

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Agnieszki Ochman

pt. „Intensyfikacja procesów ciepłych w wymiennikach poprzez modyfikacje
kształtu powierzchni czynnych”

1. Podstawa opracowania

Podstawą opracowania recenzji było pismo Zastępcy Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej dr hab. inż. Bartosza Zajączkowskiego, prof. PWr wynikające z uchwały Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej z dnia 15 marca 2023 roku.

2. Informacje ogólne

Oceniana praca doktorska wykonana została na Wydziale Mechaniczno-Energetycznym Politechniki Wrocławskiej pod opieką Pana dr hab. inż. Sławomira Pietrowicza, prof. uczelni, pełniącego w przewodzie doktorskim obowiązki promotora.

Praca doktorska liczy łącznie 110 stron tekstu zasadniczego i zawiera 6 rozdziałów (str. 10-87), które poprzedza spis treści (str. 4-6) oraz wykaz ważniejszych oznaczeń (str. 7-9). Pracę doktorską kończy natomiast wykaz literatury (str. 88-94), zawierający 84 pozycje reprezentatywne dla tematu dysertacji, z których Doktorantka jest współautorem czterech prac, spis rysunków (str. 95-98), spis tablic (str. 99) oraz 5 dodatków (Dodatek A „Pokrywa do pomiarów prędkości, Dodatek B „Temperatura odbitego promieniowania podczerwonego, Dodatek C „Parametry geometryczne

Wydział Mechaniczno-Energetyczny
481P4/412/2023

Wpłynęło dnia 13.06.231.

modelu numerycznego, Dodatek D „Wizualizacje pól prędkości, Dodatek E „Wizualizacje pól temperatur).

3. Ocena problematyki badawczej

Rozprawa doktorska dotyczy badań powiększania wartości współczynnika przejmowania ciepła przez zrywanie laminarnej warstwy przyściennej za pomocą tzw. turbulizatorów. Intensyfikacja wymiany ciepła przez powiększenie współczynnika przejmowania ciepła umożliwia poprawę sprawności izotermicznej wymienników ciepła, przez co pozwala między innymi na zmniejszanie ich gabarytów, ograniczenie zużycia energii, a tym samym obniżanie kosztów ich produkcji oraz eksploatacji. Ma to bardzo istotne znaczenie ze względu na rosnące zapotrzebowanie na energię oraz szkodliwe skutki jej wytwarzania, co skłania nas do poszukiwania oszczędności energii w celu zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego.

Jednym ze sposobów intensyfikacji wymiany ciepła jest podwyższenie wartości współczynnika przejmowania ciepła. Efekt ten można uzyskać stosując różne zabiegi, a jedną z takich metod jest zastosowanie elementów konstrukcyjnych mających istotny wpływ na zjawiska ciepłno-przepływowe. Spowodowało to powstanie wielu konstrukcji, z których kilka zostało wybranych przez Doktorantkę i poddanych badaniom. Badania tego rodzaju, choć stosunkowo popularne mają charakter rozpoznawczy. Z uwagi na złożoność procesów zachodzących podczas zrywania warstwy przyściennej analiza intensyfikacji procesów cieplnych jest trudna i wymaga skomplikowanych badań. W przedstawionej mi do recenzji dysertacji zostały zamieszczone wyniki badań eksperymentalnych oraz przeprowadzonych analiz numerycznych dotyczących badania wpływu turbulizatorów o różnym kształcie na procesy ciepłno-przepływowe przy opływie płaskiej płyty ogrzewanej. Posługując się stanowiskiem laboratoryjnym oraz modelowaniem numerycznym Doktorantka określiła stopień intensyfikacji wymiany ciepła, a uzyskane wyniki zweryfikowała z dotychczas stosowanymi metodami. Na szczególne podkreślenie zasługuje weryfikacja eksperymentalna założeń modelu obliczeniowego z zastosowaniem metody badawczej, co znacząco podnosi wartość pracy.

Biorąc pod uwagę fakt, że dotychczasowa wiedza na temat analizowanych zjawisk nie jest pełna, a także ponieważ istnieje konieczność dalszego zwiększenia efektywności energetycznej wymienników ciepła (do czego niewątpliwie przedstawione wyniki badań prowadzą), należy stwierdzić, że **tematyka pracy doktorskiej mgr inż. Agnieszki Ochman jest ważna i aktualna**. Wymaga ona szerszego rozpoznania zarówno teoretycznego jak i praktycznego, począwszy od badań laboratoryjnych, aż do wdrożeń w większych skalach. Aktualność podjętej tematyki potwierdza również duża ilość publikacji naukowych z ostatnich lat cytowanych w pracy.

