

Wrocław, 2022.08.30

Dr hab. inż. Waldemar Dołęga prof. uczelni
Katedra Energoelektryki
Wydział Elektryczny

Politechnika Wrocławska
50-370 Wrocław
ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27
tel. (71) 3203465
fax (71) 3202656
e-mail: Waldemar.dolega@pwr.edu.pl

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Agaty Mielcarek
pt. „Długoterminowa niezawodność niezależnego systemu wytwórczego złożonego z
instalacji fotowoltaicznej i elektrochemicznego magazynu energii”

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Poznańskiej prof. dr hab. inż. Zbigniewa Nadolnego, przekazane pismem z dnia 27.06.2022 wraz z egzemplarzem rozprawy doktorskiej, a otrzymanym w dniu 13.07.2022.

1. Przedmiot rozprawy

Odnawialna generacja rozproszona stanowi ważny element zrównoważonego rozwoju kraju i jest w ostatnich latach najbardziej dynamicznie rozwijającym się obszarem krajowego sektora wytwórczego. Jej rozwój przynosi wymierne efekty ekologiczno-energetyczne i ma istotne znaczenie w obszarze bezpieczeństwa dostaw energii szczególnie na poziomie lokalnym i regionalnym. Dlatego znajduje się niezmiennie w centrum zainteresowania Unii Europejskiej i jest jednym celów strategicznych polityki energetycznej i ekologicznej państwa.

Odnawialna generacja rozproszona obejmuje różne typy układów rozproszonych (wiatrowe, fotowoltaiczne, wodne, biogazowe), które są bardzo zróżnicowane w aspekcie wyposażenia, właściwości jednostek i technologii. Mogą być one przyłączone do sieci dystrybucyjnej lub pracować niezależnie. Przy czym w ostatnim okresie istotnego znaczenia nabiera rozwój mikrosystemów elektroenergetycznych niskiego napięcia i mikroinstalacji prosumenckich, w których powszechnie występują m.in. instalacje fotowoltaiczne i akumulatorowe elektrochemiczne magazyny energii.

Dlatego problematyka odnawialnej generacji rozproszonej od wielu lat jest w centrum zainteresowania różnych ośrodków naukowo-badawczych w kraju i zagranicą, czego efektem jest wiele publikacji z tego zakresu dotyczących wielu różnych aspektów jej funkcjonowania. Znajdują się wśród nich m.in. publikacje dotyczące modelowania hybrydowych systemów wytwórczych, w tym systemów wytwórczych złożonych z instalacji fotowoltaicznej i akumulatorowego elektrochemicznego magazynu energii. Przy czym w odniesieniu do instalacji fotowoltaicznej i akumulatorowego elektrochemicznego magazynu energii wspomniany okres zainteresowania obejmuje okres ostatnich 25 lat i w bardzo ograniczonej formie ma związek z degradacją komponentów układu w czasie jego eksploatacji. Liczba publikacji odnosząca się do tej problematyki jest ograniczona i nie dotyczyła bezpośrednio

wymiarowania instalacji fotowoltaicznej i akumulatorowego elektrochemicznego magazynu energii z uwzględnieniem degradacji komponentów.

Wprawdzie, jak wspomniano, problematyka niezależnych hybrydowych systemów wytwórczych wykorzystujących odnawialne źródła energii jest znana i bardzo popularna w sferze naukowo-badawczej, to jednak waga, złożoność i wieloaspektowość problemu, ogromny postęp techniczny, technologiczny i informatyczny oraz coraz większe nagromadzenie i zróżnicowanie tych systemów sprawiają, że istnieje potrzeba opracowania odpowiedniego rozwiązania umożliwiającego właściwe modelowanie pracy tych systemów. Dlatego podjęcie tematu, w odniesieniu do jednego z najczęściej stosowanych rozwiązań takich systemów - instalacji fotowoltaicznej i akumulatorowego elektrochemicznego magazynu energii, w ramach rozprawy doktorskiej przez Doktorantkę było w pełni uzasadnione i właściwe. Świadczy ponadto o bardzo dużym rozeznaniu w problematyce dotyczącej niezależnych hybrydowych systemów wytwórczych oraz w obszarze dotyczącym niezawodności takich systemów. Doktorantka znalazła we wspomnianym obszarze naukowo-badawczym własny obszar realizując oryginalny, wartościowy i potrzebny program badawczy pozwalający na właściwe wymiarowanie hybrydowego niezależnego systemu wytwórczego złożonego z instalacji fotowoltaicznej i akumulatorowego elektrochemicznego magazynu energii. Dodatkowo, podjęcie tematu przez Doktorantkę było ważne w kontekście intensywnego rozwoju energetyki prosumenckiej i stosowania, tam gdzie ma to uzasadnienie, rozwiązań hybrydowych systemów złożonych z instalacji fotowoltaicznej i akumulatora elektrochemicznego.

