

Warszawa dnia 07 październik 2023 r.

dr hab. inż. Paweł Ogrodnik prof. SGGW
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Instytut Inżynierii Lądowej
Ul. Nowoursynowska 166
02-787 Warszawa

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgra inż. Damiana Pędziwiatra

pt. „Badanie innowacyjnego układu odzyskiwania oleju z parowników gruntowych pomp ciepła typu bezpośrednio parowanie/woda”

1. Podstawa formalna

Podstawę formalną do wykonania niniejszej recenzji stanowią:

- Uchwała nr 28/2022/2023 Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Częstochowskiej z dnia 25 maja 2023 r.,
- Pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Informatyki z dnia 16.08.2023 r., podpisane przez Panią prof. dr hab. inż. Małgorzatę Klimek sygnatura pisma R-WIMil-BOD.511.2.2023.

2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pana mgra inż. Damiana Pędziwiatra pt. „Badanie innowacyjnego układu odzyskiwania oleju z parowników gruntowych pomp ciepła typu bezpośrednio parowanie/woda”. Promotorem pracy doktorskiej jest dr hab. inż. Arkadiusz Szymanek prof. PCz. Dysertacja opublikowana została w formie jednostronicowego zadrukowanego raportu w twardej oprawie i liczy 129 strony. Praca została napisana w języku polskim, zawiera 7 głównych rozdziałów oraz wykaz tabel i rysunków, a także spis literatury stanowiącą łącznie 14 pozycji. Dysertacja zaopatrzona została również w spis najważniejszych oznaczeń i symboli oraz w streszczenie w języku polskim i angielskim. Rozprawa doktorska jest przygotowana w zakresie dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna, należącej do dziedziny nauk inżynierijno-technicznych.

3. Ogólny cel oraz tezy rozprawy

Przystępując do oceny tematyki i postawionych celów należy na wstępie podkreślić, że tematyka podjęta w recenzowanej rozprawie doktorskiej jest aktualna szczególnie biorąc pod uwagę przyjętą przez Parlament Europejski tzw. dyrektywę budynkową, czyli EPBD (Energy Performance of Buildings Directive). Projekt ten przewiduje przyspieszenie transformacji energetycznej Europy z powodu nowych uwarunkowań geopolitycznych i sytuacji na rynku paliw. Pomimo tego, że wdrażanie zapisów dyrektywy jest rozciągnięte w czasie to kierunek nakreślonych zmian jest jasny i ma na celu ograniczenie emisji gazów cieplarnianych i zużycia energii w sektorze budowlanym. Przez ostatnie kilka lat popularność różnych typów pomp ciepła rosła w Polsce bardzo dynamicznie, a wzrosty szacowane były rokrocznie na niemal 100%. Z drugiej strony w Europie pojawia się szereg obaw związanych z ich użytkowaniem. Dotyczą one głównie wydajności sieci energetycznych oraz możliwości ich konserwacji.

Głównym celem rozprawy doktorskiej było opracowanie i przebadanie układu odzyskiwania oleju z parowników gruntowych pomp ciepła typu bezpośrednio parowanie/woda oraz określenie wpływu ich wymiarowania na efektywność energetyczną. Jak przedstawiono w dysertacji na cel pracy badawczej składają się dwa główne zagadnienia:

1. Badanie wpływu wymiarowania wymiennika gruntowego na efektywność energetyczną.
2. Opracowanie układu umożliwiającego względnie dowolnie wymiarowanie parowników gruntowych, wraz z jego badaniem pod kątem poprawności działania, na przygotowanym w warunkach rzeczywistych stanowisku badawczym.

Należy podkreślić, że w pracy Autor sformułował także tezę badawczą. W ocenie recenzenta należy uznać, że jest ona ciekawa i nowatorska.