4. Cel i zakres pracy

Celem pracy było udowodnienie tezy w brzmieniu: „Zastosowanie turbulizatorów powoduje lokalne zmiany struktury przepływu, co skutkuje zwiększeniem współczynnika przejmowania ciepła”.

Udowodnienie tak postawionej tezy Doktorantka uzyskała poprzez realizację założonego planu pracy, obejmującego zarówno część praktyczno-doświadczalną, jak również część teoretyczno-obliczeniową. Zarówno wyniki rozważań teoretycznych, skomplikowanych symulacji CFD jak również praktycznego eksperymentu pozwoliły na wykazanie istnienia zależności pomiędzy wewnętrznym polem przepływu oraz warunkami wymiany ciepła a zastosowaną geometrią turbulizatora. Porównanie modeli teoretycznych liczby Stanton'a do wartości otrzymanych w przeprowadzonych eksperymentach wykazały intensyfikację wymiany ciepła pomiędzy podgrzewaną płytą a omywającą ją powietrzem, co dodatkowo potwierdziły przeprowadzone symulacje numeryczne.

5. Formalna charakterystyka pracy

We Wstępie w podrozdziale 1.1 zatytułowanym „Przełomowość zaproponowanego rozwiązania” Doktorantka wskazuje zidentyfikowane ograniczenia związane z obecnie stosowanymi metodami badawczymi podczas analiz procesów cieplno-przepływowych. Pierwszym wskazanym ograniczeniem jest punktowy lub uśredniony pomiar temperatury za pomocą termopar. Jako rozwiązanie tego problemu wskazano możliwość pomiaru powierzchni płyty za pomocą kamery termowizyjnej. Kolejnym ograniczeniem jest zastosowanie do budowy turbulizatora elementów metalowych co powoduje dodatkowo zwiększenie powierzchni wymiany ciepła oraz zmianę charakteru przepływu z laminarnego na turbulentny. Jako rozwiązanie zaproponowaną użycie turbulizatora wykonanego z materiału o niskim współczynniku przewodzenia ciepła. W podrozdziale 1.2 zostały określone cel, teza i cele pomocnicze pracy. Jako cel została wskazana analiza wpływu geometrii turbulizatorów na procesy intensyfikacji wymiany ciepła z powierzchni czynnej wymiennika w kontekście zwiększenia lokalnego współczynnika przejmowania ciepła. Celem pracy było udowodnienie tezy w brzmieniu: „Zastosowanie turbulizatorów powoduje lokalne zmiany struktury przepływu, co skutkuje zwiększeniem współczynnika przejmowania ciepła”. Zdefiniowane cele pomocnicze dotyczyły:

- Określenia na podstawie studiów literaturowych geometrii turbulizatorów, ich ustawienia, kąta natarcia i pochylenia.
- Zaprojektowania oraz wykonania stanowiska badawczego: „Tunel powietrzny”, umożliwiającego uzyskanie jednorodnego profilu prędkości na wlocie do sekcji badawczej.

- Przeprowadzenia badań eksperymentalnych dla różnych geometrii turbulizatorów oraz prędkości przepływu czynnika roboczego.
- Opracowanie modelu numerycznego procesu oraz jego walidację przy pomocy wyników eksperymentalnych.
- Analizie otrzymanych wyników za pomocą wybranych parametrów cieplnych oraz liczb bezwymiarowych, w celu potwierdzenia intensyfikacji procesów cieplnych po zastosowaniu turbulizatorów.

W rozdziale drugim Doktorantka dokonała krótkiego wprowadzenia do podjętej tematyki omawiając problemy związane z wymianą ciepła na powierzchni płaskiej. Zostały omówione definicje hydrodynamicznej i termicznej, oraz laminarnej i turbulentnej warstwy przyściennej. Opisane zostały również mechanizmy związane z przewodzeniem ciepła w warstwie przyściennej. Wskazano, że mechaniczne zaburzenie termicznej warstwy przyściennej powoduje intensyfikację wymiany ciepła. W rozdziale 2.1.4 Autorka wykazuje, że liczba Stanton'a lepiej opisuje związki pomiędzy wymianą ciepła a wymianą pędu niż liczba Nusselta. W podrozdziale 2.2 krótko zostały opisane metody intensyfikacji wymiany ciepła w wymiennikach.

