

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. Bartosza Gil
pt. „Badanie możliwości wykorzystania wybranych czynników chłodniczych w
strumieniowym, kompaktowym klimatyzatorze z napędem słonecznym”

1. Informacje ogólne

Praca wykonana została na Wydziale Mechaniczno-Energetycznym Politechniki Wrocławskiej pod kierunkiem promotora dr hab. inż. Jacka Kasperskiego, prof. Politechniki Wrocławskiej. Pracę opublikowano jako raport serii PREPRINT nr 7/2015 na Wydziale Mechaniczno-Energetycznym PWr.

Recenzję opracowano w oparciu o decyzję Rady Wydziału Mechaniczno-Energetycznego PWr z dnia 28.10.2015 r.

Praca doktorska została przedstawiona na 143 stronach i zawiera dwanaście rozdziałów, które poprzedza spis treści i wykaz ważniejszych oznaczeń, kończy natomiast załącznik 1, spis rysunków (60 pozycji) i spis tabel (19 pozycji) oraz wykaz literatury (201 pozycji).

2. Omówienie treści pracy

Pracę rozpoczyna spis treści i wykaz ważniejszych oznaczeń.

W rozdziale pierwszym (3 strony) zatytułowanym *Wstęp*, Autor omawia genezę rozważanego problemu w szczególności koncentrując się na solarnych systemach chłodniczych twierdząc, że *wzrastająca troska o środowisko naturalne odnowiła zainteresowanie wszelkimi urządzeniami chłodniczymi z napędem słonecznym*. W podsumowaniu rozdziału pisze, że jednym z celów pracy doktorskiej jest *zwrócenie uwagi na zagadnienie doboru czynnika roboczego do strumieniowego systemu chłodniczego z napędem cieplnym, realizowanego za pomocą kolektorów słonecznych*.

WS/PW/041/2016

Wydział Mechaniczno-Energetyczny

Rozdział drugi (7 stron) nosi tytuł *Strumienice*. Opisano w nim budowę oraz zasadę działania strumienicy, przedstawiono teoretyczne rozkłady ciśnienia i prędkości w czasie pracy ustalonej, zaprezentowano strumienicę z mieszaniem stałociśnieniowym oraz z mieszaniem w komorze o stałym polu przekroju. Dodatkowo zdefiniowano efektywność pracy urządzenia. W podrozdziale pt. *System strumienicowy* Doktorant opisał oraz pokazał schemat podstawowego obiegu strumienicowego oraz zdefiniował współczynniki efektywności chłodniczej COP strumienicowego systemu chłodniczego. Następnie zdefiniował parametry pracy oraz dokonał podziału obiegów strumienicowych, głównie dzieląc je na dwa typy: pompowe oraz grawitacyjne.

Rozdział trzeci (6 stron) pt. *Stan badań w literaturze światowej* Autor poświęcił ciekawemu podsumowaniu globalnych trendów odnośnie badań oraz analiz omawianego urządzenia na podstawie literatury światowej. Przeanalizował następujące zakresy tematyczne:

- modelowanie matematyczne pracy strumienic;
- praca obiegów strumienicowych dla różnych czynników roboczych;
- wspomaganie pracy obiegów sprężarkowych i absorpcyjnych poprzez zastosowanie strumienic;
- obiegi strumienicowe współpracujące z kolektorami słonecznymi;
- wykorzystanie metod CFD do modelowania obiegów strumienicowych;
- wpływ geometrii elementów składowych na efektywność pracy;
- inne rozwiązania z wykorzystaniem strumienicy lub obiegu strumienicowego.

Doktorant wyselekcjonował oraz przeanalizował wybrane prace o tematyce obiegów strumienicowych, związane z analizami strumienic oraz układów chłodniczych, ich konstrukcji i parametrów pracy, szczególnie uwzględniając konstrukcje wykorzystujące energię słoneczną.

W rozdziale czwartym (9 stron) pt. *Modele obliczeniowe strumienic chłodniczych* Doktorant poddał analizie i opisał modele matematyczne wykorzystane do obliczeń parametrów pracy strumienicy w układzie chłodniczym. Na początku skupił się na modelu zerowymiarowym dla przepływów jednofazowych gazów idealnych, a następnie rzeczywistych (najczęściej gaz przegrzany). W dalszej części opisał stan wiedzy odnośnie modelowania procesów dla przepływów dwufazowych, w tym przypadku modelu jednowymiarowego. Wspomina także o modelowaniu procesów ciepło-przepływowych przy wykorzystaniu metod typu CFD. Na zakończenie

rozdziału Autor stwierdza i uzasadnia, że do celów związanych z realizacją pracy doktorskiej jednowymiarowy model pracy strumienicy jest wystarczający.

