

Wydział Energetyki i Paliw

Dr hab. inż. Łukasz Mika, prof. AGH
tel.: +48 12 617 56 26
e-mail: lmika@agh.edu.pl

Kraków, 16.01.2026r.

Recenzja rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Agnieszki Szostok
pod tytułem
„Thermo-Ecological Cost assessment for renewable energy systems”

Podstawą wykonania recenzji była Uchwała Rady Naukowej Wydziału Inżynierii Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej z dnia 20.11.2025r.

Rozprawa doktorska została napisana pod opieką naukową Prof. dr hab. inż. Wojciecha Stanka. Praca doktorska została złożona w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka. Rozprawę (napisaną w języku angielskim) stanowi cykl trzech tematycznie powiązanych artykułów naukowych, w języku angielskim, który jest podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora nauk technicznych dla Pani mgr inż. Agnieszki Szostok. Niniejsza rozprawa dotyczy ważnej tematyki analizującej możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł energii we współczesnych systemach grzewczych. Cykl tematycznie powiązanych ze sobą artykułów naukowych pochodzi z lat 2022, 2023 i 2025, które zostały opublikowane w czasopiśmie Energy oraz Renewable Energy. Tematyka pracy doktorskiej jest ważna zarówno z punktu widzenia badawczego jak i użytkowego, zwłaszcza w kontekście trwającej w Polsce transformacji energetycznej oraz ograniczenia emisji szkodliwych substancji do otoczenia we współczesnych systemach energetycznych opartych o odnawialne źródła energii.

Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Przedmiotowa rozprawa doktorska jest cyklem trzech tematycznie powiązanych ze sobą artykułów opublikowanych w czasopiśmie naukowych, których autorami jest Doktorantka oraz jej Promotor (Agnieszka Szostok i Wojciech Stanek). Rozprawa zawiera też wprowadzenie do tematyki pracy, przegląd literatury, motywację, cel oraz zakres pracy, podsumowanie i wnioski, streszczenia, a także wykaz literatury. Całość rozprawy, wraz z cyklem artykułów liczy 129 stron. Literatura samej rozprawy liczy 168 pozycji. W wykazie literatury Autorka zawarła głównie artykuły

w czasopismach naukowych oraz nierecenzowane źródła, takie jak np. normy techniczne, raporty oraz dane techniczne urządzeń, które również są dostępne cyfrowo. W pracy doktorskiej zawarto też wykaz symboli oraz skrótów.

Pierwszą publikacją z przedmiotowego cyklu jest artykuł pt. „*Thermo-ecological analysis – The comparison of collector and PV to PV/T system*” (Art. 1) opublikowany w czasopiśmie *Renewable Energy* w 2022r. Doktorantka jest w tej publikacji tzw. pierwszym autorem oraz autorem korespondencyjnym. Artykuł dotyczy porównania trzech technologii wykorzystania energii słonecznej: klasycznych modułów fotowoltaicznych (PV), kolektorów słonecznych oraz hybrydowych systemów fotowoltaiczno-termalnych (PV/T). Celem pracy jest ocena efektywności energetycznej oraz wpływu tych systemów na środowisko w kontekście zużycia zasobów nieodnawialnych, z wykorzystaniem aspektu termo-ekologicznego (wskaźnik TEC).