Przeprowadzone przez Doktorantkę badania wychodzą temu naprzeciw, umożliwiają bowiem właściwe wymiarowanie niezależnego systemu wytwórczego złożonego z instalacji fotowoltaicznej i akumulatorowego elektrochemicznego magazynu energii. Takie rozwiązanie może stanowić pomocne narzędzie dla inwestorów i projektantów w procesie projektowania niezależnych hybrydowych systemów wytwórczych.

2. Przegląd treści rozprawy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska liczy łącznie 153 stron, 18 tabel, 88 rysunków i 105 pozycji literaturowych. Składa się z 9-ciu rozdziałów poprzedzonych wykazem najczęściej stosowanych oznaczeń, streszczeniem w języku polskim, streszczeniem w języku angielskim oraz uzupełnionych wykazem literatury.

W rozdziale 1 (Wprowadzenie) przedstawiono problematykę niezależnego systemu zasilającego złożonego z instalacji fotowoltaicznej i akumulatorowego elektrochemicznego magazynu energii która stanowi obszar badawczy Doktorantki.

W rozdziale 2 (Teza, cel i zakres pracy) przedstawiono tezę główną, uzupełnienie tezy, cel i zakres pracy oraz strukturę rozprawy doktorskiej.

W rozdziale 3 (Wybrane trendy w energetyce) przedstawiono wybrane trendy w energetyce związane bezpośrednio z tematyką rozprawy doktorskiej. Zwrócono szczególną uwagę na proces transformacji systemów energetycznych, wzrost liczby niezależnych systemów zasilających złożonych z instalacji fotowoltaicznych i akumulatorów elektrochemicznych, spadek kosztów technologii fotowoltaicznej i litowo-jonowej oraz wzrost kosztów energii elektrycznej pozyskiwanej przez odbiorców z sieci energetyki zawodowej.

W rozdziale 4 (Niezwadność w energetyce) przedstawiono wybrane elementy niezawadności w energetyce istotne w kontekście realizacji rozprawy doktorskiej. Zwrócono szczególną uwagę na definicje, klasyfikacje i wskaźniki niezawadności oraz niezawadność energetyczną dotyczącą wystarczalności generacji.

W rozdziale 5 (Wymiarowanie systemów z odnawialnymi źródłami energii) przedstawiono

przegląd literatury z ostatnich lat dotyczący metod wymiarowania systemów z odnawialnymi źródłami energii. Zwrócono uwagę na stosowane obecnie metody wymiarowania i założenia procesu wymiarowania, przy czym szczególny nacisk położono na analizę metod wymiarowania niezależnych systemów złożonych z instalacji fotowoltaicznej i akumulatorów elektrochemicznych.

W rozdziale 6 (Procesy degradacyjne) przedstawiono procesy degradacyjne. Zwrócono szczególną uwagę na zjawiska związane ze starzeniem i spadkiem wydajności krzemowych modułów fotowoltaicznych oraz litowo-jonowych akumulatorów elektrochemicznych.

W rozdziale 7 (Modelowanie niezależnego systemu PV/BAT) przedstawiono proces modelowania niezależnego systemu złożonego z instalacji fotowoltaicznej i elektrochemicznego magazynu energii zrealizowany przez Doktorantkę. Zwrócono szczególną uwagę na takie elementy jak: dane wejściowe, moc generowaną przez instalację fotowoltaiczną, stan naładowania akumulatorów elektrochemicznych, bilans energii w systemie, degradację elementów systemu, parametry oceny rozwiązań i proces symulacyjny.

