

Dr hab. inż. Tadeusz Pająk, prof. AGH  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie  
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki  
Katedra Systemów Energetycznych i Urządzeń Ochrony Środowiska  
E-mail: [pajak@agh.edu.pl](mailto:pajak@agh.edu.pl)

Kraków, dnia 27.03.2023 r.

## **RECENZJA PRACY DOKTORSKIEJ**

**mgr inż. Mirosława Cezarego Neski**

**pt.: „Badanie efektywności dwusekcyjnego, cieczowego wymiennika ciepła,  
będącego elementem układu konwersji niskotemperaturowego ciepła  
na energię elektryczną”**

Promotor pracy doktorskiej:

prof. dr hab. inż. Tadeusz Andrzej Opara

### **1. Podstawa i aspekty formalne opracowania recenzji**

Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Mirosława Cezarego Neski pt.: *”Badanie efektywności dwusekcyjnego, cieczowego wymiennika ciepła, będącego elementem układu konwersji niskotemperaturowego ciepła na energię elektryczną”* opracowana została na podstawie Uchwały Nr 000-1/5/2023 Senatu Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu z dnia 26 stycznia 2023 r. w sprawie wyznaczenia recenzentów rozprawy doktorskiej mgr inż. Mirosława Neski, przekazana autorowi niniejszej recenzji pismem o symbolu PK-042/15/9-1/dr-r/2023 z dnia 9 lutego 2023 r., sygnowanym przez Rektora Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu.

Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Tadeusz Opara, Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu; Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn i Materiałoznawstwa.

Autor niniejszej recenzji, zgodnie z §3 umowy o dzieło nr – PK-042/15/9-1/dr-r/2-23 z dnia 9 lutego 2023, dotyczącej wykonania przedmiotowej recenzji, oświadcza, że posiada odpowiednie kwalifikacje, wiedzę i doświadczenie do profesjonalnego wykonania recenzji, a w szczególności:

- wykonanie przedmiotu umowy leży w granicach jego możliwości i nie istnieją żadne przeszkody natury technicznej i prawnej uniemożliwiające w całości wykonanie przedmiotu umowy,
- nie jest współautorem prac naukowych Kandydata do stopnia doktora,

- nie uczestniczył, ani nie uczestniczy wspólnie z Kandydatem do stopnia doktora w zespołach badawczych, realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych,
- nie prowadził wspólnie z Kandydatem do stopnia doktora prac naukowych w instytucjach naukowych,
- nie sporządzał recenzji w innych postępowaniach o awans naukowy Kandydata do stopnia doktora oraz nie pełnił w nich funkcji promotora lub promotora pomocniczego.

## **2. Sylwetka naukowa Kandydata**

Doktorant, zwany w tej recenzji także Kandydatem do stopnia doktora, uzyskał tytuł magistra inżyniera, z wynikiem bardzo dobrym z wyróżnieniem, w lipcu 2006 roku w efekcie ukończenia 5-cio letnich studiów stacjonarnych na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki (WIMIR) Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, uzyskując dyplom w zakresie specjalności: Systemy, Maszyny i Urządzenia Energetyczne. Absolutnie ponadprzeciętne przygotowanie i wykształcenie Kandydata do stopnia doktora zostanie niżej szerzej, aczkolwiek syntetycznie omówione. Szeroka prezentacja życiorysu naukowego, a jest to życiorys niezmiernie zawodowo i naukowo bogaty, zostanie przedstawiona w trakcie obrony pracy doktorskiej Kandydata.

Wypełniając istotny warunek formalny należy stwierdzić, że Kandydat nie ubiegał się dotąd o nadanie stopnia doktora. Stosowne dokumenty odnośnie tego faktu Kandydat przedłożył w odpowiedniej jednostce organizacyjnej Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego w Radomiu (dalej w skrócie, jako UTH) a także podobne w treści oświadczenie przekazał mailowo autorowi niniejszej recenzji.

