

WTPAN

PROF. DR HAB. INŻ. A. U. ANULAC

ADMINISTRACJA
Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki

BARDZO PROSZĘ PANIĄ

Wpłynęło dnia 21.01.2021.

PROFESOR O PRZEJĘCIU

Nr 94 szt.



Dr hab inż. Waldemar Kuczyński prof. PKosz.

Politechnika Koszalińska Wydział Mechaniczny

Katedra Energetyki

75 – 620 Koszalin, ul. Raławicka 15-17

Tel. 94 3478-420,438

email: waldemar.kuczynski@tu.koszalin.pl

SPRAWY

Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Politechniki Krakowskiej

dr hab. inż. Stanisław M. Rybicki, prof. PK



Koszalin, 11.01.2021 r

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Ewy Kozak-Jagiely pt.:

„Modelowanie i badanie eksperymentalne wymiany ciepła dla nowego aktywnego układu chłodzenia paneli fotowoltaicznych”

Recenzję wykonano na zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Krakowskiej dr hab. inż. Stanisława M. Rybickiego prof. PK w oparciu o pismo nr ŚO.52-1742/2020 z dnia 17.12.2020 r.

Rozprawa doktorska powstała pod kierunkiem dr hab. inż. Pawła Oclonia oraz dr inż. Małgorzaty Fedorczyk-Cisak jako promotora pomocniczego.

1. Przedmiot rozprawy

Przedmiotem przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej jest analiza modelowania wymiany ciepła aktywnego układu chłodzenia paneli fotowoltaicznych. W celu weryfikacji uzyskanych wyników obliczeniowych wykonano badania eksperymentalne na rzeczywistym układzie fotowoltaicznym wraz z układem odbioru ciepła odpadowego. W założeniach przyjęto rozpatrzenie pasywnego i aktywnego sposobu chłodzenia układów fotowoltaicznych. Pozyskaną energię cieplną planowano wykorzystać jako zasilanie regeneracyjne dolnego źródła ciepła dla gruntowej pompy ciepła.

Zestawy paneli fotowoltaicznych zdywersyfikowano w zależności od zastosowanych systemów nadążnych lub ich braku. Pozwoliło to zidentyfikować ilość pozyskanej energii elektrycznej oraz cieplnej w zależności od przyjętych wariantów chłodzenia i orientacji układu PV względem pozornie przemieszczającego się na nieboskłonie Słońca.

Uzyskane wyniki badań modelowych oraz eksperymentalnych pozwoliły na zdefiniowanie opisu matematycznego układu chłodzenia PV z uwzględnieniem trójwymiarowego rozkładu temperatury poszczególnych jego elementów konstrukcyjnych. Zagadnienie to rozpatrzono w układzie współrzędnych kartezjańskich oraz cylindrycznych w zależności od danego elementu składowego tej konstrukcji.

W celu określenia najkorzystniejszej sprawności układu pozyskania energii elektrycznej z zastosowaniem systemu PV z chłodzeniem zarówno pasywnym jak i aktywnym, wykonano opty-

malizację ilości elementów chłodzących radiatorów w odniesieniu do strumienia odbieranego ciepła przez czynnik chłodzący z uwzględnieniem największej temperatury panelu przy identyfikowanej różnicy temperatur między przegrodą ochronną a radiatorem i dyferencji temperatury opcjonalnego chłodziwa w postaci mieszaniny wody i glikolu.

Wykonana walidacja eksperymentalna przeprowadzonego modelowania według Autorki opracowania wykazała zgodność zidentyfikowaną jako nieprzekraczalną wartość 1°C między uzyskanymi wynikami.

