

dr hab. inż. Dariusz Kardaś

Instytut Maszyn Przepływowych

Im. Roberta Szewalskiego PAN

ul. Fiszer 14, 80-231 Gdańsk

e-mail: dk@imp.gda.pl

Gdańsk 7.09.2021

Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Agaty Wajdy

„Określenie optymalnych warunków spalania odpadów stałych w piecu obrotowym w skali przemysłowej”

W ostatnich latach w sferze prawnej, ale również w praktyce, zaznaczyła się istotna zmiana w podejściu do zagospodarowywania odpadów. Zwiększa się nacisk na odzysk i recykling odpadów a ograniczane są możliwości ich spalania, ale jest jeden wyjątek – odpady niebezpieczne. W tym przypadku toksyczność i łatwopalność powodują, że ich dezintegracja w procesie spalania jest jedynym możliwym rozwiązaniem i właśnie tematyki spalania odpadów niebezpiecznych dotyczy praca doktorska A. Wajdy. Odpady niebezpieczne spalane są w piecach obrotowych, co czyni temat pracy doktorskiej potrzebnym i sensownym. Chociaż urządzenia te odgrywają bardzo ważną rolę w zachowaniu bezpieczeństwa i czystości środowiska liczba publikacji naukowych dotyczących tego typu urządzeń jest ograniczona. Zjawiska występujące w piecu obrotowym takie jak szybkość transportu materiału, oddziaływanie pomiędzy spalonym materiałem a ściankami pieca, przebieg reakcji chemicznych są wyzwaniem eksperymentalnym i teoretycznym. Powodem są trudne warunki do prowadzenia badań oraz skomplikowanie procesów mechanicznych, cieplnych i chemicznych, i ich oddziaływanie. Podjęte przez Autorkę zagadnienie optymalnych warunków spalania odpadów w piecu obrotowym jest ważne ze strony praktycznej i trudne pod względem teoretycznym.

Przedstawiona do recenzji praca ma objętość 125 stron i została podzielona na dziewięć rozdziałów i rozpoczyna się od wstępu, po czym następuje Rozdział 2, w którym sformułowano cel, zakres pracy oraz tezy badawcze. Kolejny rozdział zawiera charakterystykę odpadów, opisuje uwarunkowania prawne przekształcania odpadów. Ta część pracy zawiera liczne odwołania do różnego rodzaju aktów prawnych i rozporządzeń. Doktorantka przywołuje przepisy, które wymagają aby w przypadku odpadów zawierających poniżej 1% chloru temperatura gazów spalinowych w spalarni utrzymywała się powyżej 850 °C przez ponad 2 sekundy, zaś w przypadku odpadów o wyższej zawartości chloru temperatura spalin musi przekraczać 1100 °C. Jeszcze jednym warunkiem jest całkowita zawartość węgla organicznego w żużlach i popiołach, która nie może przekraczać 3%. Przedstawione zostały także trendy dotyczące zagospodarowania odpadów. O ile ilość spalanych odpadów komunalnych w niektórych krajach będzie musiała zmaleć, to w przypadku odpadów niebezpiecznych, ze względu na brak alternatywy, spalanie będzie jedynym sposobem ich zniszczenia.

