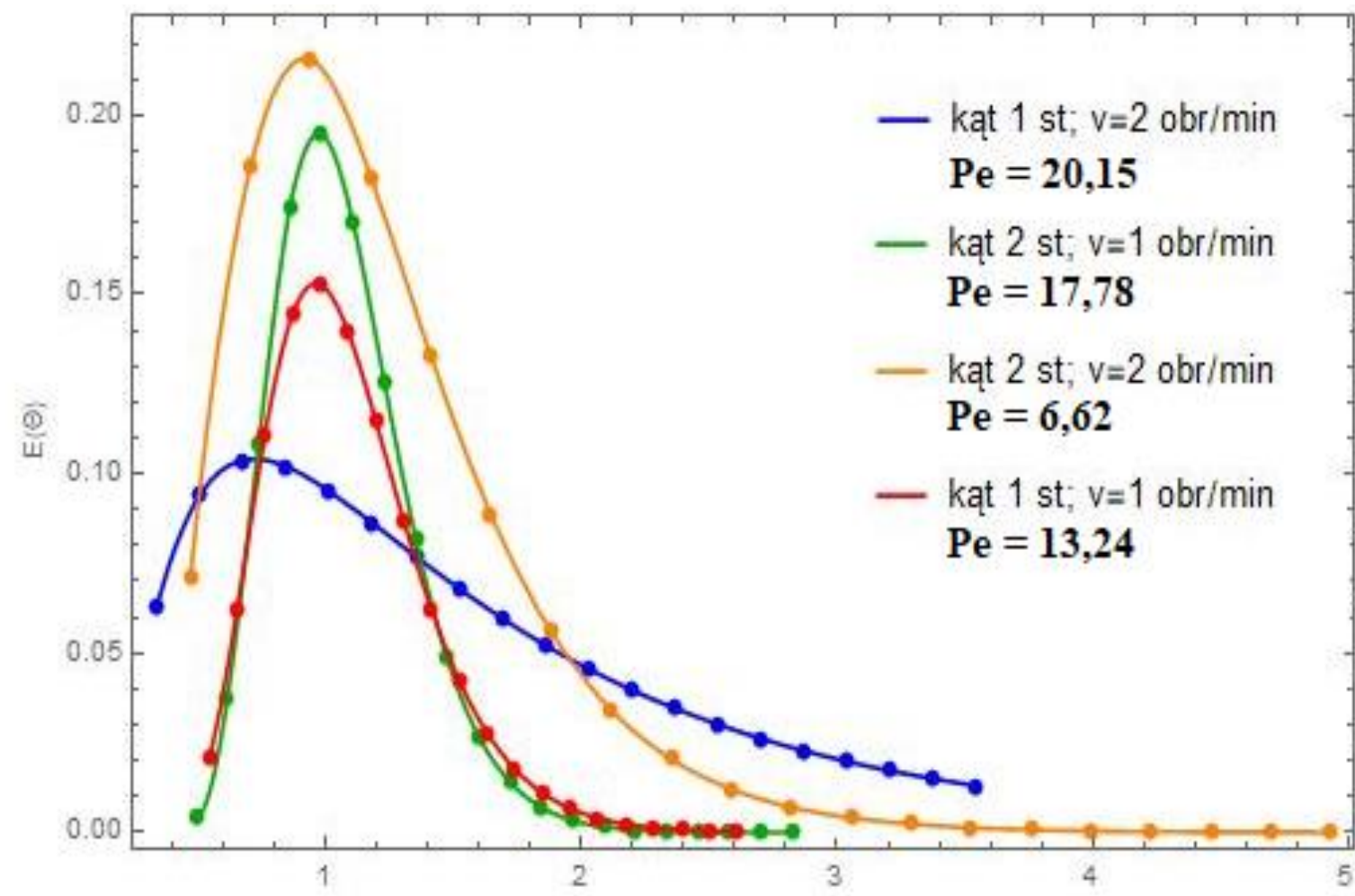
Obejmuje sklasyfikowanie danego odpadu według wewnętrznego systemu

4

Sprawdzenie

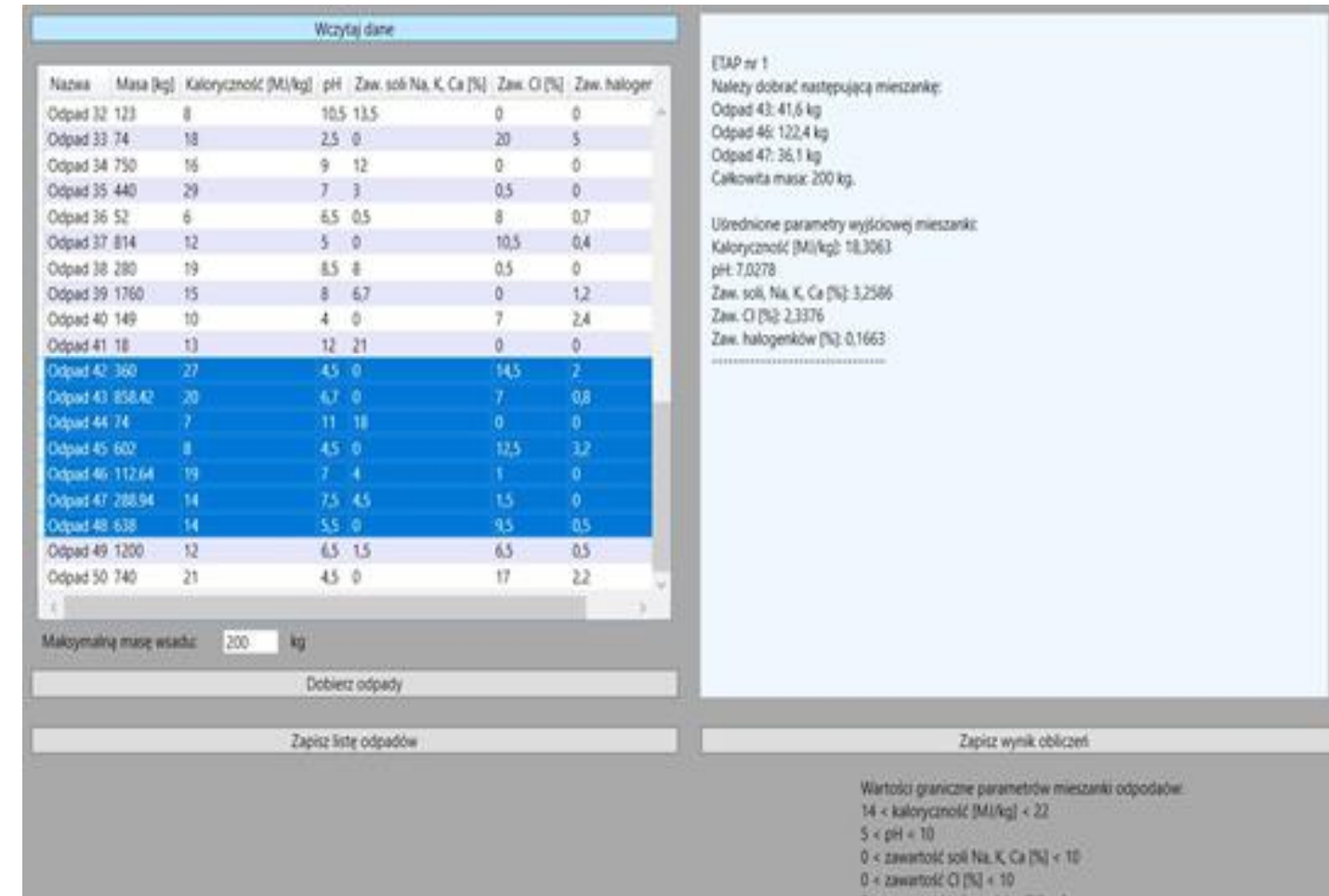
Obejmuje porównanie wyników badań własnych z dostarczoną charakterystyką odpadu

Określenie obszarów optymalizacji pracy spalarni



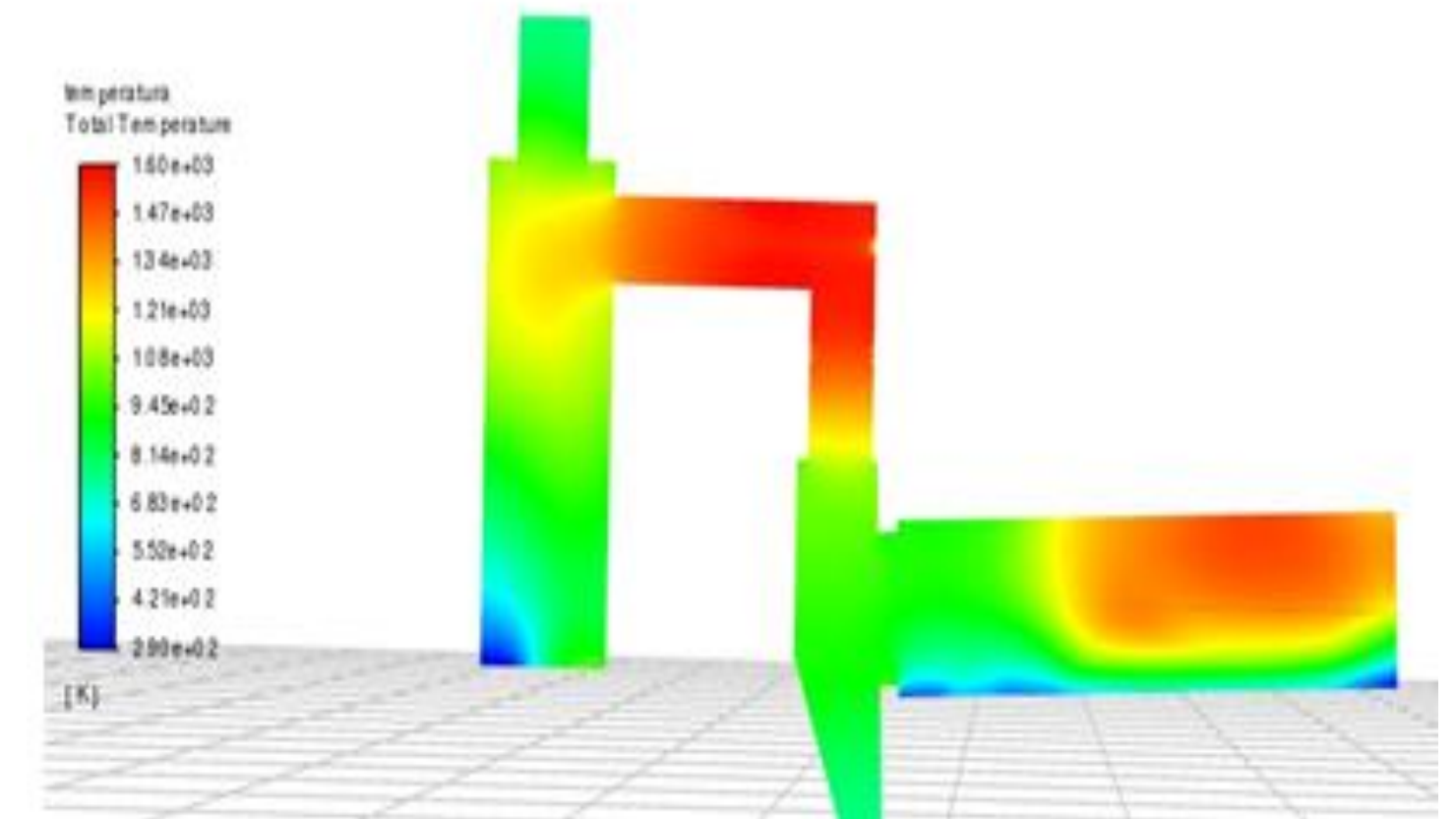
RUCH MATERIAŁU WSADOWEGO

Badanie charakterystyki ruchu materiału wsadowego w cylindrze obrotowym



DOBÓR MATERIAŁU WSADOWEGO

Sposób doboru składników porcji materiału wsadowego do spalarni odpadów niebezpiecznych



MODELOWANIE PROCESU TERMICZNEGO

Podejście do modelowania spalania odpadów niebezpiecznych w piecu obrotowym z komorą dopalania

Ruch złoża materiału w cylindrze obrotowym

Istotnym aspektem ruchu materiału w piecu obrotowym, zwłaszcza w przypadku realizacji w nim procesów termicznych, są mieszanie materiału w płaszczyźnie poprzecznej oraz czas przebywania materiału. Im wyższy stopień zmieszania, tym efektywniej zachodzi proces w piecu. Czas przebywania natomiast powinien zostać dobrany w sposób zapewniający odpowiednio długi kontakt z gorącymi gazami. Są to podstawowe czynniki bezpośrednio wpływające na proces termiczny i warunkujące otrzymanie ujednoliconego produktu czy neutralizację substancji szkodliwych.

