

Łódź 16.02.2026 r.



dr hab. inż. Przemysław Kubiak, prof. PŁ
Politechnika Łódzka
Zakład Ekotechniki
93-005 Łódź, ul. Wólczańska 221
e-mail.: przemyslaw.kubiak@p.lodz.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej

*"Efektywne sterowanie cyklem istnienia wybranego obiektu technicznego
energetyki odnawialnej"*

autor: mgr inż. **Tomasz Cierlicki**

Politechnika Bydgoska

1. Podstawa opracowania oceny

Podstawa wykonania recenzji: Uchwała nr 1/12/2025/2026 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich z dnia 9 grudnia 2025 r.

Recenzja przygotowywana będzie w oparciu o Ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2024 r. poz. 1571 z późn. zm.).

Recenzja opracowana została na podstawie przekazanej wraz z w/w pismem rozprawy doktorskiej stanowiącej opracowanie zwarte.


16.02.2026
dr hab. inż. Przemysław Kubiak, prof. uczelni

2. Zakres rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy opracowania oraz weryfikacji autorskiej metody oceny możliwości efektywnego sterowania cyklem istnienia obiektów technicznych energetyki odnawialnej, ze szczególnym uwzględnieniem elektrowni fotowoltaicznych wykonanych w różnych technologiach modułów PV (monokrystalicznej, polikrystalicznej, amorficznej oraz perowskitowej).

Autor podejmuje problem o wysokim stopniu aktualności i znaczeniu strategicznym, związany z transformacją energetyczną, dekarbonizacją gospodarki oraz wdrażaniem zasad gospodarki o obiegu (możliwie) zamkniętym w sektorze energetyki odnawialnej.

Zakres pracy obejmuje w szczególności:

1. Analizę stanu wiedzy i przegląd literatury

- o charakterystykę rozwoju energetyki odnawialnej,
- o omówienie koncepcji zrównoważonego rozwoju oraz gospodarki o obiegu (możliwie) zamkniętym,
- o przedstawienie metodologii oceny cyklu życia (LCA),
- o identyfikację luki badawczej w obszarze sterowania cyklem istnienia obiektów technicznych OZE.

2. Opracowanie modelu badawczego

- o zdefiniowanie granic systemu,
- o określenie jednostki funkcjonalnej,
- o wybór kategorii oddziaływań środowiskowych,
- o dobór narzędzi i modeli analitycznych.

3. Przeprowadzenie wielokryterialnej analizy cyklu życia (LCA)

- o zastosowanie modeli IMPACT World+, IPCC 2021 oraz Cumulative Energy Demand (CED),
- o ocena wpływu w kategoriach takich jak zmiany klimatu, zdrowie człowieka, jakość ekosystemów oraz zużycie energii,
- o analiza pełnego cyklu istnienia: od etapu projektowania i produkcji, przez transport i eksploatację, po zagospodarowanie poużytkowe.

4. Analizę scenariuszową zagospodarowania poużytkowego

- o porównanie wariantu składowania z wariantem recyklingu,
- o określenie wpływu poszczególnych scenariuszy na wskaźniki środowiskowe i energetyczne.

5. Analizę niepewności i wrażliwości wyników

- o zastosowanie symulacji Monte Carlo,
- o ocenę stabilności i wiarygodności uzyskanych rezultatów.

6. Opracowanie autorskich wskaźników zrównoważonej efektywności

- o integrację aspektów energetycznych, ekonomicznych i ekologicznych,
- o stworzenie narzędzia wspierającego proces decyzyjny w zakresie projektowania i eksploatacji instalacji PV.



7. Sformułowanie wniosków i rekomendacji praktycznych

- wskazanie etapów generujących największe obciążenia środowiskowe,
- określenie kierunków optymalizacji cyklu istnienia,
- wskazanie potencjału poszczególnych technologii w kontekście zrównoważonego rozwoju.

Celem rozprawy było opracowanie autorskiej metody oceny możliwości efektywnego sterowania cyklem istnienia wybranego obiektu technicznego energetyki odnawialnej oraz jej weryfikacja na przykładzie elektrowni fotowoltaicznych wykonanych w różnych technologiach (monokrystalicznej, polikrystalicznej, amorficznej i perowskitowej).

Zakres pracy obejmował:

- analizę literatury i aktualnego stanu wiedzy,
- charakterystykę cyklu istnienia obiektów technicznych OZE,
- opracowanie autorskiej metodyki badawczej,
- zastosowanie modeli IMPACT World+, IPCC 2021 oraz CED,
- analizę dwóch scenariuszy zagospodarowania poużytkowego (składowanie vs. recykling),
- przeprowadzenie analiz Monte Carlo,
- sformułowanie autorskich wskaźników zrównoważonej efektywności.

