

Prof. dr hab. inż. Leszek Romański  
Instytut Inżynierii Rolniczej  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
ul. Chełmońskiego 37a  
51-630 WROCŁAW

Wrocław, dnia 23.06.2020r

## RECENZJA

Rozprawy doktorskiej magistra inżyniera Pawła W. Pacygi  
pt. „*Modelowanie zjawisk wymiany ciepła w kolektorze słonecznym dwustronnego działania*”

### 1. Podstawa opracowania recenzji i informacje ogólne

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Przewodniczącego Komisji ds. Stopni Naukowych w Dyscyplinie Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka nr 9/PW/548/2020 z dnia 13.05.2020 r informujące o powołaniu mnie na recenzenta pracy doktorskiej Pana mgr inż. Pawła Pacygi. Praca doktorska pt: . „*Modelowanie zjawisk wymiany ciepła w kolektorze słonecznym dwustronnego działania*” wykonana została pod kierunkiem dr hab. inż. Jacka Kasperskiego, prof. uczelni w Zakładzie Podstaw Konstrukcji i Maszyn Przepływowych na Wydziale Mechaniczno- Energetycznym Politechniki Wrocławskiej. Wydana jest na prawach rękopisu jako raport serii PRE nr 2/2020, obejmuje 193 strony tekstu w tym 97 rysunki i 10 tabel. Całość podzielona jest na 9 rozdziałów zakończonych wykazem cytowanego piśmiennictwa w ilości 380 pozycji oraz wykazem dorobku naukowego autora w ilości 54 w tym 44 pozycje to publikacje. Zaakcentowania wymaga fakt, że konstrukcja kolektora słonecznego dwustronnego działania, która jest przedmiotem badań została zgłoszona do Urzędu Patentowego RP jako wynalazek i Autor mgr inż. Paweł Pacyga uzyskał na nią patent.

### 2. Ocena merytoryczna pracy

Tematyka pracy jest bardzo ciekawa, gdyż dotyczy rozważań teoretycznych opisujących procesy wymiany ciepła zachodzące podczas pracy kolektorów w tym nowej konstrukcji kolektora słonecznego, którego pomysłodawcą jest Autor rozprawy. Już z założeń konstrukcyjnych wynika, że będzie to konstrukcja charakteryzująca się wyższą efektywnością energetyczną w stosunku do konstrukcji aktualnie eksploatowanych. Istotą tej konstrukcji jest to, że przy przewadze promieniowania bezpośredniego jest ono skupiane na odbiorniku ciepła dzięki zastosowaniu zwierciadlanej powierzchni wklęsłej typu rynna. Natomiast, gdy występuje przewaga promieniowania słonecznego rozproszonego i ewentualnie odbitego nad promieniowaniem bezpośrednim, to wtedy są one pochłaniane przez powierzchnię wypukłą pokrytą warstwą absorpcyjną (selektywną). Clou tego wynalazku jest to, że w zależności od potrzeby, funkcja absorbera lub zwierciadła jest ustalana dzięki obracaniu „rynny” w stosunku do słońca raz powierzchnią wypukłą a raz wklęsłą.

W zależności od pory roku udział promieniowania słonecznego rozproszonego i odbitego w promieniowaniu całkowitym docierającym do Ziemi wynosi, dla centralnej Polski, od

54% do 62%. Jego moc jest oczywiście niższa niż promieniowania bezpośredniego. Dlatego tak istotne jest, aby szczególnie w okresach jesienno-zimowo-wiosennych promieniowanie rozproszone pozyskiwać przy pomocy urządzeń charakteryzujących się wysoką sprawnością. Przykładowo, w grudniu z promieniowania bezpośredniego można korzystać tylko średnio przez 1,5 godziny dziennie a dzień trwa przecież dłużej.

Opracowane 4 modele matematyczne opisujące procesy wymiany ciepła w trzech zbudowanych przez Autora kolektorach słonecznych (jeden z nich – kolektor dwustronnego działania może pracować w dwóch trybach) uważam za duże, warte podkreślenia jego osiągnięcie. Jednak oprócz mojego dużego uznania dla pracy studyjnej Doktoranta dostrzegam także wiele niedociągnięć, błędów czy też przeoczeń. Przedstawię je chronologicznie zgodnie ze spisem treści pracy.

