

Wydział Energetyki i Paliw

Dr hab. inż. Łukasz Mika, prof. AGH  
tel.: +48 12 617 56 26  
e-mail: [lmika@agh.edu.pl](mailto:lmika@agh.edu.pl)

Kraków, 03.04.2023r.

**Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Jana Grygierzca**  
**pod tytułem**  
***„Analiza techniczno-ekonomiczna zastosowania pomp ciepła w systemach***  
***ogrzewania i chłodzenia samochodów”***

Rozprawa doktorska napisana została pod opieką naukową Prof. dr hab. inż. Sebastiana Werle. Promotorem pomocniczym był dr inż. Tomasz Bury. Rozprawa doktorska została złożona w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka i jest to doktorat wdrożeniowy. Rozprawa stanowi podstawę ubiegania się o nadanie stopnia doktora nauk technicznych dla Pana mgr inż. Jana Grygierzca.

W swojej recenzji niestety nie mogę odnieść się do podstawowych danych o Kandydacie, czyli daty uzyskania tytułu magistra, czy jednostki w której ten tytuł był nadany oraz do informacji czy kandydat ubiegał się uprzednio o nadanie stopnia doktora ani do przebiegu pracy naukowo-zawodowej kandydata, ponieważ takie materiały nie zostały mi dostarczone. Jednak informacje te zwykle są przedstawiane w trakcie publicznej obrony pracy doktorskiej.

## **Charakterystyka rozprawy doktorskiej**

Przedmiotowa rozprawa doktorska liczy wraz z wykazem bibliografii 149 stron, a sam wykaz biografii ma 77 pozycji. Praca zawiera pięć rozdziałów z podrozdziałami oraz wnioski. Rozdział czwarty recenzowanej pracy doktorskiej jest najbardziej rozbudowany i został podzielony na dziewięć podrozdziałów. Praca zawiera również spis rysunków oraz spis tabel, a także wykaz oznaczeń.

W rozdziale pierwszym recenzowanej pracy doktorskiej zawarto techniczny przegląd układów ogrzewania oraz chłodzenia w samochodach. Autor poświęcił wiele uwagi historii motoryzacji na przestrzeni kilkudziesięciu ostatnich lat, dokonał przeglądu układów napędowych samochodów i przeanalizował układy grzewczo-chłodzące występujące w pojazdach. W rozdziale drugim Autor poświęcił wiele uwagi układom grzewczo-chłodzącym wykorzystującym pompę ciepła. Przy tej okazji zostały umówione również czynniki chłodnicze, a w szczególności zmiany w przepisach dotyczące tych czynników. Rozdział trzeci to cel oraz tezy pracy. Rozdział czwarty jest zasadniczą częścią pracy, natomiast rozdział piąty dotyczy zagadnień ekonomicznych.

W rozdziale czwartym, zatytułowanym badania wybranych elementów układów grzewczo-chłodniczych, Autor przedstawia charakterystyki materiałowe elementów składowych tych układów, ograniczając się jedynie do stali, elastomerów oraz aluminium. W kolejnych podrozdziałach rozdziału czwartego analizowane są badania szczelności, badania odporności chemicznej, czyli odporności na korozję, badania wytrzymałości ciśnieniowej, badania wytrzymałości na pulsację ciśnienia, a także analizowana jest odporność na wibracje.

