

Prof. dr hab. inż. Eugeniusz Mokrzycki
Instytut Gospodarki Surowcami
Mineralnymi i Energią PAN
ul. J. Wybickiego 7a, 31-261 Kraków
email: mokrzy@min-pan.krakow.pl

Kraków, 21.08.2017

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Piotra OLCZAKA
pt.: *Efektywność przetwarzania energii słonecznej w układach solarnych*

1. Podstawa formalna recenzji

Przedmiotową recenzję opracowałem jako recenzent wyznaczony przez Radę Naukową Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki w Krakowie. Pismo o znakach ŚOmm-520-1326/17 w dniu 05.07.2017 r. wystosował do mnie Dziekan Wydziału Inżynierii Środowiska – dr hab. inż. Stanisław M. Rybicki, wynikające z uchwały Rady Naukowej tegoż Wydziału z dnia 21.06.2017 r.

2. Ogólna charakterystyka pracy

Przedstawiona do recenzji praca doktorska mgr. inż. Piotra Olczaka powstała pod kierunkiem Pana prof. dr. hab. inż. Stanisława Kandefera, pełniącego w przewodzie doktorskim obowiązki promotora oraz Pana dr. inż. Jana Porzuczka, pełniącego w tym przewodzie obowiązki promotora pomocniczego.

Praca liczy łącznie 163 numerowane strony, w tym 53 strony załączników i składa się z 8. rozdziałów uzupełnionych spisem treści (s. 3–4), wykazem ważniejszych oznaczeń (s. 5–8), wykazem literatury (s. 100–105). Integralną częścią pracy i zarazem jej uzupełnieniem jest zbiór 8. załączników (s. 107–163) zawierających między innymi informacje dotyczące: możliwości wykorzystania kolektorów słonecznych w warunkach polskich, efektywności pracy instalacji solarnych, efektywności pozyskiwania energii słonecznej przez różne typy kolektorów.

W zasadniczej części pracy zamieszczono 73 rysunki i wykresy oraz 16 tabel. Uzupełnieniem pracy jest również streszczenie w języku polskim (s. 99) i języku angielskim (s. 99). Spis literatury obejmuje 106 pozycji reprezentatywnych dla tematu dysertacji, w tym 53 pozycje w języku angielskim.

Uzupełnieniem pracy jest 8 załączników, w tym 7 publikacji, których Doktorant jest współautorem oraz 1. pracy wykonanej w ramach działalności statutowej Instytutu Inżynierii Ciepłej i Ochrony Środowiska, której Doktorant jest również współautorem.

Zamieszczone w pracy załączniki dotyczą:

- załącznik 1: *Analiza możliwości wykorzystania lustrzanych kolektorów nadążnych w warunkach polskich oraz sposób ich rozmieszczenia*; P. Olczak, D. Kryzia; Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja 2016, t. 47, nr 7, s. 259–264;
- załącznik 2: *The sizes of flat plate and evacuated tube collectors with heat pipe area a function of the share of solar system in the heat demand*; P. Olczak, D. Kryzia; E3S Web of Conference 2016, 10, SEED 2016, 00139;
- załącznik 3: *Efektywność pracy instalacji solarnej z kolektorami płaskimi*; P. Olczak; Zeszyty Studenckiego Towarzystwa Naukowego 2015, nr 32, s. 233–243;
- załącznik 4: *Oplacalność zastosowania kolektorów słonecznych w modernizowanej instalacji ciepłej wody użytkowej domu jednorodzinnego*; P. Olczak, D. Kryzia; Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja 2016, t. 47, nr 3, s. 94–100;
- załącznik 5: *Porównanie efektywności pozyskiwania energii słonecznej pomiędzy instalacją z kolektorami płaskimi a instalacją z kolektorami próżniowymi*; J. Zabagło, P. Olczak; Sprawozdanie z działalności naukowo-badawczej za rok 2016 w zakresie działalności statutowej utrzymania potencjału badawczego, Instytut Inżynierii Ciepłej i Ochrony Środowiska, s.140–149 ;
- załącznik 6: *Diagnostyka pracy instalacji solarnej budynku wielorodzinnego*; S. Kandefer, P. Olczak; Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja 2015, t. 46, nr 1, s. 11–13;
- załącznik 7: *Efektywność pracy instalacji solarnej z kolektorami heat pipe w budynku wielorodzinnym*; P. Olczak, J. Zabagło; Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja 2015, t. 46, nr 11, s. 426–431;
- załącznik 8: *Passive sun tracking of a single evacuated collector with the focusing mirror*; P. Olczak, J. Porzuczek, S. Kandefer; International Conference on Power and Renewable Energy 2016 IEEE, p. 611–615;
- wkładka – załącznik 7.2 rury A i B,
- wkładka – załącznik 7.2 rury C i D.