W piecu obrotowym mamy do czynienia z przepływem dyspersyjnym o charakterze bliżej nieokreślonym, różniącym się w mniejszym lub większym stopniu od modeli idealnych. Ze względów praktycznych ważna jest ocena stopnia zbliżenia do stanu idealnego. Kryterium takiej oceny dają dwie funkcje rozkładu czasu przebywania (RCP):

- $E(t)$ określająca ułamek masowy cząstek o czasie przebywania zawartym w określonym przedziale w strumieniu opuszczającym urządzenie:

$$\int_0^{\infty} E(t) dt = 1$$

- $F(t)$ zwana funkcją rozkładu:

$$F(t) = \int_0^t E(t) dt$$

Intensywność mieszania może zostać określona za pomocą dyfuzyjnej liczby Pecleta danej wzorem:

$$Pe_L = \frac{uL}{D_L}$$

Badanie ruchu materiału - metodyka

Określono metodykę badawczą, na podstawie której wyznaczono wartości rozkładu czasu przebywania RCP oraz liczby Pecleta dla rozpatrywanych przypadków. Parametry te mogą stanowić dane wejściowe w symulacjach numerycznych. W doświadczeniu wykorzystano impulsową metodę znacznikową. Przygotowanie stanowiska laboratoryjnego i badanych materiałów:



KONSTRUKCJA STANOWISKA

Stanowisko laboratoryjne jest odwzorowaniem przemysłowego pieca obrotowego w skali określonej na podstawie stosunku długości cylindra do jego średnicy L/d .



PODOBIEŃSTWO WARUNKÓW

Zrealizowane próby były badaniami „na zimno”. Podobieństwo warunków ogranicza się do cech fizycznych, jak na przykład szorstkość wymurówki i związane z tym tarcie.



ZASTOSOWANE MATERIAŁY

Materiały wzięte pod uwagę do badań posiadają właściwości zbliżone do właściwości odpadu surowego oraz w trakcie termicznego przekształcania.

Badanie ruchu materiału - warianty i przebieg

Przebieg każdej próby wyglądał następująco:

- wprowadzanie partii materiału w celu osiągnięcia stanu ustalonego,
- wprowadzenie dwóch partii materiału nieznaczonego,
- wprowadzenie partii znacznika,
- dalsze wprowadzanie partii materiału aż do braku znacznika w odbieranym materiale.

Wprowadzanie i odbiór materiału następowały w określonych przedziałach czasowych. Sposób podawania - mechaniczny przy użyciu tłoka. Po zakończonej próbie odbierane partie materiału ważono z podziałem na materiał zwykły i zabarwiony.

Wartości parametrów procesowych dla poszczególnych wariantów badań

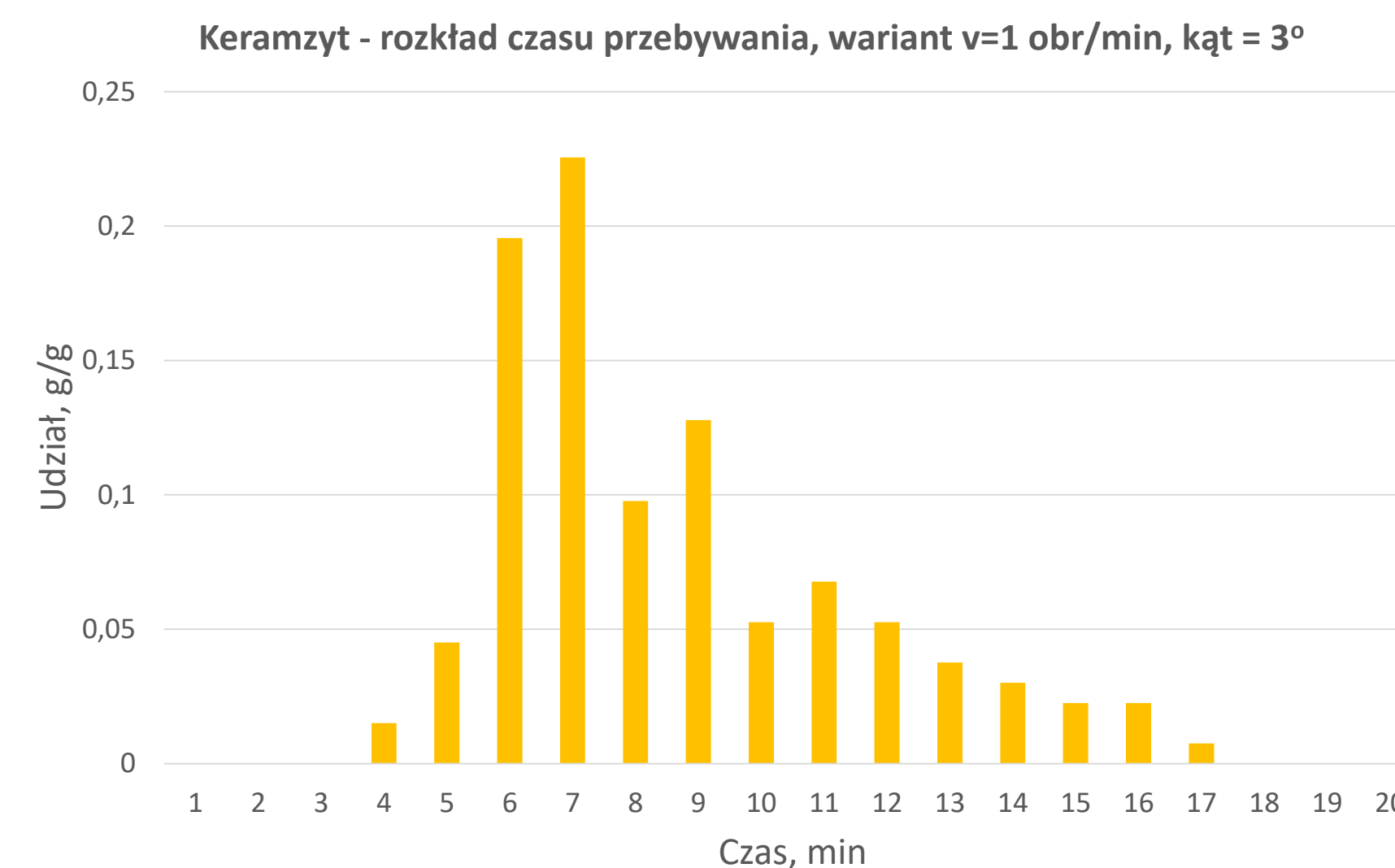
Materiał	Prędkość obrotowa [obr/min]	Kąt nachylenia cyindra [°]	Stopień napelnienia cyindra [%]
Keramzyt	1; 1,5; 2	1; 2; 3	15
Pellet	1; 1,5; 2	1; 2; 3	15
Kora drzewna	1; 1,5; 2	1; 2; 3	15
Ścinki drzewne	1; 1,5; 2	1; 2; 3	15
Keramzyt+Kora drzewna	1; 1,5; 2	1; 2; 3	15

Badanie ruchu materiału - wyniki rzeczywiste

Otrzymane wyniki zrealizowanych badań były istotne dla celów porównawczych z wynikami uzyskanymi z programu rozkład czasu przebywania.

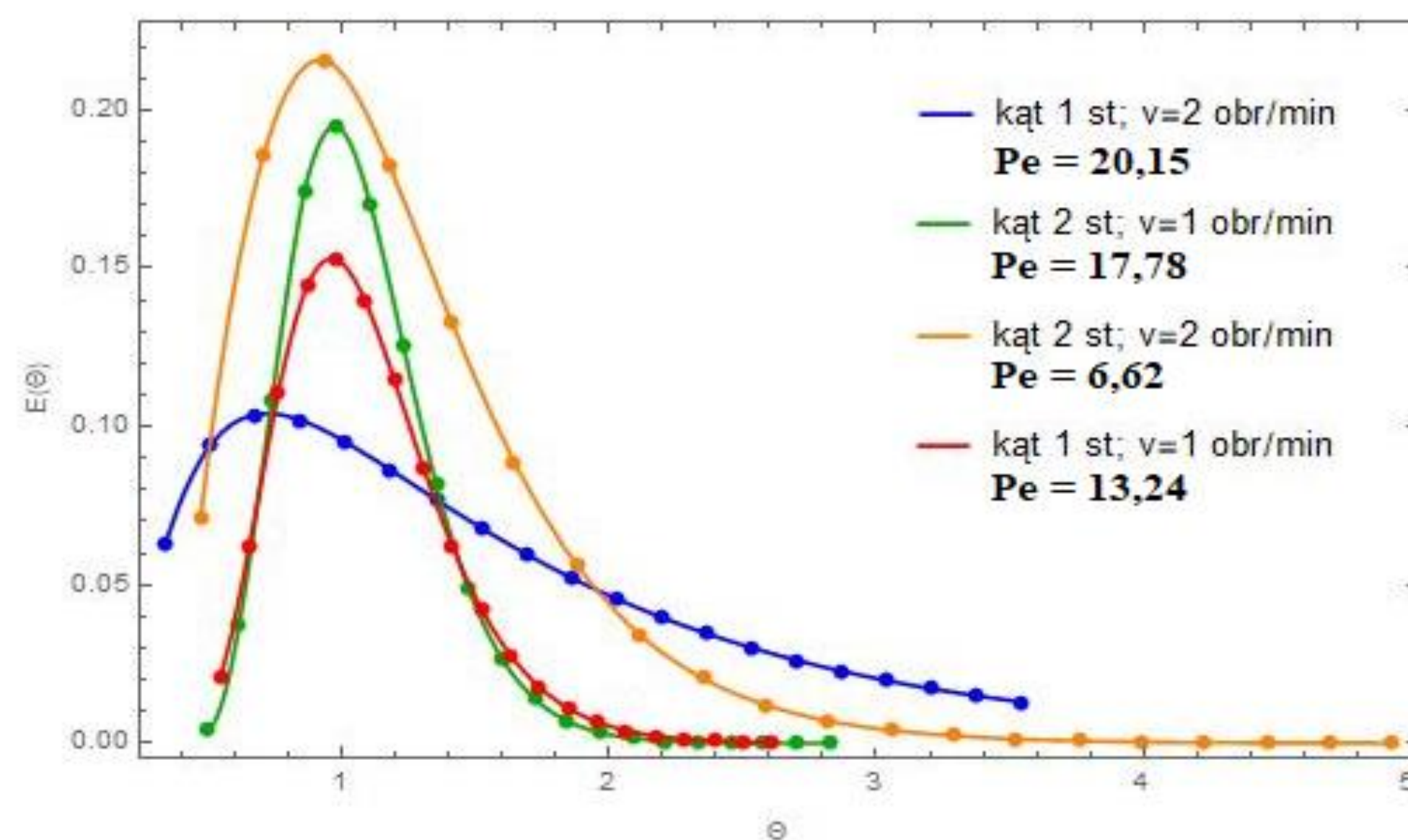
Przykładowe wyniki dla keramzytu dla określonego wariantu