Rozdział czwarty jest zasadniczą częścią pracy. W rozdziale tym przedstawione są wnioski i obserwacje z wykonywanych pojedynczych pomiarów wytrzymałościowych oraz dla testów rozłożonych w czasie (na przykład badania korozyjne, czy badania odporności na wibracje – badania zmęczeniowe). Autor pracy słusznie wskazuje, że pomiary poszczególnych pojedynczych parametrów wytrzymałościowych, mimo że wykonane w warunkach zbliżonych do rzeczywistych, nie oddają złożonego charakteru obciążeń układów grzewczo-chłodzących w pojazdach, podczas rzeczywistych rzeczywistej pracy samochodu. Koncepcją Autora jest to, aby badania wytrzymałościowe poszczególnych elementów układów grzewczo-chłodzących nie były wykonywane oddzielnie na różnych stanowiskach badawczych, tylko aby wykonywać je w miarę jednocześnie i w warunkach zbliżonych do rzeczywistych. Jest to możliwe, jeżeli takie badania wykonuje się na specjalnie zaprojektowanym układzie badawczo-pomiarowym, który w sposób rzeczywisty oddaje warunki pracy takiego układu. Trzeba przyznać Autorowi słuszność jego wnioskowania w tym zakresie. Warunki pracy układów grzewczo-chłodzących w samochodzie, zwłaszcza opartych o pompę ciepła, są bardzo trudne do odwzorowywania w czasie badań testowych. Jakiegokolwiek modyfikacje któregoś z elementów układu wiążą się z zaprojektowaniem, wykonaniem i przebadaniem takiego nowego elementu, jednak nie daje to gwarancji odpowiednio długiej pracy nowego elementu w układzie bez badań rzeczywistych już w samochodzie. Gdyby taki układ badawczy analogiczny do rzeczywistego układu grzewczo-chłodzącego zamontowanego w samochodzie udało się wybudować, to z pewnością wszelkie zmiany konstrukcyjne lub udoskonalenia mogłyby

być szybciej i taniej zaadaptowane do układów z samochodu. Byłyby to więc bardzo cenne z punktu widzenia producentów takich elementów. Normy techniczne w zakresie badań wytrzymałościowych różnych elementów stosowanych w układach sprężarkowych wskazują, aby badania były wykonywane w warunkach zbliżonych do rzeczywistych. Są one jednak zunifikowane tak, aby pasowały do wszystkich możliwych przypadków i nie ma w nich wymogów w stosunku do budowy indywidualnych stanowisk badawczych do badań w warunkach zbliżonych do rzeczywistych. Stanowisko odzwierciedlające warunki rzeczywiste, w których dane urządzenie pracuje, w sposób najbardziej pewny pozwalałoby wyznaczyć na przykład czas życia elementów lub bezpieczny czas eksploatacji całego układu. Jest to bardzo ważne zwłaszcza z punktu widzenia ograniczeń ekologicznych i konieczności zmiany stylu projektowania urządzeń na taki, który umożliwia wymianę pojedynczych uszkodzonych elementów, a nie całych podzespołów.

### **Ogólna ocena rozprawy**

Oceniając układ rozprawy doktorskiej i jej poszczególne rozdziały należy podkreślić, że jest on właściwy z tym, że można mieć uwagi co do ilości informacji wstępnych podawanych w rozdziałach 1-2 oraz do zakresu tych informacji. Zakres podawanych we wstępie informacji jest moim zdaniem zbyt szeroki. Zastrzeżenia można mieć też do rozdziału czwartego, który zawiera moim zdaniem zbyt wiele podrozdziałów, co czyni go mniej czytelnym. Pewną trudność wykazuje również ocena, które badania przedstawione w pracy są autorstwa kandydata, a które są przytoczone z literatury. Rozdział piąty zatytułowany: „Ekonomia” również budzi moje wątpliwości, gdyż zawiera tylko ogólne wyniki i wnioski wskazujące na oszczędności jakie można uzyskać stosując w zakładzie pracy zintegrowane stanowisko pomiarowe w miejsce pojedynczych stanowisk badawczych. Również wnioski z pracy są bardzo ogólne. Bardziej przypominają one ogólne streszczenie pracy, niż faktycznie wnioski, które nasuwałyby się po przeczytaniu niniejszej pracy doktorskiej.

Bardzo słabą stroną pracy jest jej opracowanie edycyjne. Istnieje bardzo dużo literówek w pracy, niedokończonych zdań, zdań bez czasowników, zwrotów żargonowych i niepotrzebnych powtórzeń. Przed publikacją informacji zawartych w niniejszej pracy bezwzględnie należy te usterki usunąć. Przykładem słabej strony edycyjnej mogą być też komentarze do rysunków zawartych w pracy gdzie w większości pomyłona jest numeracja rysunków.