W rozdziale 8 (Wyniki analiz i dyskusja) przedstawiono rezultaty analiz i przeprowadzono dyskusję wyników. Przy czym wyniki i wizualizacje symulacji pracy systemu ograniczono do dwóch zakresów pracy akumulatora obejmujących 25-100% oraz 65-75% pojemności spośród sześciu analizowanych. Dodatkowo przeprowadzono analizę porównawczą wymiarowania układu z uwzględnieniem i bez uwzględnienia degradacji elementów analizowanego systemu w perspektywie długoterminowej oraz przeprowadzono analizę wrażliwości wymiarowania tego systemu w aspekcie wpływu zmiany obciążenia, natężenia promieniowania słonecznego, parametrów ekonomicznych i dopuszczalnej wartości wskaźnika niezawodności.

W rozdziale 9 (Podsumowanie) przedstawiono uwagi i wnioski końcowe związane z realizacją pracy doktorskiej oraz osiągnięcia publikacyjne Doktorantki i kierunki dalszych prac Doktorantki.

W rozdziale (Literatura) przedstawiono obszerną bibliografię, która obejmuje 105 pozycji literaturowych. Znajdują się wśród nich: monografie, podręczniki akademickie, informatory, artykuły, referaty, normy, katalogi, informacje techniczne i instrukcje związane z przedmiotem badań realizowanym przez Doktorantkę.

3. Ocena merytoryczna treści rozprawy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska jest bardzo wartościowym i oryginalnym opracowaniem naukowym zarówno pod względem poznawczym jak i praktycznym, zawierającym obszerne i ciekawe wyniki badań analitycznych i symulacyjnych.

Prawidłowo uzasadniono cel badań polegający na opracowaniu 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.

Właściwie sformułowano tezę rozprawy w brzmieniu: *„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.”* którą w pełni udowodniono.

Właściwie sformułowano tezę pomocniczą rozprawy, określoną w rozprawie jako uzupełnienie do tezy głównej, w brzmieniu: *„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.” którą podobnie jak tezę główną w pełni udowodniono.

Tak więc, zarówno cel jak i tezy rozprawy (główna i pomocnicza) zostały dostatecznie jasno sformułowane przez Doktorantkę.

Bardzo cenna jest realizacja w ramach rozprawy doktorskiej symulacji dla sześciu zakresów pracy akumulatora (25-100%, 40-100%, 25-85%, 25-75%, 45-75%, 65-75%) i odpowiadających im modeli tempa spadku dostępnej pojemności. Pozwoliło to na przeprowadzenie analizy porównawczej wymiarowania układu złożonego z instalacji fotowoltaicznej i elektrochemicznego magazynu energii z uwzględnieniem i bez uwzględnienia degradacji komponentów w perspektywie długoterminowej oraz analizę wrażliwości procesu wymiarowania na zmiany: obciążenia, natężenia promieniowania, parametrów ekonomicznych i założonej dopuszczalnej wartości wskaźnika niezawodnościowego. Analizowane przypadki są bardzo istotne dla inwestorów i projektantów niezależnych hybrydowych układów wytwórczych złożonych z instalacji fotowoltaicznej i elektrochemicznego magazynu energii.

Problem naukowo-badawczy przedstawiony przez Doktorantkę w rozdziale 1 (Wprowadzenie) i rozdziale 2 (Teza, cel i zakres pracy) został rozwiązany w dwóch najważniejszych rozdziałach rozprawy doktorskiej – rozdziale 7 (Modelowanie niezależnego systemu PV/BAT) i rozdziale 8 (Wyniki analiz i dyskusja).