Keramzyt, wariant: kąt 3 st.; v=1 obr/min				
czas, min	masa znacznika, g	masa materiału, g	udział, g/g	udział, %
1	0	290	0	0
2	0	288	0	0
3	0	284	0	0
4	4	278	0,0150	1,50
5	12	272	0,0451	4,51
6	52	212	0,1955	19,55
7	60	202	0,2256	22,56
8	26	232	0,0977	9,77
9	34	214	0,1278	12,78
10	14	258	0,0526	5,26
11	18	250	0,0677	6,77
12	14	262	0,0526	5,26
13	10	276	0,0376	3,76
14	8	278	0,0301	3,01
15	6	274	0,0226	2,26
16	6	278	0,0226	2,26
17	2	282	0,0075	0,75
18	0	286	0,0000	0,00



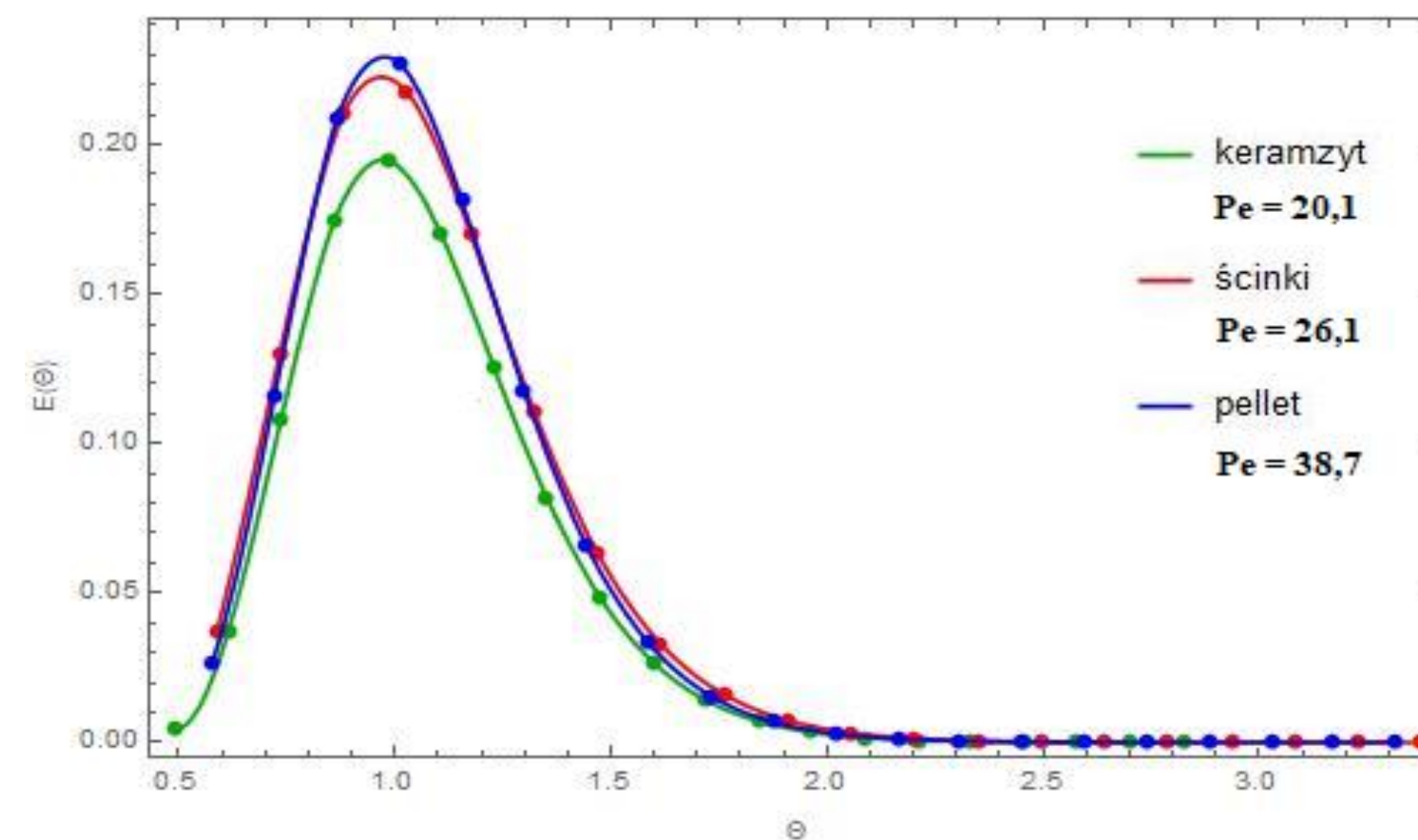
Badanie ruchu materiału – charakterystyka ruchu

Otrzymane wyniki badań wykorzystano następnie w programie wyznaczania czasu przebywania, w ramach którego uzyskano wartości parametru RCP oraz liczb Pecleta, stanowiących o stopniu zmieszania materiału.



KERAMZYT – różne warianty badania

Keramzyt w zależności od wariantów pracy pokazuje zróżnicowany rozkład czasu przebywania, pomimo że wartość liczby Pecleta jest na zbliżonym poziomie. Można ogólnie określić rodzaj ruchu jako mieszczący się w zakresie: średnia intensywność dyspersji ($Pe = 40$) do duża intensywność dyspersji ($Pe = 5$).

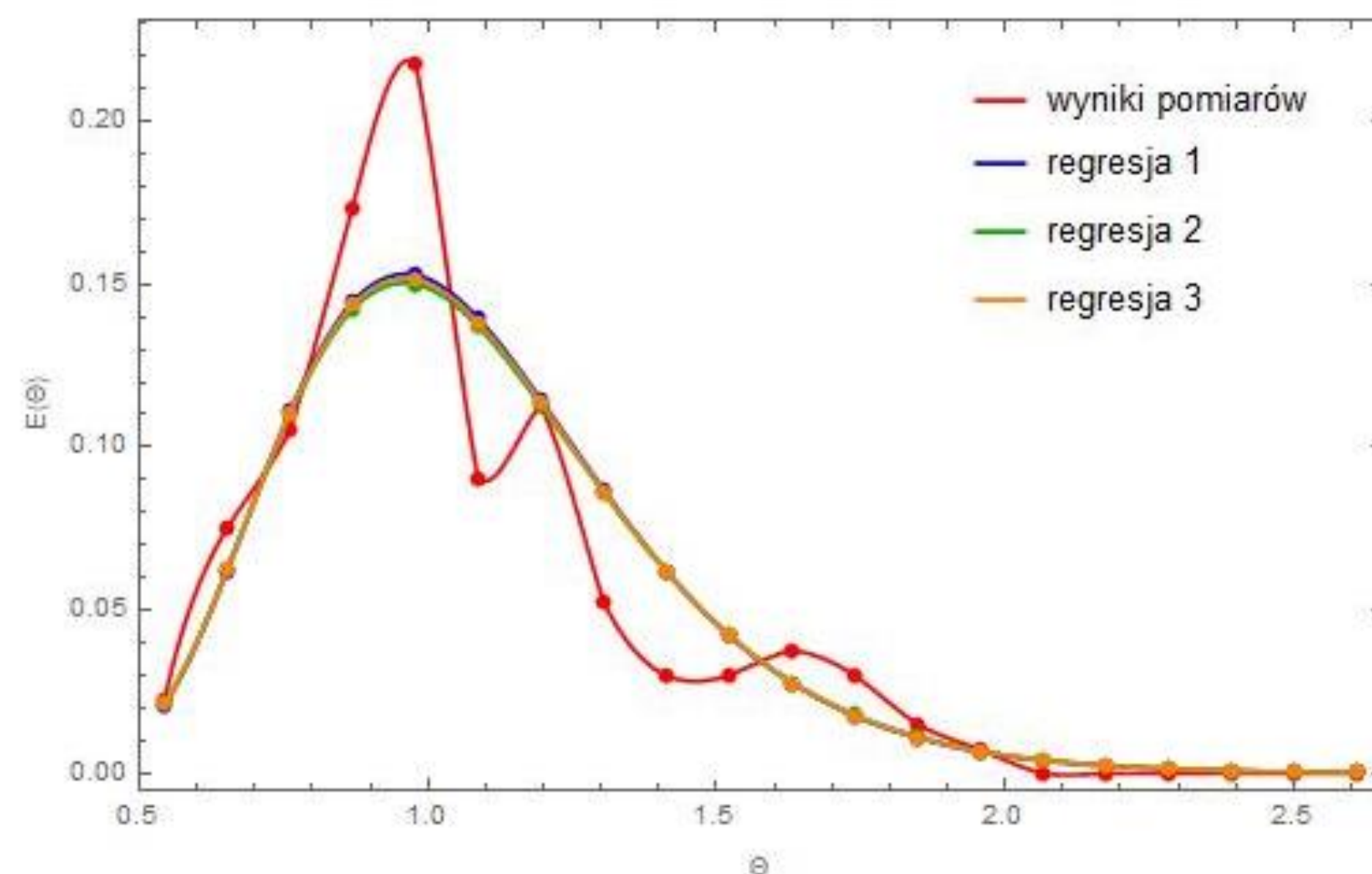


LICZBA PECLETA – różne materiały

Badane materiały wykazały pewne różnice w zakresie intensywności ruchu, która w przypadku keramzytu jest najmniejsza. Liczba Pecleta, a dalej intensywność dyspersji, biorąc pod uwagę właściwości badanych materiałów, wydaje się być zależna od wartości gęstości nasypowej danego materiału lub jego kąta naturalnego usypu, a także prędkości obrotowej pieca. W tych przypadkach zależność jest proporcjonalna.

