

## **Recenzja**

**pracy doktorskiej mgr inż. Jana Grygierzca**

**pt.: „ANALIZA TECHNICZNO-EKONOMICZNA ZASTOSOWANIA POMP CIEPŁA W SYSTEMACH  
OGRZEWANIA I CHŁODZENIA SAMOCHODÓW”**

Podstawę do opracowania recenzji pracy doktorskiej mgr inż. Jana Grygierzca stanowi Uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej z dnia 19 stycznia 2023r.

Praca zawiera 149 stron i podzielona jest na 6 rozdziałów, poprzedzonych streszczeniem w języku angielskim i polskim, spisem rysunków, tabel, treści oraz wykazem ważniejszych oznaczeń, a zakończona bibliografią liczącą 77 pozycji literaturowych.

### **1. Omówienie pracy**

Rozprawa doktorska mgr inż. Jana Grygierzca dotyczy oceny techniczno-ekonomicznej zastosowania pomp ciepła w systemach ogrzewania i chłodzenia samochodów. Zawiera opis metodologii badań systemów grzewczo-chłodniczych oraz ich elementów, a także koncepcję stanowiska badawczego do prowadzenia takich badań.

W rozdziale 1, który jest wprowadzeniem do pracy, Autor przedstawia historię rozwoju samochodów, z której wynika, że od początku koncepcje samochodu o napędzie spalinowym i elektrycznym, rywalizowały ze sobą. Rywalizację tę na długie lata wygrał napęd spalinowy, jednak nie zrezygnowano całkowicie z rozwoju samochodów elektrycznych oraz hybrydowych. Koszty eksploatacji oraz zasięg samochodów elektrycznych na długi okres hamowały rozwój samochodów elektrycznych. Dopiero nacisk położony na ochronę środowiska oraz ograniczenie emisji szkodliwych substancji do atmosfery, spowodowały, że samochód z napędem elektrycznym zaczyna wypierać napędy spalinowe, chociaż do końca tego procesu jest jeszcze daleka droga. Dalsza część rozdziału poświęcona jest przeglądowi układów napędowych samochodów, a kończy rozdział przegląd układów grzewczo-chłodniczych. Zwrócona została uwaga na ważną cechę układów grzewczo-chłodniczych, które są zaprojektowane dla jednego rodzaju czynnika chłodniczego, co oznacza wysokie koszty modyfikacji używanych obecnie układów grzewczo-chłodniczych.

Rozdział 2 poświęcony jest przeglądowi układów grzewczo-chłodniczych opartych o pompę ciepła. Omówione zostały etapy rozwoju czynników chłodniczych w ciągu ostatnich stu lat. Wyróżnione zostały 3 etapy rozwoju czynników chłodniczych. Na etapie 1 pierwszym, do roku 1930 czynnikiem chłodniczym mogła być każda dostępna substancja posiadająca możliwość chłodzenia. W związku z tym substancje te mogły być toksyczne i łatwopalne. W etapie drugim, trwającym do 1994 roku, zwraca się już uwagę na stabilność, bezpieczeństwo oraz wydajność czynników chłodniczych. W etapie trzecim, istotne jest jego oddziaływanie ze środowiskiem naturalnym. Rozdział kończy się opisem przemian termodynamicznych czynników chłodniczych.

Z przeglądu literatury przedstawionej w obu rozdziałach wynika temat oraz tezy, które w swojej pracy Doktorant postanowił udowodnić. Oba rozdziały są interesujące, wprowadzają do zagadnień, które będą przedstawione w dalszej części pracy.

Rozdział 3 zawiera cele oraz tezy pracy. Doktorant postawił w swojej pracy dwie tezy:

1. modyfikacja obecnie stosowanej metodyki badań systemów grzewczo-chłodniczych oraz ich poszczególnych elementów, pozwoli uzyskać bardziej wiarygodne i wartościowe wyniki przy niższym nakładzie czasu pracy i środków finansowych;
2. koncepcja stanowiska badawczego opierającego się o badania w warunkach eksperymentalnych zwiększy potencjał naukowo-rozwojowy.

Cele jakie sobie postawił dla udowodnienia powyższych tez są następujące:

1. opracowanie stosowanej metodyki badań systemów grzewczo-chłodniczych oraz ich poszczególnych elementów zapewniającej uzyskanie wiarygodnych danych o rzeczywistych lub zbliżonych do rzeczywistych warunkach pracy, przy ograniczeniu liczby i czasu trwania pojedynczych testów,
2. opracowanie koncepcji stanowiska badawczego do realizacji wspomnianych pomiarów.

