

Kraków 2.09.2022

Dr hab. inż. Magdalena Wdowin, prof. IGSMiE PAN  
Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN  
Wybickiego 7A  
32-261 Kraków

### **Recenzja**

**Rozprawy doktorskiej mgr inż. Agaty Mielcarek**

**pt.: „Długoterminowa niezawodność niezależnego systemu wytwórczego złożonego z instalacji fotowoltaicznej i elektrochemicznego magazynu energii”**

Podstawą do opracowania recenzji rozprawy doktorskiej było pismo z dnia 27.06.2022, Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Poznańskiej, Pana prof. Zbigniewa Nadolnego.

Dokonana ocena rozprawy doktorskiej ma odpowiedzieć na pytanie i uzasadnić czy i w jakim stopniu recenzowana rozprawa odpowiada zapisom określonym w art. 187 Ustawy z dnia 20.07.2018 (Dz. U. 2018 poz. 1668 Ustawa z dnia 20 listopada 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce). W związku z czym w recenzji podjęto się oceny czy zawartość merytoryczna rozprawy doktorskiej prezentuje odpowiednią ogólną i szczegółową wiedzę kandydatki w dyscyplinie naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

W ramach przedłożonej recenzji dokonano oceny umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej Doktorantki, wyboru przedmiotu badań ( jego oryginalności, sformułowania i uzasadnienia problemu badawczego, przyjętych tez), analizy literaturowej oraz doświadczenia własnego Doktorantki.

#### ***Ocena celowości podjętej tematyki***

Tematyka badawcza dotycząca odnawialnych źródeł energii jest obszarem bardzo pożądanym w obecnej sytuacji energetycznej kraju oraz i z uwagi na wymogi stawiane przez UE, która stale wyznacza cele związane z OZE, a energetyka w Polsce nie jest w stanie ich osiągnąć. Dlatego badania w tym obszarze stanowią jeden z obszarów priorytetowych dla Polski.

Doktorantka zwraca uwagę na fakt, iż w obecnych analizach omawianego w pracy systemu wytwórczego rozważa się jedynie jeden rok eksploatacji stąd poszukiwane są informacje na temat długookresowych prognoz funkcjonowania tego typu rozwiązań. W celu oceny funkcjonowania wspomnianych systemów wytwórczych wykorzystuje się techniki modelowań matematycznych. Przedstawiając aktualny stan wiedzy w tym obszarze Doktorantka wykazała lukę analityczną w zakresie długookresowych wymiarowań z uwzględnieniem procesu degradacji systemu.

W mojej opinii jest to istotne m.in. w podejmowaniu odpowiednich działań przy planowaniu instalowania systemów wytwórczych złożonych z instalacji fotowoltaicznej i elektrochemicznego magazynu energii. Stąd celowość pracy jest jak najbardziej uzasadniona a tematyka w aspekcie priorytetów UE i rozporządzeń krajowych zdecydowanie wpisuje się w działania istotne.

Biorąc pod uwagę powyższe uważam, że tematyka rozprawy doktorskiej została wybrana prawidłowo, a całość podjętej pracy uwarunkowana była nie tylko potrzebami naukowo-badawczymi, ale przede wszystkim jej potencjalnymi efektami praktycznymi.

#### ***Ocena rozprawy***

Przedstawiona w pracy doktorskiej treść jest zgodna z tytułem i obejmuje prace badawcze w zakresie modelowania długoterminowych rozwiązań dla hybrydowych systemów wytwórczych składających się z instalacji fotowoltaicznej i elektrochemicznego magazynu energii.

Praca doktorska liczy 153 strony i podzielona została na 9 rozdziałów poprzedzonych streszczeniem w języku polskim i angielskim oraz zakończona spisem literatury. Układ manuskryptu jest klasyczny, zwarty i poprawny. Pracę rozpoczyna krótkie, dwustronicowe wprowadzenie pozwalające czytelnikowi wdrożyć się w omawianą tematykę.