Zakres rozprawy doktorskiej jest szeroki, logicznie uporządkowany oraz adekwatny do postawionego celu badawczego. Autor podejmuje kompleksową analizę cyklu istnienia wybranego obiektu technicznego energetyki odnawialnej, koncentrując się na elektrowniach fotowoltaicznych wykonanych w czterech technologiach modułów PV: monokrystalicznej, polikrystalicznej, amorficznej oraz perowskitowej.

Zakres rozprawy należy ocenić jako spójny, konsekwentnie podporządkowany realizacji celu badawczego oraz odpowiednio szeroki jak na rozprawę doktorską. Autor nie ograniczył się do analizy pojedynczego aspektu funkcjonowania instalacji fotowoltaicznych, lecz przedstawił ujęcie systemowe obejmujące cały cykl istnienia obiektu technicznego.

Jednocześnie zakres pracy pozostaje realistyczny i metodologicznie kontrolowany – nie wykazuje cech nadmiernego rozproszenia tematycznego. Świadczy to o dobrej organizacji badań oraz właściwym zaplanowaniu procesu badawczego.

Osiągnięcie założonego celu pracy wymagało rozwiązania szeregu złożonych problemów naukowo-technicznych z zakresu inżynierii systemów, analizy środowiskowej oraz modelowania procesów energetycznych, którym Doktorant w pełni sprostał. Wykazał się umiejętnością samodzielnego zaplanowania i przeprowadzenia szerokiego zakresu pracochłonnych badań analitycznych, symulacyjnych oraz wielokryterialnych analiz porównawczych. Doktorant podjął się zadania o wysokim stopniu trudności metodologicznej, wymagającego integracji narzędzi analitycznych, środowiskowych i ekonomicznych, a następnie ich spójnego zastosowania w ramach jednolitego modelu badawczego. W toku realizacji pracy wykazał, że potrafi samodzielnie zaprojektować proces badawczy, właściwie



zdefiniować granice systemu, dobrać adekwatne metody analizy oraz krytycznie interpretować uzyskane wyniki.

Uważam, że oryginalnym osiągnięciem pracy jest opracowanie autorskiej metody sterowania cyklem istnienia obiektu technicznego energetyki odnawialnej, integrującej podejście środowiskowe, energetyczne i ekonomiczne w jednolitym modelu decyzyjnym. Szczególnie istotnym wkładem Doktoranta jest zaproponowanie syntetycznych wskaźników zrównoważonej efektywności oraz ich implementacja w analizie porównawczej różnych technologii fotowoltaicznych.

Na podkreślenie zasługuje również opracowanie spójnego modelu badawczego wykorzystującego zaawansowane narzędzia oceny cyklu życia (LCA), analizę scenariuszową oraz symulacje Monte Carlo, co pozwoliło na wiarygodną ocenę wpływu przyjętych założeń na wyniki końcowe. Zaproponowane rozwiązanie ma charakter innowacyjny i stanowi istotny wkład w rozwój metodologii oceny oraz optymalizacji cyklu istnienia instalacji energetyki odnawialnej.

Tematyka pracy wpisuje się bezpośrednio w aktualne wyzwania:

- polityki klimatycznej UE,
- rozwoju sektora OZE,
- rosnącej skali instalacji fotowoltaicznych,
- przyszłego zagospodarowania zużytych modułów PV,
- minimalizacji negatywnego wpływu technologii energetycznych na środowisko.

Szczególne znaczenie ma fakt, że dynamiczny rozwój energetyki fotowoltaicznej generuje nowe wyzwania środowiskowe w fazach produkcji, transportu oraz zagospodarowania użytkowego. Autor trafnie identyfikuje potrzebę systemowego podejścia do sterowania cyklem istnienia obiektu technicznego, wykraczającego poza klasyczne analizy sprawności energetycznej.

Na szczególne podkreślenie zasługuje warstwa metodologiczna rozprawy. Autor nie ograniczył się do klasycznego zastosowania analizy LCA, lecz przeprowadził wielokryterialną ocenę cyklu istnienia obiektów technicznych z wykorzystaniem komplementarnych modeli oceny oddziaływań środowiskowych, obejmujących zarówno kategorię zmian klimatu, jak i wpływ na zdrowie człowieka, jakość ekosystemów oraz skumulowane zapotrzebowanie na energię. Umiejętne połączenie modeli IMPACT World+, IPCC 2021 oraz Cumulative Energy Demand pozwoliło na uzyskanie pogłębionego i wielowymiarowego obrazu analizowanego problemu. Zastosowanie analizy scenariuszowej, obejmującej różne warianty zagospodarowania użytkowego, świadczy o systemowym podejściu do zagadnienia oraz o świadomości długoterminowych konsekwencji decyzji projektowych.