4. Charakterystyka i ocena poszczególnych rozdziałów dysertacji

Recenzowana rozprawa doktorska została podzielona na dwie główne części studialną i badawczą. Za część studialną należy uznać rozdziały 1-2, natomiast za część badawczą pracy rozdziały 3-6. Pierwszy rozdział pracy stanowi wstęp. Doktorant w zwięzły sposób wprowadza czytelnika w tematykę pracy, podkreślając jednocześnie fakt aktualności problemu badawczego. Jasno prezentując zalety stosowania pomp ciepła, a także ogólną zasadę budowy i schemat ich działania. Ważną częścią tego rozdziału jest podrozdział opisujący podział pomp ciepła w zależności od rodzaju źródła energii. W pierwszej części zaprezentowane zostały pompy powietrzne, które pozyskują ciepło z powietrza, za pośrednictwem zewnętrznych wymienników głównie wentylatorowych. Autor podkreśla, że tego typu rozwiązania charakteryzują się wyraźnie niższymi, sezonowymi współczynnikami

SCOP. Następnie opisano gruntowe pompy ciepłą, które pobierają ciepło w procesie schładzania gruntu lub wody gruntowej. Wśród tego typu rozwiązań najbardziej rozpowszechnione są pompy typu glikol/woda. Doktorant omówił wykorzystywane typy wymienników wskazując jednocześnie ich wady i zalety. Najwięcej uwagi Autor dysertacji poświęcił pompom ciepła z bezpośrednim odparowaniem w gruncie. Za pomocą schematów omówiono różnice pomiędzy poszczególnymi układami. Wykazując zalety i wady układów bez obiegu pośredniego Doktorant powołuje się zarówno na badania literaturowe jak i dane European Heat Pump Association. Całościowo wydaje się jednak, że na koniec rozdziału brakuje krytycznego podsumowania przeprowadzonej analizy, aczkolwiek zostały zaproponowane rozwiązania pozwalające na uzyskiwanie wyższych współczynników COP i SFP. Podkreślić należy, że przedmiotowa analiza została przygotowana w sposób przejrzysty co w znaczący sposób podnosi jej odbiór.

Kolejny – drugi rozdział dysertacji został zatytułowany „*Analiza zagadnienia i cel pracy*”, po syntetycznym wstępie i prezentacji wymiennika gruntowego typu bezpośrednio odparowanie/woda Doktorant przeprowadził przegląd literatury tematu. Już na samym wstępie Autor podkreśla, że pomimo szybkiego rozwoju technologii dotyczących pomp ciepła i mnogości badań w tym zakresie nadal z uwagi na niszowość zagadnienia brakuje badań dotyczących pomp ciepła typu bezpośrednio odparowanie/woda. Ponieważ konwencja pracy badawczej została podzielona na dwa etapy Doktorant w identyczny sposób stara się także przedstawić przegląd literatury tematu. Takie podejście jest w ocenie recenzenta słuszne, ponieważ umożliwi wnikliwą analizę i ocenę obecnego stanu wiedzy w poszczególnych elementach prowadzonych badań. Dla pierwszego etapu skoncentrowano się na przeglądzie publikacji naukowych dotyczących ogólnego zagadnienia pomp ciepła bezpośredniego odparowania. Doktorant w syntetyczny sposób stara się przedstawić główne osiągnięcia autorów jednocześnie wykazując wady poszczególnych rozwiązań. Drugim i jednocześnie kluczowym zagadnieniem badań jest opracowanie układu, pozwalającego na zwiększenie powierzchni parownika gruntowego, dla zbliżonej lub przekraczającej minimalną, wymaganą prędkość czynnika do zachowania poprawnego powrotu oleju do sprężarki. Doktorant podkreśla, że z uwagi na innowacyjność zagadnienia nie odnaleziono publikacji dotyczących tej tematyki. W uzupełnieniu przeprowadzona została analiza literatury w zakresie parametrów przepływu, uzależnionych także od mieszaniny czynnika chłodniczego i oleju.