Kolejny, zajmujący 3 strony rozdział dotyczy przyjętych w pracy tezy oraz celu. Zarówno przyjęta teza jak i cel zostały klarownie i zwięźle sformułowane. Jako tezę autorka przyjęła *„Niezależny system wytwórczy energii elektrycznej, złożony z instalacji fotowoltaicznej i magazynu energii w postaci akumulatorów elektrochemicznych, może być wymiarowany za pomocą kryterium niezawodnościowego i ekonomicznego w perspektywie długoterminowej, z uwzględnieniem degradacji komponentów oraz tempa jej postępowania w zależności od zakresu pracy akumulatora: oraz jako uzupełnienie przyjęto stwierdzenie: „Możliwe jest wyznaczenie koniecznego przewymiarowania układu pod kątem technicznym i ekonomicznym w celu spełnienia kryterium*

*niezawodnościowego po latach eksploatacji systemu z uwzględnieniem degradacji dla różnych wariantów zakresu pracy akumulatora w porównaniu do wyników wymiarowania bez uwzględnienia degradacji”*”.

Aby udowodnić postawioną tezę Doktorantka przyjęła za główny cel „*opracowanie modelu matematycznego niezależnego systemu wytwórczego złożonego z instalacji fotowoltaicznej i elektrochemicznego magazynu energii pozwalającego na wyznaczenie konfiguracji układu i jego wielkości w oparciu o kryterium ekonomiczne i niezawodnościowe w perspektywie długoterminowej z uwzględnieniem degradacji komponentów oraz wpływu dopuszczalnego zakresu wykorzystywanej pojemności akumulatora na tempo postępowania degradacji i wyniki wymiarowania komponentów systemu*”.

Z pewnością mogę stwierdzić, iż cel pracy został zrealizowany jak i postawiona w pracy teza dowiedziona.

Kolejne 4 krótkie rozdziały stanowią część teoretyczną pracy podzieloną na obszary tematyczne tj.:

- rozdział 3 (7 stron) poświęcony omówieniu ogólnych trendów w energetyce, gdzie Autorka skupia się nad omówieniem różnych źródeł energii ich kosztów oraz kierunku rozwoju;
- rozdział 4 (4 strony) poświęcony jest pojęciu niezawodności w energetyce dla istniejących systemów wytwórczych;
- rozdział 5 (9 stron) omawia systemy wymiarowania na przykładach opisywanych przez innych autorów;
- rozdział 6 (6 stron) skupia się nad procesami degradacji istniejących układów fotowoltaicznych i baterii litowo-jonowych.

Rozdział 7 (33 strony) rozpoczyna część badawczą omawiającą szczegółowo aspekty modelowania niezależnego systemu PV/BAT w którym Doktorantka przedstawia dane wejściowe w tym głównie dane meteorologiczne oraz dane obciążenia. W tym rozdziale wyjaśniony został również sposób wyznaczania mocy generowanej przez PV oraz przedstawiono algorytm służący do bieżącej aktualizacji wartości energii zgromadzonej w akumulatorze. Autorka również w tym rozdziale wyznaczyła bilanse energetyczne jak również przedstawiła sposób modelowania degradacji komponentów oraz sposób wyznaczania wskaźnika niezawodnościowego oraz ekonomicznego. Doktorantka przedstawiła opis procesu symulacyjnego prowadzącego do wyboru najlepszej

konfiguracji systemu – mocy zainstalowanej instalacji fotowoltaicznej i pojemności znamionowej magazynu energii.