W artykule wskazano, że energia słoneczna jest kluczowym elementem transformacji energetycznej, jednak klasyczne moduły PV charakteryzują się niską sprawnością oraz spadkiem wydajności na skutek wzrostu ich temperatury podczas pracy. Systemy PV/T mają większą sprawność, ponieważ łączą produkcję energii elektrycznej i ciepła. Panele te mogą odzyskiwać część energii cieplnej, co jednocześnie umożliwia ich chłodzenie. Wyniki obliczeń symulacyjnych wykazały, że roczna produkcja energii elektrycznej w systemie PV/T jest o ok. 45% większa niż w przypadku systemów PV, a średnia roczna sprawność systemu PV/T jest o ok. 50%, większa niż w przypadku systemów PV. Produkcja ciepła w PV/T jest jednak około 4 krotnie niższa niż w przypadku klasycznego kolektora termicznego, co może wynikać nie tylko z różnicy w budowie systemów, ale także z przyjętych założeń dotyczących temperatury rozpoczęcia chłodzenia paneli. Ważnym elementem analizy przedstawionej w pracy jest zastosowanie wskaźnika TEC, który uwzględnia zużycie energii zasobów nieodnawialnych w całym cyklu życia instalacji. Wyniki pokazują, że wskaźnik TEC dla energii elektrycznej w systemach PV/T jest nieco niższy niż dla systemów PV i znacząco niższy (rzędu wielkości) niż dla systemów konwencjonalnych. Jak wskazuje Autorka, wartość wskaźnika TEC dla ciepła w systemach PV/T również wskazuje na jego przewagę nad technologiami opartymi na paliwach kopalnych. Autorzy pracy podkreślają, że analiza lokalna (oparta na sprawności energetycznej systemu) może sugerować wyższą efektywność systemów konwencjonalnych, natomiast analiza globalna (oparta o wskaźnik TEC) jednoznacznie wskazuje na przewagę systemów odnawialnych w kontekście zrównoważonego rozwoju. Wnioski z artykułu potwierdzają, że system PV/T jest bardziej efektywny i ekologicznie uzasadniony niż oddzielne stosowanie systemów PV i kolektorów płaskich, mimo pewnych ograniczeń technicznych i ekonomicznych. Wskaźnik TEC może być ważnym narzędziem do oceny wpływu technologii na środowisko i zasoby naturalne w procesie wyboru nowoczesnych rozwiązań energetycznych.

Należy wskazać, że głównymi zaletami tej publikacji jest kompleksowość analizy w nim przedstawionej, która uwzględnia zarówno aspekty energetyczne, jak i ekologiczne. Podkreślić też należy wykonane, w ramach pracy, porównania różnych technologii, tj. systemów PV, kolektorów termicznych i systemów PV/T w kontekście ich efektywności pracy oraz wpływu na środowisko. Wykorzystanie w analizie energii pozwala na porównanie różnych form energii i ocenę jej jakości w kontekście zdolności do wykonania pracy. W pracy należy docenić też uwzględnienie w analizie cyklu życia urządzeń, a w kontekście użytych materiałów, wpływu tych systemów na środowisko.

Warto zaznaczyć, że dane uzyskane w niniejszej pracy nie pochodzą z rzeczywistych eksperymentów Autorki, ale pochodzą z symulacji obliczeniowych. W pracy pominięto wpływ lokalnych warunków klimatycznych, które mogą się od siebie różnić w zależności od położenia instalacji. Należy też wspomnieć, że wykorzystanie do analizy wskaźnika TEC wymaga wykorzystania dużej ilości danych i znaczny wpływ na wyniki obliczeń mają przyjęte w pracy założenia obliczeniowe, np. temperatura rozpoczęcia chłodzenia paneli PV/T.

Drugą publikacją z przedmiotowego cyklu jest artykuł pt. „*Thermo-ecological analysis of the power system based on renewable energy sources integrated with energy storage system*” (Art. 2) opublikowany w czasopiśmie *Renewable Energy* w 2023r. Doktorantka również jest w tej publikacji tzw. pierwszym autorem oraz autorem korespondencyjnym. W artykule przedstawiono analizę termo-ekologiczną systemu energetycznego opartego na odnawialnych źródłach energii zintegrowanych z magazynem energii. Badania koncentrują się na mikro-sieci, która wykorzystuje różne technologie OZE: systemy PV, systemy fotowoltaiczno-termiczne (PV/T), turbiny wiatrowe oraz biogazowe układy kogeneracyjne, wspierane magazynem energii opartym na technologii elektrolizy, magazynowaniu wodoru i wykorzystaniu ogniw paliwowych.

W pracy podkreślono, że systemy oparte na odnawialnych źródłach energii są podatne na wahania warunków meteorologicznych, co wymaga zastosowania technologii stabilizujących, takich jak magazyny energii i źródła energii o stałej mocy (np. biogaz). Analiza przeprowadzona dla warunków klimatycznych Katowic wykazała, że najbardziej efektywnym rozwiązaniem jest miks źródeł energii oparty na energii słonecznej i wiatrowej, wspierany przez biogaz, który stabilizuje produkcję energii i umożliwia pełne wykorzystanie magazynu energii.