Charakteryzując rozwój naukowy Kandydata na Jego drodze do uzyskania stopnia doktora należy, jak już wyżej wspomniano, podkreślić że jest to absolutnie ponadstandardowa droga, a ponadto ściśle ukierunkowana w aspekcie interdyscyplinarnego zakresu Jego rozprawy doktorskiej. Ukończone w AGH (2006) 5-cio letnie studia magisterskie, o kierunku i specjalności zbieżnej z podjętą później (2007) pracą zawodową w Instytucie Technologii Eksploatacji – Państwowym Instytucie Badawczym w Radomiu (od kwietnia 2019 Sieć Badawcza Łukasiewicz) były poprzedzone 3,5 letnimi studiami stacjonarnymi w Politechnice Radomskiej na Wydziale Transportu o specjalności: Automatyka w Transporcie, gdzie już wówczas Kandydat zdobywał wiedzę z zakresu między innymi: automatyki, sterowania, elektroniki, elektrotechniki, układów programowalnych oraz systemów mikroprocesorowych, która obecnie, odpowiednio zaktualizowana, tak adekwatnie znajduje swoje miejsce w opracowanej przez Kandydata rozprawie doktorskiej.

Zrealizowane przez Kandydata podwójnie studia stacjonarne zostały ponadto poszerzone o wiedzę zdobytą w ramach rocznych studiów podyplomowych na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH o specjalności: *Przemysłowe systemy sterowania*, podczas

których ugruntował i wzbogacił swoją wiedzę, m. in. z zakresu: automatyki, systemów sterowania, układów programowalnych, uczenia maszynowego oraz układów wizyjnych.

Nie można pominąć tak istotnego efektu kształcenia, jaki był udziałem Kandydata jeszcze, jako studenta WIMIR AGH, a jaki związany był z Jego udziałem w półrocznej wymianie studenckiej programu Socrates/Erasmus w Instytucie Technicznym ICAM w Nantes we Francji, gdzie na Wydziale Materiałoznawstwa brał udział w opracowaniu i badaniach nowego kompozytu, przeznaczonego do budowy innowacyjnej aparatury generującej promieniowanie X. Tak istotny epizod w procesie kształcenia studentów, jakim w przypadku Kandydata były studia w programie Socrates/Erasmus, dał podstawy do odbycia sześciomiesięcznego stażu w firmie produkcyjnej CAILLAU w Romorantin we Francji z wykorzystaniem już nabytej wiedzy technicznej oraz pogłębionej znajomości języka obcego, co pozwoliło na kolejne zdobycie cennych doświadczeń zawodowych.

Tak wszechstronnie wykształcony Inżynier podjął w 2007 roku, kontynuowaną do dzisiaj pracę w Instytucie Technologii Eksploatacji – Państwowym Instytucie Badawczym (ITeE-PIB) w Radomiu przechodząc różne funkcje, po obecnie pełnioną funkcję specjalisty w pionie badawczym w Grupie Badawczej Systemów Sterowania w Centrum Prototypowania, kierownika ds. jakości i kierownika technicznego w Laboratorium Badawczym – akredytowanym przez PCA w Centrum Prototypowania Sieci Badawczej Łukasiewicz – Instytutu Technologii Eksploatacji w Radomiu.

Swojego rodzaju kropką na „i” w drodze Kandydata do stopnia doktora były podjęte w latach 2018 – 2022 Jego stacjonarne studia doktoranckie III stopnia na Wydziale Mechanicznym UTH w Radomiu, zrealizowane w dyscyplinie „Budowa i eksploatacja maszyn”, zakończone cytowaną na wstępie uchwałą Senatu UTH z dnia 26 stycznia 2023 r. w sprawie wyznaczenia recenzentów Jego ukończonej rozprawy doktorskiej.

Zdobyta i systematycznie poszerzana przez Kandydata wiedza z zakresu budowy i eksploatacji maszyn i urządzeń energetycznych, mechaniki, automatyki i sterowania, elektrotechniki i elektroniki, ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień związanych z wykorzystaniem ciepła niskotemperaturowego, jako produktu ubocznego szeregu procesów technologicznych i eksploatacji maszyn cieplnych z jego wykorzystaniem w układach chłodniczych, stanowiąc w ten sposób interdyscyplinarny zasób ugruntowanej wiedzy, pozwoliła Kandydatowi podjąć ściśle w tym zakresie mieszczący się temat i cel Jego rozprawy doktorskiej.

Celem uzupełnienia charakterystyki bardzo bogatej sylwetki naukowej Kandydata warto jeszcze wspomnieć o szeregu Jego aktywności w zakresie publikacji i udziału w konferencjach. Dorobek naukowy Kandydata w tym względzie obejmuje osiem artykułów opublikowanych w międzynarodowych czasopismach naukowych, w dziewiętnastu polskich czasopismach naukowych, w dwunastu rozdziałach recenzowanych monografi naukowych oraz w ponad czterdziestu wystąpieniach seminaryjnych, konferencyjnych krajowych i międzynarodowych. Jest to absolutnie imponujący dorobek.

