

Dr hab inż. Magdalena Dudek, prof. uczelni
AGH w Krakowie
Wydział Energetyki i Paliw
Al. Mickiewicza 30; 30-059 Kraków
potoczek@agh.edu.pl

Kraków 5.12.2025

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Przemysława Ogarka
„ Autonomiczny system energetyczny zasilany źródłami
odnawialnymi z hybrydowym magazynowaniem energii”**

Niniejsza recenzja została opracowana na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Energetyka i Górnictwo, Politechniki Rzeszowskiej, prof. dr hab. inż. Daniela Słysia dotyczącego powołania Recenzentów w przewodzie doktorskim mgr Przemysław Ogarka

Charakterystyka struktury rozprawy doktorskiej i zakres tematyczny

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska pt „Autonomiczny system energetyczny zasilany źródłami odnawialnymi z hybrydowym magazynowaniem energii”, której autorem jest mgr Przemysław Ogarek, została napisana w formie tradycyjnej „ monografii”. Promotorami rozprawy doktorskiej są Prof. dr hab. inż. Daniel Słyś oraz dr hab. inż. Mariusz Ruszel, prof. PRZ. Rozprawa doktorska mgr P. Ogarka, złożona jest z 18 głównych rozdziałów oraz dodatkowych elementów zawierających spisy tabel, rysunków, opis indeksów czy skrótowych nazw używanych w rozprawie doktorskiej. Całość rozprawy liczy 347 stron. Kluczowym i dominującym elementem tej pracy są rozdziały od 5 do 16, poświęcone analizie autorskich osiągnięć Doktoranta.

Tematyka rozprawy doktorskiej „ Autonomiczny system energetyczny zasilany źródłami odnawialnymi z hybrydowym magazynowaniem energii” dotyczy bardzo ważnych w świecie i kraju zagadnień dotyczących rozwoju zdecentralizowanych systemów energetycznych. Rozwój energetyki rozproszonej, rozwój energetyki odnawialnej wraz z technologiami magazynowania energii elektrycznej i ciepła należy do strategicznych kierunków rozwoju współczesnej transformacji sektora paliw i energii. Z kolei wodór w świecie postrzegany jest jako wektor w transformacji energetycznej. Należy również podkreślić, że współczesne postrzeganie problemów energetycznych w świecie, należy dzisiaj do zagadnień interdyscyplinarnych

łączących wiedzę i doświadczenie z wielu dziedzin nauki i techniki.

Problematyka rozwoju elastycznych systemów wytwarzania energii elektrycznej opartych na integracji lokalnych jednostek wytwórczych bazujących na technologii energetyki odnawialnej wraz z końcowym odbiorem energii elektrycznej na danym terenie jest również kluczowa w aspekcie rozwoju bezpieczeństwa energetycznego na poziomie lokalnym. Kolejne korzyści to rozwój nowych modeli ekonomicznych dotyczących działania takich obiektów aby były jeszcze bliższe dla społeczeństwa w danym regionie. Zintegrowanie systemu elektroenergetycznego w skali lokalnej pozwala na kolejne spodziewane korzyści tj. zbilansowanie popytu i podaży w miejscu wytwarzania i użytkowania energii elektrycznej, ograniczenie strat przesyłowych a także określenia korzyści dla środowiska i społeczeństwa (ograniczenie emisyjności, wzrost użytkowania technologii energetycznych przyjaznych dla społeczeństwa i środowiska). Realizacja tego typu prac badawczych jest kluczowa w kraju i w świecie.

Dystertacja doktorska mgr Przemysława Ogarka wpisuje się bardzo dobrze w przedstawioną powyżej problematykę badań elastycznych rozproszonych systemów energetycznych. Budowa odpowiednich zintegrowanych modeli do symulacji poligeneracyjnych systemów energetycznych uwzględniających działanie kilku jednostek wytwórczych z zakresu technologii energetyki odnawialnej wraz z hybrydowymi magazynami energii jest bardzo ważnym zagadnieniem naukowym podejmowanym w zakresie interdyscyplinarnych badań.