Rozwiązanie problemu poprzedziły analiza wybranych trendów w energetyce związana bezpośrednio z tematyką rozprawy doktorskiej przedstawiona w rozdziale 3 (Wybrane trendy w energetyce), przedstawienie podstaw teoretycznych na których oparto badania realizowane przez Doktorantkę dotyczące modelowania niezależnego systemu wytwórczego złożonego z instalacji fotowoltaicznej i elektrochemicznego magazynu energii przedstawione w rozdziale 4 (Niezwadność w energetyce), rozdziale 5 (Wymiarowanie systemów z odnawialnymi źródłami energii) i rozdziale 6 (Procesy degradacyjne) oraz przegląd literatury z ostatnich lat dotyczący metod wymiarowania systemów z odnawialnymi źródłami energii przedstawiony w podrozdziałach 5.2, 5.3, 5.4 i 5.5 rozdziału 5 (Wymiarowanie systemów z odnawialnymi źródłami energii).

Doktorantka przeprowadziła złożone i liczne badania analityczne i symulacyjne za pomocą oprogramowania Matlab w zakresie dotyczącym modelowania i wymiarowania niezależnego systemu wytwórczego złożonego z instalacji fotowoltaicznej i elektrochemicznego magazynu energii z uwzględnieniem i bez uwzględnienia degradacji jego komponentów w perspektywie długoterminowej.

Wyniki badań zamieszczone w rozprawie doktorskiej oraz opracowana metodologia mają dużą wartość zarówno poznawczą, jak i praktyczną.

Przedstawiona metoda modelowania i wymiarowania niezależnego systemu wytwórczego złożonego z instalacji fotowoltaicznej i elektrochemicznego magazynu energii z uwzględnieniem degradacji jego komponentów w perspektywie długoterminowej może stanowić bardzo pomocne narzędzie dla inwestorów i projektantów w procesie projektowania takich układów.

4. Ocena struktury rozprawy doktorskiej, podziału treści i poprawności językowej

Praca napisana jest w sposób staranny, jasny i zrozumiały przy użyciu bardzo dobrego języka naukowo-technicznego. Doktorant używa właściwej terminologii i zrozumiałych zwrotów technicznych. Przedstawia problematykę płynnie. Liczba błędów gramatycznych,

edycyjnych (literówek) i interpunkcyjnych jest stosunkowo mała. Szata graficzna pracy jest właściwa. Praca jest wszechstronnie zilustrowana, zawiera 18 tabel i 88 rysunków.

Struktura pracy oraz podział treści na rozdziały jest właściwa. Na początku rozprawy w rozdziale 1 przedstawiono wprowadzenie dotyczące obszaru badawczego Doktorantki, natomiast w rozdziale 2 tezę główną, tezę pomocniczą (uzupełnienie tezy głównej), cel i zakres pracy oraz strukturę rozprawy doktorskiej. Stanowi to naturalne umiejscowienie własnych zamierzeń Doktorantki, które chce zrealizować w rozprawie doktorskiej.

Rozdziały 3, 4, 5 i 6 mają walor poznawczy i stanowią podbudowę teoretyczną dla realizowanych badań nakreślając problematykę: obecnych trendów w energetyce; niezawodności w energetyce; wymiarowania systemów z odnawialnymi źródłami energii i procesów degradacyjnych w modułach fotowoltaicznych i ogniwach litowo-jonowych oraz badań wymiarowania systemów z odnawialnymi źródłami energii realizowanych w kraju i zagranicą na przestrzeni ostatnich lat.

