



Zachodniopomorski
Uniwersytet
Technologiczny
w Szczecinie

ZACHODNIOPOMORSKI UNIWERSYTET TECHNOLOGICZNY W SZCZECINIE
WYDZIAŁ INŻYNIERII MECHANICZNEJ I MECHATRONIKI

Katedra Technologii Energetycznych

prof. dr hab. inż. Jacek ELIASZ

PL 70-310 Szczecin, Al. Piastów 19

Tel: (004891) 449 42 70,

e-mail: Jacek.Eliasz@zut.edu.pl

Szczecin, dnia 04.02.2026r.

RECENZJA PRACY DOKTORSKIEJ

pt. " Thermo-Ecological Cost assessment for renewable energy systems"

autorstwa:

Pani mgr inż. Agnieszki SZOSTOK z Politechniki Śląskiej

1. PODSTAWA FORMALNA OPRACOWANIA RECENZJI

Recenzja została opracowana na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej z dnia 20.11.2025 r. (patrz pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Pana prof. dr hab. inż. Krzysztofa Labus z dnia 02.12.2025r., sygn.: RIE-BD.512.53.2025).

2. INFORMACJE OGÓLNE O ROZPRWIE

Rozprawa składa się z 201 stron, w tym 15 stron spisu literatury (168 pozycji) oraz 3 załączniki będące, pełnymi tekstami trzech wymienionych poniżej monotematycznych artykułów naukowych, opublikowanych w wysoko punktowanych czasopismach naukowych o szerokim zasięgu publikacyjnym.

1. Artykuł: Agnieszka Szostok, Wojciech Stanek, Thermo-ecological analysis - The comparison of collector and PV to PV/T system, Renewable Energy, Volume 200, 2022, Pages 10-23, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.09.070>;
2. Artykuł: Agnieszka Szostok, Wojciech Stanek, Thermo-ecological analysis of the power system based on renewable energy sources integrated with energy storage system, Renewable Energy, Volume 216, 2023, 119035, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119035>;
3. Artykuł: Wojciech Stanek, Agnieszka Szostok, Thermo-ecological assessment of microgrid supported with renewable energy, Energy, Volume 314, 2025, 134256, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.134256>.

Praca jest w całości napisana w języku angielskim. Pod względem formalnym i edytorskim rozprawa jest opracowana bardzo starannie.

3. OCENA UKŁADU I ZAWARTOŚCI ROZPRAWY

Rozprawa składa się z 5 rozdziałów głównych podzielonych na podrozdziały i zawiera streszczenie w języku polski i angielskim.

Rozdział 1 „Wprowadzenie” oprócz kontekstu podjęcia tematyki zawartej w rozprawie doktorskiej, zawiera:

- przegląd literatury wraz z wnioskami dotyczącymi tzw. luki badawczej odniesionymi do takich obszarów tematycznych jak ocena kosztów termo-ekologicznych (TEC), równanie równowagi w obszarze TEC, możliwości zastosowania analizy TEC, a także analizy termo-ekonomicznej (TEA),
- uzasadnienie podjęcia tematyki wraz celami nadrzędnymi opracowania,
- opis przedmiotu (obiektu) badań obejmujący oprócz opisu elementów systemu poddanego badaniom, także charakterystykę zapotrzebowania na energię elektryczną, ciepło i chłód oraz opis układu magazynowania energii opartego o elektrolizer i ogniwo paliwowe,
- opis zastosowanego aparatu matematyczno-obliczeniowego wraz z przyjętymi założeniami bilansowymi.

Rozdział pierwszy kończy przedstawienie przyjętej do udowodnienia tezy opartej o pięć przyjętych przez Kandydatkę założeń modelowo-analitycznych.

Rozdział 2 zawiera nowatorskie dane obliczeniowe oraz wyniki badań dotyczące całościowej analizy porównawczej wytwarzania energii i ciepła dla 3 przypadków tj. paneli fotowoltaicznych, kolektorów słonecznych oraz hybrydowego układu zintegrowania paneli fotowoltaicznych z kolektorami słonecznymi. Analiza ta uwzględnia takie aspekty jak:

- porównanie systemu kolektorowego i fotowoltaicznego z systemem fotowoltaiczno-termicznym,
- koszt termo-ekologiczny zastosowanych materiałów,
- rozkład kosztów termo-ekologicznych w systemie kogeneracyjnym.

