

Kraków, dn. 28.08.2023 r.

Dr hab. inż. Marek Borowski, prof. Uczelni

Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie

al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Recenzja

pracy doktorskiej mgra inż. Damiana Pędziwiatra pt.:

**Badanie innowacyjnego układu odzyskiwania oleju z parowników gruntowych
pomp ciepła typu bezpośrednie parowanie/woda**

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Damiana Pędziwiatra pt. „Badanie innowacyjnego układu odzyskiwania oleju z parowników gruntowych pomp ciepła typu bezpośrednie parowanie/woda” zlecona została na mocy uchwały Rady Dyscypliny Naukowej w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna Politechniki Częstochowskiej i umowy z dnia 28.06.2023 zgodnie z wymaganiami w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2020 roku poz. 85, z późn. zm.).

Ocena rozprawy doktorskiej

1. Ocena tytułu rozprawy doktorskiej stanowiącej podstawę ubiegania się w postępowaniu o nadanie stopnia doktora

Tytuł rozprawy doktorskiej "Badanie innowacyjnego układu odzyskiwania oleju z parowników gruntowych pomp ciepła typu bezpośrednie parowanie/woda" jest

wystarczająco szerokim i wartościowym tematem, aby stanowić podstawę pracy doktorskiej. Wskazuje, że układ jest innowacyjny oraz sugeruje, że praca doktorska będzie wносить nowe spojrzenie lub rozwiązania do dziedziny pomp ciepła. Rozprawa jest oparta na badaniach technicznych i eksperymentalnych dotyczących odzyskiwania oleju z parowników gruntowych pomp ciepła, co dodatkowo podkreśla jej praktyczne zastosowanie. Temat rozprawy związany z pompami ciepła ma istotne znaczenie w kontekście efektywności energetycznej i ochrony środowiska. Badanie innowacyjnego układu odzyskiwania oleju może przyczynić się do rozwoju bardziej ekologicznych i wydajnych rozwiązań. Tytuł pracy doktorskiej jest odpowiednio zredagowany i zawiera kluczowe informacje na temat zakresu i celów badania.

2. Ocena układu rozprawy doktorskiej, w tym informacje o jej poszczególnych częściach składowych

Układ rozprawy doktorskiej jest prawidłowy a sama rozprawa składa się z kilku kluczowych części.

Wstęp rozpoczynający rozprawę zawiera wprowadzenie do tematu oraz informacje ogólne o pompach ciepła, co pozwala zrozumieć kontekst pracy. W tekście jednak brakuje odwołań do literatury naukowej i źródeł, które popierałyby przedstawione informacje. Autor wspomina o różnicach w efektywności między pompami powietrznymi a gruntowymi, ale nie wyjaśnia dlaczego te różnice istnieją.

Drugi rozdział zawiera analizę problemu wymiarowania wymienników gruntowych oraz przegląd literatury. To kluczowa część rozprawy, która pomaga zrozumieć wagę i istotę badania oraz porusza problematykę luki w bazie wiedzy, jaka obecnie występuje na rynku pomp ciepła i jakie luki w wiedzy ma na celu wypełnić. Analiza oparta jest na kilku źródłach. Zawiera informacje na temat różnych aspektów pomp ciepła bezpośredniego odparowania/woda, takich jak wydajność, efektywność i alternatywne czynniki chłodnicze. Jednak brakuje głębszej analizy wyników badań prowadzonych w tym zakresie i ich implikacji. W trzecim rozdziale znajduje się opis stanowiska badawczego, które dostarcza informacji, jakie narzędzia i środowisko badawcze zostały wykorzystane. Następny, czwarty rozdział zawiera wyniki badania wpływu wymiarowania wymiennika gruntowego. Rozdział jest podzielony na podrozdziały, co pozwala na określenie kolejności i kontekstu badań. W

piątym rozdziale przedstawione są badania dotyczące opracowania układu umożliwiającego elastyczność wymiarowania wymienników, co jest kluczowym etapem w procesie badawczym. W kolejnym, szóstym rozdziale rozprawy doktorant przeprowadził analizę układu umożliwiającego wymiarowanie pod kątem zastosowania w seryjnych urządzeniach. Ostatni rozdział zawiera podsumowanie pracy oraz potwierdzenie tezy, co pozwoliło wyeksponować wyniki i wnioski z badań. Na końcu pracy znajduje się nomenklatura, literatura, wykaz tabel oraz wykaz rysunków, które są standardowymi elementami pracy doktorskiej.