W rozdziale piątym (6 stron) dotyczącym *Kryteriów doboru czynników roboczych* do pracy w strumienicowym układzie chłodniczym Autor definiuje szereg cech oraz właściwości fizykochemicznych, jakie powinny spełniać czynniki. Następnie Doktorant opisuje czynniki chłodnicze stosowane na przestrzeni lat. Rozdział kończy analizą czynników chłodniczych wykorzystanych w chłodniczych obiegach strumienicowych.

Uzasadnienie podjęcia tematu pracy doktorskiej zostało opisane w rozdziale szóstym (2 strony).

W rozdziale siódmym (1 strona) Doktorant w bardzo zwartej formie definiuje cel, tezy oraz zakres pracy. Píše, że celem rozprawy jest „*opracowanie modelu matematycznego oraz badania eksperymentalne parametrów pracy strumienicowego, kompaktowego klimatyzatora z napędem słonecznym przy zastosowaniu wybranych czynników chłodniczych z grupy węglowodorów albo rozpuszczalników organicznych*”. Teza, jaką postawił Autor, została sformułowana następująco: *Możliwa jest realizacja strumienicowego, kompaktowego klimatyzatora z napędem słonecznym przy zastosowaniu wybranych czynników chłodniczych, w szerokim zakresie temperatur pary napędowej i przy małym napełnieniu*. Zakres pracy doktorskiej został opisany w ośmiu punktach, które pokrywają się z rozdziałami zawartymi w dysertacji.

Kompaktowy chiller małej mocy z chłodniczym obiegiem strumienicowym to tytuł rozdziału 8, w którym pokazano i opisano zgłoszoną przez Doktoranta w Urzędzie Patentowym Rzeczypospolitej Polskiej pod numerem P400644 propozycję konstrukcji kompaktowego chillera małej mocy z zastosowaną strumienicą.

Dalsza część pracy dotyczy *Analiz obiegów strumienicowych dla wybranych czynników roboczych* (rozdział 9 składający się 21 stron). W pierwszej części tego rozdziału Doktorant opisuje jednowymiarowy model obliczeniowy strumienicy działającej w trybie krytycznym. Model został opracowany na podstawie pracy [78] Huang B.-J. et. al *A 1-D analysis of ejector performance*. International Journal of Refrigeration 22 (1999) 354-64 i wykorzystuje osiemnaście równań przypisanych poszczególnym sekcjom strumienicy zdefiniowanych na rys. 9.1 (strona 43). Opracowanie opisanego wcześniej modelu matematycznego strumienicy miało na celu przygotowanie procedur numerycznych służących do *weryfikacji możliwości zastosowania nowych, nierozważanych dotychczas czynników w chłodniczym układzie strumienicowym* (podrozdział 9.2, pt. *Czynniki do analizy*). Autor bardzo wnikliwie analizuje dwie grupy

potencjalnych czynników. Pierwsza grupa to węglowodory tzw. wyższe jak: propan (R290), butan (R600), izobutan (R600a), n-pentan (R601), izopentan (R601a), n-heksan (R602), izoheksan (R602a), heptan (R603) i oktan (R604), drugą grupę stanowią ogólnodostępne rozpuszczalniki organiczne: aceton, benzen, cyklopentan, cykloheksan i toluen. Dodatkowo w celach głównie porównawczych przeanalizował wybrane niepalne, syntetyczne czynniki chłodnicze jak: R236ea, R236fa, R245ca, R245fa, R365mfc oraz RC318.

Wyniki analiz modelowych przedstawiono w podrozdziale 9.3. Obliczenia przeprowadzono dla następujących temperatur pracy obiegu: parowacz +10°C, skraplacz +40°C, wytwornica pary +70÷120°C.