W rozdziale tym zawarte są unikalne wyniki badań dotyczące określenia wartości TEC dla hybrydowego systemu zintegrowania paneli fotowoltaicznych z kolektorami słonecznymi. Niezwykle interesujące są tutaj wyniki analizy rozptyłu energii pierwotnej (promieniowania słonecznego) na część związaną z wytwarzaniem ciepła oraz energii elektrycznej.

Rozdział 3 stanowi niezwykle istotną część pracy zarówno z poznawczego, jak i utylitarne punktu widzenia prowadzenia prac naukowo-badawczych przez Kandydatkę. Treści pracy zawarte w tym rozdziale skupiają się na analizie współpracy między różnymi technologiami energetycznymi wykorzystującymi odnawialne źródła energii w ramach stworzonej przez Kandydatkę mikro-sieci zasilająco-odbiorczej. W badaniach zrealizowanych przez Kandydatkę porównano różne warianty źródeł energii po stronie zasilania układu, tak aby znaleźć najbardziej optymalną konfigurację dla zasilania mikro-sieci. Analizowany układ OZE / mikro-sieć odbiorcza obejmował system paneli fotowoltaiczny, hybrydowy system paneli fotowoltaicznych z kolektorami słonecznymi, turbinę wiatrową oraz silnik kogeneracyjny zasilany biogazem. Analiza ta obejmowała również wykorzystanie magazynu energii (w oparciu o elektrolizer, zbiornik magazynujący wodór i ogniwo paliwowe). Uzyskane

wyniki badań odnoszą się tutaj również do określenia potencjalnych możliwości integracji technologii magazynowania energii w odniesieniu do różnych scenariuszy tzw. „miksi” energetycznego. W badaniach jako lokalizację referencyjną Kandydatka wybrała stolicę Województwa Górnośląskiego tj. Katowice.

W rozdziale 4 zawarte są wyniki odniesione do lokalnej i globalnej oceny analitycznej mikro-sieci energetycznych zasilanych odnawialnymi źródłami energii. Zastosowano tutaj takie narzędzia oceny jak: analiza termo-ekonomiczna (TEA), koszt termo-ekologiczny (TEC), analiza energetyczna oraz analiza wykorzystania energii pierwotnej w układach kogeneracyjnych. Autorka opracowania odnosi się w tym rozdziale także do analizy wpływu zmiennych mających wpływ na funkcjonowanie mikro-sieci po stronie odbiorczej w ujęciu sezonowym i dobowym. Analiza ta po stronie odbiorczej oprócz zapotrzebowania na energię elektryczną, uwzględniała również zapotrzebowanie na ciepło i chłód, tzn. dla układu o charakterze poligeneracyjnym.

Rozdział 5 to podsumowanie pracy, zawierające wnioski końcowe odnoszące się do udowodnienia postawionej w ramach rozprawy doktorskiej tezy oraz perspektywy prowadzenia dalszych prac.

Struktura pracy jest właściwa i poprawna w stosunku do założonego celu opracowania. Kolejność przedstawianych rozdziałów (za wyjątkiem zdublowania numeracji rozdziałów 3.3 oraz 4.3) nie budzi zastrzeżeń.

Brak uwag do formy językowej i stylistycznej opracowania. Zastosowana terminologia jest poprawna i zgodna z przyjętymi standardami w zakresie energetyki i gospodarki energetycznej.

Zamieszczone w opracowaniu tabele, rysunki oraz wykresy są przejrzyste, i odzwierciedlają w sposób poprawny przedstawione treści merytoryczne. Ich umiejscowienie w tekście pracy nie budzi zastrzeżeń.

Objętość rozprawy jest znacząca, aczkolwiek uzasadniona ze względu na przyjęty zakres tematyczny, aktualność omawianej problematyki oraz formę prezentacji rozpatrywanych zagadnień.