Badanie ruchu materiału - analiza porównawcza

Dla wyników pomiarów wykonano również regresje w programie RCP. Wykonane regresje są do siebie w bardzo dużym stopniu zbliżone. Porównanie i pewne nieznaczne różnice zamieszczone wynikają z faktu, iż równania algorytmowe nie biorą pod uwagę różnicy wielkości poszczególnych ziaren materiału. Program jest czuły na takie zmiany, choć jak wykazały obliczenia, różnice te są na znikomym poziomie. Dane zawarte w tabeli wskazują na zbieżność wyników regresji. Jednocześnie porównując wyniki otrzymane przy użyciu programu, z wyznaczonymi doświadczalnie parametrami, można wskazać także na niewielkie różnice. Zbieżność w największym stopniu jest widoczna w przypadku wartości średniego czasu przebywania oraz liczby Pecleta. Wskazuje to na wysoką jakość programu.



Parametry ruchu dla wyników pomiarów, regresje dla wariantu keramzyt $\text{k}\alpha\text{t}=1^\circ$, $v=1\text{ obr/min}$

Dane	t_{tr} , min	Pe_L , -	σ , -
Wynik pomiaru	9,67	13,74	2,81
Regresja 1	9,20	13,24	4,08
Regresja 2	9,19	13,09	4,10
Regresja 3	9,20	13,17	4,09

Badanie ruchu materiału - wnioski

W wyniku zrealizowanych badań oraz obliczeń wykonanych w programie Rozkład Czasu Przebywania, określono następujące konkluzje:

- Czas przebywania danego materiału w cylindrze obrotowym w większym stopniu zależny jest od prędkości obrotowej niż od kąta pochylenia cylindra do podłoża.
- Wariantem, w którym zaistniał najkrótszy czas przebywania wszystkich badanych materiałów jest wariant z prędkością obrotową wynoszącą 2 obr/min oraz przy kącie pochylenia cylindra do podłoża – 2 stopnie.
- Wariantem, przy którym zaistniał najdłuższy czas przebywania jest wariant z prędkością obrotową wynoszącą 1 obr/min oraz kątem pochylenia – 1 stopień.
- Można spostrzec, że przy wystąpieniu paramteru 1 obr/min przebywanie wszystkich materiałów w cylindrze obrotowym charakteryzowało się większą równomiernością w czasie – wykres funkcji rozkładu „wypłaszczony”. Nie miało na to wpływu kąt pochylenia pieca, co nawiązuje do pierwszej obserwacji.
- Czas przebywania materiału w cylindrze jest zależny od gęstości danego materiału, kąta naturalnego usypu materiału lub korelacji tych parametrów. Im wyższa wartość tych parametrów, tym krótszy czas przebywania danego materiału na ruszcie. W przypadku zrealizowanego badania nie można jednoznacznie stwierdzić, od którego z tych parametrów jest uzależniony czas przebywania materiału w większym stopniu, ponieważ były one do siebie proporcjonalne w każdym przypadku.
- Keramzyt jako materiał w porównaniu ze ścinkami oraz pelletem wykazywał największą intensywność dyspersji (wymieszania) przy liczbie $Pe=20,01$, jest to wynik spodziewany zważywszy na zwartość i brak szczepialności poszczególnych cząstek ze sobą.



Problematyka tworzenia komponowania mieszanki materiału wsadowego

Problem doboru składników do porcji materiału wsadowego do pieca obrotowego jest oparty i odnosi się do realizacji procesu w praktyce operatorów spalarni odpadów niebezpiecznych. Można tu wyróżnić następujące kwestie problematyczne, będące podstawą do poszukiwania rozwiązania w tym zakresie:

- Dobór jest poprzedzony analizą aktualnie magazynowanych odpadów i ich własności, a także, że nie podlega automatyzmowi i wymaga czasu.
- Niezmiernie ważne jest zachowanie niezbędnej ostrożności przy komponowaniu składu mieszanki, zwłaszcza w odniesieniu odpadów o wysokich wartościach niektórych parametrów, co mogłoby się przełożyć na problemy eksploatacyjne.
- Warto zwrócić uwagę na dynamikę dostarczania materiału wsadowego. Porcje odpadów są podawane do pieca z wysoką częstotliwością.
- Przy prowadzeniu procesu termicznego istotne jest utrzymanie materiału wsadowego na, w miarę możliwości, ujednoliconym poziomie pod względem własności fizyko-chemicznych i paliwowych.

Założenia modelu aplikacji

Aplikacja przewiduje dobór rodzajów odpadów, uprzednio wybranych z zestawienia, w sposób umożliwiający utworzenie mieszanki odpadowej o zadanych wartościach parametrów wyjściowych. Następnie każdemu z parametrów zadano zakres wartości odpowiedni dla realizacji procesu termicznego, a idąc dalej z zakresów poszczególnych parametrów wybrano wartości wzorcowe będące tu wartością pożądaną danego parametru.

Założenia modelu aplikacji – parametry i ich wartości

Parametr	Symbol	Jednostka	Zakres wartości	Wartość wzorcowa
Wartość opałowa odpadu	P1	MJ/kg	14-22	18
pH	P2	-	5-10	7,5
Zawartość Cl	P3	% mas.	<10	1
Zawartość soli Na, K, Ca	P4	% mas.	<10	1
Zawartość F, I, Br	P5	% mas.	<1	0,1

Ponadto aplikacja powinna spełniać kilka warunków:

- umożliwić kompatybilność ze stosowanymi w spalarniach odpadów procedurami kwalifikowalności i oznaczania odpadów,
- pozwolić na dużą elastyczność w doborze mieszanki,
- zapewnić stabilne rozwiązania, zgodne z przyjętymi założeniami,
- umożliwić różne tryby użytkowania: jednorazowe, jak i w perspektywie czasowej połączone z możliwością zapisu.



Algorytm doboru składu mieszanki wsadowej

Początkowym elementem, na którym opiera się algorytm, jest funkcja celu:

$$f(s_1, s_2, \dots, s_n) = \sum_{i=1}^5 (\bar{p}_i - p_{wi})^2$$

gdzie: s_1, s_2, \dots, s_n – masy (wagi) poszczególnych składników,

n – liczba składników,

\bar{p}_i – średnia ważona parametru o indeksie i ,

p_{wi} – wartość wzorcowa parametru.

Jest to funkcja n -zmiennych, gdzie n to liczba składników mogących znaleźć się w mieszance. Następnie jest ona minimalizowana względem wag składników, gdzie waga stanowi ich masę. Funkcja celu opisuje jakość mieszanki względem określonych parametrów. Im mniejsza wartość tej funkcji, tym mieszanka będzie się charakteryzowała lepszymi parametrami, w tym przypadku najbardziej zbliżonymi do wartości wzorcowych.

Algorytm doboru składu mieszanki wsadowej

Działanie z wykorzystaniem algorytmu można podzielić na dwa etapy: startowy oraz iteracyjny.

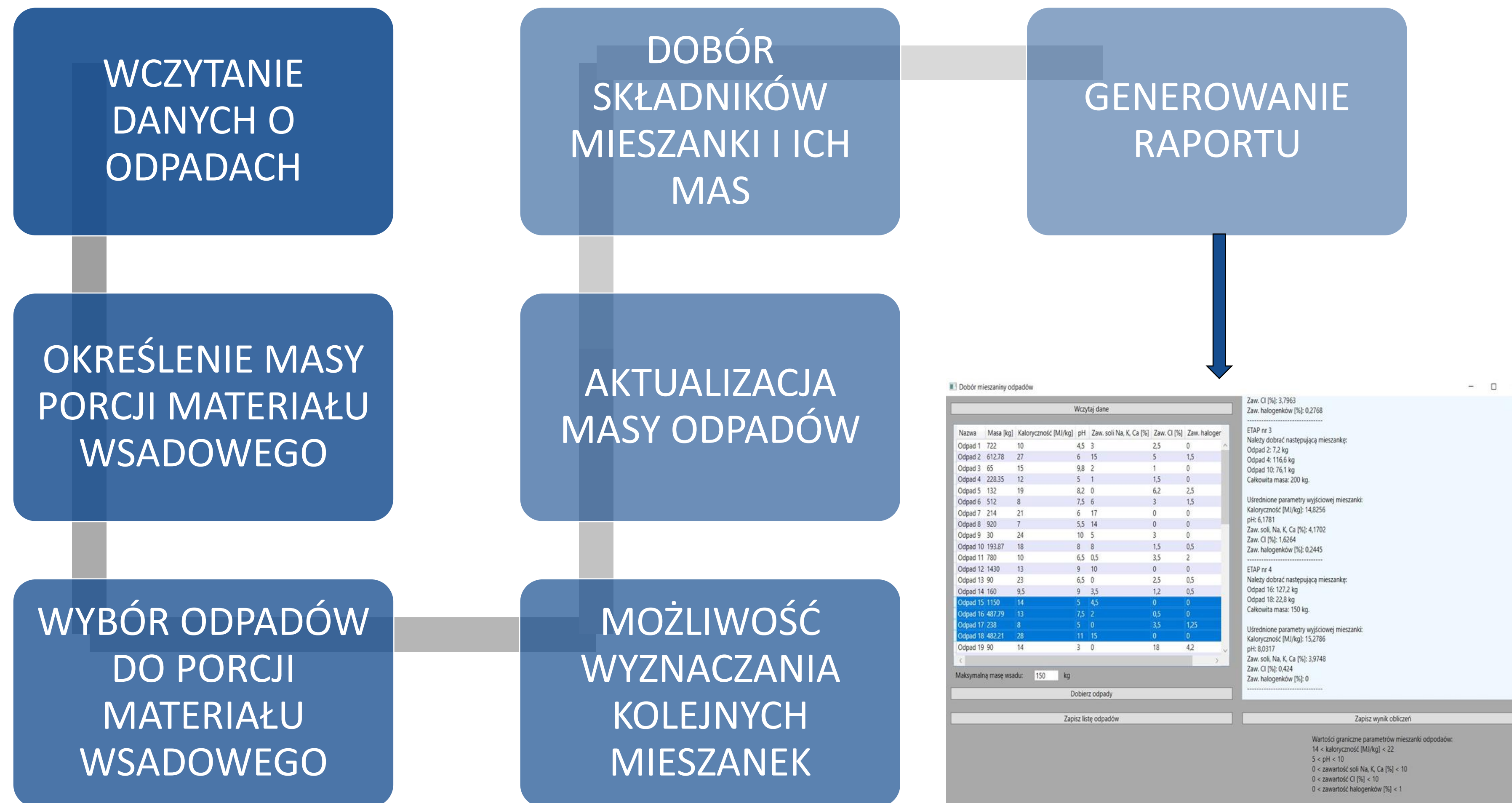
W ramach startu algorytmu mają miejsce następujące działania:

- I. Ustawienie parametrów wejściowych algorytmu: M, l, nT, ξ, θ^1 .
- II. Wygenerowanie populacji startowej $x^k = (x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k)$, gdzie $x^k \in D, (k = 1, 2, \dots, M)$.
- III. Podział populacji na nT grup, które będą łączone równoległe.
- IV. Wyznaczenie wartości funkcji celu dla każdej mrówki w populacji dla obliczeń równoległych.
- V. Wyznaczenie rozwiązania najlepszego x^{best} w populacji.