Kolejny podrozdział, jeden z kluczowych zdaniem recenzenta przedstawia problem wymienników gruntowych. Autor w czytelny sposób prezentuje problem wymiarowania parowników gruntowych. Przy wykorzystaniu schematu opisując pierwszą koncepcję odzyskiwania oleju, która stanowi własny patent Autora (PAT 231193). Na tej podstawie opracowane zostało również rozwiązanie problemu polegające na podziale instalacji wymiennika na kilka niezależnych rurociągów powrotnych z odcinającymi zaworami elektromagnetycznymi co stanowi kolejny patent własny Doktoranta (PAT 230583). Ostatni podrozdział przedstawia cel pracy oraz tezę dysertacji. Całościowo analiza została

przygotowana w sposób uporządkowany, jednocześnie Doktorant uzupełnia ją o cenne spostrzeżenia i uwagi zachowując jednocześnie sceptycyzm właściwy dla badacza. W mojej ocenie rozdział ten jest istotny także z punktu widzenia osadzania tematyki pracy w praktyce.

W trzecim rozdziale pracy Doktorant przedstawił opis stanowiska badawczego. Jak podkreślono na wstępie zostało ono zaplanowane w warunkach rzeczywistych – odpowiadających swą wielkością budynkom jednorodzinnych o nominalnej wartości grzewczej równej 9 kW. Doktorant opisał przyjęte założenia zaprojektowanego stanowiska badawczego oraz punkt pracy uzupełniając całość dokumentacją zdjęciową. W syntetyczny sposób opisana została również metodyka badań, a także zakres pomiarowy oraz metody akwizycji danych. Z przedstawionego opisu stanowiska badawczego wynika, że zakres oraz skala zrealizowanych badań świadczy o dużych możliwościach badawczych, którymi dysponował Doktorant. Należy także podkreślić, że zaplanowane badania są spójne i bardzo dobrze ukierunkowane.

Kolejny czwarty rozdział pracy został zatytułowany „*Badania wpływu elastyczności wymiarowania wymiennika gruntowego*” i w ocenie recenzenta jest to jeden z najważniejszych rozdziałów całej Dysertacji. Autor opisuje przeprowadzone badania porównawcze układów z odpowiednio większym wymiennikiem gruntowym w stosunku jak to zostało określone do wymiennika konwencjonalnego. Założone zostały dwa typy układów wymiennika jednopłaszczyznowego o zwiększonej powierzchni, a także przeprowadzono badania porównawcze tej samej wielkości wymienników gruntowych dla dwóch różnych sposobów ułożenia. Badania podzielono w celu określenia wzrostu jednostkowego wskaźnika COP wykonując dla założonych konfiguracji po trzy pomiary. Wyniki z przeprowadzonych badań zostały następnie uśrednione i przedstawione w postaci tabelarycznej, a także w postaci odrębnego załącznika. Zaprezentowane tabele zostały opatrzone komentarzami, a na koniec podrozdziału Doktorant przygotował krótkie podsumowanie, które potwierdza przyjęte założenia i jednocześnie określa wskazówki realizacji badań. W kolejnym podrozdziale przeprowadzone zostały badania wpływu powierzchni wymiennika pod kątem wzrostu sezonowego współczynnika efektywności energetycznej. Wykonano 12 pomiarów w różnych okresach czasu. Same wyniki zostały przedstawione na wykresie i w postaci tabelarycznej. Bardzo ciekawy wymiar praktyczny mają także badania wydajności nominalnej sprężarki. Również w tym przypadku wyniki zostały zaprezentowane w formie tabel oraz wykresów. Rozdział kończą badania porównawcze wymienników o podwyższonej powierzchni w układzie jedno i dwupłaszczyznowym. Całość tych badań została zakończona krótkim podsumowaniem. Należy podkreślić, że zakres zrealizowanych badań ich analiza i sposób prezentacji jest dobrze przemyślany i ukierunkowany świadczy on również o dobrym warsztacie badawczym Doktoranta.

