

Zabrze, 19.01.2026

Prof. dr hab. inż. Jarosław Zuwała  
Z-ca Dyrektora Instytutu ds. Badań i Rozwoju

## RECENZJA

Rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Agnieszki SZOSTOK  
pt. „*Thermo-Ecological Cost assessment for renewable energy systems*”

Promotor rozprawy:

prof. dr hab. inż. Wojciech Stanek  
(Politechnika Śląska)

### 1. Wprowadzenie

Podstawą formalną opracowania recenzji jest pismo z dnia 02.12.2025 r. oraz umowa o dzieło nr UMC/4079/2025 zawarta pomiędzy Politechniką Śląską a autorem niniejszej recenzji. Recenzja przygotowana jest w oparciu o Ustawę z dnia 20 lipca 2018r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz.U.2024 r., poz. 1571 z późn. zm.) na podstawie przekazanej rozprawy doktorskiej stanowiącej opracowanie zwarte.

### 2. Ogólna ocena rozprawy

W bieżącym punkcie przedstawię informacje o rozprawie doktorskiej oraz dokonam zwięzłego podsumowania treści rozprawy oceniając prawidłowość wyboru jej tematyki.

#### 2.1 Zakres rozprawy

Przedłożoną do recenzji rozprawę doktorską stanowi cykl trzech powiązanych tematycznie artykułów, opublikowanych w czasopismach naukowych, co zgodne jest z Art. 187 ust. 3 w/w Ustawy, który stanowi, iż: „**Rozprawę doktorską może stanowić praca pisemna, w tym monografia naukowa, zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, praca projektowa, konstrukcyjna, technologiczna, wdrożeniowa lub artystyczna, a także samodzielna i wyodrębniona część pracy zbiorowej**”.

Przedmiotowe publikacje poświęcone są zagadnieniom oceny i porównania systemów energetycznych opartych na odnawialnych źródłach energii (OZE) z wykorzystaniem metody kosztu termoeekologicznego, ze szczególnym uwzględnieniem instalacji fotowoltaicznych, kolektorów

słonecznych, układów hybrydowych PV/T, poligeneracyjnych systemów energetycznych zintegrowanych z magazynami energii chemicznej ( $H_2$ ) oraz mikrosieci energetycznych. Autorka dokonuje analizy wpływu nowoczesnych systemów energetycznych opartych na OZE na zużycie zasobów nieodnawialnych, wykorzystując metodę kosztu termoeologicznego której podstawy teoretyczne wywodzą się z analizy egzergetycznej. Tytuł rozprawy doktorskiej odpowiada zakresowi merytorycznemu publikacji, a całość rozprawy dotyczy zagadnień mieszczących się w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Przedstawiona do recenzji praca składa się z dwóch zasadniczych części. Pierwszą z nich (*Introduction*) stanowi część wprowadzająca o charakterze syntetycznym, w której Autorka przedstawia tło naukowe prowadzonych badań, motywację podjęcia tematu oraz cele i zakres rozprawy doktorskiej. W tej części zaprezentowano podstawowe zagadnienia teoretyczne związane z analizą energetyczną, egzergetyczną oraz termoeologiczną systemów energetycznych, ze szczególnym uwzględnieniem pojęcia kosztu termoeologicznego oraz celowości jego zastosowania w ocenie systemów opartych na OZE. Autorka krótko omawia aktualny stan wiedzy w zakresie technologii OZE, takich jak instalacje fotowoltaiczne, kolektory słoneczne, układy hybrydowe PV/T, systemy magazynowania energii oraz mikrosieci energetyczne, wskazując na ograniczenia klasycznych metod oceny efektywności tych systemów.