Rozdział trzeci poświęcony jest omówieniu wykorzystania zmiany struktury powierzchni na wymianę ciepła. Doktorantka wskazuje, że badanie tych zagadnień rozpoczęło się w latach 70 i 80 XX wieku. Nie jest to do końca prawdą, gdyż można znaleźć prace datowane na lata 50 i 60 XX wieku autorów takich jak Heller, Forgo, Madejski, Norkin, którzy zajmowali się turbulizacją warstwy przyściennej. W kolejnym podrozdziale (3.1) opisano zasadę działania turbulizatora oraz parametry które mają wpływ na charakter przepływu z zainstalowanym turbulizatorem. Omówione w tym rozdziale zostały podstawowe kształty stosowanych rozwiązań, ich konfiguracji oraz wpływ jaki mają na intensyfikację wymiany ciepła oraz spadek ciśnienia. W podrozdziale 3.2 opisano wybrane do badań rozwiązania geometryczne oraz ich konfigurację. Wątpliwości budzą przesłanki wyboru takich a nie innych rozwiązań, gdyż w moim odczuciu zaprezentowany przegląd literatury nie uzasadnia wystarczająco dokonanego wyboru.

Rozdział 4 poświęcony został opisowi przeprowadzonego badania doświadczalnego. Opisane zostało stanowisko laboratoryjne, w tym szczegółowa budowa jego poszczególnych sekcji. Zbudowany tunel powietrzny pozwolił na zachowanie jednorodnych profili prędkości i temperatury powietrza na wlocie do sekcji pomiarowej. W budowie tunelu zastosowane zostały sekcje zasysania, kształtowania strugi i wyrównania przepływu oraz sekcję badawczą i wylotową. Najważniejszym elementem prowadzonych badań była analiza cieplno-przepływowa zjawisk zachodzących przy powierzchni podgrzewanej powierzchni płaskiej wyposażonej w turbulizatory o różnych kształtach. Dolne powierzchnie płyty zostały wyposażone w termopary pomiarowe. Turbulizatory zostały wyprodukowane w technologii wydruku 3D SLA i były mocowane na płycie pomiarowej za pomocą

magnesów. Kolejne podrozdziały dotyczyły opisu układu pomiarowego w tym w szczególności układów:

- pomiaru temperatury
- pomiaru strumienia ciepła
- pomiaru prędkości powietrza
- ciśnienia
- wilgotności powietrza
- przepływu czynnika chłodniczego

Podrozdział 4.2 dotyczy omówieniu procedury przeprowadzenia badań laboratoryjnych. Pierwszym punktem badań było wyznaczenie profilu prędkości na wlocie do sekcji badawczej dla minimalnej i maksymalnej mocy wentylatora. Pomiar wykazał poprawność wykonania dyszy Witoszyńskiego, zastosowanej w celu uzyskania równomiernego profilu prędkości powietrza na wlocie do sekcji badawczej. Następnie zaprezentowany został sposób określenia grubości warstwy przyściennej. Wysokość warstwy przyściennej została wyliczona przy użyciu napisanej przez Ye Chenga aplikacji Boundary Layer App w środowisku MatLab. Wykazane zostało, że dla obu analizowanych prędkości strugi występuje laminarna warstwa przyścienna. W podrozdziale 4.2.3 przedstawiono bilans cieplny płyty grzewczej. W bilansie uwzględnione zostały straty radiacji co pozwoliło na pominięcie procesów radiacyjnych w trakcie modelowania numerycznego. W podrozdziale 4.3 Doktorantka opisała przebieg pomiaru temperatury płyty płaskiej za pomocą kamery termowizyjnej. Rozdział ten jest o tyle istotny, że sposób pomiaru został wskazany w rozdziale 1 jako nowatorski. Szczegółowo opisano sposób prowadzenia pomiaru, wykorzystania do obróbki oprogramowania IRSoft firmy Testo oraz wykorzystania Excela do dalszej obróbki wyników. W pomiarach termowizyjnych została uwzględniona emisyjność analizowanej powierzchni oraz temperatura odbitego promieniowania podczerwonego. W podrozdziale 4.4 opisano metodologię prowadzenia pomiarów, w tym w 4.4.1 opracowane procedury na stanowisku badawczym, w 4.4.2 zebrano w tabeli wyniki pomiaru temperatury otoczenia i wilgotności a w 4.4.3 zdefiniowano dokładność i niepewność pomiarową.