W rozdziale piątym, którego podstawą było badanie związane z układem do odzyskiwania oleju z parowników bezpośrednio parowanie/woda objętego ochroną patentową. Ich



głównym celem była weryfikacja założeń projektowych. W pierwszej części Doktorant opisuje problemy jakie napotkał podczas realizacji przyjętej koncepcji. Należy je uznać za ciekawe biorąc pod uwagę użyteczność dysertacji. Podkreślić należy jednak, że pozostałe trzy punkty planu badawczego zostały zrealizowane zgodnie z pierwotnymi założeniami. W ocenie recenzenta szczególnie ciekawa była optymalizacja metod załączania i sterowania elektrycznymi zaworami odcinającymi. Dzięki badaniom Doktorant opracował optymalny algorytm pracy, który wraz z opracowanym układem stanowi zgłoszenie patentowe w Urzędzie Patentowym Rzeczypospolitej Polskiej zarejestrowane pod numerem P.438205. Rozdział ten kończą badania wpływu okresowych odcięć wymiennika na spadek współczynnika COP.

Szósty rozdział pracy stanowi kontynuację prac rozwojowych. Doktorant przedstawia ostateczny prototyp pompy ciepła wraz z układem odzysku oleju. Autor poza „podstawowym” modułem odzyskiwania oleju opracował także układ alternatywny, który charakteryzuje się redukcją przestrzeni oraz ilości elementów automatyki. Ostatni siódmy rozdział pracy stanowią wnioski i uwagi końcowe. Doktorant w punktach zaprezentował wnioski wynikające z części badawczej pracy.

Jednym z istotnych elementów charakteryzujących całą dysertację, który został już zasygnalizowany, jest użyteczność zrealizowanych badań, wymagająca od Autora znajomości wielu zagadnień i metod badawczych. Przedstawione w pracy założenia, zaproponowana metodyka i zrealizowane na jej podstawie badania, a szczególnie ich skala i zakres należy ocenić pozytywnie. W ocenie recenzenta sam układ pracy jest poprawny choć Doktorant nie ustrzegł się błędów, które szerzej zostaną opisane w kolejnym punkcie recenzji. Autor pracy wykazał się wysokimi kompetencjami przy tym należy pochwalić także jego warsztat naukowo-badawczy. Praca jest bogato ilustrowana co znacząco poprawia jej odbiór choć do samej prezentacji, a także opisu rysunków recenzent ma kilka uwag. Praca zawiera spis tabel i spis rysunków oraz załącznik w postaci danych źródłowych, które zostały zestawione tabelarycznie.

5. Uwagi ogólne i szczegółowe

Na wstępie należy podkreślić, że całościowa merytoryczna ocena pracy jest pozytywna. Pomimo tego, że jak już wspomniano powyżej sama praca została napisana generalnie poprawnym językiem można w niej napotkać drobne błędy stylistyczne, językowe oraz interpunkcyjne na przykład str. 4, str. 7, str. 22, str. 74, str. 86.

Również w zakresie edycyjnym można dostrzec pewne niedociągnięcia. Na części stron w ocenie recenzenta pozostawiono wolne przestrzenie (na przykład str. 9, str. 13, str. 14, str.

15, str. 19.) zamiast jak się wydaje odpowiednio dopasować wielkość zdjęć i rysunków do arkuszy. Na większości wykresów nie podano również jednostek.

Mam także pewne uwagi co do stosowania odnośników literaturowych oraz opisów stosowanych przez Doktoranta pod rysunkami czy też wykresami. Wydaje się, że dobrym pomysłem w przypadku, gdy dana tabela, wykres czy też rysunek jest opracowaniem własnym Doktoranta jest jasne tego określenie. Jednocześnie w kilku przypadkach Autor dysertacji w ogóle nie opisuje schematów czy też części wykresów (str. 5, str. 16). Ponieważ praca ma bez wątpienia aplikacyjny charakter niezmiernie istotna jest jasna prezentacja wszystkich schematów oraz rysunków. Proponuję, aby podczas przygotowywania publikacji naukowych Doktorant szczegółowo oznaczał i opisywał poszczególne elementy schematów i rysunków stosując jednocześnie ujednolicony rodzaj oznaczeń, opisów i wielkość czcionki. Bez wątpienia poprawi to ich całościowy odbiór.