Szereg publikacji Kandydata i w ten sposób potwierdza wyżej wypowiedzianą tezę o ścisłej zbieżności, naukowej i badawczej, rozprawy doktorskiej Kandydata z Jego dorobkiem sprzed doktoratu. Można nawet uznać, że publikacje, jak np. cytowane w pracy doktorskiej w pozycjach; [129] – stanowisko badawcze oraz prototyp modułu termogeneratora i wymiennika ciepła, [144] – budowa modułu i wyniki badań, [165] – potwierdzenie konwersji niskotemperaturowego ciepła na energię elektryczną oraz np. pozycja [169] stanowią bezpośrednią bazę dla dokonań naukowych i badawczych reprezentowanych w rozprawie doktorskiej Kandydata. Stwierdzenie to jest w pełni uzasadnione również faktem, że tematyka stanowiąca przedmiot rozprawy doktorskiej, jej koncepcja, badania eksperymentalne były intensywnie rozwijane przez Doktoranta od 2017 roku w ramach Jego prac zrealizowanych w Instytucie Technologii Eksploatacji (Sieć Badawcza Łukasiewicz) w Radomiu w latach 2017 – 2022, w ramach dwóch niżej wymienionych programów:

- Regionalny Program Operacyjny Województwa Mazowieckiego na lata 2014 – 2020; pt. "Utworzenie Ośrodka Inteligentnych Specjalizacji w Zakresie Innowacyjnych Technologii Przemysłowych oraz Bezpieczeństwa Technicznego i Środowiskowego" (projekt nr: RPMA.01.01.00-14-8249/17); termin realizacji 01.10.2017 - 31.01.2022). Zadanie III. 1.2 pt. "Wytworzenie eksperymentalnego systemu badań układów odzyskiwania energii cieplnej z wentylacji kominowej wykorzystujących termoreaktory".
- Subwencja Ministerstwa Edukacji i Nauki (Decyzja nr 2/CL-Inst./2021 z dnia 26 marca 2021 roku) na finansowanie działalności bieżącej Łukasiewicz - Instytutu Technologii Eksploatacji w 2021 roku, (zlec. wewnętrzne (GBSS) nr 02.949).

Podsumowując charakterystykę sylwetki Kandydata w aspekcie Jego dorobku naukowego i badawczego należy bardzo wyraźnie podkreślić, że dorobek ten jest wypełniony niemal wszystkimi możliwymi formami osiągnięcia i potwierdzenia zdobytej wiedzy o wyraźnie interdyscyplinarnym charakterze, ściśle ukierunkowanej w aspekcie podjętego celu rozprawy doktorskiej, a przez to jest zdecydowanie ponadstandardowy w odniesieniu do oczekiwań wobec Kandydata do stopnia doktora.

### **3. Ogólna charakterystyka rozprawy**

Recenzowana praca doktorska mgr inż. Mirosława Cezarego Neski pt.: *"Badanie efektywności dwusekcyjnego, cieczowego wymiennika ciepła, będącego elementem układu konwersji niskotemperaturowego ciepła na energię elektryczną"* została zredagowana na 169 stronach. Praca zawiera 59 tabel oraz 123 rysunki, wymagane streszczenia w języku polskim i angielskim oraz wykaz ważniejszych oznaczeń i akronimów. Jej znaczącym, dalej oddzielnie skomentowanym elementem, jest przywołanie 266 publikacji bezpośrednio związanych z analizą doniesień literaturowych dotyczących wykorzystania niskotemperaturowych źródeł ciepła. Całość jest profesjonalnie wydrukowana i oprawiona.

Rozprawa zawiera 8 rozdziałów. W rozdziale 1 Doktorant wywodzi oraz formułuje problem badawczy oraz definiuje cel i zakres pracy. Rozdział 2 opisujący teoretyczny model wymiany

ciepła i zjawisk zachodzących w module z generatorami termoelektrycznymi jest istotnym wstępem do realizacji nakreślonego celu pracy. Rozdział 3 stanowi przegląd doniesień literaturowych i jak wyżej podano jest istotnie wyróżniającym się rozdziałem dysertacji. Rozdział 4, to analiza ekonomiczna kosztów wytwarzania energii elektrycznej generowanej w technologii termoelektrycznego jej wytwarzania oraz analiza opłacalności zastosowania adsorpcyjnych układów chłodniczych. Kolejne rozdziały 5, 6, 7 stanowią zasadniczą część dysertacji i prezentują; opis metodyki badań dla realizacji przyjętego programu badawczego (rozd.5), opis konstrukcji i struktury stanowiska do badań wymienników ciepła (rozd.6) oraz wyniki badań weryfikacyjnych (rozd.7). W rozdziale 8 Doktorant dokonuje podsumowania otrzymanych wyników i formułuje wnioski końcowe.