W dalszej części doktoratu w rozdziale 4 zatytułowanym „Piec obrotowy w gospodarce odpadami w Polsce” zawarto ogólną charakterystykę pieca obrotowego, w tym geometrię, parametry pracy i materiały z jakich wykonuje się ściany pieca. Autorka wymienia również standardy emisyjne instalacji spalających odpady niebezpieczne. Ze względu na zastosowanie pieców cementowych do spalania odpadów, przedstawiono także ten rodzaj urządzenia i zestawiono z typowymi piecami obrotowymi do spalania odpadów. Jednakże do spalania odpadów niebezpiecznych zasadniczo stosuje się dedykowane do tego celu współprądowe piece obrotowe, w których temperatura jest o ok. 300C niższa, niż w piecach cementowych. Niższa temperatura, mniejsza ilość powietrza powodują, że obrotowy piec w spalarni częściowo spala i częściowo zgazowuje wsad. W tej części pracy ciekawe są informacje na temat powstających odpadów przemysłowych, odpadów niebezpiecznych i odpadów zakaźnych. Roczna ilość odpadów przemysłowych jest bardzo duża, bo wynosi 115 mln ton, ale większość jest odzyskiwana bądź składowana. Niebezpieczne odpady przemysłowe stanowią tylko niewielką część tego wielkiego strumienia odpadów, i co ważne, nie wszystkie muszą być spalane. Inaczej jest z odpadami medycznymi, których roczny strumień wynosi poniżej 50 tys. ton rocznie i które muszą być przekształcane termicznie. Ta część pracy zawiera również ciekawy opis urządzeń i procedur unieszkodliwiania odpadów. Doktorantka zebrała je podczas wizyt studyjnych i stażu w dwóch spalarniach odpadów niebezpiecznych. Pierwsza spalarnia odpadów medycznych z Katowic ma wydajność 350kg/godz. Ze względów prawnych worki, w których są odpady medyczne nie są otwierane i dlatego rodzaj odpadów określany jest na podstawie deklaracji dostawcy. Dużo większa instalacja spalania odpadów niebezpiecznych w Dąbrowie Górniczej ma wydajność 2000 kg odpadów/godzinę. Ponieważ piec jest przystosowany do unieszkodliwiania odpadów w postaci stałej, płynnej i gazowej konieczne okazało się opracowanie procedur spalania. Próbkę odpadów analizuje się pod kątem zawartości wybranych związków chemicznych a także przez określenie temperatury zapłonu i pH. Dopiero na tej podstawie podejmowana jest decyzja o niszczeniu odpadów i procedurze niszczenia. Ponieważ zasadniczym przedmiotem badań przemysłowych była instalacja w Katowicach została ona w pracy szczegółowo opisana. Pierwszym etapem technologii spalania jest załadunek odpadu do komory pieca, która wyposażona jest w palnik gazowy wspierający spalanie i utrzymujący właściwą temperaturę. Na końcu komory jest wylot produktów gazowych i stałych – w postaci leja spustowego. Gazy płyną dalej do komory dopalania, gdzie gazy są dopalane. Zapewnia to dodatkowy palnik gazowy. Taka budowa dodatkowej komory ma zapewnić wymaganą temperaturę i czas przebywania spalin. Piec działa w warunkach podciśnienia, co zabezpiecza przed wypływem gazów na zewnątrz instalacji.

Rozdział 5 jest pierwszą, czysto badawczą częścią doktoratu zawierającą opis i analizę wyników ruchu złoża w piecu obrotowym. Na początku Doktorantka przeprowadziła opis ruch złoża w bębnie pieca obrotowego i wprowadziła wielkości charakterystyczne. Podstawowym parametrem w tego typu badaniach jest czas przebywania próbki. Korzystając z metody rozkładu czasu przebywania wyznacza się wartość średnią, wariancję i liczbę Pecleta. Dalej Autorka przedstawia typy ruchu złoża w bębnie obrotowym w funkcji liczby Frouda. Podrozdział o czasie przebywania cząstek rozpoczyna się od definicji funkcji rozkładu gęstości prawdopodobieństwa czasu przebywania cząstek $E(t)$ i jej dystrybucyj $F(t)$. Przy okazji pokazuje rozkład $E(t)$ w przypadkach najbardziej typowych: idealnie wymieszanego, tłokowego i przepływu nieidealnego.

Eksperymentalne badania ruchu cząstek w laboratoryjnym bębnie obrotowy miały na celu wyznaczeniu charakterystyk tego zjawiska. W badaniach zastosowano kolorowe wskaźniki, które wprowadzano do bębna w zadanym czasie. Ponieważ wskaźniki od pozostałego wsadu różnią się jedynie kolorem dlatego zakłada się, że ich zachowanie jest identyczne i stąd identyczne są prędkości ruchu i czas przebywania cząstek w cylindrze. Badania przeprowadzono dla 5 różnych materiałów

wsadowych i kilku wariantów pracy bębna. Projekt bębna laboratoryjnego wykonano tak, aby występowało podobieństwo geometryczne do instalacji przemysłowej w Katowicach. Jako parametr geometryczny wybrano stosunek długości bębna do jego średnicy, który w przypadku instalacji przemysłowej wynosił 3,17 a dla bębna laboratoryjnego był nieco większy i wynosił 4,21. Liczba Frouda określająca stosunek siły odśrodkowej do siły grawitacji w przypadku bębna przemysłowego wynosiła $1,5 \times 10^{-3}$, a dla urządzenia laboratoryjnego była w zakresie od 10^{-4} do 5×10^{-4} . W obu przypadkach oznacza to pracę w trybie toczenia, który daje dobre warunki mieszania. Podobieństwu instalacji laboratoryjnej służyło pokrycie wnętrza bębna laboratoryjnego warstwą szorstkiego materiału.