3. Ocena zastosowanego piśmiennictwa w ramach rozprawy doktorskiej

Piśmiennictwo zastosowane w ramach rozprawy doktorskiej jest odpowiednio zróżnicowane i dostosowane do tematu badawczego. Niemniej jednak przegląd literatury jest ubogi i choć obejmuje źródła zarówno z dziedziny pomp ciepła, jak i związane z problemami oleju w układach chłodniczych, to temat nie jest wystarczająco zgłębniony. Należy podkreślić, że Autor rozprawy doktorskiej korzysta z własnych prac (pozycje 1, 2, 3), co jest zrozumiałe, ponieważ są one związane z tematem badawczym i pozwalają na przedstawienie ewolucji jego badań. Literatura zawiera wykorzystanie prac zawierających wyniki badań eksperymentalnych (pozycje 5, 6, 7, 14) co też jest ważne, ponieważ dostarczają one rzeczywistych danych i jest kluczowe w pracy doktorskiej. Dodatkowo załączenie prac zawierających modele i analizy teoretyczne (pozycje 8, 9, 10, 11, 12, 13), co pozwala odnieść się do teoretycznego kontekstu badań i analiz. Aczkolwiek w literaturze przeważają źródła z wąskim zakresem czasowym, co może sugerować brak różnorodności w analizie. Istnieją starsze prace lub inne źródła, które poszerzyłyby kontekst i dodały innego spojrzenia na analizowany temat rozprawy. Wiele z cytowanych źródeł to polskie publikacje. W badaniach naukowych konieczne jest uwzględnienie także międzynarodowej perspektywy i wyników badań z innych krajów, zwłaszcza w dziedzinach o globalnym znaczeniu. Niektóre pozycje pochodzą z konferencji, które mogą nie być recenzowane w taki sam sposób, jak artykuły w czasopiśmie naukowych. Podsumowując, choć literatura wydaje się być odpowiednio dobrana pod kątem tematu badawczego, to nie zawiera wystarczającej różnorodności i nie uwzględnienia międzynarodowych referencji oraz nie ujmuje prac z recenzowanych czasopiśmie naukowych, co potwierdzałoby wiarygodność i kompleksowość badań.

4. Wskazanie oraz ocena celu pracy kandydata

Cel pracy został odpowiednio sformułowany i dotyczy on opracowania układu odzyskiwania oleju z parowników gruntowych pomp ciepła oraz jego badania a także określenia wpływu wymiarowania na efektywność energetyczną. Oceniam cel pracy doktorskiej jako odpowiedni, a praca doktorska skupia się na dwóch głównych zagadnieniach: badaniu wpływu wymiarowania wymiennika gruntowego na efektywność energetyczną oraz opracowaniu układu umożliwiającego elastyczne wymiarowanie parowników gruntowych. Te zagadnienia są zrozumiałe i powiązane z celem pracy.

5. Wskazanie oraz ocena zastosowanych metod badawczych

Zastosowane metody badawcze w opisie stanowiska badawczego wydają się być dobrze opracowane i zaplanowane. Budowa stanowiska badawczego w warunkach rzeczywistych jest kluczowym elementem badania. Odpowiada to zasadzie, że badania powinny być przeprowadzane w warunkach jak najbardziej zbliżonych do rzeczywistych. Ustalono stałe parametry techniczne wymiennika gruntowego dla każdego układu, co pozwoliło na porównywanie wyników. Długość pętli, przekrój rurociągu, rodzaj materiałów, i inne aspekty zostały określone. Również rodzaj gruntu został określony, co jest ważne, ponieważ właściwości gruntu mogą wpływać na wydajność wymiennika. Jednak wskazany rodzaj gruntu "gлина + kamień" nie zawiera dokładniejszych charakterystyk, co może mieć wpływ na wydajność wymiennika gruntowego.

Układ wymiennika gruntowego został dość ogólnie opisany, gdyż podano tylko informacje związane z jego głębokością i konfiguracją. Wymiarowanie wymiennika jest realizowane poprzez zmianę liczby pętli, ale nie podano dokładnych informacji o tym, jakie są kryteria doboru liczby pętli w poszczególnych konfiguracjach.

Określono również zakres temperatur górnego źródła energii oraz przepływu wody, co pozwala na obliczenie wydajności pomp ciepła. Utrzymanie tych parametrów na stałym poziomie w trakcie badań zapewnia spójność wyników. Przyjęto punkty pracy układów z różnymi konfiguracjami, co daje możliwość porównania ich wydajności i efektywności.