Problematyka recenzowanej rozprawy doktorskiej dotyczy ważnego ze względów technicznych i energetycznych, także eksploatacyjnych, zagadnienia wykorzystania energii solarnej do wytwarzania ciepłej wody użytkowej i została odniesiona do warunków polskich. Polska charakteryzuje się umiarkowanymi warunkami nasłonecznienia w skali Europy. W ciągu roku dla powierzchni Polski nasłonecznienie wynosi około 1000 kWh/m² i jest 2 razy mniejsze niż dla krajów Europy południowej. Maksymalne dostępne natężenie promieniowania słonecznego nie jest większe niż 1 kW/m², z czego w ciągu doby można uzyskać około 9 kWh/m². Pomimo takich uwarunkowań instalacje solarne są powszechnie wykorzystywane do wspomagania podgrzewania ciepłej wody użytkowej.

Wśród urządzeń wykorzystywanych do przetwarzania energii słonecznej dla potrzeb ciepłych w Polsce używane są głównie kolektory z odbiorem ciepła przez nośnik ciekły: płaskie, próżniowe z ciepłowodem (jedno- lub dwururowe), próżniowe ze zwierciadłem parabolicznym (stacjonarne lub nadążne) i ceramiczne. Dominuje zdecydowanie wykorzystanie kolektorów płaskich.

Do oceny osiąganych wyników ciepłych instalacji solarnych wybrano efektywność, którą określono jako stosunek ciepła użytecznego do dostępnego promieniowania w określonym przedziale czasu.

Problem jest istotny ze względu na efektywność przetwarzania energii słonecznej w układach solarnych, a zarazem skomplikowany z powodu funkcjonalnego nakładania się na siebie dwóch różnych, całkowicie odmiennych, układów, to jest warunków pogodowych i strat ciepła na przesył do odbiornika (co dotyczy wszystkich kolektorów) oraz poprawności konfiguracji elementów układu.

Dlatego dokładne poznanie mechanizmów towarzyszących temu zjawisku jest niezbędne do oceny efektywności danego układu solarnego.

Jak już zaznaczyłem, zagadnienie jest złożone, a jego analiza kłopotliwa i trudna. Jednocześnie należy podkreślić, że podjęcie badań w tym temacie jest ważne nie tylko ze względu na znaczenie poznawcze, ale i utylitarne.

Stąd też wynika moja pozytywna ocena zarówno tematu, jak i zakresu badań podjętych przez Doktoranta.

3. Ocena merytoryczna pracy

Poszczególne rozdziały dysertacji omawiam w sposób bardzo syntetyczny, formułując oceny cząstkowe składające się na finalną ocenę merytoryczną pracy.

3.1. Treść rozprawy

Rozdział 1. *Wprowadzenie* (s. 9–10) stanowi rzeczowe wprowadzenie w tematykę dysertacji. Doktorant omawia uwarunkowania jakie legły u podstaw wyboru przedmiotu, celu i zakresu pracy.

Treścią rozdziału 2. (s. 11–25) jest dostępność energii promieniowania słonecznego dla wybranych miejsc w Polsce. Omówiono w nim promieniowanie słoneczne docierające do Ziemi oraz energię słoneczną dostępną dla absorbera w zależności od położenia kolektora. Rozdział kończy się porównaniem dostępnego nasłonecznienia dla kolektorów płaskich, próżniowych i nadążnych. Ponadto Doktorant określił pojęcia związane z promieniowaniem słonecznym i podał wzory na niektóre z nich.

W rozdziale 3. (s. 26) Doktorant omówił znaczenie i rolę powłok absorbcyjnych oraz ich typy. Trzeba podkreślić, że absorber jest powłoką każdego kolektora mającą na celu zapewnienie jak największej promieniowania dostępnego w formie ciepła użytecznego do układu odbioru ciepła.