Rozprawa doktorska napisana jest starannie, poprawnym językiem technicznym, adekwatnym w odniesieniu do nazewnictwa opisującego szereg analizowanych procesów, zjawisk i technologii. Ponadto jest bardzo dobrze uzupełniona czytelnymi zestawieniami tabelarycznymi oraz szeregiem adekwatnie dobranych ilustracji graficznych.

#### **4. Ocena merytoryczna rozprawy**

Doktorant wprowadzając do tematu i celu podjętej rozprawy (rozd. 1) słusznie podkreśla jak istotne znaczenie w ostatniej dekadzie działań podejmowanych na poziomie UE w zakresie ochrony klimatu i związanych z tym poszukiwań nowych nisko, a nawet zeroemisyjnych źródeł energii ma efektywne wykorzystanie ciepła o niskiej temperaturze rozumianego, jako ciepła odpadowego szeregu procesów technologicznych i wytwórczych, jak dotąd w niewielkim tylko zakresie odzyskiwanego. Wśród wielu szeroko opisanych w literaturze możliwości wykorzystania niskotemperaturowych źródeł ciepła i dogłębnej ich analizy Doktorant decyduje się podjąć pracę badawczą zmierzającą do zaprojektowania, zbadania a nawet wdrożenia komplementarnego układu odzysku tego rodzaju ciepła do zasilania prototypowego, adsorpcyjnego obiegu chłodniczego oraz konwersji w postaci energii elektrycznej za pomocą ogniów termoelektrycznych, w czym podstawową rolę odgrywa dwusekcyjny, cieczowy wymiennik ciepła, stanowiący element modułu wyposażonego w ogniwa termoelektryczne. Tak zarysowana idea odzysku ciepła niskotemperaturowego została ujęta następująco sformułowanym zasadniczym celem recenzowanej rozprawy doktorskiej:

*Eksperymentalna weryfikacja możliwości konwersji niskotemperaturowego ciepła na energię elektryczną z wykorzystaniem generatorów termoelektrycznych oraz ocena możliwości poprawy ich efektywności poprzez dobór parametrów geometrycznych kanałów przepływowych w wymienniku ciepła od „gorącej” strony generatorów termoelektrycznych i natężenia przepływu gorącego płynu.*

Dla realizacji tak założonego celu pracy Doktorant przyjął skrupulatnie opracowany czteroetapowy program badawczy. Uwzględniając ponadto dostępność środków finansowych wynikających z przyznanych, wcześniej wspomnianych grantów, oraz potencjał badawczy Instytutu Technologii Eksploatacji w Radomiu (Sieć Badawcza Łukasiewicz) a także opisane

wcześniej wysoko kompetencyjne przygotowanie Doktoranta można z optymizmem oczekiwać na pozytywne efekty tak zamierzonych badań stanowiących przedmiot niniejszej dysertacji.

Ujęty w rozdziale 2 teoretyczny model procesu ustalonej wymiany ciepła w module, w którym ciepło z niskotemperaturowego źródła jest pochłaniane przez wymiennik HSHE, a następnie przejmowane przez zestaw generatorów termoelektrycznych jest prawidłowo opracowany. Doktorant dokonał tego w oparciu o szczegółową analizę zachodzących zjawisk, popartą szeregiem poprawnych wzorów, współczynników, liczb kryterialnych a także schematów graficznych, w tym bardzo wartościowych dla oceny wiarygodności opracowanego modelu rysunków od numeru 2.8 do 2.13, popartej wynikami analizy odchylenia standardowego wyznaczenia temperatury ścianki oraz efektywności wymiennika ciepła HSHE uzyskanymi na drodze modelu numerycznego i otrzymanymi doświadczalnie.

Tak opracowany i zweryfikowany model, nie budzący merytorycznych zastrzeżeń, może stanowić wiarygodną merytorycznie podstawę dla realizacji zasadniczych etapów i końcowego celu recenzowanej rozprawy.