1. W rozdziale „Przegląd literatury” na 380 publikacji na które powołuje się Autor jest tylko 4 z Polski w tym 2 autocytowania. Jest dla mnie niezrozumiałe dlaczego pominięto prace z Politechniki Gdańskiej, Krakowskiej, Wrocławskiej, SGGW, Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu czy Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN w Warszawie. Przykładowo: obowiązkowo powinna być przytoczona praca habilitacyjna prof. D. Chwieduk z IPPT–„Modelowanie i analiza pozyskiwania oraz konwersji termicznej energii promieniowania słonecznego w budynku”, czy B. Chwieduka z SGGW pt. „Porównanie modeli promieniowania słonecznego”. Jak na tym tle wyglądają takie publikacje jak (tytuły przetłumaczono na język polski):

-Pozycja 11.. Lillo, Perez, Moreno. Potencjał wytwarzania ciepła procesowego z technologii koncentracji energii słonecznej w Ameryce Łacińskiej. *Przypadek Argentyny*.

-Pozycja 20. Song, Huang i in. - Roczna emisja węgla z wylesiania w dorzeczu Amazonki pomiędzy 2000 i 2010r.

-Pozycja 24. Ali, Riaz i in. Wylesianie i jego wpływ na zmiany klimatu (przegląd) na przykładzie Pakistanu.

Poz 37. Yuksel, Arman, Secerencam. Energia wody i polityka środowiskowa w Turcji.

W podrozdziale 1.3. *Zastosowanie energii słonecznej* razi dokumentowanie poszczególnych zastosowań publikacjami naukowymi. Przykładowo wymieniając produkcję wody użytkowej – powołano się aż na 15 publikacji, na suszenie- 8 publikacji. Czy bez powoływania się na publikacje nie są to oczywiste fakty. Przecież już wiele tysięcy lat temu, gdy człowiek pierwotny zamoczył skórzane odzienie to suszył je na słońcu., podobnie jak i niektóre produkty żywnościowe.

Numeracja podrozdziałów od 1.4 do 1.7 jest niepoprawna. Podrozdział 1.4 brzmi *kolektory słoneczne*, kolejne są właściwie uszczegółowieniem tego pojemnego tematu, gdyż dotyczą konkretnych rodzajów kolektorów: płaskiego, próżniowego, parabolicznego rynnowego. Właściwa numeracja zgodna z logiką powinna być następująca: 1.4. Kolektory słoneczne; 1.4.1. Kolektor płaski, 1.4.2. Próżniowy kolektor rurowy; 1.4.3. Paraboliczny kolektor rynnowy.

Recenzowana praca dotyczy praktycznego wykorzystania energii promieniowania słonecznego a w przeglądzie literatury tematyka ta jest mało wyeksponowana. Autor wspomina jedynie w podrozdziale 1.2 o promieniowaniu osłabionym przez odbicie i absorpcję. W pracy posługuje się natomiast pojęciami promieniowania bezpośredniego i dyfuzyjnego. Brak definicji tych składowych promieniowania, szczególnie istotna jest tu definicja promieniowania dyfuzyjnego, która jest inna w przypadku, gdy promieniowanie słoneczne pada na powierzchnię prostopadłą a inaczej brzmie, gdy znajduje się pod pewnym kątem w stosunku do promieniowania. Dokładne definicje można odnaleźć w normie PN-EN ISO 9488.