Za szczególnie oryginalne osiągnięcie pracy należy uznać opracowanie autorskiej koncepcji sterowania cyklem istnienia obiektu technicznego energetyki odnawialnej, integrującej aspekty energetyczne, ekologiczne i ekonomiczne w postaci syntetycznych wskaźników zrównoważonej efektywności. Zaproponowane rozwiązanie ma charakter metodyczny i może stanowić narzędzie wspierające proces podejmowania decyzji projektowych oraz strategicznych w sektorze OZE. Autor wykazał się umiejętnością przełożenia złożonych



zależności środowiskowych i energetycznych na czytelne miary ilościowe, co znacząco podnosi wartość aplikacyjną opracowanej metody.

Wysoko należy również ocenić zastosowanie analizy niepewności z wykorzystaniem symulacji Monte Carlo, co świadczy o dojrzałości badawczej Doktoranta i znajomości ograniczeń modeli obliczeniowych. Uwzględnienie zmienności danych wejściowych oraz ocena stabilności uzyskanych wyników zwiększają wiarygodność przeprowadzonych analiz i potwierdzają rzetelność metodologiczną pracy.

Całość przeprowadzonych badań wskazuje, że Doktorant posiada umiejętność prowadzenia zaawansowanych analiz systemowych, łączenia różnych narzędzi badawczych oraz formułowania wniosków o charakterze zarówno poznawczym, jak i praktycznym. Warstwa metodologiczna rozprawy stanowi jej mocny punkt i wyraźnie wyróżnia pracę na tle typowych opracowań z zakresu analizy cyklu życia w energetyce odnawialnej.

3. Ocena rozprawy

Przedstawioną do recenzji rozprawę doktorską pt. „Efektywne sterowanie cyklem istnienia wybranego obiektu technicznego energetyki odnawialnej” charakteryzują następujące cechy:

- napisana w języku polskim;
- zawiera streszczenie w języku polskim oraz abstrakt w języku angielskim;
- obejmuje rozbudowaną część analityczno-badawczą;
- posiada logiczną strukturę obejmującą część teoretyczną, metodyczną, analityczną oraz podsumowującą;
- zawiera obszerną i aktualną literaturę przedmiotu, uporządkowaną w sposób systematyczny, obejmującą publikacje krajowe i zagraniczne.

Wstęp pracy (*Wprowadzenie*) - wprowadza czytelnika w problematykę transformacji energetycznej, rozwoju odnawialnych źródeł energii oraz wyzwań środowiskowych związanych z dynamicznym wzrostem liczby instalacji fotowoltaicznych. Autor uzasadnia potrzebę systemowego podejścia do oceny i sterowania cyklem istnienia obiektów technicznych energetyki odnawialnej, wskazując na rosnące znaczenie zasad zrównoważonego rozwoju oraz gospodarki o obiegu (możliwie) zamkniętym. Przedstawiono cel pracy, jego uzasadnienie oraz zakres badań. Cel główny został precyzyjnie sformułowany i uzupełniony celami szczegółowymi obejmującymi opracowanie modelu badawczego, przeprowadzenie analizy cyklu życia (LCA), porównanie różnych technologii fotowoltaicznych oraz opracowanie autorskich wskaźników zrównoważonej efektywności. Zakres pracy obejmuje analizę pełnego cyklu istnienia instalacji fotowoltaicznej – od etapu projektowania i wytwarzania, poprzez transport i eksploatację, aż po zagospodarowanie użytkowe.

Kolejne rozdziały zawierają szczegółowy przegląd literatury z zakresu oceny cyklu życia, charakterystyki technologii fotowoltaicznych oraz metod ilościowej oceny oddziaływań środowiskowych. Autor przedstawia aktualny stan wiedzy, identyfikuje luki badawcze oraz wskazuje na brak zintegrowanych metod sterowania cyklem istnienia obiektów OZE uwzględniających jednocześnie aspekty energetyczne, środowiskowe i ekonomiczne.



W części metodycznej Doktorant opisuje przyjęte założenia modelowe, definiuje granice systemu, jednostkę funkcjonalną oraz przyjęte scenariusze analizy. Zastosowano uznane modele oceny oddziaływań środowiskowych, w tym IMPACT World+, IPCC 2021 oraz Cumulative Energy Demand (CED). Przedstawiono również analizę scenariuszową obejmującą wariant składowania oraz wariant recyklingu zużytych modułów fotowoltaicznych.