Pierwszym parametrem poddanym analizie jest stosunek kompresji i ekspansji. Parametr ten dla różnych czynników został pokazany na rys. 9.4 oraz opisany w tabeli 9.2. Następnie Doktorant przeanalizował efektywność działania strumienicy oraz efektywność cieplną obiegu strumienicowego. W tym celu zdefiniował podstawowe parametry efektywności pracy obiegów strumienicowych, jak stosunek eejkcji oraz efektywność cieplną obiegu i przeprowadził ich analizę w zakresie temperatur wytwornicy pary od 65 do powyżej 175 °C. W przypadku węglowodorów najwyższe wartości eejkcji, około 0.56, uzyskano dla izo-heksanu, natomiast maksymalna efektywność cieplna obiegu wyniosła około 0.32 dla izo-butanu. Dla rozpuszczalników organicznych wartości eejkcji były wyższe i dla najwyższych analizowanych temperatur wynosiły około 0.59 dla cyklopentanu, także dla tego samego czynnika odnotowano najwyższe wartości efektywności cieplnej obiegu - powyżej 0.35. Niższe wartości eejkcji uzyskały syntetyczne czynniki chłodnicze, np. dla czynnika R123 wartość ta wyniosła około 0.42, także efektywności cieplne obiegu są niższe od wcześniejszych analizowanych czynników i wynoszą maksymalnie 0.28 dla czynnika R123.

Autor dysertacji obliczył także efektywności mechaniczne (pompowe) obiegów strumienicowych dla analizowanych wcześniej czynników. Efektywność mechaniczna obiegu zdefiniowana jako stosunek mocy chłodniczej uzyskanej w parowaczu do mocy zużywanej przez pompę obiegową osiąga wartości zdecydowanie wyższe od wartości sprawności cieplnych obiegu i tak dla węglowodorów wyższych dochodzą one do 108 (n-pentan) dla rozpuszczalników organicznych to ponad 250 (aceton), dla czynników syntetycznych to około 130 (R141b).

Rozdział 10 (38 stron) pt. *Badania procesów wrzenia alternatywnych czynników chłodniczych dla obiegów strumienicowych* jest najobszerniejszym rozdziałem

dysertacji. Na początku rozdziału Doktorant opisuje klasyczny proces wrzenia odwołując się do badań S. Nukiyamy z 1934 roku (choć brak publikacji tego autora w bibliografii). Pokróćce przedstawione zostały poszczególne fazy wrzenia, tzn. konwekcja naturalna, wrzenie pęcherzykowe, obszar przejściowy i wrzenie błonkowe, oraz podane ważniejsze korelacje dotyczące wrzenia pęcherzykowego, takie jak:

- a. Korelacja zredukowanego ciśnienia Mostinskiego;
- b. Korelacja zredukowanego ciśnienia Gorenflo;
- c. Korelacja zredukowanego ciśnienia Coopera z uwzględnieniem chropowatości powierzchni;
- d. Metoda oparta na wzorze Bogdanowa;
- e. Korelacja Stephana i Abdelsalama;
- f. Korelacja Junga.

Autor stwierdza, że w literaturze światowej dotyczącej zagadnienia wrzenia brak jest jednak badań nad substancjami rozważanymi w niniejszej pracy.

W dalszej części Doktorant opisuje stanowiska oraz procedury badawcze wykorzystane w trakcie realizacji pracy doktorskiej. Pierwsze stanowisko służyło do badań eksperymentalnych procesu wrzenia na powierzchni płaskiej (wrzenie czynnika w dużej objętości). Głównym elementem stanowiska była rura szklana o średnicy 77 mm i długości 300 mm, w której podgrzewano dolną powierzchnię. Dodatkowo w górnej wewnętrznej części szklanej rury zamontowano węzownicę pełniącą funkcję skraplacza, w której przepływała woda chłodząca. Zainstalowany element grzewczy pozwalał na płynną regulację mocy w zakresie od 2.5 do 20 W, co przekładało się na generowany na powierzchni strumień ciepła w zakresie 500-4500 W/m². Badania przeprowadzono dla dwóch grup czynników palnych:

- węglowodorów wyższych: pentanu, heksanu, heptanu oraz oktanu;
- ogólnodostępnych rozpuszczalników organicznych: benzenu, toluenu, cykloheksanu oraz metanolu.