Zastosowanie czujników temperatury, przetworników ciśnienia, liczników energii elektrycznej i innych urządzeń pomiarowych jest standardowym podejściem w badaniach tego typu. Dokładność pomiarów została określona. W pracy wykonano obliczenia ilości ciepła, współczynników efektywności energetycznej, co pozwoliło na dokonanie analizy porównawczej. Wykorzystanie modułów pomiarowych i programów do akwizycji danych pozwoliło na rejestrowanie wyników badań.

Dokładność pomiarów została podana, co pozwala na określenie wiarygodności uzyskanych wyników. Pomimo opisanego procesu pomiarowego i akwizycji danych, brak jest informacji o powtarzalności badań, kontrolowaniu innych możliwych czynników zakłócających (np. warunki atmosferyczne) oraz procedurach zapewniających jakość danych.

Opisana metoda badawcza została stosownie zaplanowana, co pozwoliło na przeprowadzenie badań nad efektywnością energetyczną pomp ciepła typu bezpośredniego parowania/wody.

6. Ocena części rozprawy doktorskiej dotyczącej omówienia wyników badań

Opisane badania wpływu elastyczności wymiarowania wymiennika gruntowego wydają się być przemyślane i mają potencjał dostarczenia istotnych informacji na temat efektywności energetycznej systemów pomp ciepła.

Przedstawione wyniki badań, w rozdziale 4.1, wpływ elastyczności wymiarowania wymiennika gruntowego, pokazują, że zwiększenie liczby pętli w wymienniku gruntowym o 60-320% spowodowało wzrost wydajności grzewczej a także wzrost współczynnika efektywności energetycznej COP. Zatem zwiększenie elastyczności wymiarowania wymiennika gruntowego poprzez zwiększenie liczby pętli może znacząco poprawić jego wydajność i efektywność energetyczną. Wartość wzrostu wydajności grzewczej i COP jest istotna, zwłaszcza w kontekście efektywności energetycznej układu. Jednak dokładne wyniki zależą od parametrów pracy, takich jak temperatura zasilającej wody i temperatura przegrzania, które należy uwzględnić przy projektowaniu i optymalizacji systemu wymiennika gruntowego.

Należy zauważyć, że Doktorant opisuje zbyt ogólnie tezę, że zwiększenie powierzchni wymiennika wpłynie na poprawę efektywności energetycznej, ale nie wchodzi w szczegóły dotyczące tego, w jaki sposób można osiągnąć takie zwiększenie (np. większa liczba pętli, większa głębokość, itp.). Sugeruje również, że większy wymiennik gruntowy jest zawsze lepszy, ale nie podaje informacji o ewentualnych negatywnych skutkach, takich jak spadek wydajności w okresie regeneracji gruntu. Wreszcie Doktorant nie porównuje wyników badań z innymi dostępnymi rozwiązaniami, co mogłoby poszerzyć kontekst dla oceny efektywności pomp ciepła.

W rozdziale 4.2 Doktorant przeprowadził badania porównawcze dla dwóch różnych konfiguracji (Spr1 i Spr3) w określonych okresach czasu. Wartości COP oraz spadki temperatury gruntu i temperatury odparowania zostały zmierzone i zestawione w formie wykresów i tabel. Badanie było prowadzone przez określony czas, ale brakuje na przykład statystycznej analizy wyników, takiej jak obliczenie średnich, odchyleń standardowych itp.

W rozdziale 4.3 Doktorant bada różne konfiguracje wymiennika oraz dokonuje analizy uzyskanych wyników, wykazując tendencje wzrostu wydajności grzewczej i współczynnika COP wraz ze wzrostem powierzchni wymiennika. Analiza ta pozwala na wyciągnięcie praktycznych wniosków z uzyskanych wyników badań .

W rozdziale 4.4 Doktorant dokonuje analizy danych, wskazując na różnice w wynikach między badanymi układami. Szczególnie istotne jest omówienie zmian w ciśnieniach odparowania i ich wpływu na wydajność grzewczą i współczynniki COP. Jednak wyjaśnienia wymaga dlaczego Doktorant skupił się na jednym okresie pomiarowym i pominął część wyników pomiarów. Poza tym brakuje wniosków z analizy różnic w temperaturach i ciśnieniach między układami oraz jakie są ewentualne praktyczne implikacje tych wyników.