W artykule przedstawiono różne konfiguracje mikсів energetycznych z większym lub mniejszym wykorzystaniem OZE oraz wpływ działania takich systemów na pokrycie zapotrzebowania i wykorzystanie energii z sieci. Wyniki obliczeń pokazują, że wykorzystanie tylko źródeł OZE tj. jak PV, PV/T i wiatr nie zapewnia samowystarczalności energetycznej. Natomiast dodanie do systemu urządzeń wykorzystujących biogaz działa na układ stabilizująco i znacząco redukuje konieczność poboru energii z sieci. Systemy hybrydowe z magazynem energii umożliwiają akumulację nadwyżek energii w postaci wodoru i jej wykorzystanie w okresach niedoboru energii.

Podobnie jak w artykule pierwszym, tu również ważnym elementem analizy jest zastosowanie wskaźnika TEC, który ocenia efektywność zarządzania zasobami naturalnymi, uwzględniając egzerię i wpływ na środowisko w całym cyklu życia. Wyniki wskazują, że najniższe wartości TEC osiągają systemy złożone z kilku źródeł OZE i magazynu energii. Najlepsze wyniki obliczeń uzyskano dla mikсів PV/T, PV i biogaz oraz PV/T, wiatr oraz biogaz. W pracy zaznaczono też, że wartość wskaźnika TEC równa zero nie jest możliwa do osiągnięcia ze względu na emisje i zużycie materiałów w cyklu życia systemów. Zauważono też, że w przyjętych kryteriach oceny analiza potwierdza przewagę systemów hybrydowych nad konwencjonalnymi opartymi o paliwa kopalne.

Do głównych zalet artykułu można zaliczyć kompleksowość analizy, która uwzględnia różne konfiguracje mikсів OZE oraz magazynu energii i integracja tych systemów. Wyniki obliczeń symulacyjnych umożliwiają wskazanie optymalnych mikсів energetycznych dla utrzymania stabilności systemu. Zastosowanie wskaźnika TEC umożliwia innowacyjne podejście do oceny efektywności ekologicznej z uwzględnieniem zmienności sezonowej warunków meteorologicznych przy analizie wykonanej na podstawie danych godzinowych dla całego roku dla danej lokalizacji.

Należy zauważyć, że przedstawione w publikacji wyniki obliczeń mają lokalny charakter i nie odnoszą się do warunków klimatycznych pozostałego obszaru np. Polski lub/i Europy. Mimo złożoności metody analizy wykorzystującej wskaźnik TEC nie uwzględniono w niej kosztów i emisji związanych z produkcją urządzeń.

Trzecią publikacją z przedmiotowego cyklu jest artykuł pt. „*Thermo-ecological assessment of microgrid supported with renewable energy*” (Art. 3) opublikowany w czasopiśmie *Energy* w 2025r. Doktorantka nie jest w tej publikacji tzw. pierwszym autorem ani autorem korespondencyjnym. W publikacji przedstawiono kolejny raz analizę wykorzystującą wskaźnik TEC dla mikro-sieci zasilanej odnawialnymi źródłami energii. Mikro-sieci, które integrują różne technologie OZE, takie jak turbiny wiatrowe, systemy PV, systemy PV/T oraz biogazowe układy kogeneracyjne, są kluczowym elementem transformacji energetycznej w kierunku zrównoważonego rozwoju.