Otrzymane wyniki porównano z wymienionymi wcześniej korelacjami oraz dodatkowo uzupełniono klasycznymi zależnościami teoretycznymi zaproponowanymi przez Kutateladze oraz Labuntsova. Doktorant poświęcił także jeden podrozdział analizie niepewności pomiarowych. Rezultaty badań eksperymentalnych zrealizowanych na stanowisku zostały podsumowane w rozdziale 10.3.5. Jak podaje Autor, *wyniki przeprowadzonych badań pokazują, iż proces wrzenia pęcherzykowego substancji analizowanych do pracy w chłodniczych obiegach strumieniowych zachodzi podobnie*

jak dla wody i czynników chlorowcopochodnych. Z badań wynika, że najmniejsze różnice pomiędzy pomiarami eksperymentalnymi a wzorami analitycznymi uzyskano np. dla benzenu i korelacji Coopera i Kutateladze, gdzie błąd wyniósł około 30%. Dla małych strumieni ciepła zostały zaobserwowane najlepsze zbieżności ze wzorem Coopera, natomiast większe wartości strumienia dobrze opisywane były za pomocą relacji Kutateladze.

Następnie Autor przeprowadził analizę otrzymanych wyników doświadczalnych przy użyciu korelacji Mostńskiego. Wykorzystując analizę regresji dokonał korekty współczynników występujących we wzorze, tak by błąd był jak najmniejszy. Uzyskał dokładność wyznaczania współczynnika wnikania ciepła dla węglowodorów odpowiednio 1%, 4.2%, 2.6% oraz 7.4% dla następujących substancji: pentanu, heksanu, heptanu i oktanu.

Kolejne stanowisko wykonane przez Doktoranta służyło do badania procesu wrzenia węglowodorów wyższych podczas ich spływu na zewnętrznej powierzchni rur poziomych. Autor analizuje wpływ następujących parametrów na warunki wymiany ciepła:

- gęstość strumienia ciepła;
- przepływ masowy czynnika;
- temperatura nasycenia czynnika;
- średnica zewnętrzna rury.

Autorskie stanowisko badawcze składało się z rury szklanej o średnicy 120 mm i wysokości 1500 mm oraz spiralnego skraplacza chłodzonego cieczą. Pary czynnika skraplanego były wytwarzane na grzonym elektrycznie walcu mosiężnym zraszany stałym strumieniem objętościowego czynnika, wynoszącym $2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$. Przebadano w sumie trzy węglowodory wyższe: pentan (R601), heksan (R602) i heptan (R603). Właściwości fizyczne do dalszych analiz zaczerpnięto z programu NIST REFPROP wersja 9.0. Podobnie jak we wcześniejszych procedurach pomiarowych także w tym przypadku wykonano analizę niepewności pomiarowych. Wyniki badań doświadczalnych zaprezentowano w podrozdziale 10.4.4, gdzie pokazano m.in. zależności opisujące bezwymiarową liczbę Nuselta, będącą funkcją liczby Reynoldsa, Prandtla oraz strumienia ciepła. Zależności współczynnika wnikania ciepła w funkcji gęstości strumienia ciepła pokazano na rys. 10.20.

Rozdział 11 pt. *Analiza porównawcza wariantów realizacji obiegu strumieniowego dla czynników palnych* został poświęcony głównie omówieniu wad oraz zalet rozwiązań

obiegów strumienicowych, w których czynnikiem chłodniczym jest substancja palna. Dodatkowo Autor dysertacji postawił sobie za cel *wytypowanie koncepcji optymalnej pod względem napełnienia obiegu*. W ostateczności zostały zaproponowane i przeanalizowane cztery koncepcje:

- obieg chłodniczy strumienicowy, gdzie czynnik bezpośrednio odparowuje w wytwornicy pary i parowaczu;
- obieg, w którym odparowanie czynnika odbywa się pośrednio w układzie napędowym;
- obieg, w którym czynnik odparowuje w obiegu chłodniczym;
- obieg będący połączeniem dwóch wymienionych wcześniej obiegów, gdzie czynnik odparowuje w obiegu napędowym oraz w obiegu chłodniczym.

Rozdział ten zakończono analizą ilości czynnika roboczego w obiegu strumienicowym, a także propozycją rozwiązania technicznego konstrukcji ociekowego wymiennika ciepła. Podczas procesu projektowego wykorzystano wcześniej zaproponowane korelacje doświadczalne na obliczanie współczynnika wnikania ciepła dla czynnika chłodniczego.

Dwunasty rozdział pracy (3 strony) stanowią *Wnioski końcowe*.