Badania eksperymentalne wykazały największą sprawność brutto układu chłodzenia aktywnego we współpracy z układem nadążnym systemu PV. Uzyskano odpowiednio dla danych rzeczywistych warunków pogodowych 13% i 26% więcej pozyskanej energii elektrycznej w odniesieniu do układu PV stacjonarnego bez chłodzenia. Jednocześnie stwierdzono, że ilość uzyskanej energii cieplnej jest czterokrotnie większa niż energii elektrycznej. W przypadku układów stacjonarnych wielkość ta jest trzykrotnie wyższa. Ilościowo układ nadążny generuje ok. 45% więcej energii cieplnej niż system stacjonarny.

Natomiast w obu przypadkach zastosowanie układu chłodzenia pozwoliło na zwiększenie sprawności konwersji energii promieniowania słonecznego na elektryczną o 2,7%.

2. Omówienie treści pracy

Rozprawę doktorską zredagowano na 127 stronach w 13 rozdziałach z wykazem oznaczeń i literatury oraz streszczeniami w języku polskim i angielskim a całość umieszczono na dołączonej płycie CD. Zauważa się wyraźny podział opracowania na część teoretyczną, czyli przegląd literatury z rozpatrywanego tematu, praktyczną obejmującą propozycję modelu matematycznego i eksperymentalną oraz analizę uzyskanych wyników. W szczególności w opracowaniu ujęto następujące informacje:

W Wprowadzeniu (rozd. 1) Doktorantka przedstawia genezę swojej rozprawy doktorskiej oraz podstawowe informacje dotyczące realizacji opracowania. Ujęto tutaj podstawowe informacje dotyczące globalnego problemu konwersji energetyki z paliw kopalnych na niekonwencjonalne i odnawialne źródła energii. W szczególności przytoczono dane związane z koniecznością redukcji emisji gazów cieplarnianych w tym CO_2 oraz przewidywanych wskaźników ich ograniczenia. Przytoczono cele Unii Europejskiej oraz innych krajów w tym zakresie oraz wskazano obecne procentowe udziały wykorzystania paliw kopalnych. Użytkowanie tych nośników energii odniesiono do wzrostu nowo powstających budynków mieszkalnych na terenie Unii Europejskiej, w których w znacznym stopniu stosowane są systemy grzewcze odpowiedzialne za tzw. niską emisję. Jednocześnie tak liczna grupa tego typu obiektów jest bezpośrednim „konsumentem” energii użytkowej elektrycznej wykorzystywanej nie tylko na ogrzewanie ale również przygotowanie ciepłej wody użytkowej, oświetlenie i urządzenia zasilane energią elektryczną. W obu przypadkach wiąże się to ze znacznymi ilościami emisji związków szkodliwych do atmosfery. Autorka opracowania przytoczyła tutaj odpowiednie wartości procentowe dotyczące tych wielkości oraz wskazania konieczności zastąpienia dotychczas wykorzystywanych zasobów energetycznych niekonwencjonalnym i odnawialnymi źródłami energii. Dane te, opublikowane w kolejnych stragach działań Unii Europejskiej na najbliższe lata wskazują na konieczność zastosowania wszelkiego rodzaju innowacji technologicznych mających na celu doprowadzenie do prawie zupełnego wyeliminowania emisji gazów cieplarnianych przy jednoczesnych parytetach społecznych związanych z równomiernym wzrostem gospodarczym większości krajów świata.

Jednym z elementów w przyszłej polityce energetycznej świata, jest wykorzystanie energii promieniowania słonecznego w zakresie jej bezpośredniej konwersji na energię elektryczną za pomocą układów fotowoltaicznych. Doktorantka przedstawiła podstawowe dane dotyczące wykorzystania tych systemów w energetyce światowej oraz perspektywy ich rozwoju w odniesieniu do danych ekonomicznych. Przytoczono również plany rozwoju układów wykorzystujących odnawialne źródła energii, w tym fotowoltaicznych w ujęciu dokumentu Ministerstwa Gospodarki z 2009 r. pt. „*Polityka energetyczna Polski do 2030 r*” oraz jego zmodyfikowanej wersji z 2020 r. obejmującej perspektywę czasową do 2040 r. Zgodnie z określonymi w tych materiałach zapisach polski system energetyczny powinien przynajmniej w 32% mieć udział w wykorzystaniu OZE.