W ramach etapu iteracyjnego określone są następujące kroki:

- I. Losowe wygenerowanie wektora przesunięć $dx^k = (dx_1^k, dx_2^k, \dots, dx_n^k)$, gdzie $-\theta_j^i \leq dx_j^k \leq \theta_j^i (k = 1, 2, \dots, M)$.
- II. Wygenerowanie nowego rozmieszczenia kolonii mrówek $x^k = x^{best} + dx^k, (k = 1, 2, \dots, M)$.
- III. Podział nowej kolonii na nT grup liczonych równoległe.
- IV. Wyznaczenie wartości funkcji celu dla nowej kolonii mrówek – obliczenia równoległe.
- V. Wyznaczenie najlepszego rozwiązania w aktualnej kolonii mrówek. W przypadku uzyskania rozwiązania lepszego niż x^{best} , przyjmuje się jako nowe rozwiązanie x^{best} .
- VI. Kroki od 6 do 10 są powtarzane l razy.
- VII. Zmniejszenie wartości parametrów $\theta_j^{i+1} : \theta_j^{i+1} = \xi \cdot \theta_j^i$.
- VIII. Kroki od 6 do 12 są powtarzane l razy.

Funkcjonalność aplikacji



Aplikacja doboru składników do porcji materiału

Dobór mieszaniny odpadów

Wczytaj dane

Nazwa	Masa [kg]	Kaloryczność [MJ/kg]	pH	Zaw. soli Na, K, Ca [%]	Zaw. Cl [%]	Zaw. halogenków [%]
-------	-----------	----------------------	----	-------------------------	-------------	---------------------

Maksymalną masę wsadu: kg

Dobierz odpady

Zapisz listę odpadów

Zapisz wynik obliczeń

Wartości graniczne parametrów mieszanki odpadałów:
14 < kaloryczność [MJ/kg] < 22
5 < pH < 10
0 < zawartość soli Na, K, Ca [%] < 10
0 < zawartość Cl [%] < 10
0 < zawartość halogenków [%] < 1

Wpisz tu wyszukiwane słowa

8°C Bezchmurnie 00:11 29.09.2021



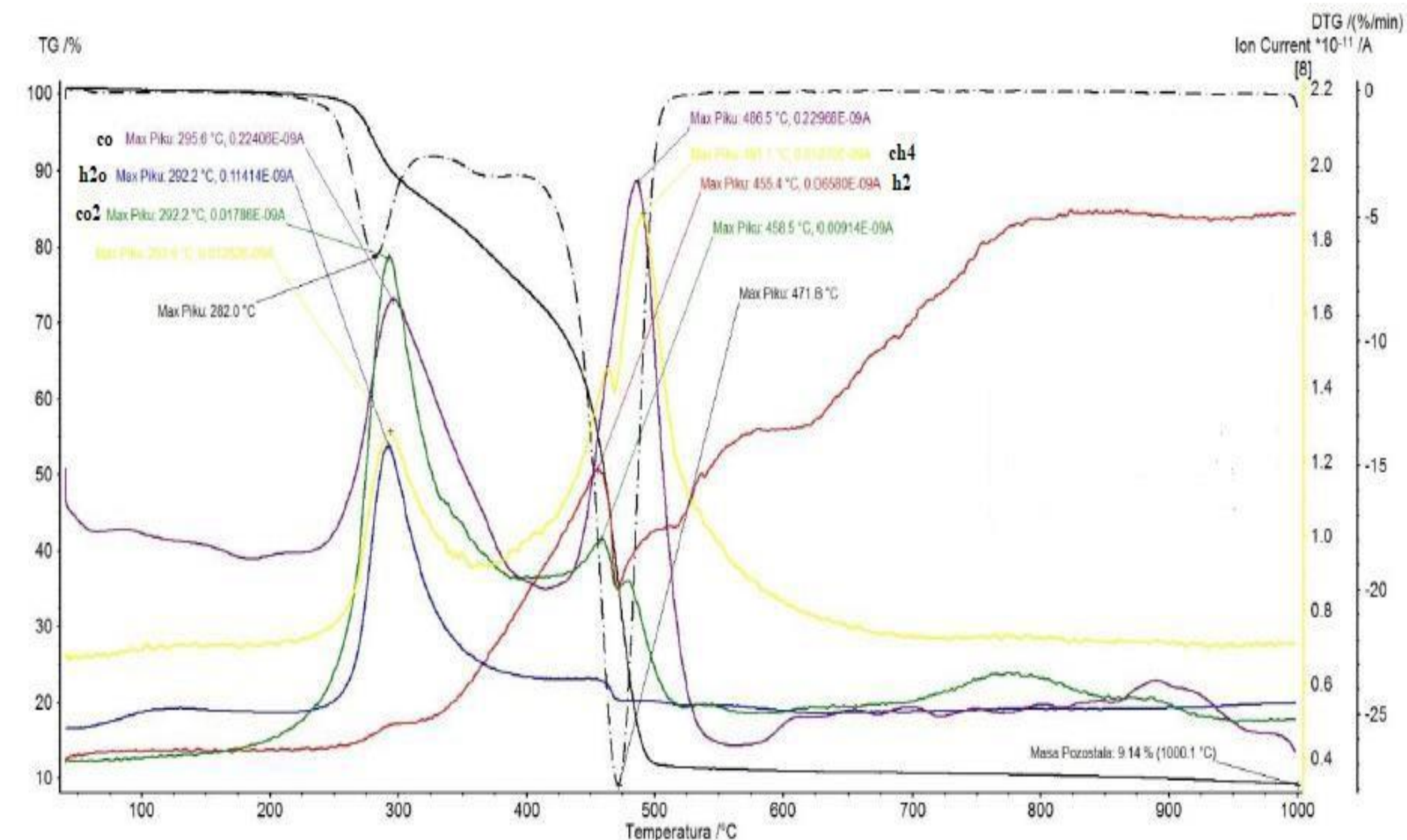
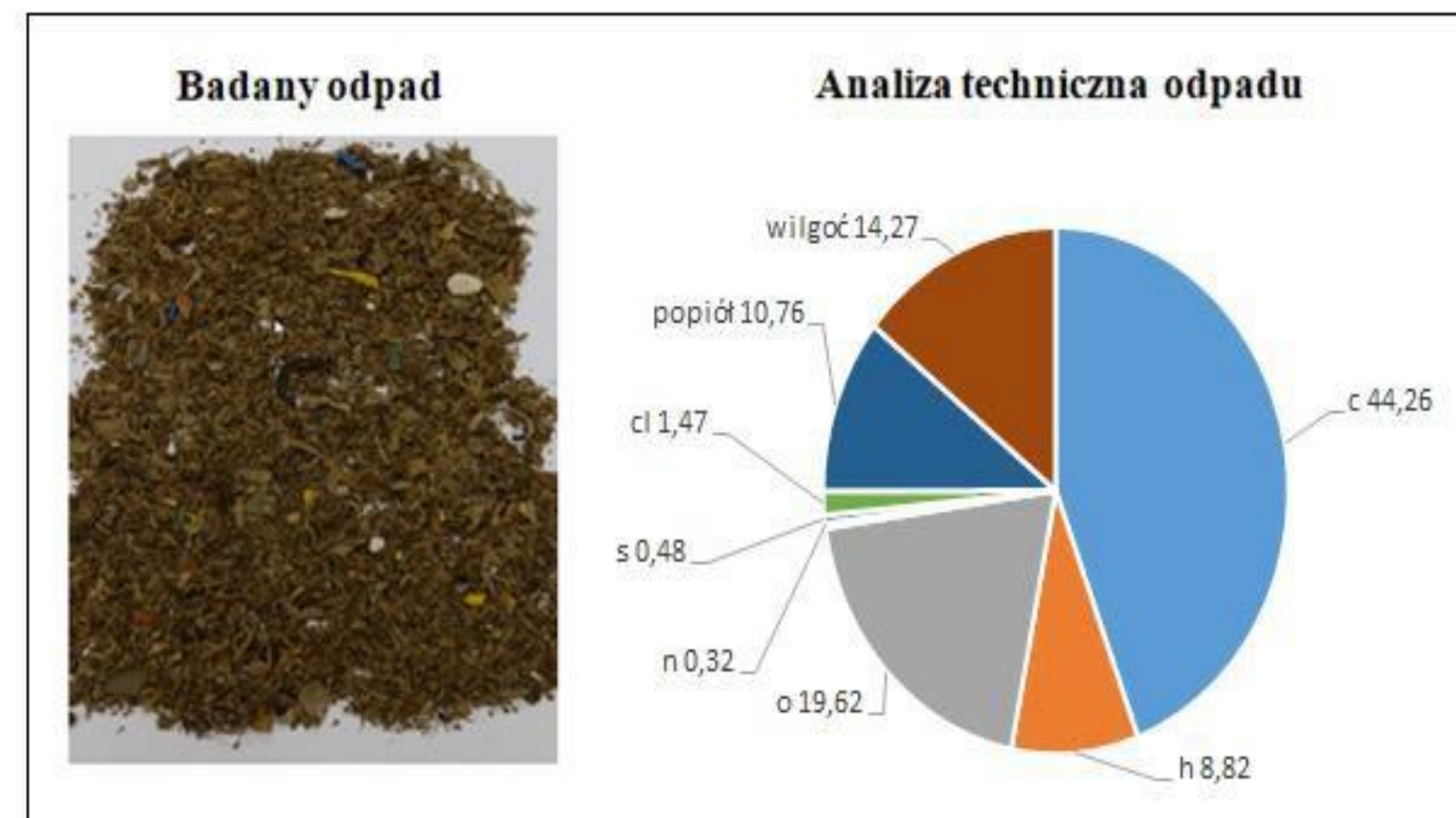
Aplikacja doboru składników mieszanki- wnioski

W wyniku zrealizowanych działań, związanych z opracowaniem aplikacji doboru, zauważono:

- Zaproponowane rozwiązanie zakłada, że wpłynie między innymi na przyspieszenie procesu decyzyjnego i tworzenie harmonogramu załadunków.
- Testy aplikacji wskazały na wysoką jakość generowanego rozwiązania.
- Narzędzie doboru składników mieszanki opiera się na uproszczonym założeniu, które należałoby zweryfikować w ujęciu praktycznym.