Rozdziały 7 i 8 są najważniejsze w rozprawie doktorskiej i dotyczą bezpośrednio przeprowadzonych badań przez Doktorantkę. W rozdziale 7 przedstawiono szczegółowo proces modelowania niezależnego systemu wytwórczego złożonego z instalacji fotowoltaicznej i elektrochemicznego magazynu energii zaproponowany przez Doktorantkę obejmujący: dane wejściowe, moc generowaną przez instalację fotowoltaiczną, stan naładowania akumulatorów elektrochemicznych, bilans energii w systemie, degradację elementów systemu, parametry oceny rozwiązań i proces symulacyjny. Zaprezentowano to w sposób właściwy, wyczerpujący i nie budzący wątpliwości. W rozdziale 8 przedstawiono rezultaty analiz i przeprowadzono dyskusję wyników. Przy czym wyniki i wizualizacje symulacji pracy systemu ograniczono do dwóch skrajnych zakresów pracy akumulatora obejmujących 25-100% oraz 65-75% pojemności spośród sześciu analizowanych. Ponadto przeprowadzono analizę porównawczą wymiarowania układu PV/BAT z uwzględnieniem i bez uwzględnienia degradacji elementów analizowanego systemu w perspektywie długoterminowej. Dodatkowo przeprowadzono analizę wrażliwości wymiarowania analizowanego systemu w aspekcie wpływu zmiany obciążenia, natężenia promieniowania słonecznego, parametrów ekonomicznych i dopuszczalnej wartości wskaźnika niezawodności. Zakres i forma przeprowadzonych przez Doktorantkę analiz i badań jest właściwa. Zastosowane przez Doktorantkę opisy i prezentacje założeń i danych dla rozpatrywanych przykładów badawczych i wyniki obliczeń symulacyjnych są usystematyzowane, właściwe i dobrze zilustrowane w postaci głównie rysunków, na których przedstawiono m. in. deficyty mocy w układzie PV/BAT, energię zgromadzoną w akumulatorze, wskaźniki LOLP, pokrywanie zapotrzebowania na energię w układzie PV/BAT, energię elektryczną generowaną przez instalację PV, wskaźniki LCOE, deficyty energii w układzie PV/BAT, spadek dostępnej pojemności akumulatora na skutek degradacji. W ograniczonym stopniu Doktorantka stosowała do prezentacji tabele, co jest uzasadnione problematyką poruszaną w rozprawie doktorskiej. Doktorantka przeprowadziła usystematyzowaną wnikliwą dyskusję i wszechstronną analizę uzyskanych wyników.

Rozprawa doktorska została zakończona (rozdział 9) ciekawym podsumowaniem i interesującymi wnioskami końcowymi związanymi z realizacją pracy doktorskiej, zaprezentowaniem osiągnięć publikacyjnych Doktorantki oraz nakreśleniem kierunków dalszych prac związanych z modelowaniem i wymiarowaniem hybrydowych układów wytwórczych z zasobnikami energii z uwzględnieniem degradacji komponentów. Przedstawione przez Doktorantkę kierunki określają przyszłe obszary Jej aktywności naukowo-badawczej, dla których przedstawiona przez Doktorantkę ciekawa i wartościowa rozprawa doktorska stanowi początek tej aktywności. Na szczególne podkreślenie zasługują wartościowe publikacje z udziałem Doktorantki opublikowane w renomowanych międzynarodowych czasopismach naukowych z listy JCR takich jak: Applied Energy (IF:

9,746), Journal of Cleaner Production (IF:9.297), Sustainable Energy Technologies and Assessment (IF: 5,353), Energies (IF: 3,004) i Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability (IF: 2,176).

W Literaturze przedstawiono obszerną bibliografię do rozprawy doktorskiej, która obejmuje 105 pozycji literaturowych. Znajdują się wśród nich: monografie, podręczniki akademickie, informatory, artykuły, referaty, normy, katalogi, informacje techniczne i instrukcje związane z przedmiotem badań realizowanym przez Doktorantkę. Pozycje te są właściwie dobrane i odpowiednie w stosunku do tematyki rozprawy doktorskiej. Ponadto są to w zdecydowanej większości aktualne publikacje opracowane po 2010 r., napisane w języku angielskim i opublikowane w renomowanych czasopismach naukowych znajdujących się na liście JCR lub materiałach konferencyjnych uznanych konferencji naukowych z listy WoS i IEEE. Publikacje zamieszczone są w kolejności cytowania w tekście rozprawy. W tekście znajdują się odwołania do wszystkich publikacji, a Doktorantka cytuje je obszernie, prawidłowo i we właściwych miejscach swojej rozprawy. Świadczy to o bardzo dobrej znajomości przez Doktorantkę zarówno wspomnianych publikacji, jak i języka angielskiego.