Drugą, zasadniczą część rozprawy stanowi omówienie kolejnych pozycji cyklu publikacji naukowych, które tworzą spójny tematycznie i metodologicznie zbiór prac będących podstawą rozprawy doktorskiej (...*Paper I*, ...*Paper II*, ...*Paper III*). W tej części Autorka pełni rolę przewodnika po przedłożonych publikacjach, przedstawiając dla każdej z nich cele badawcze, zastosowaną metodykę, zakres analiz oraz najważniejsze wnioski. Pracę kończy rozdział podsumowujący (*Summary and conclusions*) oraz obszerna bibliografia licząca 168 pozycji. Do rozprawy dołączono także kopie przedmiotowych trzech publikacji.

Kompozycja całości pracy jest przejrzysta i logiczna, a przyjęta forma autoreferatu umożliwia czytelnikowi zrozumienie zarówno motywacji badawczej Autorki, jak i konsekwentnie realizowanej koncepcji naukowej. Zaprezentowane w pracy publikacje dobrano w sposób przemyślany oraz logicznie uporządkowany, tak aby kolejne prace stanowiły konsekwentne rozszerzenie zakresu prowadzonych na wcześniejszych etapach badań.

Publikacja nr 1 poświęcona jest porównawczej analizie termoeologicznej systemów solarnych, obejmującej klasyczne instalacje fotowoltaiczne, kolektory słoneczne oraz układy hybrydowe PV/T. W pracy tej Autorka analizuje efektywność wykorzystania promieniowania słonecznego w poszczególnych rozwiązaniach technologicznych, wykazując różnice w zużyciu zasobów nieodnawialnych, które nie są jednoznacznie widoczne przy zastosowaniu klasycznych wskaźników energetycznych.

Druga z publikacji rozszerza zakres analiz na poziom systemowy i dotyczy oceny układu elektroenergetycznego opartego na odnawialnych źródłach energii, zintegrowanego z systemami magazynowania energii. Autorka przeprowadza szczegółową analizę wpływu różnych konfiguracji źródeł OZE oraz magazynów energii na wartość kosztu termoeologicznego wytwarzanej energii elektrycznej, uwzględniając zmienność warunków pracy systemu oraz rzeczywiste profile obciążenia. Praca ta pozwala na ocenę zasadności stosowania magazynów energii nie tylko z punktu widzenia stabilności systemu, lecz również w kontekście długookresowego zużycia zasobów nieodnawialnych.

Publikacja nr 3 ma najbardziej kompleksowy charakter i dotyczy oceny termoeologicznej mikrosieci energetycznej wspieranej przez odnawialne źródła energii. W pracy tej Autorka analizuje układ poligeneracyjny produkujący energię elektryczną, ciepło oraz chłód użytkowy, przeprowadzając zarówno lokalne, jak i globalne bilanse energetyczne. Zastosowanie metod termoeologicznych, uzupełnionych analizą egzergetyczną i termoeonomiczną, umożliwia ocenę wpływu



integracji różnych nośników energii na zużycie zasobów pierwotnych oraz jakość energetyczną funkcjonowania mikrosieci.

Zaprezentowany cykl publikacji tworzy spójne i konsekwentnie rozwijane opracowanie problematyki zastosowania analizy kosztu termoeologicznego do oceny nowoczesnych systemów energetycznych opartych na odnawialnych źródłach energii. Publikacje przedstawione do oceny zostały opublikowane w latach 2022–2025 w renomowanych międzynarodowych czasopismach naukowych o wysokim wskaźniku wpływu (IF). Dwie z nich ukazały się w czasopiśmie *Renewable Energy*, które charakteryzuje się wysokim poziomem cytowań i znaczącym oddziaływaniem w obszarze energetyki odnawialnej, a trzecia w periodyku *Energy*, również o bardzo wysokim IF i szerokim zasięgu w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Przedstawione publikacje są współautorskie, w dwóch z nich Doktorantka jest pierwszym autorem.