W rozdziale 4.5 Doktorantka przedstawiła wyniki analiz doświadczalnych. Do analizy i prezentacji wyników wykorzystane zostały skrypty napisane w środowisku MatLab. Umożliwiły one analizę temperatury płyty za pomocą zdjęć wykonanych w termowizji. Analiza zdjęć wykazała występowanie różnic w temperaturze płyty w zależności od zastosowanej geometrii turbulizatora oraz prędkości przepływu strugi. Najefektywniej przepływ zaburzany był przez pełny turbulizator prostokątny, co skutkowało najlepszym odbiorem ciepła od płyty. W celu wyeliminowania wpływu temperatury powietrza wlotowego wprowadzono definicję temperatury bezwymiarowej, która pozwoliła wyeliminować wpływ zmian temperatury na wlocie do układu pomiarowego. W kolejnym podrozdziale przeprowadzona została analiza liczby Stanton. Uzyskane dla wyników z eksperymentu

wartości bezwymiarowej liczby Stanton miały wyższe wartości w porównaniu do modeli teoretycznych. Wykorzystane modele teoretyczne (6 modeli) charakteryzowały liczbę Stanton dla przepływów nad ogrzewaną płaską płytą bez turbulizatorów. Porównanie wyników z doświadczenia z wynikami dla modeli teoretycznych pozwoliło potwierdzić intensyfikację wymiany ciepła po zastosowaniu turbulizatorów.

Kolejną część pracy doktorskiej stanowi Rozdział 5 zawierający opis przeprowadzonego modelowania numerycznego CFD. Do obliczeń zastosowany został system ANSYS FLUENT wykorzystujący metodę objętości skończonej do rozwiązywania równań zachowania masy, pędu i energii ściśliwego gazu z wykorzystaniem trzech modeli turbulencji RANS:

- k-omega SST
- Transition-k-kl-omega
- Reynolds Stress

Opracowany został model geometryczny stanowiska badawczego uwzględniający płytę grzewczą z zainstalowanymi turbulizatorami. Wygenerowana została siatka numeryczna, która prawdopodobnie w zależności od użytych geometrii turbulizatorów zmieniała się w zakresie od ok. 2,5 do 2,6 miliona elementów. Przy ściankach płyty oraz turbulizatorów zastosowana została warstwa inflacyjna. Ze względu na niejasności związane z wygenerowaną siatką sformułowane zostały pytania na które oczekuję odpowiedzi od Doktorantki. Opisane zostały również warunki brzegowe, przyjęte założenia upraszczające oraz własności termofizyczne materiałów. Otrzymane z analiz numerycznych wyniki rozkładu temperatury różnią się dość znacznie od wyników z badań eksperymentalnych. Jako prawdopodobną przyczynę wskazane zostało nierównomierne nagrzewanie się płyt, spowodowane montażem dwóch grzałek. W dalszej części rozdziału 5 przeanalizowane zostały następujące wyniki:

- procentowej odchyłki temperatury,
- rozkładu parametru y^+ na powierzchni płyty,
- rozkładu prędkości wzdłuż osi przepływu,
- wizualizacji ścieżki przepływu cząstek (strugi powietrza) i linii prądu przy opływie turbulizatora,
- rozkładu temperatury.

Na koniec rozdziału 5 zbadany został wpływ materiału turbulizatora na przenoszenie ciepła. Wykazano, że zastosowanie metalowych turbulizatorów ma znikomy wpływ na intensyfikację wymiany ciepła.

Ostatni rozdział (Rozdział 6) zawiera formalne podsumowanie pracy, oraz wykaz wniosków które potwierdziły osiągnięcie celów i dowiedzenia tezy pracy. Podsumowanie zakończono listą planowanych pięciu badań które pozwolą rozszerzyć wyniki analiz zaprezentowanych w dysertacji.

6. Ocena pracy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska stanowi interesującą pracę o dobrym poziomie merytorycznym i dużym znaczeniu w kontekście poszerzenia wiedzy na temat intensyfikacji wymiany ciepła przez powiększenie wartości współczynnika przejmowania ciepła.