Literatura rozprawy doktorskiej jest wystarczająca. Około połowy wykazu stanowią źródła cyfrowe, w tym również materiały konferencyjne, pozostała część to źródła typowo naukowe, najczęściej artykuły naukowe. Należy tu wspomnieć, że dane bibliograficzne części pozycji z wykazu są niekompletne. Dla źródeł cyfrowych najczęściej brakuje daty dostępu, a dla czasopism naukowych najczęściej brakuje numeru albo rocznika. Nie zrozumiałe jest również to, że część czasopism podawana jest skrótami, a część w pełnej nazwie. Najlepiej byłoby to ujednotwić. Również nie wiadomo dlaczego żadna praca Autora nie jest w bibliografii cytowana, a takich prac z podobnej tematyki jest 8.

Celem pracy który postawił sobie Autor jest opracowanie metodyki badań systemu grzewczo-chłodzących w warunkach zbliżonych do rzeczywistych, które ograniczą liczbę i czas trwania poszczególnych testów elementów, które są obecnie stosowane w przemyśle. Cel ten jest jak najbardziej słuszny i jego spełnienie będzie niezwykle cenne dla przemysłu, jeżeli dodatkowo zostanie on uzupełniony koncepcją stanowiska badawczego służącego do realizacji pomiarów w warunkach bardzo zbliżonych do rzeczywistych.

Metody badawcze zastosowane w niniejszej rozprawie doktorskiej są właściwe do testowania urządzeń grzewczo-chłodzących będących tematyką pracy. Wynikają one bezpośrednio z norm i zaleceń technicznych stosowanych w procesie produkcji tego typu elementów. Wyniki badań przedstawione w pracy znajdują praktyczne zastosowanie w przemyśle z branży samochodowej. Wyniki badań przedstawionych w niniejszej pracy nie zostały szeroko omówione. Pewnym mankamentem, który można tutaj również wskazać, jest brak podawania dokładności pomiarowych niektórych przyrządów wykorzystywanych w pracy.

#### **Uwagi szczegółowe do pracy oraz uwagi dyskusyjne.**

1. Wykaz oznaczeń wymaga uporządkowania, uzupełnienia i poprawy. Należy podać znaczenie skrótów dla czynników R134a, R1234yf, R744 oraz R12. Po drugie występują błędy i braki w jednostkach, na przykład strumień objętości podany jest w metrach kwadratowych na sekundę, współczynnik lepkości kinematycznej nie ma jednostki, masowe natężenie przepływu występuje dwa razy, podobnie gęstość, zwyczajowo również gęstość oznacza się „ $\rho$ ”, a nie „ $p$ ”, które w tekście pracy oznacza ciśnienie. Również ciepło skraplania, podane w J/kg, to raczej jest jednostkowe ciepło skraplania. Dodatkowo kiedy jest oznaczone kropką u góry, to jest to raczej strumień ciepła, czyli w tym przypadku byłaby to raczej jednostkowa wydajność skraplacza. Należałoby również podać definicję COP, który jak podaje Autor, jest rzeczywistym współczynnikiem wydajności grzejnej. Przymiotnik rzeczywisty sugeruje coś nowego, więc wymaga on zdefiniowania. Uporządkowaniu również musiałyby podlegać indeksy dolne, które doprecyzowują jedynie wielkości główne, ale nie są nimi.

2. Dlaczego autor na rysunku 5 przedstawił w ten sposób podział tłokowych silników spalinowych? Wynika z niego na przykład, że silniki spalinowe dzielą się na silniki czterosuwowe, a między innymi z kolei one dzielą się na silniki o zapłonie iskrowym, wolnossące, doładowane o zapłonie samoczynnym i zapłonie iskrowo-samoczynnym. Wiadomo przecież, że zarówno silniki benzynowe wolnossące jak i doładowane mają zapłon iskrowy.

3. Na stronie 28 u góry sugerowałbym jednak dodanie układu dolotowego, które doprowadza powietrze do silnika, ponieważ układ paliwowy raczej odpowiada za dostarczenie tylko paliwa do silnika. Ewentualnie proszę o wyjaśnienie dlaczego Autor wymienił tylko te układy.