4. OCENA ZASTOSOWANEGO PIŚMIENICTWA

Zastosowane piśmiennictwo w ramach ocenianej rozprawy doktorskiej liczy w sumie 168 pozycji z czego 163 to artykuły naukowe opublikowane po 2002 roku, w znaczącej części z lat 2020 ÷ 2025. Te 168 przywołanych pozycji literaturowych to bardzo szerokie spektrum analizy literatury dla takich opracowań jak rozprawa doktorska. Zastosowane przez Kandydatkę piśmiennictwo zawiera analizy szeregu czasopism z listy JCR o szerokim zasięgu publikacyjnym, poświęconych rozpatrywanemu tematowi pracy.

Generalnie należy stwierdzić, że spis literatury spełnia w stopniu bardzo dobrym wymagania w zakresie bibliograficznym (w tym pełnych cech identyfikacyjnych źródła literaturowego) i edytorskim, a także właściwie wykonanej analizy literatury w ramach rozprawy doktorskiej.

5. OCENA WYBORU PROBLEMATYKI BADWCZEJ ORAZ CELU ROZPRAWY

Problematyka rozprawy związana jest z niezwykle aktualnymi zagadnieniami dotyczącymi modelowania w zakresie całościowej energetyczno-ekologicznej i ekonomicznej oceny oddziaływania różnych rodzajów technologii energetycznych opartych o odnawialne źródła energii w obszarze projektowania i eksploatacji tzw. mikro-sieci poligeneracyjnych.

Zakres tematyczny opracowania ujmuje istotne zagadnienia naukowo-badawcze z obszaru energetyki i gospodarki energetycznej oraz innowacyjnych, zaawansowanych metod oceny i nadzoru procesów oraz systemów energetycznych opartych o odnawialne źródła energii, jak i ich wpływu w ramach lokalnej i globalnej oceny analitycznej mikro-sieci energetycznych zasilanych odnawialnymi źródłami energii.

- Kandydatka jednoznacznie zdefiniowała wnioski, wynikające z analizy literatury, określając istniejący deficyt (tzw. lukę badawczą) w zakresie prac naukowo-badawczych lub wdrożeniowo-badawczych dotyczących tematu rozprawy.
- Kandydatka w sposób jednoznaczny i szczegółowy zdefiniowała cele główne i poboczne, wraz ze wskazaniem planu ich osiągnięcia.
- Kandydatka w sposób jednoznaczny i szczegółowy opisała obiekt badań.
- W sposób bardzo obszerny Kandydatka odniosła się do informacji o jednostkach badawczo-naukowych w kraju i zagranicą, które zajmują się tematyką związaną z tytułem rozprawy.

Podsumowując stwierdzam, że podjęta przez Kandydatkę tematyka badawcza jest niezwykle aktualna i ważna z punktu widzenia, możliwości znalezienia optymalnych rozwiązań dla problemów występujących w obszarze integracji technologii energetycznych wykorzystujących odnawialne źródła energii z mikro-sieciami poligeneracyjnymi. Przyjęty zakres tematyczny oraz cel pracy nie budzi zastrzeżeń.

6. OCENA ZASTOSOWANYCH METOD BADAWCZYCH

Kandydatka w sposób bardzo wyczerpujący podała informacje o przyjętych metodach badawczych, wraz z precyzyjnym określeniem przyjętych granic bilansowania, warunków brzegowych, a także przyjętej metodzie i kryteriach dla oceny porównawczej rozpatrywanych wariantów zasilania mikro-sieci poligeneracyjnych.

Kandydatka odniosła się również do tego jakimi narzędziami, czy też metodami dokonała obliczeń. Zaprezentowany w rozprawie aparat matematyczny jest na odpowiednim poziomie, w odniesieniu do rozpatrywanych zagadnień związanych z optymalizacją układów energo-technologicznych stosowanych w projektowaniu i eksploatacji mikro-sieci poligeneracyjnych.

Kandydatka dokonała w sposób jednoznaczny zdefiniowania wskaźników energetycznych, środowiskowych i ekonomicznych przy pomocy, których zamierza przeprowadzić optymalizację struktury układów poligeneracyjnych, wykorzystujących odnawialne źródła energii, oraz ich ocenę z punktu widzenia efektywności energetycznej,

poziomu oddziaływania środowiskowego, a także kosztów związanych z ich budową i eksploatacją.

Podsumowując stwierdzam, że Kandydatka w sposób właściwy dokonała wyboru metod i narzędzi badawczych oraz dokonała ich poprawnego zastosowania w rozpatrywanym zakresie tematycznym rozprawy doktorskiej.