Jak wskazano w pracy, tradycyjna analiza efektywności energetycznej jest niewystarczająca do oceny systemów hybrydowych, ponieważ ignoruje jakość nośników energii i wpływ na zasoby nieodnawialne. Analiza oparta o wskaźnik TEC pozwala na globalną ocenę efektywności ekologicznej, wskazując rzeczywisty koszt środowiskowy produkcji energii elektrycznej, ciepła i chłodu. Analizowana mikro-sieć obejmuje magazyn energii oparty na technologii elektrolitycznej produkcji wodoru i wykorzystaniu go w ogniwach paliwowych, a także systemy pomp ciepła (powietrznych i gruntowych) oraz chłodziarkę adsorpcyjną. Obliczenia przeprowadzono na podstawie danych godzinowych dla całego roku, z uwzględnieniem zmienności sezonowej i lokalnych warunków klimatycznych dla Katowic. Wyniki obliczeń pokazują, że w okresie letnim dominującym źródłem energii są systemy PV i PV/T, natomiast zimą – turbiny wiatrowe i system CHP zasilany biogazem. W pracy stwierdzono, że magazyn energii poprawia stabilność systemu, lecz w szczytach zimowych konieczne jest wsparcie z sieci, co zwiększa wartość wskaźnika TEC ze względu na miks energetyczny Polski, w którym dominuje nadal węgiel. W pracy wskazano, że sezonowa zmienność produkcji energii, w tym zmienność OZE, wymaga elastycznego zarządzania i rozwoju technologii magazynowania. W wykazano też, że zastosowanie analizy opartej o wskaźnik TEC umożliwia bardziej wiarygodną ocenę wpływu systemów OZE na środowisko i zasoby naturalne, co jest ważne dla projektowania nowoczesnych zrównoważonych mikro-sieci.

Do głównych zalet pracy można zaliczyć ponownie kompleksowość analizy z wykorzystaniem wskaźnika TEC, która uwzględnia energię elektryczną, ciepło i chłód w mikro-sieci z OZE, a także pokazuje wpływ systemu na zasoby nieodnawialne. Jako zaletę należy podkreślić także uwzględnienie w analizie zmienności sezonowej warunków meteorologicznych na podstawie danych godzinowych dla całego roku w danej lokalizacji. W ramach pracy dzięki integracji różnych technologii OZE, takich jak systemy PV, PV/T, turbiny wiatrowe, kogeneratory biogazowe oraz pompy ciepła wskazano ważną rolę magazynów energii na stabilność systemu energetycznego.

W przypadku tej publikacji należy zaznaczyć, że wyniki obliczeń mają również charakter lokalny i nie uwzględniają warunków klimatycznych pozostałego obszaru np. Polski. Mimo złożoności metody analizy wykorzystującej wskaźnik TEC nie uwzględniono w niej kosztów inwestycyjnych i emisji związanych z produkcją urządzeń wchodzących w skład systemu energetycznego.

Ogólna ocena rozprawy

Oceniając układ rozprawy doktorskiej i jej podstawę, czyli cykl trzech tematycznie powiązanych publikacji, należy stwierdzić, że układa się on logicznie. Praca zawiera też wszystkie potrzebne dodatkowe jej elementy, takie jak: streszczenia, wykaz oznaczeń, motywację, cele, zakres, wnioski, oraz bibliografia. Dość dobrą stroną pracy jest jej opracowanie edycyjne.

Cykl zaczyna się od publikacji (Art. 1), gdzie przedstawiona została jednostkowa technologia (PV/T vs PV/kolektor). W kolejnej publikacji (Art. 2) przedstawiono mikro-sieć z magazynem wodoru, a w trzecim artykule (Art. 3) analizę porównawczą przy wykorzystaniu wskaźników TEC/TEA dla systemu zasilanego wieloma źródłami OZE. W każdej pracy rdzeniem jest egzergia i wskaźnik TEC, jako miara zużycia zasobów nieodnawialnych.

Literatura rozprawy doktorskiej jest wystarczająca. Większość pozycji z wykazu jest dostępna cyfrowo. Przeważającą część wykazie literatury stanowią pozycje typowo naukowe (większość w języku angielskim). Pozostała część bibliografii zawiera źródła nierecenzowane, materiały komercyjne, raporty, normy oraz dane techniczne. Dane bibliograficzne z wykazu są w większości kompletne. Prace Autorki są cytowane zarówno w samej rozprawie jak i w Art. 3.

Udział Autorki w artykułach ma charakter dominujący. Jak wspomniano wcześniej w dwóch artykułach była tzw. pierwszym autorem i autorem do korespondencji.