W rozdziale 3 Doktorant prezentuje oparty na imponująco bogatej, a przy tym istotnie aktualnej literaturze przedmiotu, przegląd doniesień naukowych, badawczych i konstrukcyjnych z zakresu wykorzystania energii niskotemperaturowych źródeł ciepła. Zdaniem recenzenta jest to jednocześnie bardzo dobrze opracowany mini skrypt z zakresu opisu i analizy zjawisk termoelektrycznych oraz termogeneratorów, zróżnicowanych konstrukcyjnie wymienników ciepła współpracujących z termogeneratorami oraz teorii i konstrukcji adsorpcyjnego obiegu chłodniczego. Interesującym wnioskiem obok szerokiego zbioru informacji zaczerpniętych przez Doktoranta z doniesień literaturowych jest spostrzeżenie Kandydata, że wśród tak bogatego zbioru analizowanej literatury nie ma doniesień na temat metod badań efektywności dwusekcyjnego cieczowego wymiennika ciepła „gorącej” strony modułu zawierającego termogeneratory. A zatem już na tym etapie niniejszej recenzji można stawiać wniosek o oryginalności podjętego tematu dysertacji. A raz jeszcze podkreślając aktualność doboru analizowanej literatury, w większości opublikowanej powyżej 2017 roku, należy stwierdzić, że ma to istotne znaczenie, gdyż uwzględnia się w ten sposób widoczne w aspekcie konstrukcji analizowanych urządzeń współczesne trendy w zakresie ochrony klimatu i środowiska, gospodarki o obiegu zamkniętym, efektywności odzysku energii etc.

Rozdział 4 prezentuje komplementarną wiedzę z zakresu uwarunkowań ekonomicznych przedsięwzięć czy inwestycji związanych z wykorzystaniem technologii termoelektrycznego wywarzania energii elektrycznej oraz adsorpcyjnej technologii chłodniczej z uwzględnieniem określenia czasu ich amortyzacji dla przyjętych zmian cen energii i 30-letniego okresu eksploatacji ogniw termoelektrycznych. Analiza zawarta w tym rozdziale jest zaprzeczeniem dość powszechnego poglądu, że wiedza z zakresu uwarunkowań ekonomicznych nie zawsze idzie w parze z wiedzą inżynierską. Wypływający z dokonanej analizy wnioski odnośnie

zużycia energii elektrycznej dla agregatów adsorpcyjnych, wskazujący na istotne obniżenie emisji CO<sub>2</sub>, jest bardzo wymowny, nie mówiąc o zmniejszeniu innych rodzajów stałych i gazowych zanieczyszczeń emitowanych do powietrza przez węglowe źródła energii elektrycznej. Jeśli produkcja krajowej energii elektrycznej nadal opierać się będzie na dominującym udziale paliw węglowych, na co wskazuje teraźniejszość a także Polityka Energetyczna Polski 2040, to wniosek ten będzie nabierał jeszcze bardziej głębszego znaczenia.

Jak wspomniano wcześniej zasadniczą, merytoryczną część dysertacji stanowią kolejne rozdziały; 5, 6 oraz 7.

Rozdział 5 zawiera opis metodyki badań efektywności płaskiego dwusekcyjnego wymiennika ciepła „gorącej” strony modułu zawierającego termoreaktory. Ich celem była ocena wpływu parametrów procesu wymiany ciepła na wartość generowanej energii elektrycznej, efektywność wymiennika i sprawność. Testowano także wpływ konstrukcji wymiennika i konfiguracje przepływu czynnika w poszczególnych jego sekcjach. Wymienione cele i założenia przyjętego programu badawczego bardzo dobrze ilustrują rysunki 5.1. oraz 5.2. a przyjęte etapy badań rysunek 5.3. Algorytm przebiegu eksperymentu przedstawia natomiast rysunek 5.5. Przypada mi do głowy, że zastosowana metodyka badawcza prototypowego modułu z termoreaktorami jest w swoich celach, prawidłowo przyjętych założeniach odnośnie strat przepływu i strat ciepła oraz etapowo realizowanych badaniach, kompatybilna i zgodna z ogólnie przyjętą sztuką planu eksperymentu dla osiągnięcia rozwiązania przyjętego w rozprawie celu naukowego.