2. Rozdział 2. Cel pracy ma brzmienie: „kolektor słoneczny dwustronnego działania jest urządzeniem dotąd nieopisanym w literaturze światowej. Zaplanowane badania pozwolą na określenie, zarówno jakościowe jak i ilościowe, procesów wymiany ciepła zachodzących podczas pracy kolektora.” W moim odczuciu jest on lakoniczny, nieprecyzyjny i nie oddający charakteru pracy. W zakresie rozprawy, który zastępuje tu cele cząstkowe nie powinien znaleźć się punkt pt. zgłoszenie patentowe kolektora dwustronnego działania.
3. W rozdziale 4 autor przybliży czytelnikowi model Hottela-Whillera- Blissza (HWB), gdyż będzie on punktem wyjścia do tworzenia przez niego matematycznych modeli badanych kolektorów słonecznych. Doktorant założył, że będzie go modyfikował i przystosowywał do bardziej skomplikowanych konstrukcji niż kolektor płaski, który stanowił jego pierwotne zastosowanie. To założenie i dalsze działania Autora uważam za słuszne i godne podkreślenia, gdyż dzięki temu modelowi można będzie sprowadzić równania różniczkowe i algebraiczne równania nieliniowe do postaci równań algebraicznych liniowych. Stosując metody iteracyjne można będzie znaleźć rozwiązania dla założonych parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych oraz zadanych warunków brzegowych. Przedstawiając tok obliczeń, przy korzystaniu pewnie z różnych podręczników, w którymś momencie swoich rozważań Autor się nieco pogubił, gdyż w równaniu (4.2) wylicza moc promieniowania słonecznego  $S$  i z analizy jednostek wynika, że dymensja tej wielkości to  $[W]$ , podobnie w równaniu (4.4) czyli prawidłowo, ale w wykazie oznaczeń na str. 5, symbol  $S$  to natężenie promieniowania słonecznego wyrażone w  $[W \cdot m^{-2}]$ . Wielkość ta powinna być w tych równaniach oznaczona inną literą, tym bardziej, że w równaniach (4.5), (4.6) i (4.7) Symbol  $S$  ma wymiar  $[W \cdot m^{-2}]$  czyli jest wielkością anonsowaną w oznaczeniach na str.5. Podobnie w dalszych rozważaniach, w rozdziale 5, w równaniu (5.43)  $S$  nazywane jest energią promieniowania słonecznego w  $[W \cdot m^{-2}]$
4. W rozdziale 5 (str.56), tworzenia modeli matematycznych opisujących procesy wymiany ciepła zachodzących w kolektorach słonecznych, Autor na wstępie informuje jakie konstrukcje kolektorów będą brane pod uwagę. Nie podaje pełnych nazw lecz nazywa je skrótowo. Trzy z nich były omawiane wcześniej, więc z symboliką można było się zaznajomić. Czwarty nazwany ETCO stanowi dla czytelnika zagadkę, gdyż jego

nazwa wcześniej się nie pojawiała, również zapomniano o niej w wykazie oznaczeń na str.7 (pozostałe trzy są tam opisane). Rozszyfrowanie nazwy i omówienie budowy tego kolektora odnajdujemy w kolejnym podrozdziale na stronie 70, czyli 14 stron dalej.

5. Uwagi do rozdziału 6. Badania eksperymentalne. W pracach które do tej chwili recenzowałem, najczęściej o charakterze badawczym, autorzy rzadko przeprowadzali w nich analizę niepewności pomiarowej, co często rzutowało później na wiarygodność uzyskanych wyników. Mgr inż. Paweł Pacyga potraktował zagadnienie z należytą powagą. Już w drugim zdaniu podrozdziału 6.3. *Analiza niepewności pomiarowych*, pisze „...niniejszym wyznaczam niepewność pomiaru z jaką została określona sprawność energetyczna kolektora słonecznego...” Do określenia błędów niepewności w przypadku pomiarów złożonych zastosował metodę różniczki zupełnej. Tok obliczeń przeprowadził poprawnie, zapomniał tylko na końcu podstawić do otrzymanych równań wartości liczbowe wielkości pomiarowych i zgodnie z tytułem rozdziału skomentować otrzymane wyniki.

Podrozdział 6.4. Wyniki badań eksperymentalnych. Na rysunkach 6.3- 6.6 przedstawione równania opisujące sprawność energetyczną kolektorów umożliwiają uzyskanie wyników z dokładnością do 4 miejsca po przecinku. W związku z tym mam pytanie; jak to jest możliwe skoro pomiary temperatury czynnika na wlocie do kolektora oraz temperatury otoczenia mierzone z użyciem czujników PT-100 umożliwiały uzyskanie wartości z dokładnością do pierwszego miejsca po przecinku (0,1 K).