W rozdziale 4, najbardziej rozbudowanym, Doktorant przedstawia badania wybranych elementów układów grzewczo-chłodniczych, rozpoczynając od charakterystyki materiałów użytych do wytworzenia tych układów, a następnie analizuje badania szczelności, przepuszczalności oraz odporności chemicznej materiałów. Dalsza część rozdziału poświęcona jest opisowi badania odporności układów grzewczo-chłodniczych na ciśnienie, zmiany ciśnienia, wibracje. Rozdział kończy opis koncepcji stanowiska badawczego oraz metody oceny efektywności energetycznej pomp ciepła.

Rozdział 5 zawiera ogólny opis aspektu ekonomicznego zastosowania pomp ciepła w systemach ogrzewania i chłodzenia samochodów oraz analizę opłacalności koncepcji stanowiska badawczego.

Kończący rozprawę rozdział 6 stanowi podsumowanie wyników pracy oraz wnioski końcowe. Na uwagę zasługują oryginalne osiągnięcia Doktoranta, do których można zaliczyć:

- opracowanie koncepcji uniwersalnego stanowiska badawczego,
- wykazanie, że standardowe badania pokazują ograniczenia obecnej metodologii prowadzenia badań układów grzewczo-chłodniczych

## 2. Uwagi

1. Praca napisana jest niestarannie w języku polskim. Duża liczba literówek, niedokończone i niezrozumiałe zdania. Poza tym treść pracy jest miejscami niespójna, np. już na 1 stronie Doktorant pisze: „Podczas zupełnego procesu spalania paliw kopalnych powstaje dwutlenek węgla i woda, które nie są szkodliwe dla środowiska”. Na stronie 2 znajduje się stwierdzenie: „Globalne ocieplenie jest wynikiem efektu cieplarnianego wywołanego dwutlenkiem węgla oraz metanem w atmosferze. Gazy te zatrzymują promieniowanie podczerwone odbite od Ziemi, zwiększając w ten sposób jej temperaturę. Rosnąca temperatura na Ziemi powoduje poważne szkody ekologiczne w ekosystemie oraz wiele katastrof naturalnych”. Doktorant pisząc pracę powinien zwracać uwagę na spójność tekstu. Poza tym wzory napisane są niestarannie i z błędami.
2. W internecie można znaleźć publikacje, których autorem jest Doktorant, związane tematycznie z rozprawą doktorską, np. *Analiza możliwości wykorzystania pomp ciepła w układzie grzewczo-chłodniczym samochodu* z 2018 roku w materiałach z konferencji, rozdział zatytułowany *Analiza pomp ciepła w układzie grzewczo-chłodniczym samochodu* w monografii *Współczesne problemy Energetyki i Ochrony Środowiska*, wydanej przez wydawnictwo Politechniki Śląskiej w 2019 roku, czy też praca w języku angielskim pod tytułem *Krytyczna analiza funkcjonowania stanowisk badawczych przeznaczonych do badania pomp ciepła w pojazdach elektrycznych*, opublikowana w czasopiśmie *Ecological Chemistry and Engineering A* w 2020 roku. Dlaczego Doktorant nie zacytował swoich prac?
3. W rozdziale 4.2 zatytułowanym „Badania szczelności”, Autor przedstawia wyniki badań szczelności rozszerzone o dodatkowe mapowanie przewodu. Pisze, że ta metodyka badań pozwoli na oszczędności czasu (mapowanie lokalnych nieszczelności) oraz pieniędzy (ekonomiczne, krótkie testy szczelności, ekonomiczny monitoring poziomu nieszczelności). Jednak w pracy to nie zostało wykazane. Doktorant powinien przedstawić na podstawie swoich badań argumenty przemawiające za tym stwierdzeniem.
4. Rozdział 4.6.1 „Symulacje komputerowe” miał w zamiarze wskazać na znaczenie symulacji numerycznych w połączeniu z badaniami eksperymentalnymi. Ta część pracy w mojej ocenie wypada najslabiej. Autor już w pierwszym zdaniu „Symulacje komputerowe metodą elementów skończonych opierają się na metodach numerycznych służących do symulacji **warunków brzegowych**” i w następnym „Obliczenia znajdują zastosowania w **pomiarach** układów grzewczo-chłodniczych dzięki możliwości określenia wytrzymałości konstrukcji, symulowania odkształcenia i przemieszczenia” wykazuje się brakiem wiedzy na temat znaczenia i sensu prowadzenia badań w oparciu o symulacje numeryczne. Chciałbym, aby Doktorant wyjaśnił co miał na myśli pisząc te zdania. Na usprawiedliwienie można powiedzieć, że symulacje numeryczne nie mieściły się w zakresie Jego badań, jednak powinien w przyszłości zwracać uwagę na sens formułowanych zdań. Doktorant mógłby również wyjaśnić znaczenie 3 ostatnich błędów opisanych w tabeli 19 na stronie 103.
5. W rozdziale 4.7 wzory 1-4 napisane są niestarannie i z błędami. Przede wszystkim badania oparte są na podobieństwie przepływów, o czym Autor nie wspomina. Liczba Reynoldsa, a nie współczynnik jak ją w tekście nazywa Doktorant, jest tutaj kryterium podobieństwa,