Jeden z końcowych fragmentów rozprawy stanowi *Załącznik 1* (9 stron), który jest tabelą wybranych prac dotyczących układów strumienicowych opublikowanych w latach 2005-2015. Do pracy dołączono też spis rysunków i tabel oraz podano wykaz literatury, głównie w języku angielskim. Większość to publikacje wydane zaledwie kilka lat temu, wśród nich znajduje się 9 artykułów naukowych, których autorem lub współautorem jest Doktorant.

3. Ocena pracy

3.1. Wybór tematu rozprawy

Jak podkreślił Doktorant we *Wstępie* pracy, szukanie alternatywnych rozwiązań mogących spowodować mniejsze zużycie energii elektrycznej na cele klimatyzacyjne jest kluczowe w obecnej sytuacji energetycznej na świecie. Każda metoda mogąca obniżyć zużycie paliw kopalnych na rzecz energii odnawialnej jest godna analiz teoretycznych oraz badawczych, nawet jeżeli w chwili obecnej nie ma uzasadnienia ekonomicznego. Dysertacja Pana mgr. inż. Bartosza Gil wychodzi naprzeciw tym celom. Zastosowanie układów strumienicowych w połączeniu z energią słoneczną jest

bardzo ciekawym rozwiązaniem i stanowi uzupełniającą technologię w stosunku do obecnie powszechnie używanych, najczęściej sprężarkowych urządzeń chłodniczych. Podsumowując należy zauważyć, że wkład Doktoranta w badania możliwości wykorzystania wybranych czynników chłodniczych w strumienicowym, kompaktowym klimatyzatorze z napędem słonecznym jest ważny technicznie, nośny naukowo i zawiera duży potencjał innowacyjny. Wobec tego uważam tematykę rozprawy za uzasadnioną i pozwalającą Doktorantowi zademonstrować jego umiejętności naukowe.

3.2. Metodologia prowadzonych badań

Warsztat badawczy Doktoranta składał się z dwóch elementów. Pierwszy element stanowiły analizy teoretyczne czynników mogących znaleźć zastosowanie w obiegach chłodniczych strumienicowych. Analizy były przeprowadzane z wykorzystaniem bibliotek właściwości termofizycznych z programu NIST REFPROP wersja 9.0. Autor dysertacji opracował także model obliczeniowy obiegu strumienicowego, w którym wykorzystał biblioteki właściwości fizykochemicznych z programu REFPROP.

Drugim składnikiem pracy doktorskiej były badania doświadczalne. Należy podkreślić, że w trakcie realizacji pracy Doktorant zaprojektował, wykonał oraz przeprowadził badania na dwóch stanowiskach badawczych.

Badanie procesów dwufazowych jest trudne, wymaga odpowiedniego zaplecza badawczego, doświadczenia w przeprowadzaniu procedur pomiarowych, a następnie wnikliwej interpretacji uzyskanych wyników. Na pierwszym stanowisku zostało przebadanych w sumie 8 substancji: pentan, heksan, heptan, oktan, benzen, toluen, cykloheksan oraz metanol. W przypadku drugiego stanowiska przebadano trzy substancje, takie jak: pentan, heksan i heptan. Tego typu badania są czasochłonne, wymagają biegłej znajomości technik pomiarowych m.in. temperatury, mocy cieplnej, a także zachowania i precyzyjnego przestrzegania procedur pomiarowych. Opis stanowisk badawczych oraz procedur pomiarowych jest bardzo staranny i nie budzi zastrzeżeń.

Podsumowując należy zauważyć, że wkład Doktoranta w rozwój metodologii badań w wybranym obszarze jest wielokierunkowy i znaczny.

3.3. Ocena wyników badań

Praca wyróżnia się kompleksowym podejściem do problemu. Za najważniejsze jej osiągnięcia uważam:

- Analizę możliwości zastosowania „nowych” substancji w strumienicowych układach chłodniczych;
- Opracowanie „mapy drogowej” doboru czynnika w zależności od temperatury źródła górnego i mocy cieplnej;
- Zaimplementowanie procedur obliczeniowych pracy strumienicy oraz strumienicowego obiegu chłodniczego we współpracy z programem NIST REFPROP;
- Zbudowanie i przebadanie 8 substancji na pierwszym stanowisku badawczym dedykowanym procesom wrzenia na powierzchni płaskiej, poddającym analizie wrzenie czynnika w dużej objętości;
- Zbudowanie i przebadanie 3 substancji na drugim stanowisku badawczym dedykowanym procesom wrzenia węglowodorów wyższych podczas ich spływu grawitacyjnego;
- Zgłoszenie patentowe kompaktowego chillera małej mocy z chłodniczym obiegiem strumienicowym w Urzędzie Patentowym Rzeczypospolitej Polskiej (nr P400644 z dnia 04.09.2012);
- Pokazanie, że możliwe jest zbudowanie systemu klimatyzacji strumienicowej w układzie bezpośrednim, gdzie czynnikiem roboczym byłaby substancja palna. Wydajność chłodnicza takiego układu nie przekroczyłaby 1 kW.