Kolejny rozdział 6 prezentuje założenia oraz strukturę a także szczegółowy opis stanowiska do weryfikacji procesu przetwarzania niskotemperaturowej energii cieplnej na elektryczną przy wykorzystaniu generatorów termoelektrycznych, jako stanowiska niezbędnego dla założonej w celu rozprawy doktorskiej weryfikacji procesu konwersji niskotemperaturowego ciepła na energię elektryczną wraz z oceną możliwości poprawy efektywności tego procesu. Zaprojektowane i wykonane stanowisko jest bardzo starannie przedstawione w rozprawie, poparte szeregiem rysunków, np. bardzo dobrze ilustrującym strukturę stanowiska rysunkiem 6.2 czy algorytm przyjętej metody badawczej rysunkiem 6.27. Ponadto rozdział ten zawiera szereg tabel obrazujących wyniki pomiarów umożliwiających na drodze eksperymentu dokonać badań efektywności wymiennika HSE oraz pozostałych zasadniczych elementów stanowiących MTEG. Rozdział ten, najbardziej obszerny w pracy, to swojego rodzaju „wizytówka” interdyscyplinarnych umiejętności i wiedzy Kandydata, także w zakresie doboru systemu sterowania i kontroli parametrów tak złożonego procesu przetwarzania niskotemperaturowego ciepła na energię elektryczną, co potwierdzają np. rysunki; 6.42. do 6.49. Ale jest to także dowód na bardzo dobrze opanowany i umiejętnie wykorzystany zakres wiedzy dotyczącej analizy niepewności pomiarowej.

Kluczowy dla osiągnięcia celu recenzowanej pracy jest także rozdział 7, stanowiący IV etap opracowanej metodyki i algorytmu badań, prezentujący efekty badań weryfikacyjnych. Sam

zakres badań był bardzo obszerny, obejmujący kilkadziesiąt eksperymentów badawczych w obrębie MTEG, co dobrze ilustruje rysunek 7.1. Badania obejmowały:

- ocenę efektywności wymiennika ciepła „gorącej” strony, a ich efektów o dużej wartości naukowej i poznawczej, zilustrowanych rysunkami 7.2., 7.3. oraz 7.5 do 7.9, dowodzą obserwacje Doktoranta dotyczące; wpływu strumienia masy gorącego płynu na efektywność wymiennika HSHE, rozkładu temperatury wzdłuż wymiennika dla danej konfiguracji kierunku przepływu gorącej wody (przyjęte wg rys. 5.4.) oraz podobnie wpływu tych konfiguracji na straty ciśnienia w analizowanym wymienniku HSHE,
- ocenę procesu generowania mocy elektrycznej wchodzącej w skład MTEG baterii dwudziestu szeregowo połączonych termogeneratorów w zależności od zmian temperatury gorącej cieczy w przekrojach wejściowych wymiennika HSHE oraz strumienia masy gorącego płynu i konfiguracji jego kierunku przepływu – rysunki 7.12. i 7.13., co uznać należy za kolejny oryginalny efekt przeprowadzonych badań,
- ocenę sprawności modułu z termogeneratorami, zdefiniowaną wzorem (7.9), potwierdzoną kolejnymi bardzo wartościowymi naukowo doniesieniami, zilustrowanymi dodatkowo przez rysunki 7.14. i 7.15.,
- ocenę wyników badań weryfikujących współpracę MTEG z adsorpcyjnym układem chłodniczym (MAUC) pracującym w trybie przejmowania ciepła z wymiennika modułu z termogeneratorami. Badania te potwierdziły możliwość takiej współpracy, jak także poprawną wymianę ciepła i jego efektywne przejmowanie przez agregat adsorpcyjny, a jednocześnie dodatkowo wzbogaciły, wyżej podkreślone oryginalne efekty badawcze MTEG uzyskane w wyniku przeprowadzonych badań weryfikacyjnych.

Tym samym rozdział 7 ostatecznie i jednoznacznie w pełni potwierdza realizację założonego celu niniejszej rozprawy doktorskiej, co nie byłoby zapewne możliwe bez perfekcyjnie zaprogramowanej metodyki badawczej, wybudowania stanowiska spełniającego założenia tej metodyki, a przede wszystkim bez interdyscyplinarnej wiedzy Kandydata niezbędnej dla podjęcia tak naukowo i badawczo złożonego tematu i celu Jego rozprawy.