7. OCENA ANALIZY I OMÓWIENIA WYNIKÓW BADAŃ

Kandydatka w sposób wzorowy dokonała analizy i omówienia wyników badań dla wszystkich rozpatrywanych wariantów mikro-sieci poligeneracyjnych, zarówno po stronie zasilania, jak i odbioru.

Na podstawie analizy i omówienia uzyskanych wyników badań Kandydatka w sposób jednoznaczny sformułowała wynikające z nich wnioski szczegółowe oraz o charakterze ogólnym. Sformułowane przez Kandydatkę wnioski z analizy wyników badań w sposób jednoznaczny odnoszą się do postawionej tezy oraz założeń rozprawy doktorskiej.

Podsumowując stwierdzam, że Kandydatka na poziomie bardzo dobrym dokonała analizy i omówienia uzyskanych wyników badań.

8. OCENA DOTYCZĄCA MOŻLIWOŚCI PRAKTYCZNEGO ZASTOSOWANIA UZYSKANYCH WYNIKÓW BADAŃ

Zastosowanie przez Kandydatkę metodyki Kosztu Termo-Ekologicznego (TEC) daje możliwość znacznie lepszej oceny systemów i układów energetycznych opartych o odnawialne źródła energii, zarówno pod kątem zrównoważonego wykorzystania zasobów, jak i sformułowania istotnych wskazówek dla projektowania i eksploatacji mikro-sieci energetycznych.

Wyniki zawarte w przedłożonej pracy doktorskiej wychodzą naprzeciw zarówno potrzebom pracowników akademickich, jak również specjalistów z obszaru energetyki i gospodarki energetycznej, dla których zawarte w niej treści podają zarówno szereg innowacyjnych narzędzi symulacyjnych oraz metod analitycznych, jak i praktyczne przykłady ich zastosowania w analizie zagadnień związanych z optymalizacją współpracy „odnawialnych” jednostek wytwórczych w ramach poligeneracyjnych mikro-sieci energetycznych.

Kolejnym potencjalnym obszarem zastosowania, wynikającym z przeprowadzonych przez Kandydatkę analiz, jest możliwość wykorzystania analizy TEC do projektowania i badań mikro-sieci energetycznych, przy uwzględnieniu optymalnego dobru konfiguracji źródeł energii o najniższym zużyciu zasobów nieodnawialnych wraz z jednoczesnym zapewnieniem stabilności mikro-sieci. Przedstawione wyniki badań stanowią także podstawę do zastosowań praktycznych, pozwalając na wskazanie optymalnych konfiguracji tzw. „miksów” odnawialnych źródeł energii, zasilających mikro-sieci energetyczne.

Podsumowując, stwierdzam, że zarówno z punktu widzenia poznawczego, jak i aplikacyjnego, oceniany materiał stanowi oryginalny, kompleksowy i przede wszystkim nowatorski zbiór istotnych założeń modelowych i narzędzi analitycznych, a także opisów

metodologicznych i wyników analiz dla różnych wariantów współpracy technologii energetycznych opartych o odnawialne źródła energii z mikro-sieciami energetycznymi oraz systemami magazynowania energii, w zakresie ich kompleksowej oceny energetyczno-ekologicznej i ekonomicznej.

9. UWAGI O CHARAKTERZE POTENCJAŁÓW DO DALSZEGO DOSKONALENIA

- W ramach prowadzenia dalszych prac Kandydatka powinna w sposób jednoznaczny podkreślić, że wymieniane przez Nią pojęcie „sieci zrównoważonych” odnosi się do zrównoważonego rozwoju energetyczno-środowiskowego, a nie do zrównoważonego bilansowania sieci elektroenergetycznych, w myśl założeń przedmiotu „Teoria pola” z zakresu elektrotechniki.
- Cennym uzupełnieniem wykresów nr 9, 10 i 11 byłoby podanie wartości R^2 dla wyznaczonych zależności.
- Zawarta w rozdziale 4.4 pracy doktorskiej analiza zmienności sezonowej i dobowej w eksploatacji mikro-sieci energetycznych powinna mieć w przyszłości zdecydowanie bardziej rozbudowaną formę. W odniesieniu do takich zmiennych jak:
 - występujący poziom promieniowania słonecznego,
 - występujące prędkości wiatru,
 - temperatura zewnętrzna,
 - wilgotność powietrza,
 - poziom poboru energii elektrycznej,
 - poziom poboru ciepła oraz
 - poziom poboru chłodu

powinna zostać przeprowadzona pełna analiza statystyczna mająca na celu określenie zmiennych, mających znaczący wpływ eksploatację mikro-sieci energetycznych zasilanych z odnawialnych źródeł energii.