6.1 Główne osiągnięcie Autora

Za najważniejsze osiągnięcia Doktorantki uważam:

- Podjęcie trudnej próby zdefiniowania wpływu zastosowania turbulizatorów na intensywność wymiany ciepła pomiędzy czynnikiem roboczym a ogrzewaną płytą płaską. W mojej ocenie Doktorantka w pełni wywiązała się z podjętego, określonego celem i tezą zadania. Wyczerpująco zrealizowała założony zakres prac, wykonując rewizję dotychczasowych zasad wyznaczania współczynnika wnikania ciepła przeprowadzając weryfikację eksperymentalną założeń modelu z zastosowaniem metody badawczej oraz poprzez modelowanie numeryczne. Dzięki identyfikacji kluczowych czynników wpływających na współczynnik wnikania ciepła możliwe było poszerzenie wiedzy na temat możliwości poprawy wykorzystania wymienników ciepła.
- Wykorzystanie kamery termowizyjnej do pomiaru temperatury powierzchni płyty a tym samym uniknięcie ograniczenia (często spotykanego w literaturze) wynikającego z punktowego lub uśrednionego pomiaru temperatury przy wykorzystaniu termopar.
- Opracowanie koncepcji, wykonanie i wykorzystanie do pomiarów cieplnych stanowiska laboratoryjnego z sekcją badawczą, pozwalającego na przeprowadzenie eksperymentu.
- Opracowanie modelu numerycznego wykorzystującego program ANSYS FLUENT oraz próba walidacji uzyskanych wyników za pomocą wyników eksperymentalnych.

6.2 Uwagi krytyczne

Praca przygotowana została prawidłowo, cel i teza pracy są jasne, tok prac zmierzających do ich udowodnienia są czytelne i prawidłowe, jednakże w trakcie szczegółowej lektury rozprawy doktorskiej można znaleźć elementy mogące wymagać dodatkowego wyjaśnienia lub dyskusji. Poniższe uwagi krytyczne nie umniejszają mojej pozytywnej oceny merytorycznej rozprawy.

- W pracy Autorka pisze, że „parametry siatki i jej jakość wpływały na przeprowadzone symulacje oraz analizę otrzymanych wyników”. Poza podaniem ilości elementów nie pokazano żadnych informacji na temat jakości siatki. Jakie kryteria były sprawdzane (np.

minimalny kąt ortogonalności, maksymalny współczynnik proporcji, maksymalny współczynnik ekspansji siatki itp.)? Czy był badany wpływ gęstości siatki, rozmiaru elementu na uzyskane wyniki? Czy siatka w obszarze za turbulizatorami była dodatkowo zagęszczana?

- W pracy Doktorantka pisze o „szczególnym znaczeniu warstwy przyściennej” i „zagęszczaniu siatki za pomocą warstw inflacyjnych”. Jednak również w tym przypadku nie został opisany sposób przygotowania siatki w tych obszarach. W podrozdziale 5.5.1 została przeprowadzona analiza parametru y^+ , jednak oczekuję wyjaśnień czy ten parametr był uwzględniony na etapie projektowania siatki numerycznej? Jeśli tak to w jaki sposób (grubość pierwszej warstwy, liczba warstw warstwy inflacyjnej, wartość parametru y^+ w podwarstwie laminarnej, buforowej i burzliwej w której powinien zależeć od liczby Reynoldsa dla badanego zadania)?
- Na stronie 67 Doktorantka pisze że wybrała do analiz modele turbulencji RANS, ponieważ „modele te zostały wybrane ze względu na najlepsze dopasowanie wyników numerycznych z doświadczeniem...”, „... najlepsze odzwierciedlenie charakteru przepływu i zaburzeń...”. Z dalszej treści nie wynika że były analizowane inne modele turbulencji. Na stronie 69 jest informacja o wyborze modeli na podstawie analizy literatury a na stronie 87 jest wprost informacja o planowanym rozszerzeniu badań o „wykonanie modelowania numerycznego z wykorzystaniem innych modeli turbulencji”. Proszę o wyjaśnienie tej kwestii.
- Turbulizatory wykonywane były w metodzie druku 3D. Czy powierzchnia tych elementów była poddana dodatkowej obróbce? Czy sposób produkcji (np. chropowatość i nierównomierność powierzchni) mógł mieć wpływ na uzyskane w doświadczeniu wyniki?
- Na stronie 11 Doktorantka pisze, że jednym z celów pomocniczych było „określenie na podstawie studiów literaturowych geometrii turbulizatorów, ich ustawienia, kąta natarcia i pochylenia”. W rozdziale 3.2 na stronie 22 z kolei pisze, że głównymi wyznacznikami geometrii turbulizatora są „proces i koszt jego produkcji, wpływ na wymianę ciepłą oraz generowanie spadków ciśnienia”. Po zapoznaniu się z przedstawioną pracą nie doszukałem się jednoznacznej informacji na temat powodu wyboru przyjętych do badań geometrii turbulizatorów, ich ustawienia, kąta natarcia i pochylenia czy wymiarów oraz prędkości przepływu powietrza. Proszę o wyjaśnienie tej kwestii.