a wzór (4) wynika z porównania tych liczb dla warunków rzeczywistych oraz na stanowisku pomiarowym. Autor we wzorze (2) zamiennie wprowadza zmienną  $q_v$ , która następnie zamienia w zmienną  $q \cdot v$ , a jest to natężenie strumienia objętości, które w spisie oznaczeń występuje pod symbolem  $\dot{Q}v$  z jednostką miary  $m^3/s$ .

6. W rozdziale dotyczącym części ekonomicznej zastosowania pomp ciepła w systemach ogrzewania i chłodzenia samochodów nie ma takiej analizy, są jedynie uwagi odnośnie tego co taka analiza powinna uwzględniać. Poza tym na str. 136 powinno być „... na rysunkach 62, 63”, a jest „... na rysunkach 57, 58”. Dlaczego na podstawie przeprowadzonych badań, Doktorant nie przedstawił kalkulacji kosztów stanowiska koncepcyjnego? Takiej analizy praca nie zawiera, chociaż w tytule doktoratu „Analiza techniczno-ekonomiczna ...” oraz w hipotezie badawczej, str. 61, „... pozwoli uzyskać bardziej wiarygodne i wartościowe wyniki przy niższym nakładzie czasu pracy i środków finansowych” jest zapowiedź tej analizy. Doktorant taką analizę ekonomiczną powinien na obronie swojej pracy przedstawić.

7. Autor w rozdziale 4.7 przedstawia wyniki swoich badań spadku ciśnienia dla 3 próbek na stanowisku z rysunku 45. Na stronie 117, podsumowując swoje badania pisze „Własna koncepcja stanowiska badawczego obejmuje możliwość przeprowadzania badań spadku ciśnienia w zróżnicowanych warunkach pracy.” W dalszej części tekstu wymienia zalety wprowadzenia „niestandardowych metod badawczych”, a myśl tę kończy akapit „Koncepcja własna stanowiska badawczego oraz zaproponowana metodyka niestandardowa pozwoli docelowo ograniczyć utrzymać wymagany poziom przepływu masowego na docelowym poziomie przy mniejszym zużyciu energii elektrycznej wymaganej do pracy sprężarki”. Z badań, które Doktorant wcześniej zaprezentował nie wynikają takie wnioski. Stąd wiadomo, że tak będzie? Opisując w kolejnym podrozdziale koncepcję swojego stanowiska badawczego, Autor pisze: „Koncepcja własna stanowiska pojawiła się w oparciu o problemy z już istniejącymi stanowiskami badawczymi. Przyjęto założenie, że zwiększenie precyzji pomiarowej oraz dokładności walidacji przyjętych parametrów projektowych pozwoli na tworzenie układów o zmniejszonym poborze energii.” Autor przed tym stwierdzeniem analizował inne rozwiązania, ale skąd powyższa teza?

### 3. Podsumowanie

Pomimo moich uwag, które w większości wynikają z braku staranności przy redakcji tekstu pracy, uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Jana Grygierzca spełnia wymogi określone w art. 13 Ustawy z dnia 14.03.2003r o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. Nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami) i mieści się w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka i świadczy o dobrej ogólnej kandydata, a także o umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej w tej dyscyplinie.

Wnoszę zatem do Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Podpisał Andrzej Frąckowiak