Autor rozprawy doktorskiej podejmuje się bardzo ambitnego zadania, zbudowania wielowarstwowego modelu numerycznego uwzględniającego nie tylko optymalizację pracy elastycznych wariantowych generatorów energii elektrycznej ale także łączy je z technologiami magazynowania energii elektrycznej, zagadnieniami wykorzystania ciepła, a także z dodaną analizą ekonomiczno-finansową i środowiskową. Należy już na wstępie podkreślić duży poziom nowości naukowej jak i innowacyjności. Autor w pracy analizuje zbudowane wirtualne poligeneracyjne systemy energetyczne z takich jednostek wytwórczych jak : instalacja fotowoltaiczna, elektrownia wodna, turbina wiatrowa wraz z technologiami magazynowania energii w postaci magazynów krótkoterminowych (baterii elektrochemicznych) oraz z wykorzystaniem wodoru jako magazynu i nośnika energii (moduł wodorowy). W ramach zbudowanego elastycznego systemu wytwarzania i zarządzania



pracą systemu energetycznego analizuje dwa główne scenariusze, które oznacza symbolicznie jako A i B. W przypadku scenariusza pracy A zdecentralizowanego systemu energetycznego w badaniach symulacyjnych uwzględniono wykorzystanie tzw. modułu wodorowego (wytwarzanie wodoru, jego magazynowanie i wykorzystanie do produkcji energii elektrycznej) a także zagadnienia gospodarki ciepłem. W zakresie scenariusza badawczego A, Autor rozważa wariantowe działanie poszczególnych komponentów systemu, które oznaczył A1-A6. Drugim niezależnym etapem badań jest referencyjny scenariusz B. Wg Autora rozprawy doktorskiej, stanowi on referencyjną jednostkę odniesienia zbudowaną z analogicznych komponentów energetycznych lecz nie zawierającą modułu wodorowego. Rozwiązania wariantowe z grupy B stanowiły zestaw odniesienia, umożliwiając ocenę wpływu zastosowania technologii wodorowych na bilans energetyczny i stabilność funkcjonowania systemu. Zestawienie techniczne jednostek do wytwarzania i magazynowania energii elektrycznej przedstawiono w tabeli 5.1 a na Rys. 5.3 architekturę elektryczną zintegrowanego systemu elektroenergetycznego.

Ocena całości rozprawy doktorskiej

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska jest napisana starannie pod względem użycia terminologii technicznej, poprawności stylistycznej i gramatycznej języka polskiego. W tak rozbudowanej pracy doktorskiej, można znaleźć drobne usterki edycyjne, stylistyczne czy też moim zdaniem zbyt skrótowe przedstawienie myśli, ale to nie ma tu dużego znaczenia na tle całościowych osiągnięć Autora tej pracy.

Na wstępie analizy badań własnych Pana P. Ogarka podkreślam opracowany przejrzysty plan rozbudowanych prac badawczych (głównie symulacyjnych), który zbudowany jest z 8 etapów tak aby udowodnić postawione cele szczegółowe i zaproponowaną hipotezę badawczą.

Zaproponowana w pracy teza badawcza ma brzmienie „*System energetyczny oparty na źródłach odnawialnych, wspierany magazynami energii oraz technologiami do produkcji, przechowywania i konwersji wodoru, może zapewnić autonomię energetyczną, opłacalność finansową w długim horyzoncie czasowym oraz eliminację emisji gazów cieplarnianych i innych substancji powstających w procesach przetwarzania energii.*”

W pierwszym etapie badań Autor przedstawił główne założenia tezy



badawczej oraz możliwych kierunków badawczych realizacji w celu potwierdzenia jej słuszności. Założenia te doprowadziły do opracowania autorskiego modelu obliczeniowego ATS_OZE_H2, ujmującego zagadnienia techniczne dotyczące eksploatacji generatorów energii elektrycznej wraz z magazynami energii. Drugim elementem jest analiza ekonomiczna a trzeci obszar dotyczy wpływu poszczególnych działań na środowisko (ograniczenie emisji CO₂ i innych zanieczyszczeń). Opracowanie modelu numerycznego funkcjonującego na przestrzeni tych trzech płaszczyzn, uważam za nowatorski i bardzo ważny w analizie autonomicznych systemów energetycznych. Jest to zadanie bardzo ambitne i pracochłonne, wymagające od Autora systematyczności i bardzo dużego zaangażowania czasowego. Kolejnym ważnym elementem dla budowy narzędzia jest zaimplementowanie modelu statystycznego z programu Statistica. Program ten pozwala na przeprowadzenie analizy korelacji pomiędzy zmiennymi oraz analizy wrażliwości systemu na zmienne parametry wejściowe.