W rozdziale 5, doktorant skupił się na opracowaniu rozwiązania umożliwiającego elastyczne wymiarowanie w kontekście odzyskiwania oleju z parowników bezpośredniego parowania/woda, objętego ochroną patentową. Celem badań było zweryfikowanie projektowych założeń oraz ostateczne dostosowanie układu do rzeczywistej pracy. Jednym z głównych założeń projektu było doświadczalne wyznaczenie czasu pracy elektrozaworów odcinających na podstawie zamontowanych czujników poziomu oleju. Niestety, pierwsze badania napotkały na problemy, takie jak niestabilność poziomu oleju, niewielka ilość

wytrącanego oleju z parownika w długich okresach czasu oraz trudności z dokładnymi pomiarami retencji oleju w wymienniku gruntowym. W wyniku tych ograniczeń przeprowadzono badania w warunkach laboratoryjnych na układzie parownika, który miał mniejszą przestrzeń roboczą i umożliwiał dokładniejsze pomiary. Ostatecznie, te badania wykazały, że dokładne określenie minimalnego czasu trwania cyklu pracy elektrycznych zaworów odcinających oraz obniżonej wartości temperatury przegrzania wymaga dalszych badań.

Następnie badano prawidłową pracę układu podczas pracy z częściowo odciętych wymiennikiem, wyznaczano optymalną metodę załączania i sterowania elektrycznymi zaworami odcinającymi oraz badano wpływ okresowych odcięć wymiennika na spadek współczynnika COP.

W kontekście optymalizacji pracy układu, opracowano modyfikację polegającą na zmianie lokalizacji elektrozaworów odcinających, co miało rozwiązać problemy z bezwładnością przepływu czynnika. Ponadto, opracowano algorytm pracy, który pozwala na skuteczniejszą minimalizację temperatury przegrzania i wyfukowanie oleju z instalacji. Zmiana lokalizacji elektrozaworów odcinających oraz opracowanie algorytmu pracy, to ważne kroki w doskonaleniu układu. Jednakże, w tekście brakuje szczegółów technicznych na temat tych modyfikacji, co może utrudnić replikację badań.

Badania nad wpływem okresowych odcięć wymiennika wykazały, że minimalny czas pracy w trybie odzyskiwania oleju ma niewielki wpływ na obniżenie całkowitego współczynnika COP. W przykładzie przedstawionym w tekście wynosił on 0,36%. Wyniki tych badań są prezentowane w sposób dość ogólny, a konkretny przykład spadku COP (0,36%) jest niewyjaśniony. Brakuje również analizy porównawczej z innymi metodami lub układami. Ogólnie rzecz biorąc, rozdział 5 koncentruje się na badaniach i modyfikacjach układu do odzyskiwania oleju, mających na celu poprawę jego wydajności i efektywności energetycznej. Doktorant opisuje problemy napotkane podczas badań i proponuje rozwiązania mające zwiększyć efektywność pracy tego układu.

7. Informacje dotyczące praktycznego zastosowania uzyskanych wyników badań

Badania przeprowadzone nad układem umożliwiającym elastyczność wymiarowania oraz odzyskiwania oleju z parowników bezpośredniego parowania/wody objętego ochroną patentową mają praktyczne zastosowania, tj.:

1. Doktorant opracował algorytm sterowania układem, który jest oparty na krótkotrwałym odcięciu określonych sekcji parownika przy każdym starcie sprężarki. Ten algorytm może być zaimplementowany w seryjnych urządzeniach na dwa sposoby. Po pierwsze, może być to zewnętrzny, niezależny moduł sterujący, który posiada jedno wejście inicjujące załączenie równocześnie z rozruchem sprężarki i wyjście przekaźnikowe dla każdego elektrozaworu. Po drugie, algorytm można zintegrować bezpośrednio w głównym sterowniku pompy ciepła, co znacznie upraszcza układ sterowania, eliminując potrzebę osobnego modułu. Wybór zależy od preferencji producenta urządzenia i jego konstrukcji. Poprzez optymalne zarządzanie czasem pracy elektrycznych zaworów odcinających w układzie, możliwe jest zwiększenie efektywności energetycznej całego systemu chłodniczego. Zmniejszenie spadku współczynnika COP (współczynnika wydajności sezonowej) ma ogromne znaczenie w oszczędności energii i obniżeniu kosztów eksploatacyjnych.
2. Układ umożliwiający odzysk oleju składa się z dwóch elektrozaworów zamontowanych na rurociągach wyjściowych, połączonych trójnikiem w jeden wspólny rurociąg, który jest następnie podłączony do zaworu rozprężnego. Ze względu na zajmowaną przestrzeń, ten układ może być wykonywany w formie niezależnego modułu, który jest dołączany do gotowego urządzenia pompy ciepła. Taki wariant pozwala na sprzedawanie układu odzysku oleju, jako opcji dla seryjnych urządzeń.