W części analitycznej przeprowadzono szczegółowe badania symulacyjne i porównawcze czterech technologii modułów PV: monokrystalicznej, polikrystalicznej, amorficznej oraz perowskitowej. Dokonano ilościowej oceny wpływu poszczególnych etapów cyklu istnienia na zmiany klimatu, zdrowie człowieka, jakość ekosystemów oraz zużycie energii. Na uwagę zasługuje zastosowanie analizy niepewności z wykorzystaniem symulacji Monte Carlo, co znacząco podnosi wiarygodność uzyskanych wyników.

Istotnym elementem pracy jest opracowanie autorskich wskaźników zrównoważonej efektywności integrujących aspekty energetyczne, ekonomiczne i ekologiczne. Zaproponowane wskaźniki umożliwiają porównanie analizowanych technologii oraz wskazanie rozwiązań najbardziej korzystnych z punktu widzenia długookresowego zrównoważonego rozwoju. Autor wykazał, że faza produkcji modułów fotowoltaicznych generuje największe obciążenia środowiskowe, natomiast wdrożenie recyklingu znacząco redukuje emisję gazów cieplarnianych i skumulowane zapotrzebowanie na energię.

Podsumowanie i wnioski zawierają syntetyczne zestawienie wyników badań oraz rekomendacje praktyczne dotyczące projektowania i eksploatacji instalacji fotowoltaicznych. Głównym problemem systemów PV, wskazanym w pracy, jest wysoka energochłonność i emisyjność etapu produkcji oraz brak powszechnie wdrożonych systemów zagospodarowania poużytkowego. Badania przeprowadzone w rozprawie ukierunkowane były na opracowanie narzędzia umożliwiającego efektywne sterowanie całym cyklem istnienia obiektu technicznego w celu minimalizacji negatywnego wpływu na środowisko. Należy podkreślić, że opracowana metoda ma charakter uniwersalny i może zostać zastosowana również do innych obiektów technicznych energetyki odnawialnej.

Całość pracy cechuje spójność merytoryczna, logiczny układ treści oraz wysoki poziom zaawansowania analitycznego. Doktorant wykazał się umiejętnością prowadzenia złożonych analiz systemowych, integrowania różnorodnych narzędzi badawczych oraz formułowania wniosków o znaczeniu zarówno poznawczym, jak i aplikacyjnym.

Mgr inż. Tomasz Cierlicki może poszczycić się współautorstwem 8 publikacji w czasopismach naukowych w tym 5 publikacji opublikowanych w czasopismach z listy JCR (baza SCOPUS stan na dzień 16.02.2026r.), do których należą: *Production Engineering Archives*, *Energies*, *Archives of Engineering Knowledge*, *Przegląd Mechaniczny* charakteryzujących się wysokim współczynnikiem wpływu. Dorobek publikacyjny w sposób wyróżniający spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez stosowaną ustawę. Dane bibliometryczne Doktoranta wynikające z ww. bazy (łącznie 8 publikacji, z bazy SCOPUS 5 publikacji, 44 cytowania i IH=3) także są godne podkreślenia.



4. Wniosek końcowy

Podsumowując moją opinię stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska **Pana mgr. inż. Tomasza Cierlickiego pt. "Efektywne sterowanie cyklem istnienia wybranego obiektu technicznego energetyki odnawialnej"** podejmuje istotne problemy poznawcze o znacznym potencjale aplikacyjnym i została wykonana na bardzo wysokim poziomie merytorycznym. Przyjęte przez Doktoranta założenia zostały udowodnione, a wyznaczony cel konsekwentnie osiągnięty.

Przeprowadzone analizy oraz ocena merytoryczna rozprawy pozwalają stwierdzić, że Doktorant w sposób w pełni świadomy i konsekwentny zrealizował założony cel badawczy.

Praca ma charakter dojrzały metodologicznie, spójny koncepcyjnie oraz poprawny pod względem formalnym i merytorycznym. Autor wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia złożonych badań analitycznych i symulacyjnych, właściwego doboru narzędzi badawczych oraz krytycznej interpretacji wyników.

Rozprawa rozwiązuje istotny problem naukowy związany z efektywnym sterowaniem cyklem istnienia obiektów technicznych energetyki odnawialnej w warunkach rosnących wymagań środowiskowych i transformacji energetycznej. Szczególnie wartościowe jest systemowe ujęcie zagadnienia, obejmujące cały cykl istnienia instalacji fotowoltaicznej – od fazy projektowania i wytwarzania, poprzez eksploatację, aż po zagospodarowanie poużytkowe.