W rozdziale 8 (68 stron) Doktorantka zaprezentowała wyniki analiz modelowania oraz przeprowadziła dyskusję otrzymanych rezultatów. Szczegółowo omówiła wyniki i wizualizacje symulacji pracy systemu dla wybranych dwóch spośród sześciu analizowanych zakresów pracy akumulatora. Wykorzystując wyniki z wszystkich symulacji dokonała analizy porównawczej wymiarowania układu z uwzględnieniem i bez uwzględnienia degradacji elementów rozpatrywanego systemu w perspektywie długoterminowej. Skomentowała również konieczny zakres przewymiarowania oraz zbadała wpływ zmiany obciążenia, natężenia promieniowania słonecznego, parametrów ekonomicznych i dopuszczalnej wartości wskaźnika niezawodności na wyniki wymiarowania rozważanego systemu.

Pracę kończy trzystronicowe podsumowanie oraz spis literatury liczący 105 pozycji.

#### ***Uwagi krytyczne***

Praca napisana jest bardzo czytelnie i z należytą, rzadko spotykaną starannością jednak w trakcie czytania rozprawy nasuwają się pewne uwagi, które w przyszłości mogłyby być rozważone przez Autorkę:

- Pomimo przejrzystości pracy warto byłoby w spisie rozdziałów wyodrębnić część teoretyczną i eksperymentalną. W przygotowaniu pracy do druku oczywiście obecny układ jest bardzo dobry, jednak w przypadku oceny dokonywanej przez recenzenta łatwiej jest opiniować patrząc już na sam spis treści gdy praca jest podzielona na dwie części, z których można wyróżnić *state of art* oraz samodzielny wkład autora w przygotowanie pracy,
- Również warto byłoby w podsumowaniu końcowym wyraźnie nawiązać do postawionej w pracy tezy i celu stwierdzając jednoznacznie czy zostały one osiągnięte poprzez przyjęte w pracy analizy/założenia/badania,
- W rozdziale 9 „Podsumowanie” Autorka ujęła informacje na temat co przedstawiają konkretne rozdziały w rozprawie. W moim odczuciu tego typu wzmianki nie są w tym miejscu konieczne, ponieważ rozprawa zawiera streszczenie jak również rozdział „Teza, cel i zakres pracy”, w których już czytamy o tym, dlatego rozdział ten powinien dotyczyć raczej ogólnych treści wynikających z rozprawy jak też końcowych wniosków (tytuł rozdziału powinien brzmieć przykładowo *Podsumowanie i wnioski*).

- W rozdziale dotyczący metodologii (str. 43) Autora przyjęła, iż „na potrzeby rozprawy wykorzystano typowy rok meteorologiczny wyznaczony przez P. Narowskiego dla lokalizacji Poznań, na podstawie danych z lat 1971 – 2000, publikowany na rządowej stronie internetowej [79].” – korzystnie byłoby podać ogólne parametry typowego roku meteorologicznego, tj. jak często powtarzały się wartości typowego roku w przedziale analizowanych lat itp.?
- podobnie kolejne zdanie „Do modelu wprowadzono wybrane wartości parametrów określone dla każdej godziny reprezentatywnego roku kalendarzowego: temperaturę termometru suchego [ $^{\circ}\text{C}$ ], prędkość wiatru [ $\text{m/s}$ ] oraz całkowite natężenie promieniowania słonecznego na powierzchnię o orientacji S oraz pochyleniu do poziomu  $30^{\circ}$  [ $\text{W/m}^2$ ]” – warto byłoby uzasadnić jakie było kryterium wyboru stosując „wybrane wartości parametrów”.