[Art. 1] Autorka w tym artykule przedstawiła założenia metodologiczne, które determinowały dobór narzędzi analitycznych w zaproponowanym procesie badawczym oraz systematykę pracy.

Opracowała oryginalny manuskrypt, który stanowi efekt autorskiej syntezy dotychczasowego dorobku literatury z wynikami przeprowadzonych badań własnych. Rozwijała proces tworzenia publikacji od fazy wstępnej, konceptualizacji do zaawansowanej syntezy danych i zaprezentowała publicznie stworzoną publikację, umożliwiając dystrybucję wiedzy i weryfikację przyjętych założeń, algorytmu i wyników pracy.

[Art. 2] Autorka również w tym artykule przedstawiła założenia metodologiczne, które determinowały dobór narzędzi analitycznych w zaproponowanym procesie badawczym oraz systematykę pracy. Opracowała oryginalny manuskrypt, który stanowi efekt autorskiej syntezy dotychczasowego dorobku literatury z wynikami przeprowadzonych badań własnych. Była odpowiedzialna za tworzenie publikacji od jej fazy wstępnej, konceptualizacji do zaawansowanej syntezy danych. Zaprezentowała publicznie publikację, umożliwiając dystrybucję wiedzy i weryfikację przyjętych założeń, algorytmu i wyników pracy.

[Art. 3] Autorka również w tym artykule przedstawiła założenia metodologiczne, które determinowały dobór narzędzi analitycznych w procesie badawczym oraz systematykę pracy. Opracowała też oryginalny manuskrypt, który stanowi efekt Jej autorskiej syntezy dotychczasowego dorobku literatury z wynikami badań własnych. W tym artykule Autorka przeprowadziła też analizę formalną zastosowanego algorytmu obliczeniowego pod kątem jego poprawności, zbieżności oraz złożoności obliczeniowej. W ramach pracy była też odpowiedzialna za gromadzenie danych, ich selekcję, czyszczenia i standaryzację.

Oceniany cykl publikacji charakteryzuje się nowością i oryginalnością. Można w nim przede wszystkim wskazać na:

Dla [Art. 1] - nowatorskie zastosowanie wskaźnika TEC do analizy systemów PV/T z analizą kogeneracji i pokazanie przewagi PV/T w ujęciu globalnym.

Dla [Art. 2] - systemowe ujęcie wskaźnika TEC dla miksów OZE z magazynem wodoru, co jest rzadziej spotykane zwłaszcza dla zestawienia wykorzystania promieniowania słonecznego w panelach PV/T, energii wiatrowej i biogazu z obliczonymi miesięcznymi wskaźnikami TEC.

Dla [Art. 3] - krytyczne zestawienie wskaźników TEC vs TEA dla mikro-sieci wieloźródłowej, co jest przydatne przy projektowaniu systemów OZE.

Rzetelność metodologiczna i piśmiennicza cyklu publikacji jest właściwa. Modele sprawności urządzeń (PV, PV/T, kolektor termiczny) wynikają z literatury i kart katalogowych. Metoda ϵ -NTU dla wymienników w modułach PV/T jest poprawnie zastosowana. Wskaźnik TEC jest zdefiniowany wg metody Szarguta i rozwinięć z uwzględnieniem LCA-TEC oraz egzergii materiałów. Obliczenia realizowane są z krokiem godzinny dla pełnego roku i lokalnej warunków meteorologicznych (Katowice), co wzmacnia wiarygodność wniosków. Poprawnie wykazano różnicę metodologiczną między wskaźnikami TEA, a TEC.

Cele prac są jasne i dobrze sformułowane. Dla poszczególnych publikacji są one następujące:

Dla [Art. 1] - porównanie systemów PV i kolektora z układem hybrydowym PV/T w ujęciu lokalnym (sprawność) i globalnym (koszt termo-ekologiczny, TEC).

Dla [Art. 2] - ocena mikro-sieci opartej na OZE (promieniowanie słoneczne dla PV i PV/T oraz energia wiatru) z wykorzystaniem magazynowania energii w wodorze (elektrolizer, magazyn, ogniwo) oraz z udziałem stabilnego źródła energii (CHP na biogaz), w różnych konfiguracjach miksu.