Rozprawa doktorska opracowana przez Doktorantkę jednoznacznie wskazuje, że Doktorantka w bardzo dobrym stopniu opanowała umiejętność redagowania rozpraw i tekstów naukowych. Lektura rozprawy jest ciekawa i interesująca. Doktorantka bardzo dobrze czuje się w tematyce dotyczącej generacji rozproszonej, odnawialnych źródeł energii, hybrydowych źródeł wytwórczych oraz modelowania i wymiarowania niezależnego systemu wytwórczego złożonego z instalacji fotowoltaicznej i elektrochemicznego magazynu energii z uwzględnieniem degradacji jego komponentów w perspektywie długoterminowej. Doktorantka ma bardzo dużą wiedzę w tych obszarach i potrafi to przedstawić ją w sposób jasny i zrozumiały w tekście. Od początku do końca w pełni „panuje” nad tekstem rozprawy doktorskiej, realizując jej cel i udowadniając postawioną tezę główną i pomocniczą (uzupełnienie tezy głównej).

5. Główne osiągnięcie Doktorantki

Głównym osiągnięciem Doktorantki jest opracowanie metodologii i oprogramowania komputerowego w środowisku Matlab do modelowania i wymiarowania niezależnego systemu wytwórczego złożonego z instalacji fotowoltaicznej i elektrochemicznego magazynu energii z uwzględnieniem degradacji jego komponentów w perspektywie długoterminowej, która może stanowić bardzo pomocne narzędzie dla inwestorów i projektantów w procesie projektowania takich układów.

6. Uwagi szczegółowe i dyskusyjne

1. Str. 27-34 – Doktorantka przeprowadziła przegląd literatury z ostatnich lat dotyczący metod wymiarowania systemów z odnawialnymi źródłami energii opierając się tylko na źródłach zagranicznych, bez przedstawienia prac realizowanych w kraju. Tymczasem problematyka modelowania i wymiarowania hybrydowych systemów wytwórczych wykorzystujących odnawialne źródła energii czy mikrosystemów elektroenergetycznych niskiego napięcia w której takie systemy występują jest bardzo popularna w kraju i rozwijana w wielu krajowych ośrodkach naukowo-badawczych m.in. na: Politechnice Warszawskiej, Politechnice Gdańskiej, Politechnice Wrocławskiej, Politechnice Lubelskiej i Akademii Górniczo-Hutniczej, czego efektem są nie tylko ciekawe publikacje w renomowanych i uznanych, zagranicznych i krajowych czasopismach naukowych, ale również wartościowe rozprawy doktorskie.

Proszę o przedstawienie przesłanek, które zadecydowały o ograniczeniu analizy literaturowej tylko do prac badawczych realizowanych zagranicą i publikowanych w wybranych czasopismach naukowych i materiałach konferencyjnych. Ponadto proszę o podanie przykładów metod wymiarowania systemów z odnawialnymi źródłami energii opracowanych w kraju oraz wybranych krajowych publikacji dotyczących tej problematyki.

2. Str. 31 – Doktorantka stwierdziła, że w artykule [47] autorzy zwrócili uwagę na konieczność uwzględnienia czynników socjo-demograficznych w procesach optymalizacyjnych HSW.

Użyte przez Doktorantkę pojęcie czynników socjo-demograficznych ma charakter slangowy i może wynikać bezpośrednio z tłumaczenia z języka angielskiego. Jednak jest ono niewłaściwe w rozprawie doktorskiej. W tym przypadku można mówić o czynnikach społecznych i demograficznych. Proszę o podanie co Doktorantka rozumie pod pojęciem czynników socjo-demograficznych.

3. Str. 31 – Doktorantka stwierdziła, że do wymiarowania niezależnych systemów PV/BAT można zastosować szeroką gamę metod, w tym metody intuicyjne, numeryczne i analityczne. Ponadto stwierdziła że, dodatkowo dostępne są komercyjne narzędzia programowe do optymalnego wymiarowania systemów PV/BAT.

Jest to stwierdzenie o wysokim poziomie ogólności, proszę o podanie i krótkie scharakteryzowanie przez Doktorantkę przykładowych komercyjnych narzędzi komputerowych służących do optymalnego wymiarowania instalacji fotowoltaicznej i elektrochemicznego magazynu energii.

4. Str. 37 – Doktorantka stwierdziła, że najbardziej niekorzystne jest występowanie rozwarstwienia na krawędziach modułu lub jego spodniej stronie, ponieważ oprócz degradacji, generuje zagrożenie elektryczne dla modułu, jak i całej instalacji..