Korzystając z możliwości jaką umożliwia proces recenzowania chciałby także zwrócić uwagę na ilość pozycji bibliograficznych przywołanych w części studialnej pracy. Już na samym początku pracy zasygnalizowano, że z uwagi na podjętą tematykę i problem badawczy ilość dostępnych pozycji literaturowych jest ograniczony. Częściowo można się z tym zgodzić wydaje się natomiast, że szczególnie w zakresie publikacji dotyczących ogólnego zagadnienia pomp ciepła bezpośredniego odparowania można było znacząco dokładniej przeprowadzić przegląd pozycji literaturowych.

Podsumowując całą rozprawę doktorską Pana mgr inż. Damiana Pędziwiatra należy uznać, że podjęta tematyka jest oryginalna i aktualna. Recenzent szczególnie docenia praktyczny charakter dysertacji co ma potwierdzenie w złożonym zgłoszeniu patentowym.

Pozwalam sobie również na zadanie kilku pytań do których Doktorant może się odnieść. Mają one głównie charakter porządkowy. I tak:

1. W rozdziale 3 Doktorant przedstawia budowę stanowiska badawczego wskazując założenia do przeprowadzenia badań porównawczych pomiędzy wymiennikiem „standardowym” zakładając 5 pętli a wymiennikiem 8 pętli jednopłaszczyznowego oraz piętrowego. Czy mogę prosić o rozwinięcie na jakiej podstawie dobrano wielkości wymienników szczególnie 8 pętli.
2. Podobnie w rozdziale 4.3 w którym zwiększano liczbę kolejnych pętli o 4 przypadających na jeden układ. Na jakiej podstawie następowało konkretnie takie zwiększenie?
3. W rozdziale 4.4 Autor przedstawia wyniki badań porównawczych pod kątem wychładzania gruntu. Czy mogę prosić o informację jak i za pomocą czego te badania były realizowane?

4. Na stronie 37 Auro pisze cyt. „*sygnał z czujników temperatury, przetworników ciśnienia oraz liczników energii elektrycznej, odczytywany jest przez moduły pomiarowe marki LUMEL*”. Po pierwsze chciałbym zapytać jakie typy czujników zastały zastosowane. Wydaje się również, że jeżeli w pracy zastosowano komercyjne rozwiązania winny się w niej znaleźć np. karty produktu.
5. Na stronie 42 Doktorant opisuje sposób prowadzenia pomiarów. Co w zasadzie oznacza „wyodrębnienie błędów przypadkowych” i „obróbka danych” z plików źródłowych.
6. Jaka jest zdaniem Doktoranta możliwość wprowadzenia opracowanego rozwiązania do powszechnego stosowania przez producentów pomp ciepła?
7. Zarówno z treści pracy jak zawartych w niej wniosków nie wynika czy Doktorant ma zamiar prowadzić dalsze badania w przedmiotowym zakresie. Jeżeli tak to jaki jest przewidywany ich dalszy kierunek. Czy jednocześnie Doktorant ma zamiar prowadzić działalność publikacyjną upowszechniającą opracowane rozwiązanie?

6. Wniosek końcowy

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgra inż. Damiana Pędziwiatra pt. „Badanie innowacyjnego układu odzyskiwania oleju z parowników gruntowych pomp ciepła typu bezpośrednie parowanie/woda” stanowi istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna, należącej do dziedziny nauk inżynieryjno-technicznych. Rozprawa świadczy o wysokim poziomie wiedzy Kandydata, a także umiejętności prowadzenia pracy naukowej. Przedstawiona praca doktorska spełnia w pełni wymagania stawiane w Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 poz. 1668 z późn. zm.). Wnoszę o dopuszczenie pracy doktorskiej Pana mgra inż. Damiana Pędziwiatra do publicznej obrony.