Optymalizacja struktury autonomicznego systemu energetycznego obejmowała dobór parametrów technicznych, takich jak moc znamionowa elektrowni fotowoltaicznej (PPV) i wiatrowej (PWT), pojemność magazynu bateryjnego (CapBAT) oraz zbiornika wodoru (CapH2T), a także wielkość dziennego zapotrzebowania kontraktowego na wodór (H2,Lbase). Warto podkreślić, że Pan P. Ogarek jest bardzo dobrze przygotowany do realizacji tego zadania, ma interdyscyplinarną wiedzę z zakresu modelowania i analiz systemowych podpartą umiejętnościami praktycznymi. Ponadto bardzo dobrze orientuje się w obecnych rozwiązaniach, metodach budowy, stosowanych narzędziach programistycznych do takich zadań. W rozprawie systematycznie w sposób pośredni lub bezpośredni przedstawia znaczenie i nowości na tle innych rozwiązań swojego nowego podejścia i opracowanego rozwiązania.

W drugim etapie badań Autor przedstawił szczegółowo metodykę badawczą, uwzględniającą opis funkcjonowania poszczególnych jednostek z których zbudowany jest autonomiczny system energetyczny, charakteryzuje w sposób zrozumiały parametry wejściowe i wyjściowe, zasady obliczenia wariantowych efektów finansowych finansowego oraz analizy zmienności parametrów środowiskowych. Ważnym elementem modelu jest wykorzystanie między innymi algorytmów genetycznych czy sieci neuronowych. W etapie trzecim przedstawiono zasady opracowania algorytmu optymalizacyjnego działania systemu elektroenergetycznego. Zweryfikowanie poprawności działania modelu i procedur pozwoliło na wytypowanie terenu lokalnego do

badzeń (obszary na terenie gminy Ropa). W etapie czwartym, zdefiniowano szczegółowo wytypowany obszar lokalny, określono profile zapotrzebowania na energię elektryczną oraz warunki hydrologiczne. Ważnym zadaniem też było zebranie doświadczalnej bazy danych meteorologicznych w trzyletnim okresie pomiarowym. Dane meteorologiczne zebrano na dedykowanej stacji badawczej zainstalowanej na terenie tej lokalizacji. Podejście to stanowi bardzo ważny efekt wykorzystania danych rzeczywistych zebranych dla danej lokalizacji. Etap piąty obejmował wdrożenie opracowanego autorskiego algorytmu oraz wyznaczenie optymalnych wartości przyjętych parametrów względem wcześniej zdefiniowanej funkcji celu. W etapie 6 przeprowadzono analizę otrzymanych wyników, przeprowadzono analizy optymalizacyjne. Otrzymane wyniki dla różnych połączeń porównano pod względem techniczno-finansowym oraz oszacowano przepływy energii i potencjał redukcji emisji. Scharakteryzowano wektory przepływu energii, określenie wielkości emisji oraz możliwości jej redukcji. W końcowych etapach siódmym i ósmym dokonano analiz statystycznych i korelacji pomiędzy poszczególnymi zmiennymi, określono hierarchii istotności zmiennych wejściowych.