Pierwsza publikacja (*Thermo-ecological analysis – The comparison of collector and PV to PV/T system*) ukazała się w *Renewable Energy* (Vol. 200, 2022) i jak wynika z dostępnych danych ma co najmniej 7 cytowań w bazie WoS/Scopus, przy CiteScore ~16,1 i SNIP 2,116, co świadczy o zainteresowaniu środowiska naukowego poruszonym w niej zagadnieniem analiz termoeologicznych systemów solarnych. Druga z nich (*Thermo-ecological analysis of the power system based on renewable energy sources integrated with energy storage system*) również została opublikowana w *Renewable Energy* (Vol. 216, 2023). Na podstawie analizy bibliometrycznej można przyjąć, że artykuł ten zgromadził co najmniej 14 cytowań w bazie WoS/Scopus, a jego CiteScore wynosi około 18,4, przy SNIP ~1,919, co dodatkowo potwierdza jego wysoką widoczność i wpływ w środowisku badawczym. Trzecia publikacja (*Thermo-ecological assessment of microgrid supported with renewable energy*), opublikowana w czasopiśmie *Energy* (Vol. 314, 2025), to najnowszy z artykułów cyklu; wg dostępnych źródeł posiada na obecnym etapie 1 cytowanie, a wskaźniki bibliometryczne tego periodyku również wskazują na wysoką wartość CiteScore (~16,5) oraz SNIP ~2,164, co odzwierciedla szerokie oddziaływanie w literaturze interdyscyplinarnej z zakresu instalacji energetycznych, technologii magazynowania energii i integracji OZE.

Łączna liczba cytowań tych trzech publikacji wynosi zatem co najmniej 22, przy czym pierwszy i drugi artykuł mają już ugruntowany dorobek cytowań, a trzeci dopiero zyskuje odzew środowiska naukowego, co jest typowe dla artykułów bardzo świeżych. Suma wskaźników CiteScore czasopism (*Renewable Energy* i *Energy*) dla tych trzech artykułów wynosi ponad 50 punktów, co stanowi znaczny dorobek bibliometryczny w krótkim okresie publikacji. Należy podkreślić, że wysokie wartości wskaźników wpływu (IF/CiteScore/SNIP) oraz liczba cytowań są miarodajnymi wskaźnikami jakości naukowej publikacji w obszarze energetyki odnawialnej i systemowych analiz energetycznych. W świetle tych danych można stwierdzić, że zarówno jakość wykonanych badań, jak i poziom naukowy Autorki są wysokie, co dodatkowo potwierdza znaczący oddźwięk badań w międzynarodowym środowisku naukowym.

Ponieważ przedstawione w cyklu publikacji pozycje ukazały się w renomowanych międzynarodowych periodykach naukowych, sądzę że ich szczegółowa krytyczna analiza jest w tym przypadku nieuzasadniona. Manuskrypty kierowane do publikacji w czasopismach o tak wysokiej randze poddawane są szczegółowej analizie na poziomie wydawniczym (przez Wydawcę), a następnie zanonimizowanemu procesowi recenzji, w którym bierze udział kilku niezależnych recenzentów. Dokonują oni zwyczajowo bardzo krytycznej oceny przedłożonego materiału co ma na celu wychwycenie błędów i niedociągnięć, aby je przed publikacją finalnej wersji autor miał szansę poprawić czy usunąć. Można zatem założyć, iż stanowiący zawartość poszczególnych publikacji materiał był już poddany szczegółowej analizie i weryfikacji merytorycznej.

Podsumowując powyższe, stwierdzam że przedstawiony cykl publikacji został dobrany prawidłowo, przez co całościowy zakres pracy opisanej w poszczególnych pozycjach jest spójny i wyczerpujący.