W rozdziale 4. (s. 27–40) dokonano charakterystyki podstawowych typów cieplnych kolektorów słonecznych (płaskie i próżniowe). Do oceny osiągniętych wyników cieplnych instalacji Doktorant wybrał efektywność, a nie sprawność. Decyzja ta jest słuszna. Sprawność – definiowana według normy EN 12975-2 – i dla warunków ustalonych nie jest w stanie określić efektów termicznych pracy kolektora w instalacji w danym przedziale czasu, pomimo że wysokie wartości promieniowania słonecznego – G korelują z osiąganymi wysokimi sprawnościami chwilowymi. Efektywność określono jako stosunek ciepła użytecznego do dostępnego promieniowania w określonym przedziale czasu. Należy podkreślić, że w warunkach realnie pracujących instalacji wyznaczona efektywność jest często zniekształcona poprzez trudne do ujęcia straty na orurowaniu i sprzęcie.

Doktorant w zaplanowanych badaniach doświadczalnego wyznaczenia efektywności samych kolektorów słonecznych wybrał punkty pomiarowe bezpośrednio za nimi. Takie podejście do wyznaczenia efektywności, niezależnie uzyskane wyniki strat na rurociągach, zasobnikach i innym osprzęcie instalacji solarnej.

W Polsce dominuje wykorzystanie kolektorów płaskich ze względu na cenę zakupu w porównaniu do innych. Parametrami kolektorów płaskich, które mają bezpośredni wpływ na przetwarzanie energii słonecznej są: współczynniki dotyczące sprawności oraz udział powierzchni absorbera w powierzchni brutto, bezwładność cieplna wynikająca z pojemności cieplnej kolektora i przepuszczalność szyby kolektora zależna od kąta padania promieniowania słonecznego. Podstawową wadą kolektorów płaskich jest słaba izolacja pomiędzy absorberem a szybą osłonową. Izolacyjność ta jest poprawiona w kolektorach jednorurowych z płaskim absorberem i dwururowych typu *heat pipe*, jak również dwururowych typu U.

Doktorant nie omawiał szerzej układów lustrzanych nadążnych, gdyż jest to przedmiotem Jego publikacji – załącznik 1.

Rozdział 5. (s. 41–56) poświęcony jest budowie i efektywności pracy instalacji solarnych. Instalacje te w Polsce są wykorzystywane do wspomaganie otrzymywania ciepłej wody użytkowej w budynkach użytkowanych sezonowo. Doktorant przedstawił następujące instalacje solarne, które różnią się budową i charakterystyką parametrów odbieranego ciepła:

- instalacja solarna z kolektorami płaskimi w domu jednorodzinnym Łęki koło Brzeska, woj. małopolskie (omówiona szczegółowo w załącznikach 3 i 4);
- instalacja solarna z kolektorami płaskimi w krytej pływalni w Brzesku (omówiona szczegółowo w załącznikach 3 i 5);
- instalacja z kolektorami próżniowymi *heat pipe* w budynku wielorodzinnym w Krośnie (omówiona szczegółowo w załącznikach 5, 6 i 7);
- instalacja solarna z kolektorami lustrzanymi w budynku jednorodzinnym z basenem w miejscowości Sterkowiec;
- instalacja solarna z kolektorami płaskimi dla krytej pływalni w Proszówkach, woj. małopolskie;
- instalacja solarna z kolektorami płaskimi dla krytej pływalni i budynku Szpitala Rehabilitacyjnego w Zakopanem.

Doktorant dokonał zestawienia tabelarycznego wyników z badanych instalacji (osiągnięte efektywności) oraz współczynników sprawności dla poszczególnych typów kolektorów w odniesieniu do powierzchni absorbera.

Rozdział kończy się teoretycznym oszacowaniem uzysków solarnych dla kolektorów zastosowanych w instalacjach.

W rozdziale 6. (s. 57) zawarto cel i tezę pracy. Celem pracy jest znalezienie niedoskonałości – kolektorów dwururowych typu *heat pipe* oraz kolektorów z lustrami skupiającymi – mogących ograniczyć efektywność instalacji solarnych.