Szczególne miejsce w tych założeniach znajdują układy fotowoltaiczne zarówno o charakterze on-grid jak i off-grid. Niezależnie od zastosowanego rozwiązania technicznego podstawowym problemem z jakim borykają się te systemy jest niewystarczająca sprawność konwersji energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną. Obecnie przy 80% stopniu pochłaniania promieniowania słonecznego sprawność procesu konwersji za pomocą ogniw fotowoltaicznych mieści się w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych na poziomie 12-18%. W warunkach laboratoryjnych i przy zastosowaniu ogniw monokrystalicznych stopień ten może się zwiększyć do 24%. Jednym z powodów, który ma wpływ na taki poziom sprawności tych urządzeń jest temperatura ich pracy, która zwiększa się wraz ze stopniem napromieniowania. Wpływ na przyrost temperatury ma również materiał z którego wykonane są ogniwa fotowoltaiczne.

Jednym ze sposobów ograniczenia przyrostu temperatury układów fotowoltaicznych jest zastosowanie systemów chłodzenia, co stanowi przedmiot przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej.

W **rozd. 2**, Doktorantka przedstawiła podstawowe wiadomości z zakresu energii solarnej. Umieszczono tutaj dane dotyczące samego Słońca, zakresu promieniowania słonecznego oraz jego korpuskularnofalowego charakteru. Podano informacje dotyczące ilości rozprzestrzeniającej w promieniowaniu słonecznym energii wraz z zależnościami opisującymi to zjawisko. Przytoczono dane związane z tzw. Masą Optyczną (AM) oraz dostępnymi zasobami na naszej planecie. Doktorantka opisała również stosowane obecnie modele służące do określenia natężenia promieniowania słonecznego oraz proces konwersji energii słonecznej w ogniwach fotowoltaicznych.

Rozdz. 3 poświęcono opisowi budowy ogniw fotowoltaicznych oraz ich klasyfikacji. Przedstawiono w tym miejscu w sposób graficzny stosowane obecnie technologie tworzenia ogniw fotowoltaicznych. Syntetycznie opisano układy monokrystaliczne, polikrystaliczne i cienkowarstwowe oraz tzw. Ogniwa II i III generacji.

W **rozd. 4** przedstawiono podstawowe parametry opisujące pracę układów fotowoltaicznych. Skupiono się przede wszystkim na sposobie wyznaczania charakterystyki prądowo-napięciowej oraz określeniu współczynnika wypełnienia formy *FF* (ang. *Fill Factor*), mocy maksymalnej oraz sprawności.

Rozdz. 5 jest opisem parametrów pracy modułów fotowoltaicznych. Opisano tutaj zasady wyznaczania parametrów w tzw. Standardowych Warunkach Testowych (ang. *STC – Standard*

Test Condition) z uwzględnieniem położenia geograficznego dla którego określono dane wielkości temperaturowe oraz Masy Optycznej (AM). Powyższe informacje odnoszą się do realizacji badań testowych i certyfikowanych w warunkach laboratoryjnych, natomiast dla rzeczywistych (polowych) stosuje się wskaźnik NOCT (ang. *Normal Operating Cell Temperature*). W rozdziale tym przedstawiono typowe charakterystyki obrazujące wpływ wzrostu temperatury ogniw na ich moc.

W **rozd. 6** zaprezentowano proponowane w literaturze sposoby zwiększenia ilości generowanej energii elektrycznej oraz cieplnej z układów fotowoltaicznych. Doktorantka skupiła się na możliwości wykorzystania pozyskanej z chłodzenia fotowoltaików energii cieplnej do regeneracji dolnego źródła ciepła jakim może być grunt lub wody gruntowe zasilające pompy ciepła. W tej części pracy Dyplomantka przedstawiła również sposoby wykorzystania różnych konstrukcji montażu układów fotowoltaicznych. W szczególności informacje te dotyczą stosowanych systemów nadążnych z trackerami. Opisano również i metody pasywne i aktywne chłodzenia układów PV z wykorzystaniem różnych czynników chłodniczych. Uwzględniono takie jak: powietrze, woda, materiały zmiennofazowe oraz nanociecze.