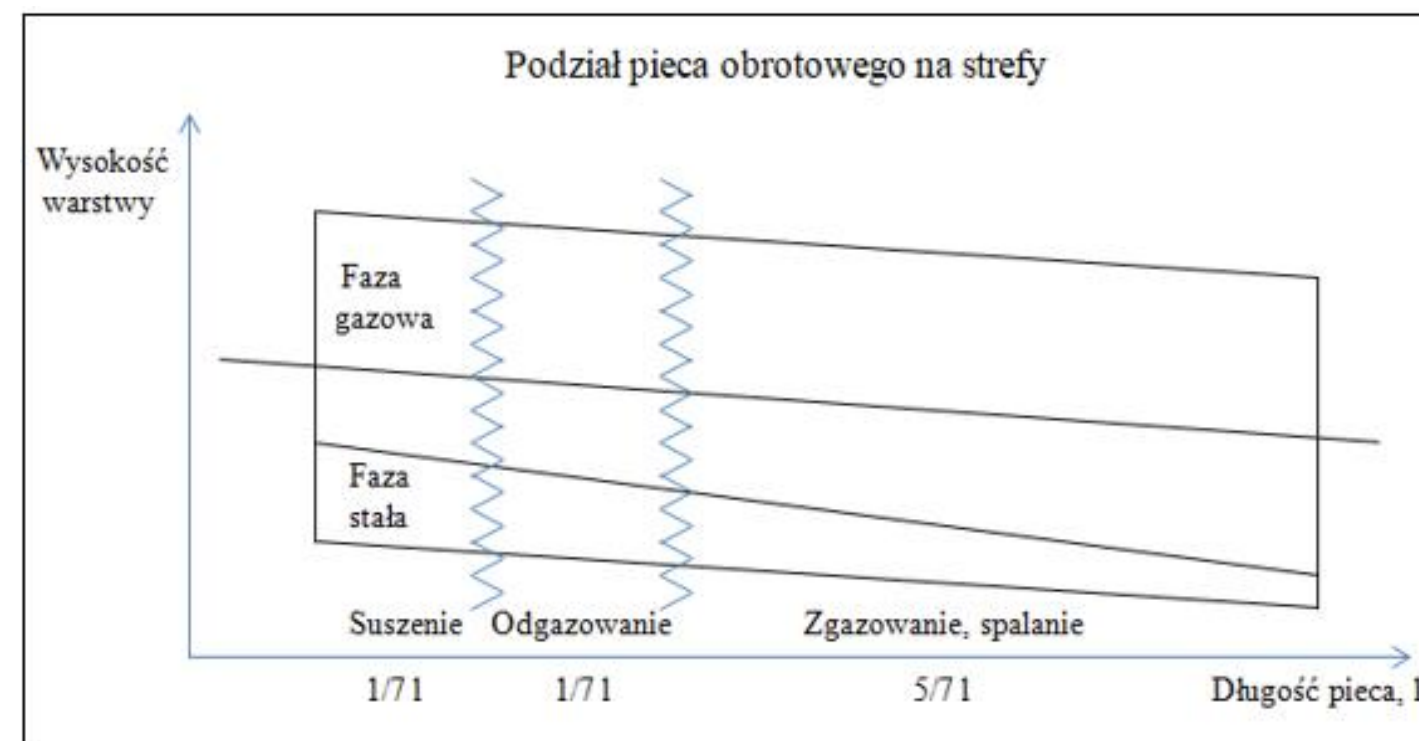
Modelowanie spalania w piecu obrotowym z komorą dopalania

Warunkiem brzegowym modeli: warstwy stałej w piecu obrotowym oraz fazy gazowej w piecu i komorze dopalania są dane dotyczące analizy technicznej odpadu – materiału wsadowego, oraz stężeń składników gazowych i temperatur procesu. Z uwagi na brak możliwości pozyskania próbek odpadu spalane w modelowanej spalarni zgodnie z ustawą, wykonano reprezentatywną próbkę odpadu medycznego. Materiał następnie poddano badaniom, w tym analizie TG. Dane temperaturowe zostały uzyskane od operatorów spalarni.

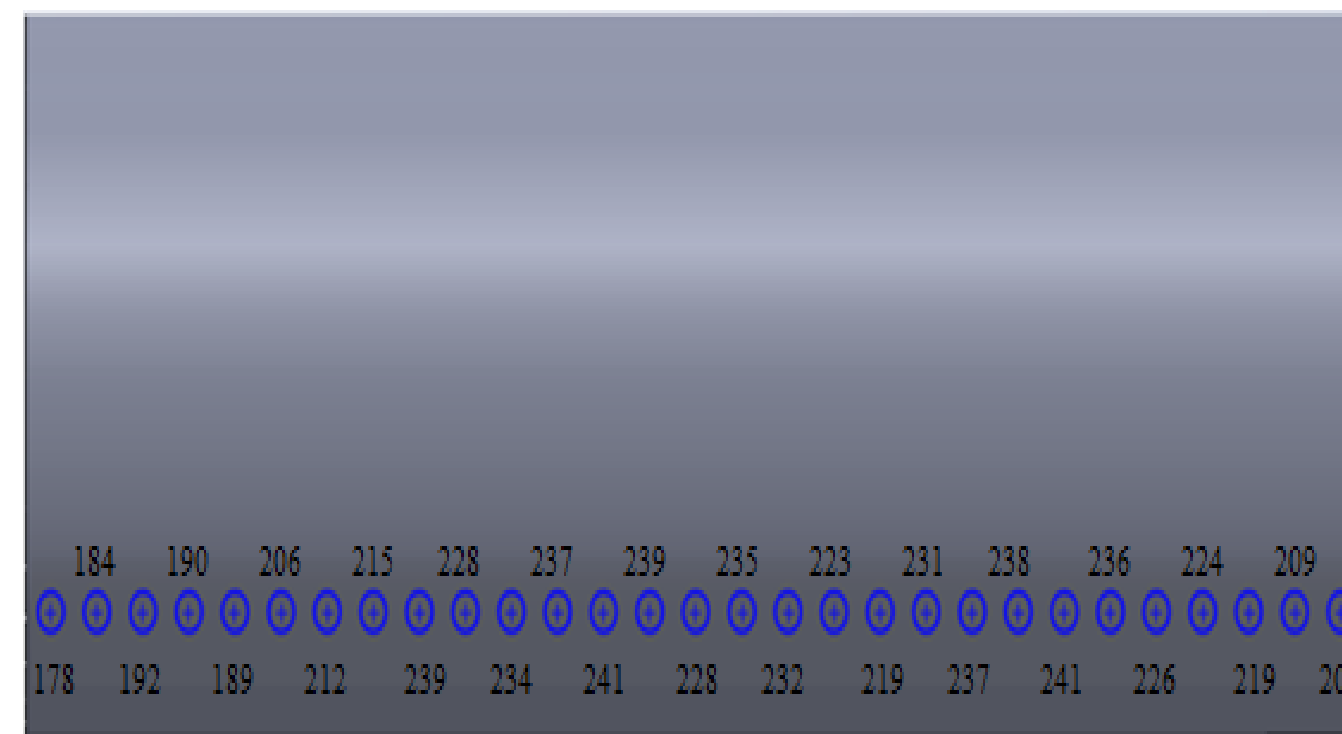


Model warstwy stałej

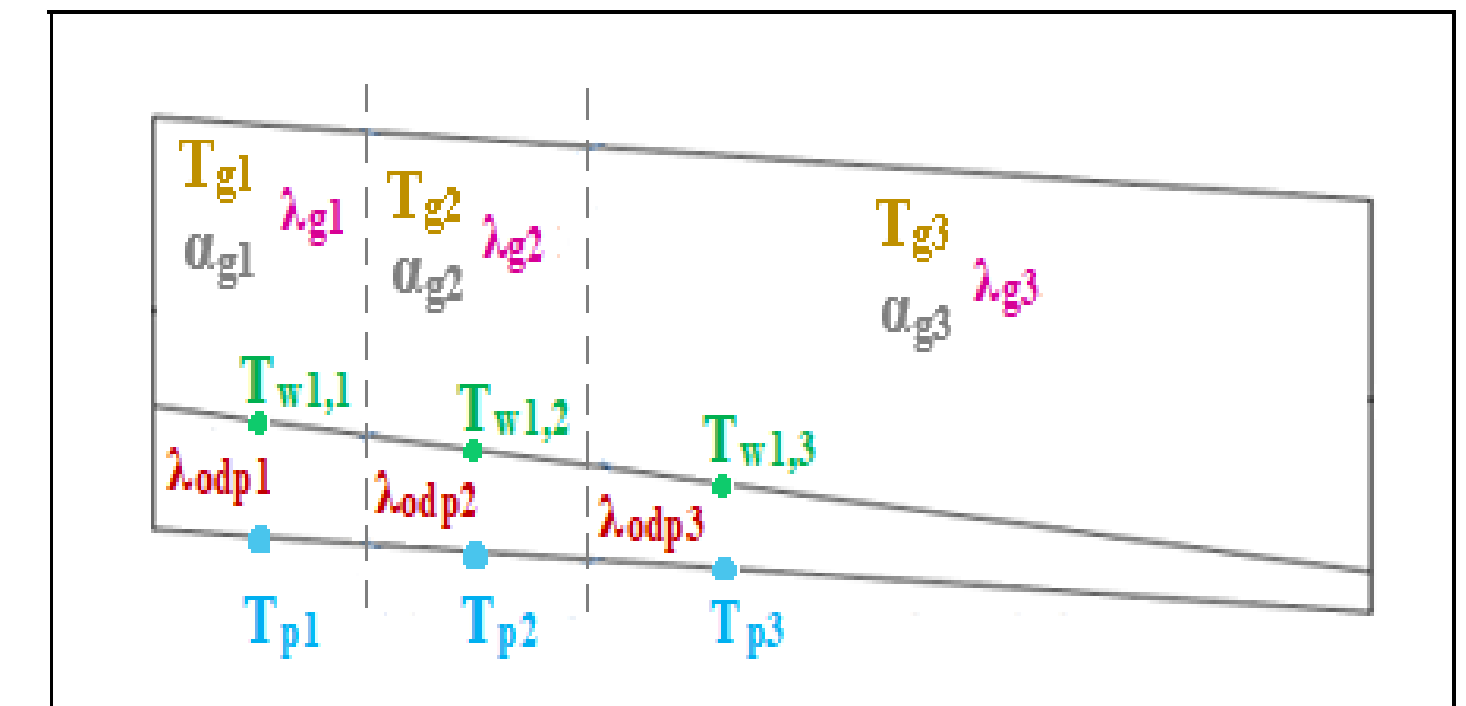
Model wymiany ciepła zakłada wyznaczenie wartości parametrów wymiany ciepła, a także temperatury warstwy w oparciu o niezbędne założenia oraz wyniki pomiarów. Z uwagi na heterogeniczny charakter materiału wsadowego – odpadu – określano parametry charakteryzujące wymianę ciepła jako zastępcze.



Podział pieca na strefy według jego długości pozwolił na ukazanie zmieniających się warunków w trakcie procesu.



Badanie temperatury na płaszczu pieca dostarczyło informacji do modelu wymiany ciepła.



W modelu założono uproszczony schemat postępowania pozwalający na wyznaczenie temperatur panujących w warstwie.