Problemami do rozwiązania są:

- w przypadku kolektorów *heat pipe*: poprawienie transportu ciepła do pokrycia absorbcyjnego ciepłowodów poprzez zmniejszenie różnicy temperatury na drodze transportu ciepła, co umożliwi wydłużenie czasu pracy układu solarnego, a tym samym podniesienie jego efektywności oraz zmniejszenie strat do otoczenia wywołane obniżeniem temperatury;

– w przypadku kolektorów rurowych z lustrem skupiającym: problemy jak w przypadku kolektorów *heat pipe*, ale również zagadnienia wymaganej precyzji prowadzenia za pozornym ruchem Słońca oraz transformacji różnego rodzaju promieniowania przez lustra.

Sformułowana teza ma brzmienie: *istnieje możliwość poprawy efektywności przetwarzania energii słonecznej w rurze solarnej poprzez zmianę położenia żebra, modyfikację materiału żebra i zmianę wypełnienia gazowego wnętrza rury oraz zastosowanie lustra skupiającego promieniowanie.*

Rozdział 7. (s. 58–96) poświęcony jest badaniom sprawności rur solarnych w różnych konfiguracjach montażu. Obecnie badania prowadzone są w następujących kierunkach: poszukiwanie nowych materiałów na powłoki absorpcyjne, zmniejszenie oporów cieplnych na drodze od absorbera do płynu solarnego, zmniejszenie oporów ciepła od kolektora na zewnątrz. Badania nie objęły wpływu położenia żebra na efektywność przetwarzania energii słonecznej w rurze solarnej. Dlatego też Doktorant zajął się tym problemem. Badania obejmowały pojedynczą rurę, dla której optymalizowano transport ciepła poprzez zmianę materiału żebra, położenie żebra i wypełnienie wnętrza rury wewnętrznej. Przeprowadził również badania mające na celu określenie wpływu lustra skupiającego promieniowanie na rurze na efektywność przetwarzania energii słonecznej. Ze względu na to, że Doktorant skupił uwagę na badaniu pojedynczych elementów układu solarnego, to konieczna była budowa instalacji w formie stanowiska badawczego.

W przypadku badania transportu ciepła w żebrze rury solarnej określono również wpływ położenia żebra przewodzącego ciepło od absorbera do ciepłowodu.

W celu określenia różnic w transporcie ciepła przy różnych położeniach żebra wykonano symulację komputerową w pakiecie Ansys Fluent. Otrzymane wyniki symulacji w formie graficznej jako wektory prędkości przepływów oraz rozkładu temperatury zaprezentowano na wykresach. Różnica w efektywności transportu ciepła do ciepłowodu z energii już zaabsorbowanej pomiędzy korzystnym i niekorzystnym położeniem żebra wynosiła 2,6 punktu procentowego.

Następnym krokiem badań modelowych była symulacja zmiany materiału żebra, różniącego się przewodnością cieplną. Do badań przyjęto, że żebro jest wykonane z aluminium oraz miedzi. Badania wykazały, że jest większy udział energii przekazywanej do ciepłowodu od żebra wykonanego z miedzi niż z aluminium o 1,2 punktu procentowego.

W badaniach pomiarowych sprawdzenia efektywności nie uzyskano potwierdzenia symulacji komputerowych. Wyniki dla poszczególnych wariantów mieściły się w przedziale ufności dla średniej efektywności.

W badaniach wpływu wypełnienia gazowego w wewnętrznej rurze kolektora przeanalizowano wpływ zastąpienia powietrza: dwutlenkiem węgla, wodorem i powietrzem atmosferycznym pod znacznie obniżonym ciśnieniem. Wyniki symulacji komputerowej wskazują na korzystny wpływ zastosowania „próżni” bez względu na kąt obrotu żebra. Weryfikacja doświadczalna potwierdziła również, że nie ma znacznych różnic w efektywności po wprowadzeniu CO₂ zamiast powietrza atmosferycznego.