Materiałem transportowanym były ścinki drzewne, pellet, kora drzewna, keramzyt oraz mieszanka kory i keramzytu. W tak przygotowanym stanowisku i dla w/w materiałów wykonano szereg wielowariantowych prób przy zmiennych parametrach prędkości obrotowej cylindra i kąta nachylenia do podłoża. Stopień wypełnienia cylindra obrotowego wynosił około 15%. Ilość znacznika w stosunku do całości strumienia materiału wynosi również 15%. Same badania polegały na wprowadzeniu materiału i znacznika oraz na ich pomiarze na wyjściu w funkcji czasu.

Badania laboratoryjne prowadzono w „zimnym” cylindrze obrotowym, w temperaturze pokojowej. Cała analiza uzyskanych wyników bazuje na założonej postaci funkcji Gaussa rozkładu gęstości prawdopodobieństwa czasu przebywania, której parametrami są prędkość unoszenia cząstek u , długość cylindra obrotowego L i współczynnik dyspersji mieszania D . Warto byłoby spróbować wyjaśnić przyjęcie właśnie takiej funkcji dla opisu czasu przebywania, czy wynika to z badań literaturowych, czy może własnych doświadczeń? Przekształcona funkcja gęstości prawdopodobieństwa z bezwymiarowym parametrem Θ staje się zależna od liczby Pecleta określającej stosunek strumienia konwekcyjnego do strumienia dyspersyjnego. W tym miejscu chciałbym zadać pytanie jak zdefiniowany jest parametr Θ i czy ma on jakieś znaczenie fizyczne?

Metoda analizy pomiarów została opisana niezbyt jasno. Należałoby się spodziewać dobrze określonej procedury wykreślenia krzywej rozkładu gęstości prawdopodobieństwa. Czytelnik może mieć problem ze zrozumieniem co wchodzi do programu i jakie dokładnie parametry są mierzone. Warto byłoby także opisać jak podawano znaczniki, czy był to zasyp jednorazowy i jak długo trwał? W jaki sposób określona była chwila $t=0$?

Wybór uzyskanych wyników i ich omówienie znajduje się w podrozdziale 5.5. Dane pomiarowe stanowiły podstawę do wyznaczenia parametrów ruchu złoża. Doktorantka odnotowuje najważniejsze tendencje wśród których prędkość obrotowa wpływa najbardziej na czas przebywania materiału w cylindrze obrotowym. Wpływ prędkości obrotowej jest większy, niż kąta pochylenia cylindra. Najkrótszy czas przebywania zanotowano w wariancie z prędkością obrotową wynoszącą 2 obr/min oraz przy kącie pochylenia cylindra do podłoża – 2 stopnie. Najwolniejszy ruch złoża i najdłuższy czas rezydencji wsadu wystąpił przy najniższej prędkości obrotowej i najmniejszym kącie nachylenia cylindra. Innym wnioskiem wynikającym z badań jest zbliżony charakter obu krzywych (1° i 2° nachylenia) rozkładu gęstości prawdopodobieństwa wariantu z mniejszą prędkością obrotową. Większa prędkość obrotowa skutkowała dużą zmianą kształtu funkcji $E(\Theta)$. Biorąc pod uwagę jako parametr prędkość obrotową, która występowała w dwóch wartościach – 1 lub 2 obr/min – można spostrzec, że przy warunku 1 obr/min przebywanie wszystkich materiałów w cylindrze obrotowym charakteryzowało się większą równomiernością w czasie – wykres funkcji rozkładu „wypłaszczony”. Nie miał na to wpływu kąt pochylenia pieca.

W rozdziale 6 poruszono zupełnie inne zagadnienie, mianowicie wielocelową optymalizację składu spalanego materiału w piecu obrotowym. Doktorantka przedstawiła podstawowe