6.3 Inne uwagi oraz uwagi edytorskie

Poniższe uwagi natury edytorsko-redakcyjnej nie mają żadnego negatywnego wpływu na wartość merytoryczną ocenianej pracy doktorskiej. Wskazanie tych uwag ma za zadanie pomóc w doskonaleniu warsztatu i może być przydatne w dalszej pracy naukowej Doktoranta przy pisaniu i redagowaniu publikacji.

- Podrozdział 1.1 rozpoczyna się od informacji o przeprowadzeniu przeglądu literatury w celu zidentyfikowania ograniczeń obecnie stosowanych metod badawczych. Ograniczenia te zostały wytypowane w tabeli 1.1, jednak nie zacytowano żadnej pozycji literaturowej!
- Opis skrótów użytych na rysunkach 4.25 do 4.28 jest niepełny (w tekście opisującym te rysunki). Pojawia się on później (str. 54) ale w kontekście rysunków 4.29-4.33.
- W kilku przypadkach opis wyników prezentowanych na rysunkach znajduje się przed rysunkami (np. 4.29-4.33). Opis taki z zasady powinien być umieszczany za rysunkami do których się odnosi.
- W spisie oznaczeń : A- „powierzchnia, m²” sugeruje się zmianę na „pole powierzchni, m²”, ciepło właściwe ma jednostkę J/(kgK) natomiast na stronie 16 - kJ/(kgK)
- Str. 82 współczynnik przewodzenia ciepła ma jednostkę W/mK powinno być W/(mK) (4x)
- Niektóre rysunki są zbyt małe a przez to mało czytelne (4.25-4.28, 5.5-5.6)
- Brak zdjęć termowizyjnych płyty z zamontowanymi turbulizatorami z otworami
- Tytuł podrozdziału 5.3 Warunki początkowe i brzegowe, założenia modelu lepiej zapisać jako: Warunki brzegowe i założenia modelu (warunki początkowe są uwzględniane dla zadań niestacjonarnych)
- Należy uporządkować literaturę, albo w kolejności cytowania w tekście, albo w kolejności alfabetycznej. Kolejność cytowania jest zachowana do pewnego momentu.

7. Wniosek końcowy

W oparciu o przedstawioną mi do recenzji rozprawę doktorską stwierdzam że mgr inż. Agnieszka Ochman wykazała samodzielność w prowadzeniu badań naukowych, umiejętność prezentowania ich wyników oraz prawidłowego wyciągania wniosków.

Moje uwagi o charakterze krytycznym nie podważają głównego celu pracy ani podstaw jej podjęcia.

Na podstawie przedstawionej do oceny rozprawy stwierdzam że jej autorka mgr inż. Agnieszka Ochman wykazała kompleksowe opanowanie podstaw teoretycznych w obszarze związanym z pracą, umiejętności formułowania zadania naukowego, znajomość stanu osiągnięć w obszarze wiedzy związanej z pracą oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia badań.

Doktorantka przedstawiła oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, zrealizowała w całości zakres planowanych badań i osiągnęła w recenzowanej rozprawie założone cele.

Dodatkowo stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Agnieszki Ochman pt. „Intensyfikacja procesów cieplnych w wymiennikach poprzez modyfikacje kształtu powierzchni czynnych” prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.

Tym samym rozprawa doktorska odpowiada warunkom określonym w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami) i **stawiam wniosek o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.**

.....
Piotr Dzierwa