Doktorant dokonał porównania lusterek solarnych aluminiowych i szklanych oraz zbadał wpływ dokładności ich prowadzenia za pozornym ruchem słońca na efektywność układu. Badania wykonane przy wysokim natężeniu promieniowania słonecznego wykazały wyższe wartości efektywności osiągnięte w przypadku lustra szklanego niż aluminiowego. Ponadto, w okresie

maksymalnego skupienia promieniowania przez lustro, rura bez lustra osiągała wyższą efektywność pozyskiwania energii słonecznej od rury z lustrem. Prawdłowo zaprojektowane i eksploatowane instalacje osiągają lepsze rezultaty niż w warunkach symulacji, wykonanych na etapie projektu instalacji. Rozdział kończy się analizą niepewności wyników badań doświadczalnych.

Rozdział 8. (s. 97–98) stanowi wnioski z wykonanej pracy.

3.2. Ocena merytoryczna pracy

Przedstawiona do oceny dysertacja stanowi interesującą pracę badawczą o dobrym poziomie merytorycznym i dużym znaczeniu użytkowym, dotyczącą efektywności przetwarzania energii słonecznej w układach solarnych w warunkach Polski. Zasadniczym jej celem było poszukanie niedoskonałości kolektorów dwururowych typu *heat pipe* oraz kolektorów z lustrami skupiającymi, mogących ograniczyć efektywność instalacji solarnych. Autor rozprawy podjął się trudnego zadania przeprowadzenia analizy tego problemu.

W mojej ocenie Doktorant w sposób prawidłowy i nowatorski zrealizował postawione przed nim zadanie. Tym samym odnosząc się do uzyskanych i przedstawionych w pracy szczegółowych wyników badań i obliczeń można stwierdzić, że:

1). W zakresie postawionego celu badawczego Doktorant dokonał pogłębionego rozpoznania wybranych elementów instalacji solarnych, czego efektem są stwierdzenia:

- konstrukcja wybranej do analizy próżniowej rury solarnej firmy ENERGOSOL jest zbliżona do optymalnej przy obecnym stanie techniki,
- zastosowanie lustra skupiającego promieniowanie skutkuje (poprzez duże zagęszczenie promieniowania na absorberze), małą wrażliwością efektywności na zmiany temperatury płynu solarnego; wadą takiego rozwiązania jest konieczność precyzyjnego prowadzenia lustra za pozornym ruchem słońca.

2). Natomiast w odniesieniu do sformułowanej w rozprawie doktorskiej tezy można stwierdzić, że:

- optymalizacja położenia żebra wykonana metodą modelowania komputerowego wykazała możliwość poprawy o 2 punkty procentowe udział energii przekazanej do ciepłowodu z energii zaabsorbowanej w kolektorze,
- poprawienie przewodności cieplnej materiału żebra poprzez zmianę aluminium na miedź może poprawić o 1,2 punktu procentowego udział energii przekazanej do ciepłowodu w energii zaabsorbowanej w kolektorze,
- zmiana wypełnienia gazowego poprzez zastąpienie powietrza wypełniającego na CO₂ może w nikły sposób zmniejszyć udział energii przekazanej do ciepłowodu z energii zaabsorbowanej w kolektorze.

3). Ponadto badania rozpoznawcze pracujących instalacji solarnych, na podstawie których określono własny program badań, dostarczyły informacji dotyczących przyczyn niskiej efektywności, jeżeli:

- brak jest możliwości akumulacji ciepła w przypadku niższego natężenia promieniowania i już z częściowo naładowanym zasobnikiem solarnym,

– nie są zastosowane układy przeciwprądowe w odbiornikach ciepła dostarczanego z kolektorów słonecznych, pozwalających skontaktować czynniki o najniższej temperaturze wpływającej do instalacji.

Reasumując, pragnę jednoznacznie stwierdzić, że Doktorant tym samym zrealizował zamierzony cel pracy i udowodnił postawione w niej tezy. Natomiast sama praca jest udanym eksperymentem badawczym, a problem w niej wyselekcjonowany ma duże znaczenie poznawcze, a także użyteczne.

3.3. Pytania do Doktoranta

Wnikliwa lektura pracy nasunęła mi następujące pytania:

- Jak kształtuje się opłacalność ekonomiczna pozyskiwania ciepłej wody użytkowej w przypadku zastosowania kolektorów płaskich dla domu jednorodzinnego o powierzchni 120 m² w woj. małopolskim?,
- Proszę opisać model promieniowania słonecznego podany przez Liu i Jordana?,
- Czy dla gospodarstw położonych w obszarach wiejskich, gdzie występują przerwy w dostawach energii elektrycznej, korzystne jest instalowanie małych, autonomicznych układów solarnych (tzw. układów hybrydowych, które opierają się na pracy kolektora słonecznego w skojarzeniu z modułem fotowoltaicznym)?