uwarunkowania pracy instalacji spalania odpadów niebezpiecznych. Należą do nich stan techniczny pieca a szczególnie wymurówki komory spalania, emisja gazów i efektywność ekonomiczna. Każdy z tych czynników związany jest z parametrami chemicznymi odpadów. Zagrożenia wynikające z niewłaściwego doboru materiału wsadowego mogą się przejawiać czasową, ponad dopuszczalną granicę emisję gazów, mogą polegać na zatrzymaniu ruchu odpadów w piecu i awarii pieca. Powyższe zagrożenia wynikają z przekroczenia najważniejszych parametrów materiału wsadowego, czyli wartości opałowej, składu pierwiastkowego a szczególnie chloru oraz pozostałych halogenków, zawartości soli zasadowych, skrajnych wartości pH, łatwopalności. W pracy zaproponowano interesujący pomysł redukcji w/w zagrożeń poprzez dobór optymalnej mieszanki odpadów podawanych do pieca obrotowego. W tym celu opracowano program obliczeniowy, który opiera się na poszukiwaniu minimum funkcji celu zdefiniowanej jako sumę różnic kwadratów wybranych parametrów. Funkcja celu zależy od n -zmiennych, czyli składników wchodzących w skład mieszanki. Poszukiwane jest minimum funkcji ze względu na udział poszczególnych składników. Funkcja osiąga wartość zero, gdy wszystkie średnie poszczególnych parametrów są równe wartościom wzorcowym. Do poszukiwania minimum funkcji celu Doktorantka zastosowała algorytm mrówkowy – jeden z algorytmów sztucznej inteligencji. Algorytm został dostosowany do potrzeb spalarni odpadów, które dysponują zbiorem odpadów o różnych parametrach. Program dobiera masy poszczególnych elementów zbioru odpadów tak, aby wynikowa mieszanka miała wartości najbliższe wzorcowym. Szukanie minimum funkcji celu to właśnie działanie algorytmu mrówek. Algorytm został przez Doktorantkę stosunkowo szczegółowo opisany. Dużo miejsca poświęcono realizacji procedury optymalizacji za pomocą programu na co składa się etap wczytywania danych o odpadach, selekcja odpadów wchodzących w skład mieszanki, dobór mieszanki i ich mas pod kątem wybranych parametrów. Program posiada możliwości doboru kolejnych mieszanek. Zagadnienie jest rzeczywiście niezwykle istotne a narzędzie wydaje się być bardzo obiecujące. Szkoda jednak, że brakuje przykładów i bardziej szczegółowego opisu dochodzenia do rozwiązania optymalnego.

W rozdziale 7 Doktorantka przeprowadziła modelowanie numeryczne odpadów stałych za pomocą Ansysa w połączeniu z własnymi obliczeniami emisji gazów pirolitycznych w złożu. Ponieważ źródłem energii są gorące gazy w górnej części komory obrotowej piroliza zależy od procesu transportu energii od gazu do złoża odpadów. Stąd wynika znaczenie przewodzenia ciepła w złożu dla określenia przebiegu pirolizy. Na podstawie literatury w piecu obrotowym wydzielono trzy strefy o różnej charakterystyce: suszenia, pirolizy i spalania. Korzystając z pomiarów obejmujących temperaturę gazów oraz grubość warstwy złoża odpadów, na podstawie analizy wymiany ciepła w złożu omywanym gazem określono rozkład temperatur i współczynniki przewodzenia ciepła w złożu. Następnie pani A. Wajda podjęła się zagadnienia modelowania spalania i przepływu fazy gazowej w całej instalacji spalania odpadów niebezpiecznych wraz z piecem obrotowym i komorą dopalania. Bardzo ciekawy, ale nie do końca jasno opisany jest sposób uwzględnienia emisji gazów pirolitycznych w programie Ansys Fluent. Obliczenia tym programem bazują na kilku założeniach, z których najważniejsze to emisja gazów z odpadów jako warunek zewnętrzny, warunki wlotowe gazów wynikające z parametrów pracy palnika i warunki brzegowe przyjęte na podstawie parametrów otoczenia. Przyjęte założenie o braku ruchu pieca obrotowego w przypadku modelowania zjawisk w gazach jest zrozumiałe. Geometria jest odzwierciedleniem spalarni odpadów niebezpiecznych. Do obliczeń zastosowano standardowy model przepływu gazów z modelem turbulencji $k-\epsilon$. Istotnym elementem opisu zjawiska przepływu i spalania jest uwzględnienie promieniowania z wykorzystaniem modelu DO oraz reakcje chemiczne. W tym drugim przypadku zastosowano modelowanie reakcji chemicznych za pomocą Finite Rate Dissipation. Wyniki obliczeń przedstawiono na wykresach rozkładu temperatury, prędkości i gęstości w przekroju