Dla [Art. 3] - zestawienie i konfrontacja TEC vs TEA (termo-ekonomika) dla złożonej mikro-sieci z wieloma OZE, układem do magazynowania wodoru i odbiorami energii w postaci prądu, ciepła i chłodu.

Metody badawcze zastosowane w niniejszej rozprawie doktorskiej są właściwe do realizacji wymienionych w pracy celów. W ocenie ogólnej pracy można też podkreślić fakt, że jest ona bogato ilustrowana. Bardzo dobre jest też jej opracowanie edycyjne. Wyniki badań zostały przedstawione i omówione w sposób przejrzysty i klarowny. Metody analizy oraz wyniki uzyskane

w ramach pracy mogą mieć zastosowanie praktyczne w przypadku projektowania systemów grzewczych zawierających OZE. Metody analizy w poszczególnych pracach są następujące:

- Dla [Art. 1]: modelowanie konwersji promieniowania (PV, kolektor płaski, PV/T), z wykorzystaniem charakterystyki sprawności (zależności od nasłonecznienia i temperatury), bilansu wymiennika (ϵ -NTU) z wyznaczaniem wskaźnika TEC i uwzględnieniem materiałów oraz podziału kosztów w kogeneracji. Wkład autorski tej pracy pokazuje, że globalna ocena (TEC) odwraca wnioski płynące z samej sprawności energetycznej.
- Dla [Art. 2]: symulacja godzinowa dla całego roku (Katowice), przy wykorzystaniu różnych konfiguracji zawierających od jednego do czterech OZE. Wykorzystano reguły bilansowania i wykorzystania magazynu wodoru. Wyznaczono wskaźnik TEC energii z OZE, z sieci i z magazynu na podstawie wskaźników referencyjnych. Wkład autorski tej pracy przenosi metodę wykorzystującą wskaźnik TEC na poziom systemowy mikro-sieci. Pokazuje też rolę komplementarności źródeł i magazynu wodoru oraz stabilizującej funkcji CHP na biogaz.
- Dla [Art. 3]: pełny opis przepływów energii dla komponentów (wiatr, energia słoneczna w PV i PV/T oraz CHP biogaz, pompy ciepła, adsorpcja, magazyn wodoru, sieć) z wykorzystaniem meteorologicznych danych godzinowych dla Katowic. Wkład autorski tej pracy pokazuje syntetyczne porównywanie wyników analiz z wykorzystaniem wskaźników TEC vs TEA dla mikro-sieci z wieloma systemami z rozdziałem paliwa w CHP na produkty w całym sezonie.

Bardzo pozytywnie trzeba ocenić także jakość cyklu publikacji wchodzących w skład rozprawy i ich rozpoznawalność na świecie. Prace są opublikowane w czasopiśmie międzynarodowym w wydawnictwie Elsevier (Renewable Energy, Energy), co spełnia wymogi dotyczące jakości publikacji. Teksty prac są spójne tematycznie i tworzą logiczny i przemyślany trzon rozprawy o charakterze monografii tematycznej wokół wykorzystania wskaźnika TEC dla mikro-sieci z OZE.

Uwagi redakcyjne do pracy oraz uwagi dyskusyjne.

Uwagi redakcyjne:

1. Miejscami występuje niejednolita definicja jednostek wskaźnika TEC (MJ/MJ lub MW/MW). Mimo, że na cykl składają się różne artykuły, które są opublikowane w różnych latach należałoby konsekwentnie zdefiniować symbole tych samych wielkości.
2. W rozprawach doktorskich warto wyraźnie zaznaczać w tekście pracy cele i zakres pracy. W dobrym zwyczaju też jest dodanie tez/y pracy.
3. Warto wyjaśnić również dlaczego wystąpiło powtórzenie tych samych wzorów w Art. 1: wzory (26) i (33) oraz po krótko ich zapis po znaku równości.