3.4. Ocena strony redakcyjnej pracy

Uważam, że rozprawa została napisana stosunkowo zwięźle, klarownie i logicznie. Układ pracy jest prawidłowy, a kolejność rozdziałów nie budzi zastrzeżeń. Język użyty w pracy jest prawidłowy i tylko w niewielu miejscach wymaga korekty. Doktorant nie ustrzegł się jednak drobnych usterek o różnym charakterze, w tym redakcyjnych, stylistycznych. W tekście występują: błędy literowe, błędy odmiany wyrazów, skróty myślowe i niekiedy – mało precyzyjny opis. Poniżej wyszczególniłem jedynie ważniejsze z nich, np.:

- wyrażenia w główkach tabel napisane są różnie: drukiem wytłuszczonym (bold) lub zwykłym, z małej lub dużej litery; każda kolumna tabeli powinna być opisana (np.: s. 90, tab. 7.8),
- brak rozwinięcia niektórych skrótowców (np.: FPC, ETCHP, TR – s. 24),
- nie *ilość*, ale *liczba* (s. 41, w. 10g),
- po śródtytułach zbędna jest kropka, w tekście jest różnie; po numerze podrozdziału powinna być kropka – w tekście jest różnie,
- unikać w tekście skrótu *wg*,
- jest: *Przedstawioną na rys. 7.3 konstrukcję*, powinno być: *Przedstawiona na rys. 7.3 konstrukcja*,
- strona 85 jest zamieszczona w pracy dwukrotnie.

Reasumując, pragnę jednocześnie stwierdzić, że nie mam żadnych wątpliwości co do tego, że Doktorant prawidłowo zrealizował zamierzony cel pracy i udowodnił postawioną tezę. Nie mam również wątpliwości, że oceniana praca jest udanym eksperymentem badawczym, zrealizowanym na dobrym poziomie merytorycznym, a omawiany w niej

problem ma duże znaczenie poznawcze jak i użyteczne. Tym samym chcę zaznaczyć, że wymienione powyżej uwagi nie umniejszają mojej wysokiej oceny dysertacji.

4. Wniosek końcowy

Reasumując, stwierdzam, że przedłożona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Piotra Olczaka, zatytułowana *Efektywność przetwarzania energii słonecznej w układach solarnych*, spełnia warunki określone w Ustawie z dnia 14.03.2003 roku *O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki* (Dz. U. z 2003 r., nr 65, poz. 565; Dz. U. z 2005, nr 164, poz. 1365; Dz. U. z 2010 r., nr 96, poz. 620, nr 182, poz. 1229; Dz. U. z 2011, nr 84, poz. 455; Dz. U. z 2016 r., nr 0, poz. 882), stawiane rozprawom doktorskim. Zawiera bowiem oryginalne rozwiązania zagadnienia naukowego oraz dowodzi odpowiedniej wiedzy Doktoranta, przede wszystkim z obszaru odnawialnych źródeł energii, a w szczególności z zakresu przetwarzania energii słonecznej w układach solarnych.

Uważam, że podjęta przez Doktoranta tematyka badawcza jest trudna, ale ważna i istotna, przede wszystkim ze względu na perspektywy rozwoju energetyki solarnej w Polsce. Uzyskane przez Niego wyniki badań analitycznych mają, w moim przekonaniu, dużą wartość merytoryczną. Jestem również przekonany, że mgr inż. Piotr Olczak jest w pełni przygotowany do samodzielnego prowadzenia pracy naukowo-badawczej.

Na tej podstawie stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Piotra Olczaka zatytułowanej *Efektywność przetwarzania energii słonecznej w układach solarnych* i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

W mojej ocenie, Doktorant może ubiegać się o nadanie stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska.

Jednocześnie biorąc pod uwagę wysoki poziom merytoryczny przedstawionej pracy doktorskiej, wnioskuję do Rady Naukowej Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki o jej wyróżnienie.