Jest to stwierdzenie o wysokim poziomie ogólności szczególnie w kontekście oddziaływania na instalację fotowoltaiczną, która jest złożona z wielu elementów składowych, proszę o podanie przez Doktorantkę przykładów negatywnych skutków rozwarstwienia na krawędziach modułu lub jego dolnej stronie w odniesieniu do elementów instalacji fotowoltaicznej.

5. Str. 64 – Doktorantka w rozprawie doktorskiej przyjęła stopień degradacji modułów fotowoltaicznych w ciągu pierwszego roku na poziomie 2,5% oraz dalszy coroczny spadek wydajności równy 1% w odniesieniu do mocy znamionowej.

Proszę o podanie na jakiej podstawie przyjęto procentowe spadki wydajności i z czego to wynika oraz czy są to wartości uśrednione.

6. Str. 64 – Doktorantka w rozprawie doktorskiej ograniczyła się do analizy 6-ciu charakterystycznych wariantów przedziałów pracy akumulatorów, odnoszących się do poziomu wykorzystywania dostępnej pojemności: 25-100%, 40-100%, 25-85%, 25-75%, 45-75% i 65-75%.

Proszę o przedstawienie przesłanek, które zadecydowały o wyborze takich, a nie innych wariantów przedziałów pracy akumulatorów, bowiem w literaturze spotyka się również analizy dla wielu innych przedziałów pracy akumulatorów.

7. Str. 66 – Doktorantka stwierdziła, że poza liczbą cykli pracy oraz minimalnym stopniem rozładowania i maksymalnym stopniem naładowania akumulatora, wśród czynników wpływających na tempo degradacji wymienia się wartość temperatury pracy, wartość temperatury i czas przechowywania podczas braku użytkowania, a także natężenie przepływającego prądu oraz dodała, że wymienione czynniki zostały pominięte w prezentowanym modelu.

Proszę o podanie przez Doktorantkę przyczyn pominięcia wspomnianych czynników w modelu, brak jest bowiem w pracy dyskusji na ten temat. Ponadto proszę o podanie jaką wartość temperatury oprócz wartości temperatury pracy Doktorantka ma na myśli.

8. Str. 70 – Doktorantka w rozprawie doktorskiej przyjęła wartości kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych dla instalacji fotowoltaicznej i elektrochemicznych magazynów energii na podstawie zagranicznej publikacji [97] zamieszczonej w czasopiśmie naukowym *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* w 2019, nie uwzględniającej realiów krajowych.

Proszę o wyjaśnienie jak te koszty kształtują się w stosunku do poziomu kosztów krajowych, brak jest bowiem informacji w tym względzie.

9. Str. 73 – Doktorantka stwierdziła, że wyboru najlepszego wariantu konfiguracji systemu z przestrzeni poszukiwań dokonuje się na podstawie najniższej wartości wskaźnika LCOE spośród kombinacji, które nie przekraczają zadanej wartości wskaźnika LOLP, który przyjęto na poziomie 5%.

Proszę o podanie przez Doktorantkę co zdecydowało o tym i dlaczego ten poziom wynosi 5%. Brak jest bowiem w pracy wyjaśnienia w tym względzie.

10. Str. 89, 107 – Doktorantka stwierdziła, że uwzględniając degradację komponentów, poprzednio wybrana konfiguracja budowy układu (7,5 kWh, 11,2 kW_p) nie jest w stanie zapewnić wymaganego poziomu niezawodności w 15-tym roku eksploatacji (LOLP ≤ 5%) i dodała, że aby osiągnąć żądany poziom niezawodności w ostatnim roku eksploatacji konieczne jest przewymiarowanie układu. Analogiczne stwierdzenie w odniesieniu do wybranej konfiguracji budowy układu (42,5 kWh, 14,7 kW_p) znajduje się na stronie 107.

Proszę o podanie przez Doktorantkę czy zaobserwowana konieczność przewymiarowania układu w celu osiągnięcia żadanego poziomu niezawodności w ostatnim roku eksploatacji i określenie wymaganej konfiguracji budowy układu może zostać wstępnie ustalona przez eksperta na podstawie analizy danych wejściowych i zależności zaobserwowanych przez Doktorantkę bez konieczności przeprowadzenia złożonych obliczeń symulacyjnych na modelu.