10. PODSUMOWANIE OCENY

Poddana ocenie rozprawa doktorska charakteryzuje się bardzo wysokim poziomem merytorycznym zarówno w odniesieniu do zastosowanego warsztatu naukowego, jak i do aktualnego stanu wiedzy oraz techniki w rozpatrywanym obszarze zagadnień naukowo-badawczych, ściśle związanych z przyjętą do realizacji w kolejnych dziesięcioleciach transformacją energetyczną Polski oraz Unii Europejskiej.

Na szczególne podkreślenie zasługuje tutaj nowatorskie podejście Kandydatki, polegające na zastosowaniu wieloparametrowej analizy porównawczej dla badanych wariantów (układów) współpracy mikro-sieci energetycznych z technologiami wytwórczymi opartymi o odnawialne źródła energii, z punktu widzenia oceny termodynamicznej, ekologicznej i ekonomicznej. Jest to niezwykle ważne zarówno w aspekcie monitorowania systemów i technologii energetycznych opartych o odnawialne źródła energii, jak i z punktu widzenia szeroko rozumianej gospodarki energetycznej oraz zarządzania energią

i środowiskiem w ujęciu lokalnym i globalnym. Należy tutaj również podkreślić, że poddane recenzji opracowanie stanowi znaczącą pozycję pośród krajowych i zagranicznych opracowań naukowych z tego zakresu tematycznego.

Przyjęte cele naukowe rozprawy zostały osiągnięte. W mojej ocenie rozprawa doktorska Pani mgr inż. Agnieszki Szostok spełnia wymagania pracy naukowej i wykonana jest bardzo starannie. Wyniki obszernych badań przeprowadzonych przez Kandydatkę i zamieszczonych w rozprawie oraz opublikowanych monotematycznych artykułach naukowych, w sposób jednoznaczny wskazują na udowodnienie wszystkich przyjętych założeń tezy rozprawy doktorskiej.

Podsumowując, stwierdzam w sposób jednoznaczny, że przedłożona do oceny rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydatki w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.

Po analizie całości rozprawy wyrażam niniejszym opinię, że Kandydatka wykazał się bardzo dobrą znajomością problemów naukowych, związanych ze współpracą poszczególnych elementów rozpatrywanych wariantów systemu energetycznego, w postaci mikro-sieci poligeneracyjnych oraz ich kompleksową oceną energetyczno-ekologiczną i ekonomiczną. Kandydatka potrafi formułować problemy naukowe, planować i oceniać wyniki badań oraz stosować innowacyjne, autorskie narzędzia obliczeniowe i metody analityczne.

Biorąc pod uwagę dotychczasowy rozwój naukowo-zawodowy Kandydatki, Jej dorobek publikacyjny oraz moją ocenę Jej rozprawy doktorskiej na poziomie bardzo dobrym, stwierdzam że Kandydatka posiada w pełni umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

11. WNIOSEK KOŃCOWY

W wyniku dokonanej analizy i pozytywnej oceny stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Agnieszki Szostok pt. „Thermo-Ecological Cost assessment for renewable energy systems” spełnia w pełni aktualne wymagania ustawowe stawiane pracom doktorskim. Tematyka jest zgodna z dyscypliną naukową „Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka”. Może być zatem dopuszczona do publicznej obrony.

Jednocześnie biorąc pod uwagę fakt, że praca ta w sposób ponadnormatywny spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim oraz to, że Pani mgr inż. Agnieszka Szostok może się poszczycić znacznym dorobkiem publikacyjnym (w przeważającej części są to publikacje w wysoko punktowanych czasopismach z listy JCR) rekomenduję wyróżnienie tej pracy doktorskiej.

prof. dr hab. inż. Jacek ELIASZ