Do oryginalnych osiągnięć Doktoranta należy opracowanie autorskiej metody sterowania cyklem istnienia obiektu technicznego energetyki odnawialnej, integrującej analizę środowiskową, energetyczną i ekonomiczną w jednolitym modelu decyzyjnym. Istotnym wkładem naukowym jest również stworzenie syntetycznych wskaźników zrównoważonej efektywności, umożliwiających ilościową ocenę oraz porównanie różnych technologii fotowoltaicznych w ujęciu wielokryterialnym. Na podkreślenie zasługuje także implementacja analizy niepewności z wykorzystaniem symulacji Monte Carlo, co znacząco podnosi wiarygodność uzyskanych wyników oraz świadczy o wysokiej świadomości metodologicznej Autora.

Opracowana metodyka stanowi wartościowe narzędzie wspierające proces podejmowania decyzji projektowych i strategicznych w sektorze OZE oraz może znaleźć zastosowanie w analizach inwestycyjnych, planowaniu systemów recyklingu oraz kształtowaniu polityk środowiskowych. Rozwiązania zaproponowane w pracy mają charakter innowacyjny i wykraczają poza standardowe podejście do klasycznej analizy LCA, wnosząc istotny wkład do rozwoju metod oceny i optymalizacji cyklu istnienia instalacji energetyki odnawialnej.

Biorąc pod uwagę wysoki poziom naukowy rozprawy, oryginalność zaproponowanych rozwiązań, dojrzałość metodologiczną oraz znaczący potencjał aplikacyjny, stwierdzam, że praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w obowiązujących przepisach prawa.

Pracę uważam za bardzo ciekawą z punktu widzenia poznawczego i przydatną do celów praktycznych, co niewątpliwie jest szczególnie istotne w kwestii konkretnych rozwiązań problemów technicznych. Autor w sposób przejrzysty wykazał, czego dokonał w trakcie przeprowadzonych badań, potrafił wyciągnąć z nich logiczne, udokumentowane wnioski oparte na odpowiedniej podbudowie teoretycznej.



dr hab. inż. Przemysław Kubiak, prof. PŁ
Zakład Ekotechniki, Politechnika Łódzka

[Signature]
dr hab. inż. Przemysław Kubiak, prof. uczelni
16

Strona 7 z 8

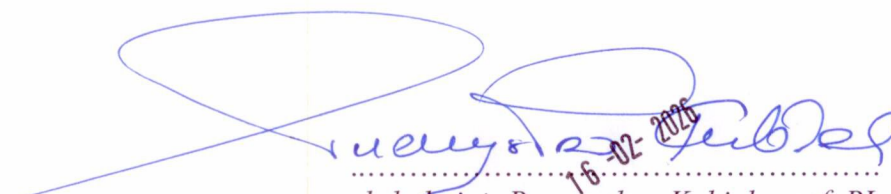
Na podkreślenie zasługuje również fakt, że opracowana metodyka posiada wyraźny potencjał aplikacyjny. Może stanowić narzędzie wspierające proces projektowania instalacji OZE, analiz inwestycyjnych, opracowywania strategii ESG oraz planowania systemów zagospodarowania użytkowego. Tym samym praca ma nie tylko wymiar poznawczy, ale również praktyczny i strategiczny.

Całość rozprawy świadczy o bardzo wysokim poziomie samodzielności badawczej Doktoranta, umiejętności integrowania zaawansowanych narzędzi analitycznych oraz formułowania wniosków o znaczeniu zarówno naukowym, jak i aplikacyjnym. Kompleksowość przeprowadzonych analiz, dojrzałość metodologiczna oraz oryginalny wkład własny sprawiają, że rozprawa wyraźnie wyróżnia się na tle typowych prac doktorskich w Dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna.

Na podstawie przeprowadzonej oceny rozprawy **Pana mgr inż. Tomasza Cierlickiego pt. „Efektywne sterowanie cyklem istnienia wybranego obiektu technicznego energetyki odnawialnej”** jestem przekonany, że spełnione zostały wymagania określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2024 r. poz. 1571 z późn. zm.). W związku z tym **wnioskuję o przyjęcie przedstawionego opracowania do recenzji jako rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.**

Równocześnie, mając na uwadze wysoki poziom rozprawy doktorskiej, innowacyjność oraz potencjał wdrożeniowy i publikacyjny wydany w czasopismach z listy JCR (łącznie 5 takich prac), **pozwalam sobie zaproponować jej wyróżnienie.**

Uprzejmie proszę Radę Naukową Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Bydgoskiej o pozytywne ustosunkowanie się do mojej sugestii.


16-02-2025
dr hab. inż. Przemysław Kubiak, prof. PŁ