3.4. Uwagi krytyczne

1. Jedną z głównych uwag nasuwających się po przeczytaniu pracy doktorskiej jest nieadekwatność tematu pracy z zawartością merytoryczną. Temat pracy sugeruje, że Doktorant zajmie się bezpośrednio badaniami nad pracą strumienicy w układzie chłodniczym i tak dzieje się do momentu opisu stanowisk badawczych. Doktorant w swoich badaniach nie skupił się bezpośrednio na wyznaczeniu doświadczalnym charakterystyk strumienicy dla różnych czynników roboczych, ale zajął się głównie badaniami parowacza. Badania te są wartościowe, ale w tym momencie należałoby zastanowić się nad zmianą tematu pracy na bardziej „dopasowany” do analiz doświadczalnych.

2. Jednym z postawionych przez Autora dysertacji celów pracy doktorskiej było badanie eksperymentalne parametrów pracy strumienicowego, kompaktowego klimatyzatora z napędem słonecznym. Czy rzeczywiście ten cel został osiągnięty?
3. Uważam, że stanowisko pierwsze przeznaczone do badań procesów wrzenia na powierzchni płaskiej, mogłoby po niewielkich modyfikacjach posłużyć do wyznaczenia większej ilości zmiennych wpływających na proces wrzenia. Np. ciekawe byłoby zbadanie wpływu jakości grzanych powierzchni oraz materiału, z jakiego je wykonano, na proces wrzenia.
4. W pracy widoczny jest brak porównania wyników analiz teoretycznych strumienicy wykonanych z wykorzystaniem modelu Huanga i in. (1999) względem innych modeli obliczeniowych.
5. Praca ma po części charakter aplikacyjny, więc celowe byłoby przeprowadzenie analiz ekonomicznych - oszacowanie kosztów inwestycyjnych oraz eksploatacyjnych zaproponowanych urządzeń.

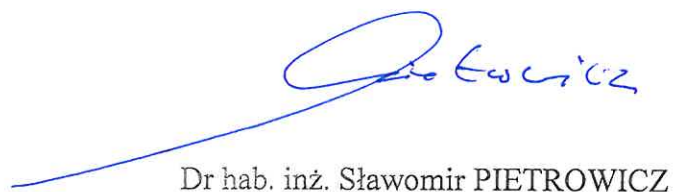
3.5. Uwagi redakcyjne

W pracy występują błędy składniowe oraz redakcyjne, na które zwrócono bezpośrednio uwagę Autorowi. Dla przykładu można podać, że na niektórych rysunkach pojawiają się napisy w języku angielskim. Przed dalszym rozpowszechnianiem pracy błędy te powinny zostać wyeliminowane, a pewne fragmenty przeredagowane.

4. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę przedstawione wyżej opinie uwzględniające wybór tematu rozprawy, sposób jego analizowania, osiągnięte wyniki i zastosowane metody badawcze oraz ilość publikacji w renomowanych czasopismach z listy filadelfijskiej, stwierdzam, że Pan mgr inż. Bartosz Gil wykazał, że jest naukowcem dojrzałym, potrafiącym w swojej pracy wykorzystywać zarówno analityczne jak i doświadczalne metody badawcze, umiejącym wyciągać wnioski z otrzymanych wyników i formułującym postulaty dalszych prac. Stwierdzam także, że posiadana wiedza oraz umiejętności pozwalają Mu na prowadzenie badań w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn, dlatego też spełnia warunki do ubiegania się o stopień doktora nauk technicznych.

Wnoszę, zgodnie z Ustawą o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z 14. 03. 2003 r., o dopuszczenie Go do obrony pracy i nadanie stopnia doktora nauk technicznych.



Dr hab. inż. Sławomir PIETROWICZ