Podsumowując, wyniki badań nad układem umożliwiającym elastyczne wymiarowanie wymienników gruntowych oraz odzyskiwaniem oleju w seryjnych urządzeniach pompy ciepła, mogą prowadzić do bardziej efektywnych i ekonomicznych rozwiązań w branży HVAC.

8. Informacja o ewentualnych nieprawidłowościach, które pojawiły się w ocenianej rozprawie doktorskiej

Uwagi i pytania wymagające wyjaśnienia:

- Podpis rys. 2. Jest „4. Dole...” powinno być „4. Dolne...”
- str. 26 - wyrażenie „na wolniejszą eksploatację gruntu” wymaga wyjaśnienia.
- Str. 28 - wyrażenie „powierzchnia wykorzystanego gruntu, oznacza wolniejszą jego eksploatację cieplną” wymaga wyjaśnienia.
- Osie wielu wykresów nie zawierają opisów, jak również jednostek. Na wykresach brak jest legendy lub opisów w tekście.
- Autor opisuje, że pewne parametry (np. temperatura przegrzania zimnych par, temperatura skraplania, itp.) są utrzymywane na stałym poziomie, ale nie podaje informacji o tym, jak te warunki są kontrolowane i monitorowane.
- W rozdziale 4.2. wspomniano, że wykonano 12 pomiarów w różnych okresach czasu, a najbardziej miarodajne wyniki wybrano na podstawie 18 dni pomiarów. Dlaczego wybrano te określone dni i czy te wyniki są reprezentatywne dla całego badania?
- Tekst może być trudny do czytania ze względu na brak odpowiedniego formatowania, takiego jak rozdzielenie na akapity i punkty numerowane.

9. Ocena, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego

Na podstawie rozprawy doktorskiej, można wysunąć wniosek, że prace badawcze i eksperymentalne przeprowadzone przez Doktoranta stanowią oryginalne rozwiązanie problemu naukowego związanego z układem odzyskiwania oleju w parownikach gruntowych typu bezpośrednio parowanie/woda. Autor przedstawia wiele kluczowych wniosków, które potwierdzają oryginalność jego podejścia. Indywidualność rozprawy potwierdzają:

1. Przeprowadzone badania nad wpływem wielkości parownika na efektywność pomp ciepła. Wyniki tych badań sugerują, że istnieje optymalny zakres powierzchni wymiennika w stosunku do efektywności energetycznej.
2. Opracowanie rozwiązania umożliwiającego wymiarowanie parowników gruntowych, co może być istotne dla dostosowania tych urządzeń do różnych warunków i potrzeb użytkowników.

3. Przedstawione nowe podejście do odzyskiwania oleju z parowników gruntowych, co jest istotnym aspektem związanym z efektywnością i ekonomią w eksploatacji tych urządzeń.
4. Zaprojektowana konstrukcja układu do odzyskiwania oleju oraz algorytm sterowania.
5. Przeprowadzone liczne eksperymenty i analizy, które dostarczyły wyniki, potwierdzające poprawność podejścia do rozwiązania problemu.

Na podstawie tych elementów można uznać, że rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i wnosi wkład w dziedzinę związaną z pompami ciepła oraz technologią związaną z odzyskiwaniem oleju w parownikach gruntowych typu bezpośrednie parowanie/woda.

10. Ocena, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dziedzinie pomp ciepła typu bezpośrednie parowanie/woda oraz jego zdolność do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Autor opisał przeprowadzone badania i eksperymenty, a także wnioski wyniesione z tych badań. Autor wykazuje się umiejętnością przeprowadzania badań naukowych oraz analizy wyników. Praca może stanowić cenne źródło wiedzy dla innych specjalistów zajmujących się pompami ciepła.

Wniosek końcowy

Na podstawie analizy merytorycznej i formalnej rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Damiana Pędziwiatra pt. „Badanie innowacyjnego układu odzyskiwania oleju z parowników gruntowych pomp ciepła typu bezpośrednie parowanie/woda” stwierdzam, że Doktorant wykazał się umiejętnością formułowania problemu badawczego oraz poprawnym doбором metod i narzędzi służących jego rozwiązaniu. Recenzowana praca w pełni spełnia wymagania

stawiane rozprawom doktorskim zawartym w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r., poz. 85 z późn. zm). W związku z powyższym stawiam wniosek do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Częstochowskiej o dopuszczenie Doktoranta do obrony.

Borowski Marek