## 2.2 Ocena prawidłowości wyboru tematu

Złożone układy energetyczne (w tym poligeneracyjne) oparte na odnawialnych źródłach energii i obejmujące m.in. farmy fotowoltaiczne, elektrolizery, układy magazynowania energii w postaci wodoru oraz ogniwa paliwowe wymagają wielokryterialnej oceny nie tylko z uwagi na konieczność dostarczenia wiarygodnych danych dla prowadzenia przedinwestycyjnych analiz o charakterze techniczno – ekonomicznym ale także dla oceny ich realnego wpływu środowiskowego. Zwyczajowy zakres analiz techniczno – ekonomicznych pozwala potencjalnym inwestorom na ocenę opłacalności ekonomicznej takich rozwiązań, natomiast narzędzia wykorzystujące analizę cyklu życia umożliwiają oszacowanie ich wpływu środowiskowego. Jednak dopiero zastosowanie metody kosztu termoeologicznego (ang. *TEC*) pozwala na ocenę rzeczywistego zużycia zasobów nieodnawialnych wynikającego z charakterystycznego często dla technologii odnawialnych wydłużonego łańcucha konwersji energii i związanej z tym nieodwracalności procesów. W konsekwencji metoda *TEC* stanowi kluczowe narzędzie oceny racjonalności systemowej tego typu rozwiązań, szczególnie w kontekście transformacji energetycznej w ujęciu długookresowym. Często technologia bazująca na OZE, o zerowych emisjach bezpośrednich może mieć wysoki koszt zasobowy - co to ma istotne znaczenie w długim horyzoncie transformacji energetycznej – a nie odzwierciedla się w analizie efektywności energetycznej czy ekonomicznej. Innymi słowy, metoda *TEC* może wspomóc rozróżnienie pomiędzy rozwiązaniami pomostowymi a rozwiązaniami docelowymi (zamykającymi ścieżkę transformacji energetycznej) pozwalając na uniknięcie tzw. technologicznego efektu „lock-in”.

Sądzę, że zasadniczym argumentem przemawiającym za wyborem tematu rozprawy doktorskiej było przekonanie, że ocena systemów odnawialnych źródeł energii powinna uwzględniać nie tylko wolumen wytwarzanej energii, lecz również jakość tej energii oraz skumulowane zużycie zasobów nieodnawialnych w całym łańcuchu konwersji. Metoda kosztu termoeologicznego, wywodząca się z analizy energetycznej umożliwia właśnie takie ujęcie problemu, pozwalając na identyfikację nieodwracalności procesów oraz kosztów środowiskowych, które nie są widoczne przy zastosowaniu tradycyjnych wskaźników efektywności.

Istotnym motywem podjęcia badań było również dostrzeżenie luki badawczej w literaturze przedmiotu. Choć metoda kosztu termoeologicznego była wcześniej stosowana do oceny wybranych technologii energetycznych, to jej wykorzystanie w analizie złożonych, nowoczesnych systemów OZE, obejmujących integrację różnych źródeł, magazynów energii oraz układów poligeneracyjnych było dotychczas ograniczone i fragmentaryczne. W szczególności brakowało badań o charakterze porównawczym, pozwalających na ocenę, czy rozwiązania postrzegane jako korzystne z punktu widzenia redukcji emisji lub opłacalności ekonomicznej prowadzą również do rzeczywistej minimalizacji zużycia zasobów pierwotnych w ujęciu długookresowym.

Wybór tematu rozprawy podyktowany był także jego wysoką aktualnością i znaczeniem aplikacyjnym. Wyniki analiz termoeologicznych mogą stanowić istotne uzupełnienie procesu decyzyjnego w planowaniu i projektowaniu systemów energetycznych, zwłaszcza w kontekście transformacji sektora energetycznego, rozwoju mikro sieci oraz integracji odnawialnych źródeł energii z magazynowaniem. Metoda ta pozwala bowiem na formułowanie wniosków o charakterze strategicznym, wskazujących nie tyle rozwiązania najbardziej efektywne pod względem ekonomicznym bądź najprostsze do implementacji, ile rozwiązania racjonalne z punktu widzenia długoterminowego gospodarowania zasobami.

Podsumowując, wybór tematu rozprawy doktorskiej pt. „*Thermo-Ecological Cost assessment for renewable energy systems*” uznaję za w pełni uzasadniony zarówno z punktu widzenia aktualnych potrzeb nauki i praktyki inżynierskiej, jak i rozwoju metod oceny systemów energetycznych. Zastosowanie metody kosztu termoeologicznego umożliwia pogłębioną, systemową analizę nowoczesnych rozwiązań OZE i stanowi wartościowy wkład w dyskusję nad racjonalnymi kierunkami transformacji energetycznej.