pionowym. Temperatura w komorze spalania w obszarze wpływu palnika jest wysoka – powyżej 1000°C, natomiast jej dno zajmowane przez osady jest zimne. Wysoka temperatura panuje również w komorze pośredniczącej, natomiast w komorze dopalania jest zdecydowanie niższa i niejednorodna. Koncentracja CO jest wysoka w końcowej części komory obrotowej, co świadczy o spalaniu podstechiometrycznym. Drugi palnik umieszczony w komorze pośredniczącej służy całkowitemu dopaleniu gazów. W końcowej części tego rozdziału porównano wyniki obliczeń temperatury z wynikami jej pomiarów. Okazało się, że rzeczywiste temperatury różnią się od obliczonych tylko o 20°C w komorze dopalania i o 150°C za piecem obrotowym, co jest akceptowalnym poziomem zgodności. W celu weryfikacji warunków pracy przetestowano jeszcze trzy warianty obliczeń spalania gazów, w których zmieniano wydajność palnika i powietrza. Te wyniki obliczeń wskazują na możliwość zmniejszenia mocy palnika i ograniczenie kosztów przy utrzymaniu warunków spalania odpadów niebezpiecznych.

Uwagi ogólne

Czytając doktorat pani Agaty Wajdy miałem, być może mylne, wrażenie pośpiechu z jakim redagowana była praca. Drugie odczucie związane z lekturą to brak porządku i dbałości o czytelnika. Te moje wrażenia powstały po lekturze, która nie była łatwa, bo w pracy jest stosunkowo dużo pomyłek i drobnych błędów. Sporo jest także zdań o nietypowym szyku wyrazów. Niska jest jakość większości rysunków, które są słabo czytelne i niewyraźne. Inną cechą doktoratu jest luźne powiązanie kolejnych części pracy (podrozdziałów) – gdzie np. jest szczegółowy opis algorytmu a po nim same wykresy bez wyjaśnień i odniesień do poprzedniej części. Zbyt słabo, zbyt mało wyraźnie określa się szczegółowe cele badań a później dosyć pobieżnie przedstawiane są wyniki jakie uzyskano.

Z drugiej strony praca A. Wajdy zawiera i rozwiązuje ważne problemy naukowe, mające istotne podstawy techniczne i zastosowanie praktyczne. Warto więc wymienić przedstawienie sposobu optymalizacji składu odpadów niebezpiecznych wykorzystującego algorytm sztucznej inteligencji, w którym jako kryterium zastosowano udziały wybranych związków chemicznych i wartość opałową. Nowoczesna metoda została wykorzystana do prostej, zdawałoby się, czynności jaką jest przygotowanie paliwa. W efekcie uzyskuje się mieszaninę, która najlepiej spełnia wielowymiarowe wymagania procesu spalania odpadów. Również zagadnienie optymalizowania parametrów przepływowych fazy stałej w cylindrze obrotowym jest oryginalnie postawione i rozwiązywane. Nowoczesny i rozbudowany jest także sposób modelowania gazów w instalacji spalania odpadów, bo wykorzystuje różne narzędzia – własne i komercyjne. Jest to przykład twórczego wykorzystania zaawansowanych programów obliczeniowych poprzez dodanie własnych rozwiązań. Patrząc na to wszystko trochę żal, że tak ciekawe problemy i wykonane badania nie zostały odpowiednio opisane.

Uwagi szczegółowe i pytania

Rozdział 5 opisuje ruch cząstek w zależności od różnych parametrów. Nie pojawia się tam kwestia wielkości cząstki, stąd mam pytanie, czy stosunek wielkości cząstki średnicy do średnicy cylindra może mieć wpływ na czas przebywania cząstek w bębnie? Czy wiadomo jakiej wielkości był materiał wrzucany do cylindra obrotowego. Interesujące jak Doktorantka wyobraża sobie ruch drobnego piasku a jak dużych, kilkucentymetrowych cząstki?

W świetle przeprowadzonych badań ciekawym zagadnieniem jest rodzaj materiału – współczynnik tarcia wewnętrznego materiału, czy przeprowadzono analizę tego parametru? W badaniach wewnątrz cylindra zostało pokryte materiałem ziarnistym. Jak ziarnistość/nierówność powierzchni ścian wpływa na ruch złoża, czego można spodziewać się po gruboziarnistej powierzchni a czego po gładkich ściankach?

W lekturze części rozdziału 5 duży kłopot sprawia opis analizy czasów przebywania cząstek, który z jednej strony jest nawet dosyć objętościowy, z drugiej strony trudno z niego wywnioskować jak Autorka obrabiała wyniki pomiarów. Przydałby się uporządkowany opis procedury wyznaczania parametrów funkcji gęstości prawdopodobieństwa czasu przebywania.