4. Czy rysunki od 6 do 12 oraz 15 do 18 są w oryginalnym dziełem autora, czy też powstały w oparciu o jakieś źródło literaturowe? Jeśli są to zapożyczenia, to należałoby źródło literaturowe podać.

5. Przegląd literatury aż do strony 41 należałoby skrócić, ponieważ nie są to zagadnienia bezpośrednio związane z tematyką pracy, a jedynie zagadnienia wprowadzające czytelnika w tematykę.

6. Na stronie 49 u góry zawarto informację, że w „nowych czynnikach i alternatywnych czynnikach zmniejszono ODP”. Jak to w końcu więc jest z tym „zmniejszeniem” ODP dla nowych czynników obecnie stosowanych i jaka jest jego definicja? Proszę też wyjaśnić zdanie przedstawione na stronie 57, linia 12, które dotyczy sformułowania: mieszanina czynników R1234yf.

7. Gruntownego wyjaśnienia wymaga cały ostatni akapit przedstawiony na stronie 55 wraz z opisem wzoru 1.

8. W pracach naukowych, a taką pracą jest również rozprawa doktorska, powinno się unikać żargonu i niejednoznaczności w opisie różnych wielkości na przykład: należałoby zmienić opis w tabeli 6 dotyczący na przykład: ciśnienia na „linii wyjściowej”, ciśnienia na „linii ssawnej”, temperatury czynnika na „linii wyjściowej” oraz stan ciekły częściowo „opary”. To samo tyczy się też określenia: badania odporności na ciśnienie oraz badanie odporności na zmiany ciśnienia. Proszę też wyjaśnić wielkości przedstawione na rysunku 23, a mianowicie: gaz, wydajność chłodzenia, schładzanie. Proszę również o wyjaśnienie opisu przedstawionego pod rysunkiem 23.

9. Rysunki 21, 22 oraz 51 są dość trywialne jak na pracę doktorską. Należałoby raczej z pracy je usunąć zwłaszcza, że rysunek 22 jest źle podpisany. Proszę wyjaśnić co Autor miał na myśli przedstawiając te rysunki w swojej pracy.

10. Proszę wyjaśnić podział stali konstrukcyjnej przedstawiony na rysunku 26 oraz wyjaśnić pojęcie „stale o zaawansowanie zwiększonej wytrzymałości” na stronie 67. Przydałoby się źródło literaturowe takiego podziału. Podobna niejasność dotyczy rysunku 27. Być może przydałoby się napisać, że są to wybrane parametry gumy.

11. Co najmniej dyskusyjna jest zasadność zamieszczania w pracy w tabeli 7 i 8 oraz rysunku 28, które nie dotyczą bezpośrednio tematyki pracy. Dodatkowo autor w opisie rysunku 27 wprowadza nową nazwę stopów „aluwium”. Jest ona dość niespotykana, więc bardzo proszę o jej wyjaśnienie. Wyjaśnienia wymaga również kwestia jaki związek użyto w badaniach korozyjnych. Autor na str. 93 podaje w pracy symbol związku: NaO. Czy jest on poprawny?

12. Należałoby w sposób jednoznaczny opisać użyte w pracy stanowiska badawcze wraz z wykazem przyrządów i ich parametrami, w tym dokładnością dla wszystkich rodzajów badań. Również sam proces przygotowania próbek do badań wymaga wyjaśnienia i precyzyjniejszego opisu w pracy. Proszę wyjaśnić np. dlaczego badanie szczelności realizowane jest dla ciśnienia 5 bar, podczas gdy ciśnienie robocze w układzie, według tabeli 10, wynosi od 9 do 17 barów. Należy podać też jednoznaczną definicję czym różni się badanie szczelności od badania przepuszczalności.

13. Wyniki badań przedstawione w formie wykresów albo tabel powinny zostać w pracy skomentowane i przeanalizowane, a nie tylko wstawione do pracy bez komentarza (uwaga dotyczy całości rozdziału 4). Proszę wyjaśnić też, czy rysunek 43 jest pracą własną Autora, czy zapożyczeniem od innych Autorów oraz jak został sporządzony ten wykres i co przedstawiają poszczególne charakterystyki.