Model fazy gazowej - założenia

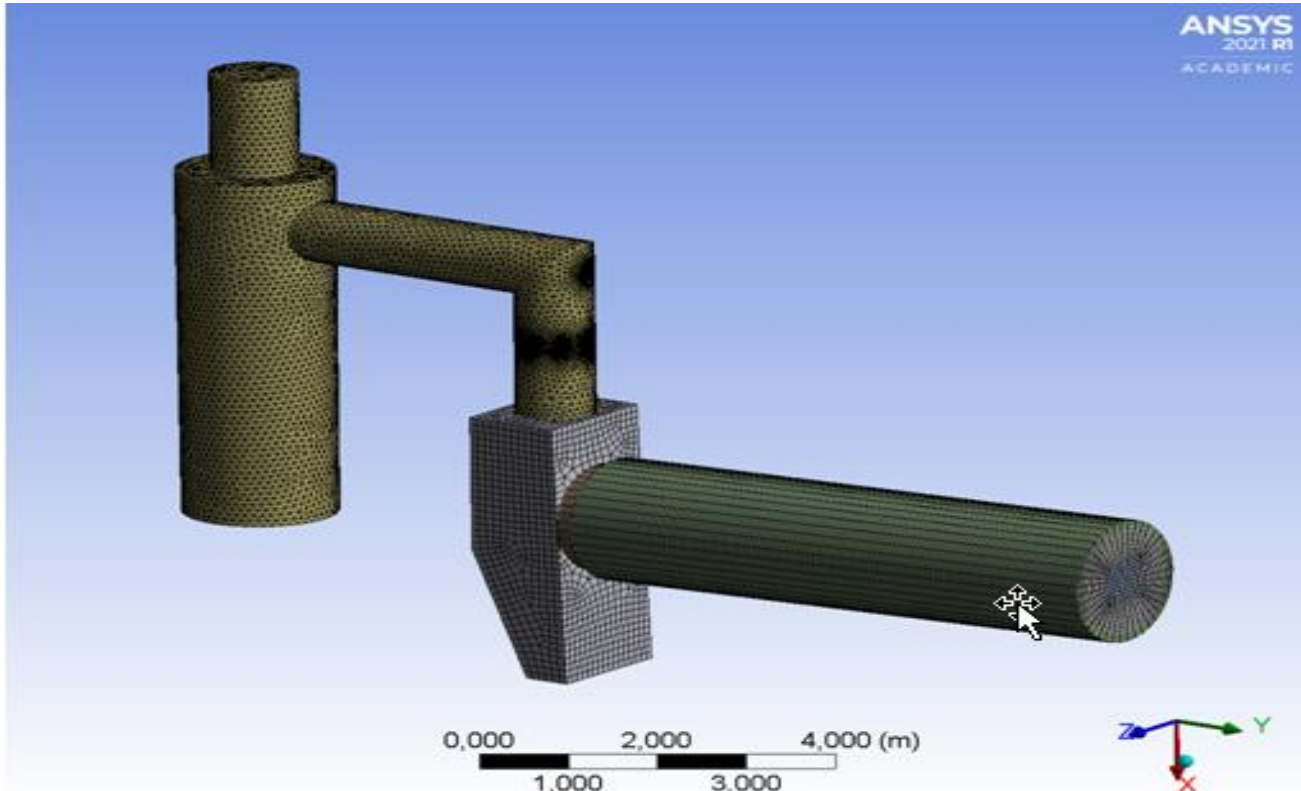
Model fazy gazowej został opracowany na podstawie następujących założeń:

- 1) Model obrazuje procesy zachodzące w fazie gazowej w piecu obrotowym oraz w komorze dopalania.
- 2) Faza stała została ujęta w postaci czarnej skrzynki emitującej do przestrzeni gazowej produkty termicznego rozkładu.
- 3) Założony został brak ruchu obrotowego pieca.
- 4) Reakcje chemiczne w piecu opierają się na danych pomiarowych – stężeniach gazów w bryle gazowej w piecu oraz temperaturach.
- 5) Dane dotyczące geometrii pieca i komory odpowiadają obiektowi rzeczywistemu – spalarni odpadów medycznych.
- 6) Parametry pracy palnika w komorze dopalania i wentylatora zostały przyjęte na podstawie specyfikacji urządzeń uzyskanych od operatora modelowanej instalacji. Dane odpowiadają warunkom rzeczywistym.
- 7) Powietrze podawane do komory pieca z niedomiarem wynoszącym $\lambda = 0,7$, natomiast do komory dopalania powietrze podawane jest kanałami powietrza wtórnego, przez palnik i w mniejszym stopniu przez wentylator z nadmiarem wynoszącym $\lambda = 2,2$.
- 8) W całym ciągu instalacyjnym panuje podciśnienie założone zgodnie z danymi operatora na poziomie 30 Pa.



Model fazy gazowej - charakterystyka

Model wymiany ciepła zakłada wyznaczenie wartości parametrów wymiany ciepła, a także temperatury warstwy w oparciu o niezbędne założenia oraz wyniki pomiarów. Z uwagi na heterogeniczny charakter materiału wsadowego – odpadu – określano parametry charakteryzujące wymianę ciepła jako zastępcze.



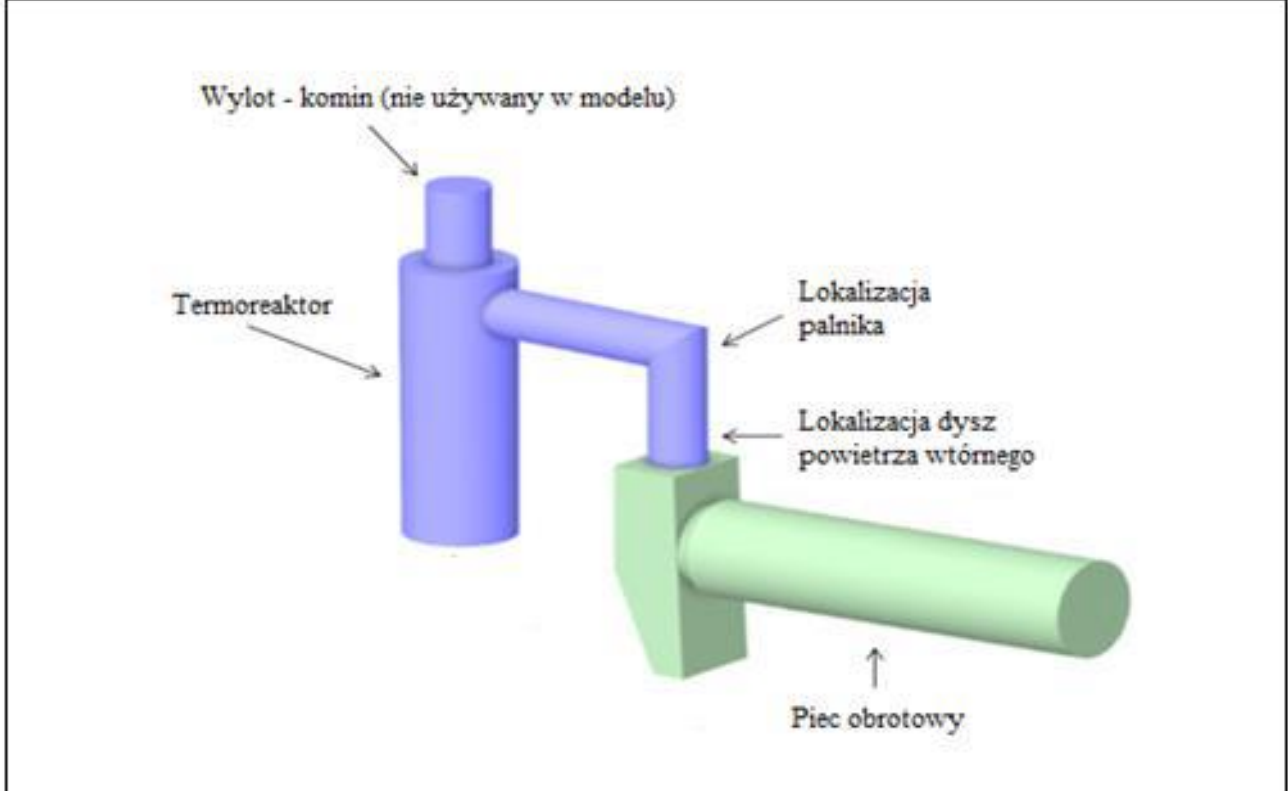
GEOMETRIA I SIATKA

Geometria pieca obrotowego i komory dopalania oparta jest o dane rzeczywiste. Siatka obliczeniowa utworzona jest z 462 000 elementów.

Parametr	Wartość
Solver	Pressure based, steady
Turbulencja	k-epsilon realizable
Promieniowanie	Discrete Ordinates
Rekacje	Finite rate/Eddy dissipation
Typ wlotu	Velocity
Prędkość gazów	5 m/s
Typ wylotu	Pressure
Ciśnienie na wylocie	30 Pa
Temperatura gazów na wylocie	1123,15 K

PARAMETRY MODELU

W modelu określono poszczególne modele zjawisk. Dane wejściowe i wyjściowe są oparte na badaniach oraz uzyskanych danych.