Wielka szkoda, że w pracy nie przedstawiono wykresów wyników pomiarów czasu przebywania dla przeprowadzonych badań, dla wybranych materiałów i różnych wariantów pracy. Wyniki pomiarów Autorka pokazała w tabeli 5.5 jedynie dla jednego wariantu przepływu keramzytu. Takie nieprzetworzone dane mają dużą wartość, bo pokazują złożoność zjawiska a przecież Doktorantka wykonała wiele pracy, pokazując jedynie jej część.

Ciekawe, co jest podstawą do sformułowania znajdującego się na stronie 62, że czas przebywania zależy od gęstości materiału, kąta naturalnego... Trudno było mi znaleźć informacje na podstawie, których sformułowano taką tezę.

W tej części pracy występują pomyłki w oznaczeniu rysunków na stronie 57. W rzeczywistości zestawienie 4 różnych wariantów badań znajduje się na rysunku 5.8 a nie 5.7 jak podano w tekście. Zestawienie 3 różnych materiałów znajduje się na rysunku 5.10 a nie 5.8 jak jest w pracy.

Rozdział 6, który zawiera bardzo ciekawą propozycję optymalizacji składu wsadu jest ubogi w przykłady działania programu. Szkoda, że nie przedstawiono ścieżki dochodzenia do wyniku optymalnego – byłoby to bardzo pouczające. Jednak najbardziej brakuje przykładów zoptymalizowanego składu odpadów. Bardzo proszę o przedstawienie uzyskanych wyników.

Mam też uwagi dotyczące rozdziału 7. Na stronie 90, na podstawie literatury, Autorka dokonała podziału pieca obrotowego na 3 strefy i szczegółowego podziału tych stref, gdzie 1/7 to suszenie, 1/7 odgazowanie a 5/7 zgazowanie i spalanie. Od czego zależy ten podział, czy od parametrów pieca (np. długości) , czy od parametrów materiału wsadowego?

W paru przypadkach ułatwieniem lektury byłyby odpowiednie rysunki. Na stronie 96 znajduje się wzór (7.14), który nie jest dobrze opisany. Co oznaczają wszystkie zmienne tam występujące. W takim przypadku najlepiej byłoby zamieścić rysunek z oznaczeniami. Na stronie 99 w Tablicy 7.6 znajdują się parametry takie jak Tw2,1; Tw2,2, Tw2,3 co one oznaczają? Tutaj też przydałby się rysunek.

Na stronie 101 Doktorantka pisze „... w modelowaniu fazy gazowej przyjęto wyniki badań odgazowania jako procesu z dominującym produktem gazowym..” . Jak to praktycznie zostało zrealizowane? Nieco dalej pisze „model fazy gazowej ujmujący uwalnianie produktów gazowy w podrozdziale 7.4.” – proszę o wskazanie tego miejsca.

Mam też pytanie, czy na podstawie obliczeń i rysunków 7.9 i 7.10 można byłoby odpowiedzieć, czy spaliny spełniają warunek utrzymania odpowiedniej temperatury (850°C albo 1100°C) przez 2 sek,

który określony jest w odpowiednich rozporządzeniach ministerialnych dotyczących spalania odpadów?

Na końcu recenzji zamieściłem niektóre zauważone pomyłki i błędy.

Podsumowanie

Podsumowując stwierdzam, że praca doktorska przedstawiona przez mgr inż. Agatę Wajdę ma charakter naukowy i jest oryginalnym rozwiązaniem zaprezentowanego problemu. W przedstawionej pracy Autorka wykazała się umiejętnościami eksperymentalnymi i wiedzą w dziedzinie pieców obrotowych, a także analizą uzyskanych wyników. Według mojej oceny przedstawiona praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym. Biorąc powyższe wnioskuje o przyjęcie rozprawy doktorskiej mgr inż. Agaty Wajdy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.



Lista niektórych uwag redakcyjnych:

1. Gramatyka zdania zaczynającego się od „Zakres wydajności pieca..” na str. 15
2. Str. 16 powinno być *odsiarczania* zamiast *odsiarczania*
3. Str. 17 zbędne słowo *metody*
4. Str. 22 Szyk w ostatnim zdaniu
5. Str. 23 Szyk w pierwszym zdaniu
6. Str. 27 Powinno być w *stanie* zamiast *stanie*
7. Str. 28 Gramatyka i szyk zdania „ O ile jednak ..”
8. Str. 31 Powinno być *W wyniku ..* zamiast *wyniku*