Autor uzyskał bardzo ciekawe wyniki odnośnie procesu optymalizacji systemu, które mają nie tylko znamiona nowości naukowej ale i także znaczenie praktyczne. Wnioski zostały sformułowane poprawnie i bez zastrzeżeń. Moja ocena całości pracy jest bardzo wysoka. W związku z dużym zakresem prac i badań proszę aby Doktorant udzielił bardziej szczegółowych odpowiedzi na następujące pytania

- W tabeli 8.1 „Optymalne wartości wybranych parametrów systemu energetycznego oraz odpowiadające im maksymalne wyniki funkcji celu dla analizowanych wariantów” proszę o skomentowanie poziomu zmienności CapH2T oraz H2Ibase dla poszczególnych wariantowych scenariuszy.
- W jaki sposób zoptymalizowano górną granicę i dolną granicę na Rys. 8.1 i czym spowodowane są rozrzuty uzyskanych wyników dotyczących analizy wodoru ? (Rys. 8.1 - Zmiany wartości zmiennych decyzyjnych oraz wyniku funkcji celu w kolejnych iteracjach algorytmu genetycznego dla wariantu A1: a) moc znamionowa elektrowni fotowoltaicznej, b) moc znamionowa elektrowni wiatrowej, c) pojemność magazynu bateryjnego, d) pojemność zbiornika wodoru, e) bazowe dzienne zapotrzebowanie kontraktowe na wodór, f) funkcja celu).

- Tabela 10.2. Koszty jednostkowe LCOE i udział OZE oraz ogniwa paliwowego w produkcji energii elektrycznej w wariantach A1–A6. W jaki sposób optymalizowano wpływ kosztu ogniwa paliwowego ?.
- Jaka grupę ogniw paliwowych uwzględniono w analizach, których wyniki przedstawiono w tabeli 10.2.
- Rysunek 11.2 ilustruje czasowy przebieg parametru SoC w odniesieniu do trzech typów magazynów energii zastosowanych w analizowanej konfiguracji: zbiornika wodnego (SoCPON) (rys. 11.2a), zbiornika wodoru (SoCH₂T) (rys. 11.2b) oraz magazynu bateryjnego (SoCBAT) (rys. 11.2c). W jaki sposób wyznaczono parametr SOC dla tych magazynów, proszę o bardziej szczegółowe przybliżenie zagadnienia?

Przedstawione pytania mają wyłącznie charakter polemiczny i dyskusyjny wynikający z mojego zainteresowania tematyką

Na podstawie dostępnych danych bibliometrycznych (baza Scopus, dostęp 5.12.2025) Pan P. Ogarek ma zarejestrowanych 6 publikacji w uznanych specjalistycznych czasopismach z listy JCR. Autor rozprawy doktorskiej wyniki swoich badań opublikował w prestiżowym czasopiśmie Applied Energy a także w innych ważnych dla dyscypliny inżynieria środowiska, energetyka i górnictwo tj. Energies (3x) oraz Advances in Science, Technology and Innovation, Desalination and Water Treatment Open source preview. Inne dane bibliometryczne Index H = 6; liczba cytowań 42

Wnioski końcowe:

Zgodnie z art. 187 ust. 2 Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz. U. Poz. 1571 z 2024 roku z późn.zm.) przedmiotem rozprawy doktorskiej powinno być oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska spełnia wymogi ustawy z nawiązką. Stanowi ona wartościowe i cenne opracowanie dotyczące zagadnień numerycznego modelowania systemów energetycznych między innymi z wykorzystaniem wodoru jako magazynu i nośnika energii. P. Ogarek opracował bardzo wartościowe autorskie oprogramowanie pozwalające na prowadzenie zaawansowanych złożonych wielowariantowych badań symulacyjnych rozproszonych systemów energetycznych z uwzględnieniem zagadnień środowiskowych oraz ekonomicznych. Wyniki badań związane z rozprawą doktorską zostały

22

opublikowane w uznanych czasopismach międzynarodowych oraz są stopniowo cytowane. Fakty te potwierdzają, że opublikowane wyniki związane z rozprawą zdobyły uznanie wśród międzynarodowej społeczności naukowej.

Na podstawie analizy całości rozprawy doktorskiej, jej wysokiego poziomu naukowego i aplikacyjnego a także dorobku naukowego Doktoranta, wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Energetyki i Górnictwa Politechniki Rzeszowskiej o dopuszczenie Pana mgr Przemysława Ogarka do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Równocześnie wnioskuję o wyróżnienie recenzowanej rozprawy doktorskiej.

Włodzisław D. H.