Uwagi dyskusyjne:

1. Czy w przypadku analizy systemu z powietrzną pompą ciepła wzięto pod uwagę również energię potrzebną dla grzałek elektrycznych, które zwykle w takich pompach ciepła pracują w parowaczu przy niskich temperaturach powietrza? Jeżeli nie, to jak uwzględnienie takiej energii grzałek mogłoby wpłynąć na wyniki analizy?
2. Przedstawione w pracy dane meteorologiczne i parametry urządzeń są spójne, lecz przydałaby się jakaś ich rzeczywista walidacja eksperymentalna (np. pomiar temperatur PV/T, sprawności magazynowania, itd.). Dlaczego taka (choćby wyrównoważona) walidacja danych teoretycznych nie została w pracy wykonana i przedstawiona?

3. Nie przeprowadzono w pracy analizy wrażliwości metody obliczeniowej. Ciekawi mnie, w jaki sposób zmienność wyników modelu obliczeniowego może zostać przypisana zmianom poszczególnych danych wejściowych, np. przyjętemu progowi chłodzenia paneli PV/T?
4. Pewnym mankamentem pracy jest także ograniczona możliwość uogólnienia warunków klimatycznych i miksów energetycznych na inne lokalizacje i inne rodzaje źródeł grzewczych. Czy istnieje jakaś możliwość uogólnienia zastosowanej w pracy metody analizy?
5. Zaproponowana w pracy metoda wykorzystująca wskaźnik techniczno-ekologiczny nie uwzględniała kosztów inwestycyjnych, ale w ocenie systemów wykorzystujących OZE koszty te mają istotne znaczenie przy planowaniu inwestycji. Czy Doktorantka mogłaby spróbować choć szacunkowo porównać przykładowe koszty inwestycyjne systemów konwencjonalnych (na paliwa kopalne) oraz systemów z OZE?

Wniosek końcowy

Mgr inż. Agnieszka Szostok jest Autorką rozprawy doktorskiej pt. „*Thermo-Ecological Cost assessment for renewable energy systems*”, która wnosi znaczny wkład w rozwój dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka stanowiąc oryginalne rozwiązanie problemu naukowo-technicznego. Wkład naukowy Autorki jest znaczący i spójny, a cykl artykułów pokazuje oryginalne i systemowe zastosowanie wskaźnika TEC w inżynierii energetycznej, z przejściem od pojedynczego komponentu do całego systemu i krytycznym zestawieniem ze wskaźnikiem TEA.

Do głównych osiągnięć pracy należy moim zdaniem zaliczyć przede wszystkim zaproponowanie metodyki analizy wykorzystującej wskaźnik TEC, która umożliwia bardziej wiarygodną ocenę wpływu systemów OZE na środowisko i zasoby naturalne, co jest ważne dla projektowania nowoczesnych zrównoważonych mikrosieci, a także układów hybrydowych wykorzystujących jednocześnie różne źródła OZE w systemach energetycznych. Mając na uwadze powyższe stwierdzam, że Autorka ma rozległą wiedzę techniczną z zakresu przedmiotowej pracy i potrafi samodzielnie prowadzić badania naukowe. Na podstawie informacji zamieszczonych w pracy można stwierdzić też, że wszystkie cele pracy zostały osiągnięte. Z całą pewnością uważam też, że pod względem merytorycznym recenzowana praca jest na odpowiednim poziomie.

Uwagi krytyczne zamieszczone w recenzji podlegają dyskusji. Nie odnoszą się one bezpośrednio do strony merytorycznej pracy, więc nie rzutują istotnie na poziom naukowy rozprawy doktorskiej.

Biorąc pod uwagę ww. ocenę rozprawy stwierdzam, iż praca doktorska Pani mgr inż. Agnieszki Szostok spełnia wymagania stawiane w art. 187 Ustawie z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, dlatego stawiam wniosek do Rady Naukowej Wydziału Inżynierii Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony. Równocześnie biorąc pod uwagę poziom skomplikowania zagadnień przedstawionych w pracy Pani mgr inż. Agnieszki Szostok, wysoki poziom merytoryczny i redakcyjny pracy oraz trzy wysokopunktowane publikacje w czasopismach o uznanej światowej renomie (*Energy* oraz *Renewable Energy*) stawiam też wniosek o wyróżnienie niniejszej rozprawy doktorskiej.

Podpisał Łukasz Mika