Analizując wykresy na wspomnianych powyżej rysunkach nasuwa się pytanie: z jaką dokładnością zaproponowane modele pozwalają na obliczenie założonych wielkości, w rozpatrywanym przypadku, sprawności energetycznej kolektora. Odpowiedz można by otrzymać, gdyby po każdym z wykresów przedstawiającym zależność sprawności od zredukowanej różnicy temperatur zestawiono w formie graficznej zależności zgodności wartości eksperymentalnych z wartościami obliczeniowymi. Wykreślając prostą korelacji naniesionoby przedział błędu względnego np.  $\pm 5\%$  lub o zakresie większym.

6. W rozdziale 9. Wnioski pkt 2 i 3. Autor twierdzi , że sprawność kolektorów jest silnie zdeterminowana od współczynników absorpcyjności powierzchni pochłaniającej i współczynników przewodzenia ciepła. Informacje te są oczywiste dla każdego inżyniera mechanika. We wnioskach można by spodziewać się porównania ilościowego współczynników charakteryzujących niektóre materiały, których zastosowanie istotnie wpłynęło na zwiększenie sprawności kolektora (patrz stwierdzenie str. 160 wiersz 3 od góry).

Informacje z Wniosku nr.5 ...” wpływ natężenia promieniowania słonecznego na przebieg charakterystyk sprawności energetycznej kolektorów słonecznych jest ewidentny..” Jest to oczywiste i nie ma potrzeby badania tej zależności. Tym bardziej, że zależność ta wynika ze wzoru na sprawność chwilową (roboczą) kolektora w którym



jedną z wielkości niezależnych jest nastonecznienie danej powierzchni wyrażone w  $[W \cdot m^{-2}]$ .

Uwaga ogólna do Wniosków: we wnioskach autor praktycznie nie odnosi się do najważniejszego swojego osiągnięcia, do opracowanych modeli matematycznych swoich kolektorów słonecznych.

### 3. Wniosek końcowy

Pomimo wielu wytkniętych błędów, uważam pracę za wartościową, bo jej największym atutem jest matematyczne opisanie zjawisk wymiany ciepła zachodzących w badanych kolektorach służących do termicznej konwersji promieniowania słonecznego, a w szczególności nowej konstrukcji kolektora słonecznego dwustronnego działania. W moim odczuciu autor narzucił sobie zbyt duży front robót i w efekcie mniej czasu poświęcił stronie formalnej i edytorskiej. Czytając pracę odnosi się wrażenie, że jej ostateczna postać była przygotowywana w ostatniej chwili i w pośpiechu, przez to trudno było panować nad całością a głównie przejrzystością pracy. Przeglądając pobieżnie pracę a szczególnie tworzenie modeli matematycznych kolektora ucieszyłem się, że w końcu będę mógł wystąpić z wnioskiem o wyróżnienie recenzowanej pracy. Niestety mnogość wykazanych zastrzeżeń zniwelowało ten zamiar. Wierzę, że wytknięte błędy zmobilizują Autora do tego aby w przyszłości bardziej starannie i sumiennie przygotowywał swoje opracowania i ewentualne prace naukowe. Na podstawie przedstawionej rozprawy doktorskiej pt. **„Modelowanie zjawisk wymiany ciepła w kolektorze słonecznym dwustronnego działania”** stwierdzam, że Pan mgr inż. Paweł Pacyga wykazał się wystarczającymi umiejętnościami prowadzenia badań naukowych oryginalnego rozwiązania problemu naukowego a uzyskane przez Niego rezultaty wnoszą istotny wkład w rozwój technik pozyskiwania energii promieniowania słonecznego i mają duży potencjał praktyczny. W związku z powyższym spełnia wymagania wynikające z „Ustawy 595 z dnia 14 marca 2003 r o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki” oraz Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dn. 22.09.2011 w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzenia czynności w przewodach doktorskich, w postępowaniu habilitacyjnym oraz postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz.U. nr.204, poz. 1200).

Stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie mgr inż., Pawła Pacygi do publicznej obrony.