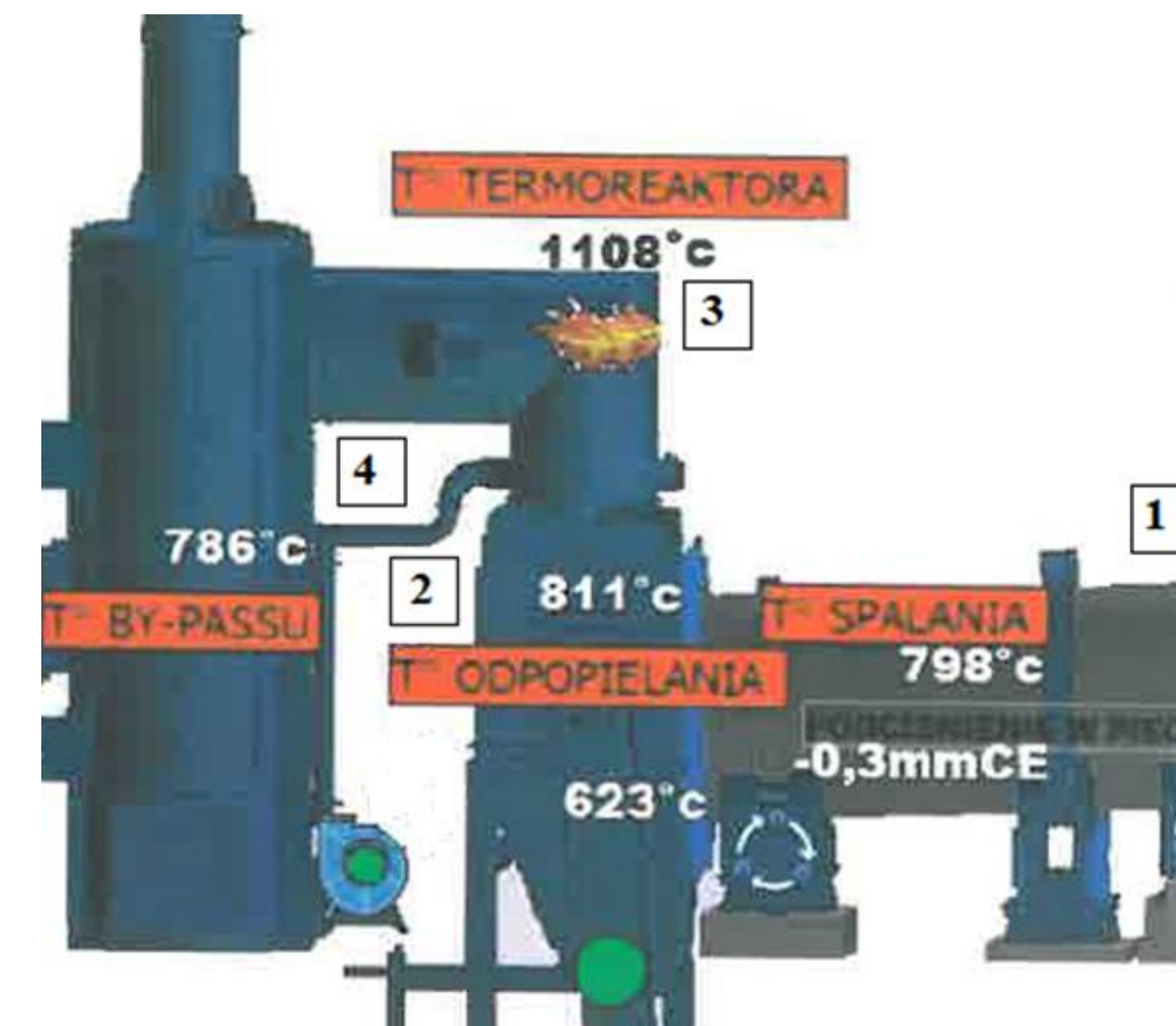
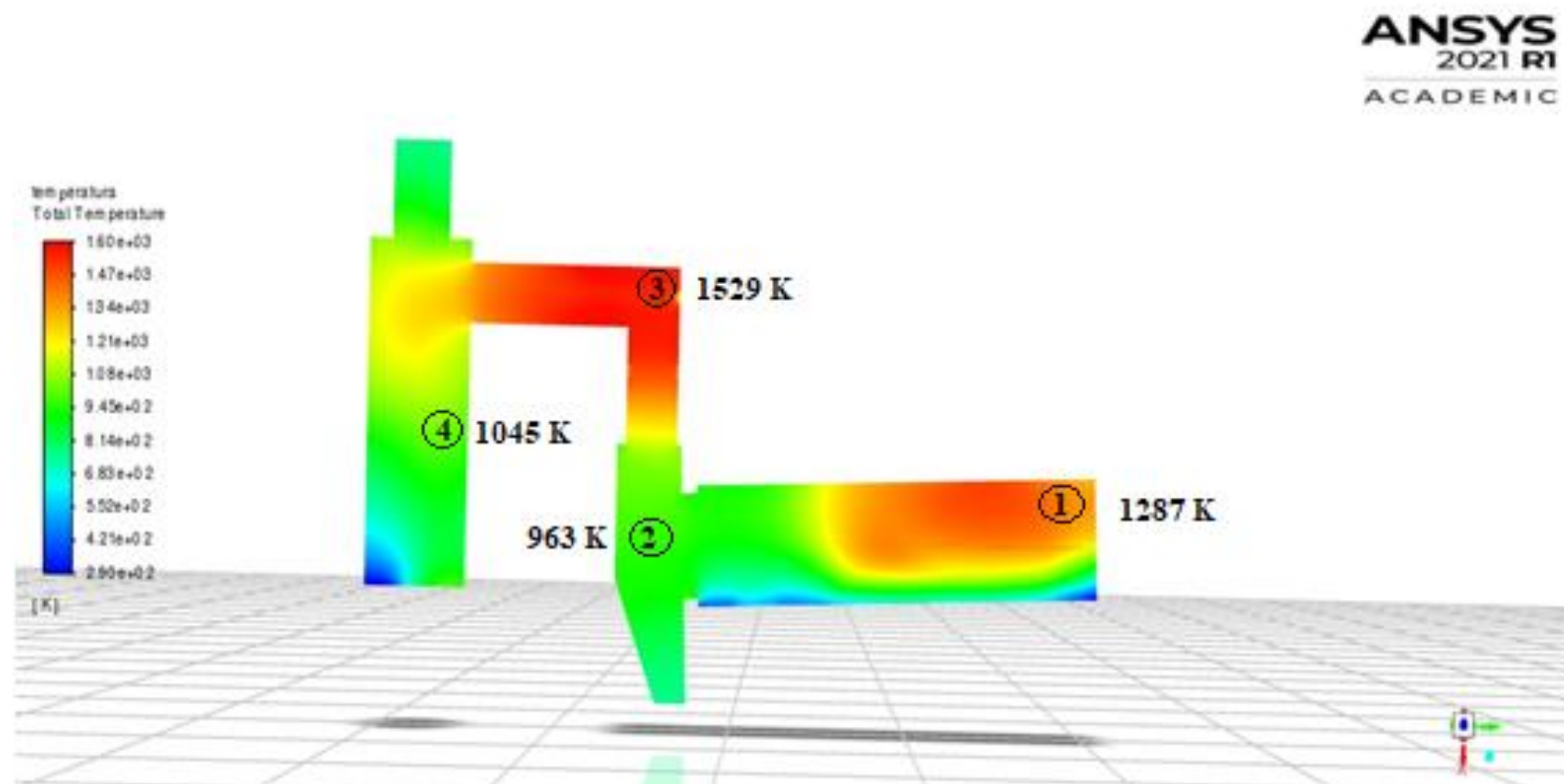
STRUKTURA OBIEKTU

W geometrii zlokalizowano także elementy takie jak: palnik oraz dysze powietrza wtórnego.



Wyniki obliczeń numerycznych

Podstawowym badanym parametrem pracy była temperatura w modelowanej przestrzeni. Jest to zasadne w kontekście walidacji modelu, która opiera się na porównaniu wartości temperatur uzyskanych w wyniku modelowania, z odpowiadającymi im wartościami średnimi pozyskanymi z obiektu rzeczywistego.

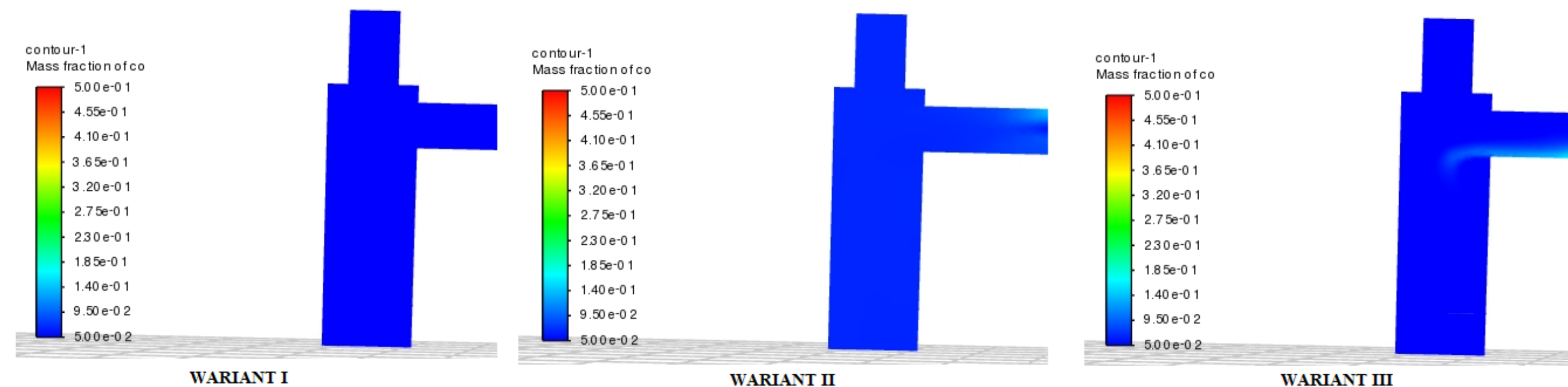


Warianty symulacji procesu i wyniki

Warianty symulacji spalania w piecu obrotowym i komorze dopalania przyjęto na podstawie dostępnych danych oraz możliwości wprowadzenia zmian w warunkach rzeczywistych. Wybrano następujące warianty badań:

- zwiększenie wydajności palnika o 10% z 5% zwiększeniem strumienia powietrza (wariant I),
- zmniejszenie wydajności palnika o 10% bez zmian w dostarczonym strumieniu powietrza (wariant II),
- zmniejszenie wydajności palnika o 10% z 5% zmniejszeniem strumienia powietrza (wariant III).

Punkt pomiaru temperature	Model	Wariant I	Wariant II	Wariant III
3	1529 K	1618 K	1488 K	1502 K
4	1045 K	1087 K	1009 K	1022 K



Rozkład stężenia CO dla wszystkich parametrów

Modelowanie spalania odpadów - wnioski

W wyniku zrealizowanych działań, związanych z opracowaniem modelu procesu spalania odpadów w piecu obrotowym i w komorze dopalania, można wyciągnąć następujące wnioski:

- Zaproponowany model fazy gazowej w piecu przewiduje obecność komory dopalania i jej udział w procesie spalania, co jest w niewielkim stopniu proponowane w literaturze przedmiotu.
- Analiza porównawcza w zakresie wartości temperatur w określonych punktach pomiarowych wyników uzyskanych z modelu z danymi od operatorów instalacji, wykazała pewne podobieństwo. W większym stopniu zachodzi ono w komorze dopalania.
- Na podstawie przeprowadzonej symulacji można określić potencjalną możliwość zastosowania mniejszej ilości paliwa w palniku bez negatywnego wpływu na proces spalania realizowany w komorze dopalania. Wartości temperatur oraz dopalenie składnika gazowego, tu na przykładzie CO, jest dobrym prognostykiem. Niemniej do pełnej analizy należałoby dysponować większą ilością danych i przeprowadzić symulację także dla innych palnych składników gazowych, które nie były rozpatrywane w pracy.

Podsumowanie

Technologia pieca obrotowego nie koliduje a uzupełnia system gospodarki odpadami zgodnie z ideą GOZ:

W obliczu wprowadzania gospodarki obiegu zamkniętego, nie przewiduje się w najbliższej perspektywie czasowej zmniejszenia wykorzystania zastosowania pieców obrotowych w procesie spalania odpadów. Co więcej, planowane jest zwiększenie mocy przerobowych spalarni odpadów niebezpiecznych w Polsce.

Ich specyfika umożliwia przekształcanie problematycznych odpadów niebezpiecznych, w tym medycznych, dla których często jedynym skutecznym sposobem unieszkodliwienia jest spalanie w spalarni odpadów niebezpiecznych. Jest to także istotne z punktu widzenia środowiskowego, ponieważ spalanie takie neutralizuje szkodliwe substancje zawarte w tego typu odpadach.

Prowadzenie procesu termicznego przekształcania odpadów w instalacji wyposażonej w piec obrotowy, pomimo dojrzałości technologicznej tego urządzenia, może być poddawane czynnościom optymalizującym proces w nim prowadzonego:

Czynności, podjęte w celu określenia możliwości optymalizacji to:

- opracowanie narzędzia optymalizującego pracę operatorów spalarni,
- określenie w ujęciu podstawowym charakteru ruchu różnych materiałów stałych w piecu obrotowym,
- propozycja modelu pracy pieca obrotowego z komorą dopalania.

W wyniku modelu określono potencjalną możliwość ograniczenia paliwa stosowanego w komorze dopalania.

Przyszłe kierunki rozwoju tego zagadnienia mogą się opierać na utworzeniu modelu warstwy stałej w piecu obrotowym, opartej o badania charakteru ruchu, następnie połączonego z modelem warstwy gazowej. Jest to aspekt nierozpoznany do tej pory w literaturze, a badania zrealizowane w ramach niniejszej pracy stanowią poważne podwaliny pod tego typu działania.

Dziękuję za — uwagę



Politechnika
Śląska



UCZELNIA
BADAWCZA
WZajemna odpowiedzialność