14. Proszę wyjaśnić skąd zaczerpnięto wzory (4), (5) oraz (6) w pracy. Proszę zwrócić uwagę, że wzór numer (1) w pracy znajduje się już na stronie 55, wobec powyższego na stronie 112 powinny być kolejne numery wzorów. Kolejne wzory, znajdujące się na stronie 131, również mają złą numerację.

15. Proszę wyjaśnić metodykę badań komputerowych symulacji komputerowych przedstawionych na stronie 102, która według autora służy do symulacji warunków brzegowych. Zwykle w tego typu badaniach zakłada się warunki brzegowe i przeprowadza obliczenia symulacyjne. Dodatkowo proszę o wyjaśnienie informacji przedstawionych na rysunkach 38 i 39. Są to rysunki podpisane w ten sam sposób, a ukazujące różne elementy układów. Nie jest też jasne, czy są to wyniki prac z Autora czy jakieś zapożyczenia od innych Autorów. Proszę wyjaśnić też skąd zaczerpnięto przedstawione na rysunkach 55 oraz 56 schematy stanowisk badawczych, bo raczej nie ze wskazanej w pracy literatury.

16. Proszę skomentować uzyskaną liniową zależność spadku ciśnienia od strumienia masowego powietrza na wykresach 46, 47, 48 oraz 49.

17. Opis funkcji i działania koncepcyjnego stanowiska badawczego, stanowiącego wdrożenie, nie jest moim zdaniem kompletny. Proszę opisać działanie i funkcje tego stanowiska oraz podkreślić jego innowacyjność względem istniejących tego typu stanowisk testowych.

18. Proszę wyjaśnić zaproponowaną metodę oceny rozwiązań pomp ciepła w rozdziale 4.9. Będzie ona chyba mało przydatna w przemyśle. Dlaczego nie sugerował Pan się w ocenie na przykład sezonowym COP, który również uwzględnia działanie dodatkowych elementów pompy ciepła takich jak grzałki, sterowniki itp.? W zasadzie podrozdział ten nie wnosi niczego do pracy i raczej powinien być w całości usunięty lub przeredagowany.

19. Nie jest dla mnie zrozumiałą przedstawiony przez Autora pracy rachunek opłacalności inwestycji. Uważam, że brakuje tu opisu danych wejściowych, brakuje podania założeń i sposobu obliczenia, a wzór przedstawiony na stronie 134 jest niepełny (i nie ma numeracji). Proszę o wyjaśnienie całości tego rozdziału i obliczeń.

### **Wniosek końcowy**

Mgr inż. Jan Grygierzec wykonał samodzielnie rozprawę doktorską, która wnosi wkład w rozwój dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka i posiada duży potencjał wdrożeniowy. Wdrożenie koncepcji stanowiska badawczego, przygotowanej przez Autora, będzie bardzo cenne z punktu widzenia producentów samochodowych elementów układów grzewczo-chłodzących. Warunki pracy układów grzewczo-chłodzących w samochodzie, są bardzo trudne do odwzorowywania w czasie standardowych badań testowych. Bez badań w warunkach rzeczywistych badania standardowe dają gwarancji odpowiednio długiej pracy nowego elementu w samochodzie. Dlatego takie stanowisko badawcze, wyposażone w zestawy czujników pomiarowych (jak proponuje Autor), mogłoby spowodować znaczne oszczędności czasowe i finansowe w procesie produkcji elementów układów grzewczo-chłodzących (i nie tylko), a także wydłużyć ich czas użytkowania w pojazdach.

Niektóre uwagi krytyczne zamieszczone w recenzji podlegają dyskusji i mogą zostać wyjaśnione podczas publicznej obrony pracy doktorskiej. Odnoszą się one w większości przypadków do edycyjnej strony pracy oraz w mniejszym stopniu do strony merytorycznej. Uwagi do pracy nie rzutują istotnie na poziom naukowy rozprawy doktorskiej.

**Biorąc pod uwagę ww. ocenę rozprawy stwierdzam, iż praca doktorska pana mgr inż. Jana Grygierzca spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim i stawiam wniosek do Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Śląskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