### 2.3 Oryginalność i nowatorstwo rozprawy

Problematyka zastosowania analizy egzergetycznej oraz kosztu termoeologicznego w ocenie systemów energetycznych była podejmowana w literaturze przedmiotu już wcześniej, w tym również w odniesieniu do wybranych technologii OZE. Dostępne są prace, w których metoda kosztu termoeologicznego stosowana była do oceny pojedynczych instalacji lub wybranych konfiguracji systemów energetycznych. Należy jednak podkreślić, że badania te miały zazwyczaj charakter fragmentaryczny i często nie obejmowały jednocześnie analizy komponentów, systemów z magazynowaniem energii oraz pełnoskalowych mikrosieci.

Oryginalność przedstawionej rozprawy polega przede wszystkim na konsekwentnym i systemowym zastosowaniu metody kosztu termoeologicznego do oceny nowoczesnych układów energetycznych opartych na odnawialnych źródłach energii, począwszy od porównania technologii konwersji energii słonecznej (PV, kolektory, PV/T), poprzez analizę systemów zintegrowanych z magazynami energii, aż po kompleksową ocenę mikrosieci energetycznych. Tak szerokie i jednocześnie spójne ujęcie problemu nie było dotychczas w literaturze prezentowane w ramach jednego cyklu publikacji.

Istotnym elementem nowatorskim pracy jest również zastosowanie analizy globalnej, uwzględniającej skumulowane zużycie zasobów nieodnawialnych i nieodwracalności procesów w całym łańcuchu przetwarzania energii, co pozwala na wyjście poza ograniczenia klasycznych analiz energetycznych i efektywnościowych. Autorka wykazuje, że rozwiązania postrzegane jako korzystne z punktu widzenia „lokalnych” wskaźników energetycznych nie zawsze prowadzą do minimalizacji zużycia zasobów pierwotnych w ujęciu długookresowym.

Podsumowując, należy stwierdzić, że choć metoda kosztu termoeologicznego jako taka jest znana w literaturze, to zakres jej zastosowania, sposób integracji z analizą systemową oraz konsekwencja badawcza prezentowana w rozprawie nadają pracy wyraźny oryginalny charakter i stanowią wartościowy wkład w rozwój metod oceny systemów energetycznych w kontekście transformacji energetycznej.

### 2.4 Prawdliwość rozważań, uzyskanych wyników i wniosków oraz uwagi krytyczne

Treść rozprawy dowodzi, że Doktorantka bardzo dobrze znajduje się w przedmiotowej problematyce. Do treści zawartych w rozprawie nie mam uwag merytorycznych, nie stwierdzam w tym zakresie żadnych uchybień i oceniam znajomość przedmiotu zagadnienia przez Doktorantkę – w tym Jej przygotowanie zawodowe i naukowe – bardzo pozytywnie.

Praca jest napisana poprawnym językiem angielskim, w kilku wyszczególnionych miejscach Autorka nie ustrzegła się drobnych nieścisłości, część z nich wynikać może z tłumaczenia z języka polskiego na angielski, do wyjaśnienia pozostawiam następujące kwestie natury edycyjno – redakcyjnej:

- 1) str. 11,12: rys. 4-6 przedstawiają wykresy godzinowego obciążenia elektrycznego (zapotrzebowania na moc elektryczną, kW), podczas gdy opisy powinny mówić o zużyciu energii elektrycznej (ang. *consumption*) – w opisie rys. 7 (str. 14) jest już poprawny opis.
- 2) str. 22: zależność (30) opisująca krzywą mocową turbiny wiatrowej należy skomentować pod kątem zakresu wartości prędkości w jakim ona obowiązuje (po podstawieniu  $v=0$  m/s wynikowa wartość mocy  $P_w$  wynosi  $-794,68233$  kW).
- 3) str. 18: rys. 18 – czy zależność krzywoliniowa przebiegu sprawności elektrolizera w funkcji mocy względnej powstała w wyniku analizy regresji danych z pomiarów rzeczywistych odzwierciedlonych na tym samym wykresie jako znaczniki?
- 4) str. 51: rozdział 4.3 *fuel division indicators* bardziej pasowałby do części wprowadzającej (*Introduction*), jako że ma charakter ogólny. Występującym w zależnościach (68) i (70) wskaźnikom  $\mu_{ele}$  i  $\chi_{ele}$  chochlik drukarski zabrał część indeksu: symbol „e” – poprawnie jest już natomiast w opisach symboli pod każdym z równań).



Przyczynek do podjęcia pogłębionej dyskusji naukowej stanowią natomiast zagadnienia, które zamieszczam poniżej, z prośbą o odniesienie się do nich w trakcie obrony pracy:

- 1) str. 7: przyjęty do analizy moduł „*Energy storage*” na który składa się elektrolizer, magazyn wodoru i ogniwo paliwowe jest układem typu P2F2P (ang. *power-to-fuel-to-power*), gdzie elektryczność zamieniana jest na wodór a następnie w razie potrzeby ponownie na elektryczność. Co przeważało za wyborem takiej konfiguracji w kontrze do typowego magazynu energii – przecież opisana konfiguracja z uwagi na dłuższy łańcuch przemian cechuje się wyższymi stratami energii (i egzergii) niż w przypadku klasycznego magazynu bateryjnego?
- 2) str. 8 i dalej: czy analizowany w pracy układ biogazowni obejmuje także instalację usuwania CO<sub>2</sub> z surowego biogazu – jeżeli tak, to czy ten strumień nie powinien zostać uwzględniony w analizie?
- 3) str. 36: w rozdziale 2.3 rozprawy Autorka opisuje przyjętą metodę podziału zużycia paliwa w procesie skojarzonym z wykorzystaniem klucza egzergetycznego oraz metodę procesu zastępowanego (elektrowni równoważnej). Jako procesy zastępowane wskazane zostały: elektrownia węglowa (elektryczność) oraz węglowa ciepłownia (ciepło). Czym uzasadnia Pani wybór tych procesów zamiast – przykładowo – procesów produkcji elektryczności z wykorzystaniem technologii PV a ciepła użytecznego z wykorzystaniem kolektorów słonecznych? Bądź alternatywnie innych bazujących na OZE źródłach wytwórczych – np. biomasowych?
- 4) Metoda kosztu termoeologicznego, jako narzędzie wywodzące się z analizy egzergetycznej i ukierunkowane na ocenę zużycia zasobów nieodnawialnych w całym cyklu funkcjonowania systemu energetycznego, z definicji powinna mieć charakter systemowy. W tym kontekście proszę uprzejmie o komentarz co do konsekwencji pomijania w analizach termoeologicznych systemów OZE elementów systemu elektroenergetycznego zapewniających ich dyspozycyjność i stabilność pracy, takich jak jednostki rezerwowe o krótkim czasie rozruchu (np. gazowe) oraz magazyny energii. Pobór energii z sieci krajowej ma istotne znaczenie w okresie zimowym (por. str. 42 i rys. 29 „*energy from grid*”). Czy – Pani zdaniem – nieuwzględnianie tych komponentów prowadzić może do zaniżenia kosztu termoeologicznego energii elektrycznej z OZE? Czy Pani zdaniem elementy te powinny być formalnie włączone do bilansów TEC, aby zachować spójność przyjętej metody?
- 5) Analizy przeprowadzone w rozprawie dotyczą określonych konfiguracji systemów energetycznych oraz przyjętych profili obciążenia i warunków klimatycznych. Proszę uprzejmie o komentarz, na ile uzyskane wyniki można uznać za reprezentatywne dla szerszego spektrum lokalizacji i warunków eksploatacyjnych oraz jakie ograniczenia należy mieć na uwadze przy ich praktycznym wykorzystaniu.
- 6) W kontekście dynamicznego rozwoju odnawialnych źródeł energii często przyjmuje się, że systemy oparte na OZE są z definicji rozwiązaniami niskoemisyjnymi i zasobooszczędnymi. Proszę uprzejmie o odniesienie się do pytania, w jaki sposób wyniki przedstawione w rozprawie weryfikują to założenie oraz czy mogą one prowadzić do rewizji niektórych powszechnie przyjmowanych kierunków rozwoju technologii OZE.
- 7) Proszę uprzejmie o wskazanie, jakie kierunki dalszych badań dostrzega i uznaje Pani za najbardziej perspektywiczne w kontekście rozwoju metody kosztu termoeologicznego, w szczególności w odniesieniu do rosnącej roli magazynowania energii oraz integracji sektorów energii elektrycznej, ciepła i chłodu.