W **rozd. 7** przedstawiono cel, zakres i tezę pracy. Podano tutaj również istotną informację, że rozprawa doktorska powstała na podstawie realizacji projektu badawczego w ramach polsko-niemieckiego programu „STAIR” w latach 2017 – 2020. Tytuł projektu to: *Wysokosprawny system konwersji energii słonecznej na ciepłą i elektryczną dla budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej*.

Analiza literatury oraz założenia projektu, pozwoliły na postawienie tezy pracy o następującym brzmieniu: *Opracowany nowy aktywny układ chłodzenia paneli fotowoltaicznych pozwala na znaczny wzrost konwersji energii słonecznej, do energii elektrycznej i cieplnej, w porównaniu do paneli fotowoltaicznych bez chłodzenia*.

W podsumowaniu rozprawy doktorskiej Autorka jednoznacznie ustosunkowała się do przyjętej tezy, stwierdzając, że w pełni została potwierdzona jej prawdziwość.

Rozdz. 8 to opis stanowiska badawczego. Przedstawiono schemat układu pomiarowego, jego ogólny widok oraz poszczególne elementy konstrukcyjne. Opisano również w sposób niezbyt klarowny metodykę przeprowadzonych badań eksperymentalnych.

W **rozd. 9** Doktorantka przedstawia zasady określenia i wykonania numerycznego modelowania transportu ciepła w układach fotowoltaicznych. Działania te oparto o podstawowe zależności opisujące zjawisko przejmowania, przewodzenia i konwekcji energii przekazywanej na sposób ciepła. W oparciu o te zależności zdefiniowano równania zachowania energii dla poszczególnych elementów konstrukcyjnych układu PV, biorących udział w procesie wymiany ciepła. Zależności te poddano dyskretyzacji metodą objętości skończonych w układzie kartezjańskim dla przegród płaskich oraz cylindrycznym dla przegród o takim kształcie. Pozwoliło to w konsekwencji na zastosowanie metody dyskretyzacji uzyskanych równań energii metodą różnic skończonych.

W **rozd. 10** uzyskany model został poddany optymalizacji za pomocą środowiska programu MATLAB. Następnie wykonano analizę numeryczną zaproponowanego modelu systemu

chłodzenia. Działania te pozwoliły na określenie optymalnej ilości elementów chłodzenia (rur) układu fotowoltaicznego.

Rozdz. 11 dotyczy analizy numerycznej zaproponowanego systemu chłodzenia. Przedstawiono w nim wyniki badań obliczeniowych w odniesieniu do zaproponowanej w rozdz. 10 optymalizacji układu chłodzenia. W tej części pracy umieszczono również odwołania do wyników badań eksperymentalnych, których opis znajduje się w następnym rozdziale.

Rozdz. 12 jest poświęcony prezentacji i analizie wyników eksperymentalnych przeprowadzonych w celu weryfikacji opracowanego modelu obliczeniowego. Podano w tym rozdziale parametry wykonanych badań w warunkach rzeczywistych (polowych) dla określonego przedziału czasu. Badania te miały miejsce na Kampusie Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej, gdzie zalokalizowane jest stanowisko eksperymentalne w okresie od 01.06.2019 do 31.08.2019 r. Wyszczególniono zastosowaną aparaturę pomiarową w zakresie identyfikacji parametrów atmosferycznych istotnych dla zakresu eksperymentu tj. napromieniowanie, temperatura, prędkość ruchu powietrza itp.