Rozprawę doktorską zamyka zwarty rozdział 8 podsumowujący poszczególne rozdziały opracowanej pracy doktorskiej oraz formułujący najistotniejsze wnioski końcowe wpływające z numerycznych symulacji, a przede wszystkim z obszernego zbioru danych eksperymentalnych pozyskanych w ramach badań prototypu dwusekcyjnego wymiennika ciepła „gorącej” strony modułu z generatorami termoelektrycznymi.

Zawarte w podsumowaniu zestawienie wniosków końcowych, wcześniej w pracy doktorskiej szczegółowo wywiedzionych, raz jeszcze podkreśla szereg walorów recenzowanej rozprawy, od istotnej oryginalności naukowej i badawczej po walory ekonomiczne i użytkowe – wdrożeniowe badanego prototypu modułu z termogeneratorami.



## 5. Uwagi krytyczne i pytania

Uważna lektura powyżej zapisanych uwag i komentarzy odnośnie naukowego, badawczego oraz użytecznego charakteru recenzowanej rozprawy doktorskiej wyraźnie wskazuje, że nie ma tam miejsca na istotne uwagi krytyczne, wobec szeregu pozytywnych spostrzeżeń i ocen zapisanych przez autora niniejszej recenzji. Tym samym trudno takie uwagi w tym punkcie recenzji sformułować. Oczywiście, stosując zasadę, że *nobody is perfect* można szukać przysłowiowej „dziury w całym”, ale mimo wszystko byłoby to bardzo trudne, a wręcz niemające uzasadnienia w sformułowanym i rozwiązany problemie naukowym zaprezentowanym w rozprawie.

Jedyną polemikę może budzić brak sformułowania zasadniczych tez rozprawy doktorskiej. Są one jednak bezpośrednio czytelne wobec założonego głównego celu pracy, w tym celów szczegółowych. Można je łatwo sformułować, np. tezę zakładającą możliwość wzrostu efektywności modułu z generatorami termoelektrycznymi poprzez eksperymentalny dobór parametrów geometrycznych kanałów przepływowych w wymienniku ciepła od „gorącej” strony generatorów termoelektrycznych oraz natężenia przepływu gorącego płynu.

Natomiast celowym wydaje się postawić w tym miejscu kilka pytań skierowanych do Autora dysertacji, które nasuwają się po szczegółowej lekturze Jego rozprawy doktorskiej:

- w rozdziale 3, w postaci wzorów (3.7) oraz (3.6). podano zależności określające efektywność termoelektrycznego generatora, gdzie wzór (3.7) podany za D.M. Rowe jest bezpośrednio związany z bezwymiarowym współczynnikiem  $ZT$ . Czy zdaniem Autora rozprawy prezentującej tak bogaty zbiór wyników badań eksperymentalnych, oczywiście dotyczących; określonego medium niosącego niskotemperaturowe ciepło, specyficznego wymiennika ciepła oraz budowy/materiałów ogni w zespole termogeneratorów i innych przyjętych warunków brzegowych możliwe byłoby przedstawienie podobnej formuły określającej efektywność badanego w ramach rozprawy modułu z termogeneratorami, formuły opartej wyłącznie na zbadanych na własnym stanowisku i pozyskanych danych, współczynnikach czy zaproponowanych liczbach kryterialnych wynikających w przeprowadzonego eksperymentu?,
- opracowany prototyp modułu z termogeneratorami ze względu na zaprezentowane w rozprawie walory takiego urządzenia jak najbardziej potwierdza jego znaczący potencjał wdrożeniowy w instalacjach charakteryzujących się znaczną ilością ciepła odpadowego. Czy w związku z tym istnieje koncepcja dotycząca zakresu podstawowych parametrów oferowanego modułu, np. mierzonych zakresem generowanej mocy elektrycznej? Czy byłaby to, zatem koncepcja wskazująca na ofertę określonego rodzaju typoszeregu modułów, a może raczej na indywidualną, dedykowaną dla danego strumienia i rodzaju niskotemperaturowego ciepła konstrukcję modułu?,
- kolejne zapytanie dotyczy dyspozycyjności i niezawodności docelowego modelu takiego modułu? Czy dyspozycyjność oferowanego modułu byłaby zależna tylko od

dyspozycyjności źródła niskotemperaturowego ciepła, czy może także od innych parametrów? A co z niezawodnością takiego urządzenia?,

- o w zakończeniu pytanie o rodzaj wytworzonej w module energii elektrycznej w aspekcie jej ewentualnego „zielonego” charakteru. Czy opracowany moduł z termogeneratorami może stanowić odnawialne źródło energii? A być może będzie o tym decydować rodzaj i pochodzenie źródła ciepła niskotemperaturowego, np. z hut (??), elektrowni i elektrociepłowni opalanych węglem (???) czy np. systemów eksploatujących źródła geotermalne (co wydaje się na tak)?.