Również w tak starannie przygotowanej pracy pojawiły się 3 błędy edytorskie:

- Str. 26. Powinno być „świece” zamiast „świcie” w zdaniu „Wskaźniki te, obok wskaźników ekonomicznych, od lat stanowią standard w tego typu zagadnieniach...”
- Str. 29. W zdaniu:  
„Degradacja akumulatora litowo-jonowego objawia się:  
- zmniejszeniem dostępnej pojemności,  
- wzrostem rezystancji wewnętrznej ogniw,  
- utratą mocy ogniw [74].”  
Cytowanie literatury (w tym przypadku pozycji [74]) powinno odbywać się przed dwukropkiem poprzedzającym punktory.
- Str. 64. W zdaniu „Z kolei utratę pojemności uzależniono od liczby przepracowanych cykli ładowania i rozładowania akumulatora.” należy skorygować „liczy” na „liczby”
- str. 126. Wymieniając w punkturach parametry ekonomiczne zabrakło przecinka po sformułowaniu „jednostkowych nakładów inwestycyjnych magazynu energii – CAPEX<sup>BAT</sup>”

Powyższe uwagi w żadnym stopniu nie umniejszają wartości pracy doktorskiej, a recenzowana praca wnosi wiele elementów nowości naukowej w części eksperymentalnej dla podjętego tematu badawczego. Analiza uzyskanych przez Doktorantkę wyników dostarcza bardzo wartościowych informacji możliwych do dalszego wykorzystania w pracach eksperymentalnych, aplikacyjnych, jak i naukowych. Na szczególne podkreślenie zasługuje biegłość naukowo-badawcza Autorki

w omawianej tematyce, dodatkowo Doktorantka pewnie porusza się w obszarze modeli matematycznych. Sformułowane cele naukowe zostały przez Doktorantkę osiągnięte. W związku z czym pracę oceniam bardzo pozytywnie.

### ***Oryginalność i główne walory rozprawy***

Trudno jest wykazywać innowację w budowaniu modeli, które wykorzystują istniejące programy. Idee modelowania zatem muszą być wyraźnie uzasadnione a ich cele konieczne, co udało się osiągnąć w przedstawionej do recenzji pracy doktorskiej. Autorka przeprowadziła analizy z najwyższą starannością. Dodatkową zaletą pracy jest jej syntetyczność, zwłaszcza w obszarze części literaturowej tj. 32 strony treści teoretycznej (30% przedstawionej w rozprawie treści). Część eksperymentalna stanowi aż 70% pracy, co umożliwia rzetelną ocenę naukowo-badawczą Doktorantki.

Doktorantka zrealizowała bardzo szeroki zakres analiz modelowych i uzyskała znaczną liczbę danych pozwalających na szczegółową analizę oraz zrealizowanie przyjętego w pracy celu. Zakres zrealizowanej pracy stanowi oryginalny dorobek Doktorantki, który bez wątpienia stanowi wartościowy pod względem naukowym i praktycznym wkład w dyscyplinę inżynieria środowiska górnictwo i energetyka.

Uzyskany w trakcie realizacji pracy materiał jest bardzo interesujący i z pewnością wart dalszej popularyzacji poprzez publikacje oraz konferencje naukowe oraz projekty badawczo-naukowe.

### ***Podsumowanie i wniosek końcowy***


Na podstawie przedstawionej mi do recenzji rozprawy doktorskiej, biorąc pod uwagę przedstawione wcześniej drobne uwagi i spostrzeżenia oceniam przedstawioną przez Panią mgr inż. Agatę Mielcarek rozprawę pt. „Długoterminowa niezawodność niezależnego systemu wytwórczego złożonego z instalacji fotowoltaicznej i elektrochemicznego magazynu energii” bardzo wysoko. Rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka, dowodzi także jej umiejętności samodzielnego planowania i prowadzenia badań naukowych. Stwierdzam ponadto, że recenzowana praca doktorska w pełni spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z art. 187 ustawy z dnia 20.07.2018 Prawo o szkolnictwie

wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668) oraz zgodnie z rozporządzeniem MNiSW z 19 stycznia 2018 r. (Dz. U. 2018 r. poz. 261).

Wobec powyższych faktów wnioskuję do Rady Naukowej Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki, Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie Doktorantki do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Z wyrazami szacunku

Dr hab. inż. Magdalena Wdowin prof. instytutu

Handwritten signature of Magdalena Wdowin in blue ink.