Uzyskane wyniki badań przedstawiono w formie graficznej dla rozpatrywanych wariantów. Uwzględniono układ chłodzenia zarówno aktywnego jak i pasywnego w sytemie nadążnym oraz stacjonarnym. Przeprowadzono znanizę uzyskanej ilości energii cieplnej oraz wpływu jej odprowadzenia (chłodzenia) układów fotowoltaicznych na ilość pozyskanej energii elektrycznej.

Stwierdzono pozytywny wpływ odprowadzenia energii cieplnej od układów PV przy jednoczesnym stwierdzeniu, że nakłady energetyczne na pracę systemów aktywnego chłodzenia praktycznie pochłaniają powiększony uzysk energii elektrycznej.

Jednocześnie stwierdzono, że wyniki badań eksperymentalnych pokrywają się z uzyskanymi w procesie modelowania matematycznego w zakresie różnicy temperaturowej wynoszącej 1°C.

Rozdz. 13 to podsumowanie i wnioski końcowe oraz podkreślenie najważniejszych, z punktu widzenia Doktorantki, wyników badań obliczeniowych i eksperymentalnych.

3. Oryginalność pracy

Oryginalne osiągnięcia pracy to:

- propozycje własnych modeli obliczeniowych i optymalizacji systemu chłodzenia układów fotowoltaicznych,
- możliwość praktycznego wykorzystania opracowanych metod analitycznych, co zostało zweryfikowane eksperymentalnie.

4. Oryginalność pracy

Przedstawione i umieszczone w pracy wyniki mają charakter aplikacyjny i mogą być podstawą do wdrożenia przemysłowego.

5. Uwagi krytyczne redakcyjne i dyskusyjne do pracy

- 1) W pracy w wielu miejscach występują błędy stylistyczne oraz częste powtórzenia.
- 2) W pracy występują nieujednoliczone opisy rysunków. W części są one wykonane w języku polskim a częściowo w obcych. Uważam, że takie opisy powinny być wykonane w języku, a którym zredagowano rozprawę doktorską w tym przypadku jest to język polski.
- 3) str. 7 Wprowadzenie – nie można importować źródeł energii tylko nośniki energii.
- 4) str. 8 Wprowadzenie – należało podać ile „kosztuje” 1 kWh energii w odniesieniu do kopaliny. Obecnie jest to 0.523 kg paliwa umownego w odniesieniu do węgla kamiennego.
- 5) str. 12 – stała słoneczna ma wartość średnią umowną ponieważ w rzeczywistości występują wahania rzędu $\pm 3,3\%$. Oczywiście zależy to od peryhelium i aphelium, gdzie stała słoneczna dla aphelium wynosi: $I = 1327,7 \text{ W/m}^2$, natomiast dla peryhelium $I = 1419,6 \text{ W/m}^2$. Istotnym jest również to, że dla pasma widzialnego (tzw. oka optycznego) dostępność energetyczna promieniowania słonecznego wynosi $I = 617,6 \text{ W/m}^2 \pm 3,3\%$.
- 6) str. 16 – informacja o możliwej ilości mocy energii promieniowania słonecznego wynoszącej 1200 W/m^2 jest dyskusyjna. W rzeczywistości tak wartość można uzyskać w strefie równikowej i to tylko w bardzo sprzyjających warunkach atmosferycznych (brak aerozolu wilgoci, cząstki stałych w atmosferze itp.). Uważam, że należało tę informację uzupełnić.
- 7) str. 16, 17, 18, 21, 44, 46, 49 błąd redakcyjny odnoszący się do umiejscowienia symbolu użytego we wzorze w odniesieniu do jego opisu.
- 8) str. 19 brak konsekwencji w sposobie odniesienia do pozycji literatutowych. W opracowaniu zastosowano system vancouverski podobny do harwardzkiego. Na str. 19 oraz XXXX występuje niewancouverski a na pozostałych vancouverski.
- 9) str. 20 – wg Hay’a promieniowanie słoneczne rozproszone raczej nie „pochodzi” od tarczy „Słonecznej”. Hay stwierdza, że promieniowanie słoneczne rozprzestrzenia się z powierzchni Słońca.
- 10) str. 23 – elektrony pobierają energię od fotonów a nie ją przekazują.
- 11) str. 24 – obecnie znane są materiały, których bariera potencjału mimo, że wynosi nawet 10 eV przejawiają właściwości półprzewodnikowe.
- 12) str. 24 oraz opisy rys. 2.11 i 2.11 – przedstawiają nie rozwój sprawności tylko tendencje zmiany sprawności układów fotowoltaicznych w zależności od ich rodzaju.
- 13) str. 29 – w klasyfikacji nie opisano ogniw amorficznych, a są one dość znacznie rozpowszechnione na rynku układów fotowoltaicznych. W tym samym miejscu bardzo pobieżnie wspomniano o metodzie chodowania monokryształów krzemu opracowanej przez prof. Jana Czochralskiego. Należało moim zdaniem opisać syntetycznie metodę topnienia strefowego oraz proces Bridgmana w których wytwarza się materiały do produkcji półprzewodników. Metoda Czochralskiego praktycznie umożliwiła produkcję półprzewodników na skalę przemysłową. Metodą tą otrzymuje się monokryształy krzemu o długości dochodzącej do 2 m i wadze 225 kg. Taki blok monokryształu o kształcie walca o założonej średnicy (np. 300 mm) co daje możliwość konstruowania paneli fotowoltaicznych o znanych nam wymiarach geometrycznych.
- 14) str. 32 – niezbyt klarownie opisano czym jest współczynnik wypełnienia formy FF. W rzeczywistości odnosi się on do identyfikacji nieuniknionej „niedoskonałości” charakterystyki prądowo-napięciowej ogniw fotowoltaicznych. Wynika to z występowania oporności wewnętrznej fotoogniw, która nie może przekroczyć 4Ω . Wartość rezystancji bezpośrednio odnosi się do zakresu wartości współczynnika FF.