## **6. Podsumowanie i wniosek**

Poddana w ramach niniejszej recenzji ocena pracy doktorskiej mgr inż. Mirosława Cezarego Neski pt.: *”Badanie efektywności dwusekcyjnego, cieczowego wymiennika ciepła, będącego elementem układu konwersji niskotemperaturowego ciepła na energię elektryczną”* budzi wyłącznie wysoce pozytywne wnioski i opinie. Jej temat i postawiony problem naukowy związany jest z bardzo aktualnym, globalnym problemem dotyczącym ochrony klimatu, a w sensie naukowym ze znaczącym poszerzeniem wiedzy w zakresie odzysku niskotemperaturowego ciepła odpadowego i jego konwersji na energię elektryczną.

Przedstawiona do recenzji praca doktorska opracowana została przez Kandydata o ponadstandardowym, interdyscyplinarnym wykształceniu i posiadanej praktyce zawodowej czego dowodzi przedstawiona w recenzji sylwetka naukowa Doktoranta, o znaczącym i również ponadprzeciętnym dorobku naukowym ściśle związanym z tematem oraz celem rozprawy.

Założony cel zasadniczy rozprawy doktorskiej wraz z jej celami szczegółowymi został w pełni osiągnięty. Podkreślić tutaj trzeba bardzo obszerne podejście Doktoranta do realizacji przyjętego celu rozprawy. Realizacja jej poszczególnych celów szczegółowych mogłaby w opinii recenzenta stanowić odrębne, samodzielne, odpowiednio ukształtowane prace doktorskie.

Recenzowana praca doktorska jest przykładem nie tylko ponadstandardowego rozwiązania postawionego celu naukowego, ale jednocześnie zbiorem szeregu nowych, oryginalnych, dotąd niedostrzeżonych w literaturze przedmiotu doniesień naukowych, poszerzających znacząco wiedzę z zakresu badanego przedmiotu, z których część już została opublikowana, a pozostaje jeszcze spory potencjał do dalszego publikowania. Jednocześnie Kandydat poprzez zbudowane stanowisko badawcze i już posiadany potencjał naukowy oraz badawczy może dalej i ciągle głębiej rozwijać sformułowany problem naukowy tworząc w ten sposób podwaliny do ubiegania się o przyznanie kolejnego stopnia w Jego karierze naukowej.

Kolejnym istotnym atutem przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej jest jej użyteczność i możliwość a nawet konieczność wdrożenia w zakresie tak aktualnego obecnie problemu ochrony klimatu i wytwarzania energii elektrycznej o niskim bądź zerowym potencjale śladu węglowego.

Walory edycyjne, graficzne, piśmiennictwo, dobór literatury pozostają poza dyskusją. W niniejszej recenzji zostały oddzielnie i wysoce pozytywnie ocenione.

Biorąc pod uwagę wszystkie aspekty opracowanej recenzji przedmiotowej rozprawy doktorskiej i jej walory powyżej podsumowane należy sformułować dwa najistotniejsze wnioski:

- wniosek o wyróżnienie pracy doktorskiej mgr inż. Mirosława Cezarego Neski, jako rozprawy doktorskiej o wyżej scharakteryzowanym, naukowo, badawczo i aplikacyjnie ponadprzeciętnym osiągnięciu,
- wniosek stwierdzający, że rozprawa doktorska mgr inż. Mirosława Cezarego Neski pt.: *”Badanie efektywności dwusekcyjnego, cieczowego wymiennika ciepła, będącego elementem układu konwersji niskotemperaturowego ciepła na energię elektryczną”* spełnia wszelkie wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2022 574 z późn. zm.) i tym samym jako recenzent tej rozprawy przedkładam wniosek do Senatu Uniwersytetu Technologicznego-Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu o przyjęcie tej pracy i dopuszczenie mgr inż. Mirosława Neski do dalszego procedowania o nadanie stopnia naukowego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie: inżynieria mechaniczna.



Dr hab. inż. Tadeusz Pająk, prof. AGH

Kraków, dnia 27.03.2023