### 3. Wnioski końcowe

Całościowa analiza pracy doktorskiej, obejmująca zarówno część opisową (autoreferat), jak i przedłożony cykl publikacji naukowych, dowodzi, że Doktorantka bardzo dobrze orientuje się w przedmiotowej problematyce i swobodnie porusza się w obszarze metod oceny nowoczesnych systemów energetycznych opartych na odnawialnych źródłach energii. Nie stwierdzam w tym zakresie istotnych uchybień, a znajomość przez Doktorantkę zagadnień związanych z analizą energetyczną, egzergetyczną oraz metodą kosztu termoeologicznego, jak również Jej przygotowanie naukowe, oceniam bardzo wysoko.

Planując i realizując szeroki zakres badań analitycznych i obliczeniowych, Autorka zgromadziła spójny i kompletny materiał badawczy, który umożliwił kompleksową ocenę różnych konfiguracji systemów energetycznych opartych na odnawialnych źródłach energii, w tym instalacji fotowoltaicznych, kolektorów słonecznych, układów hybrydowych PV/T, systemów zintegrowanych z magazynami energii oraz mikrosieci energetycznych. Przeprowadzone analizy pozwoliły na ocenę wpływu struktury systemu i przyjętych rozwiązań technologicznych na zużycie zasobów nieodnawialnych w ujęciu globalnym, wykraczając poza klasyczne wskaźniki efektywności energetycznej.

Zakres zrealizowanych prac stanowi oryginalny dorobek Doktorantki, a uzyskane wyniki mają nie tylko istotną wartość poznawczą, lecz dostarczają również ważnych wniosków o charakterze aplikacyjnym, mogących znaleźć zastosowanie w procesie projektowania i planowania systemów energetycznych w warunkach transformacji energetycznej. Z tego względu należy uznać je za cenne także z praktycznego punktu widzenia.

Podsumowując powyższe, stwierdzam co następuje:

- 1) Rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w dyscyplinie naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka; dowodzi także Jej umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, w tym planowania i realizacji bardzo szerokiego zakresu badań eksperymentalnych, dyskusji oraz interpretacji uzyskanych wyników.
- 2) Praca posiada bardzo wartościowe aspekty użytkowe, osiągnięte wyniki mogą być przydatne oraz dalej rozwijane dla celów zastosowań w sektorze energetyki, inżynierii środowiska i gospodarki odpadami.
- 3) Na podstawie przedstawionej mi do recenzji rozprawy doktorskiej, biorąc pod uwagę przedstawione wcześniej uwagi i spostrzeżenia stwierdzam, że przedstawiona przez Panią mgr inż. Agnieszkę Szostok rozprawa pt. „*Thermo-Ecological Cost assessment for renewable energy systems*” spełnia w całości określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. 2024, poz. 1571 z późn. zm.) warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim.

**Wobec powyższych faktów wnioskuję do Wysokiej Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka o dopuszczenie Pani mgr inż. Agnieszki Szostok do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora.**

Podpisał Jarosław Zuwała