- 15) str. 37 – COP to współczynnik efektywności pompy ciepła, który jest stosunkiem ilości (mocy) energii cieplnej oddanej w górnym źródle ciepła do ilości (mocy) energii dostarczonej do realizacji tego procesu. Energia elektryczna nie zawsze musi być napędową ponieważ mamy różne pompy ciepła pod względem konstrukcyjnym.
- 16) str 37 – katalogow nie występuje pompa ciepła typu $0^{\circ}\text{C}/25^{\circ}\text{C}$ może być A2/W35, B0/W35, W10/W35. Nigdzie nie spotkałem pompy ciepła o tak niskiej wartości temperaturowej wynoszącej 25°C na górnym źródle ciepła.
- 17) str. 38 – wzór nr (6.20) jest niepoprawnie zapisany. Jest: $\varepsilon = f(T_H, T_A) = 0.5 \cdot \frac{T_A}{T_H - T_A}$
a powinno być: $\varepsilon = f(T_H, T_A) = 0.5 \cdot \frac{T_H}{T_H - T_A}$
- gdzie: T_H – temperatura górnego źródła ciepła, T_A – temperatura dolnego źródła ciepła.
Wzór ten jest sprowadzeniem do parametrów rzeczywistych zależności Carnota opisującej idealny obieg lewobieżny dla pompy ciepła.
- 18) str. 39 – pojawia się określenie SPF 6.?
- 19) str. 65 – w pracy wskazywano, że energię cieplną pozyskana z chłodzenia układów fotowoltaicznych będzie wykorzystywać się do regeneracji dolnego źródła ciepła, aby uzyskać odpowiednio wysoką wartość COP i SCOP. W opisie eksperymentu podano, że energię na górnym źródle ciepła oddawano do otoczenia w skraplaczach znajdujących się na zewnątrz budynku. Zaprzecza to idei funkcjonowania pompy ciepła.
- 20) str. 74 – wzór (9.18), d_w – to średnica hydrauliczna, w przypadku przekrojów kołowych rzeczywiście wewnętrzną.
- 21) str. 86 do 89 – w opisach rysunków 10.3 do 10.6 podano oznaczenia a), b), c), d) ale nie określono na tych rysunka do czego się te oznaczenia odnoszą.
- 22) str. 90 – rysunek 10.8 należało klarowniej opisać.
- 23) str. 92 – określenie stwierdzające, że wyniki obliczeń modelowych pokrywają się z eksperymentalnymi moim zdaniem należało przedstawić w formie zależności procentowego przedziału zgodność w sosunku do wartości oczekiwanej.

Uwagi o charakterze ogólnym:

- 1) W opracowaniu brakuje analizy statystycznej identyfikującej dokładność wykonanych badań. Uważam, że należało przynajmniej w odniesieniu do eksperymentu uwzględnić możliwe błędy pomiarowe. Na stronie 101 znajduje się jedynie wykaz zastosowanej aparatury pomiarowej z informacjami o ich skali dokładności, natomiast są to wartości podane przez producentów tych urządzeń.
- 2) W pracy często pojawia się określenie „produkcja energii”, które pod względem termodynamicznym jest niewłaściwe. Nie ma możliwości ani „wyprodukować” ani „stracić” energii, możemy ją jedynie konwertować. Rozumiem, że zastosowanie tego zwrotu jest wynikiem pewnego „żargonowego” określenie, które często się spotyka.

Podsumowując tę część recenzji, stwierdzam, że praca jest zredagowana odpowiednim technicznym i naukowym językiem, z dobrze dobranym materiałem ilustracyjnym. Zachowano właściwą numerację wzorów oraz kolejność przywołanych cytowań z literatury.

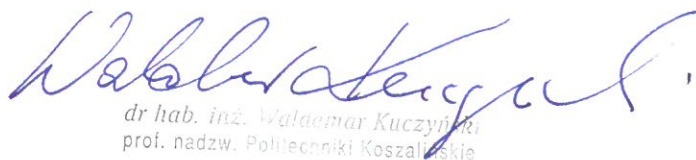
Przedstawione powyżej uwagi mają przede wszystkim charakter dyskusyjny i redakcyjny i w niczym nie umniejszają wartości merytorycznych tego opracowania, które oceniam wyso.

6. Podsumowanie treści pracy i uwag

Uważam, że aplikacyjny charakter przedstawionych wyników modelowania zweryfikowanych eksperymentem i sposób ich przedstawienia wskazują na możliwość wyróżnienia tej dysertacji doktorskiej o co wnioskuję. Podstawowy argument, jaki za tym przemawia dotyczy możliwości wdrożenia zaproponowanych rozwiązań koncepcyjnych. Wymagają one co prawda pewnych modyfikacji mających na celu optymalizację współpracy układów fotowoltaicznych z pompami ciepła są jednak na tyle zaawansowane, że można oczekiwać sukcesu w ich praktycznej aplikacji. Oczywistym problemem jest tutaj rozważenie jaki rodzaj dolnego źródła ciepła będzie najbardziej koherentny dla uzyskanego ciepła odpadowego z chłodzenia fotoogniw. Zagadnienia te mogą być nadal rozwijane i są znaczącym poznawczo obszarem, który moim zdaniem Autorka opracowania powinna nadal poszerzać.

7. Ocena pracy i wniosek końcowy

Stwierdzam, że przedłożona praca zawiera oryginalne ujęcie problemu naukowego i świadczy o opanowaniu przez jej Autorkę mgr inż. Ewę Kozak-Jagiłę naukowych metod doświadczalnych, a także analityczno-numerycznych stosowanych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka - według poprzedniej klasyfikacji w energetyce, a tym samym wyczerpuje warunki określone przez Ustawę Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce w art. 187 ust. 1-2 z dnia 20 lipca 2018 r i uzasadnia dopuszczenie jej do publicznej obrony o co wnioskuję.



dr hab. inż. Walaemar Kuczyński
prof. nadzw. Politechniki Koszalińskiej