11. Str. 109 – Doktorantka niewłaściwie umieściła legendę (Instalacja PV, Akumulator, Deficyt energii) na rys 8.32. *Bilans zapotrzebowania na energię w układzie w kolejnych latach eksploatacji dla najlepszego wariantu* przez co niemożliwy jest odczyt wielkości energii elektrycznej dla akumulatora i deficytu energii dla pierwszych 5-ciu lat eksploatacji.

12. Str. 120-140 – Doktorantka przeprowadziła analizę wrażliwości wymiarowania systemu w aspekcie wpływu zmiany obciążenia, natężenia promieniowania słonecznego, parametrów ekonomicznych (jednostkowe koszty inwestycyjne i eksploatacyjne dla instalacji fotowoltaicznej i elektrochemicznego magazynu energii) i dopuszczalnej wartości wskaźnika niezawodności.

Proszę o przedstawienie przesłanek, które zdecydowały o wyborze wspomnianych elementów do realizacji analizy wrażliwości i wskazanie które mają kluczowy wpływ na wymiarowanie systemu złożonego z instalacji fotowoltaicznej i elektrochemicznego magazynu energii.

13. Str. 133 – Doktorantka niewłaściwie umieściła legendę (0,8CAPEX^{BAT}, CAPEX^{BAT}, 1,2CAPEX^{BAT}) na rys 8.54. *Wpływ zmiany CAPEX^{BAT} na wyniki procesu wymiarowania w zakresie doboru mocy zainstalowanej instalacji PV* przez co niemożliwy jest odczyt mocy zainstalowania instalacji PV dla poziomu kosztów CAPEX^{BAT} i 1,2CAPEX^{BAT} dla dwóch wartości przedziału wykorzystywanej pojemności akumulatora 25-100% i 40-100%.

14. Str. 139 – Doktorantka stwierdziła, że zarówno zwiększenie, jak i zmniejszenie wartości stopy dyskontowej w żadnym z rozważanych przypadków zakresu pracy akumulatora nie wpłynęło na zmianę doboru jego znamionowej pojemności ani też zainstalowanej mocy instalacji fotowoltaicznej. Dodatkowo, zwiększenie stopy dyskontowej powoduje, że wskaźnik LCOE wzrasta, natomiast zmniejszenie – że wskaźnik LCOE maleje.

Przedstawiona analiza dotyczy wartości stopy dyskonta r na poziomie 7% oraz 5,6% (0,8 r) i 8,4% (1,2 r) Proszę o podanie przez Doktorantkę jak to wygląda w odniesieniu do różnych wartości stopy dyskonta stosowanych w kraju przy analizach ekonomicznych

inwestycji w obszarze OZE. Zamieszczenie takiego przykładu w rozprawie byłoby bardzo cenne dla potencjalnych inwestorów.

15. Str. 145 – Doktorantka stwierdziła, że wprowadzie opracowana przez Nią metoda posiada pewne ograniczenia do których zaliczyła m.in.: przyjęty profil obciążenia charakterystyczny dla danego odbiorcy, przyjęty profil meteorologiczny zależny od lokalizacji, przyjęty zakres przestrzeni poszukiwań zależny od rozmiaru instalacji, krok definiujący dokładność otrzymywanych wyników, przyjęte wartości niektórych parametrów technicznych i ekonomicznych, ale opracowany model w środowisku Matlab jest uniwersalny i dostosowany do potrzeb Użytkownika.

Proszę o wyjaśnienie czy model Doktorantki był wykorzystywany w innych badaniach niż te zrealizowane w rozprawie doktorskiej, w których brano pod uwagę np. inne profile obciążenia czy inne profile meteorologiczne czy inne parametry techniczne i ekonomiczne i czy znalazło to swoje odzwierciedlenie w publikacji naukowej.

Przedstawione powyżej uwagi szczegółowe i dyskusyjne nie obniżają wartości merytorycznej rozprawy i nie umniejszają osiągnięć Doktorantki.

7. Uwagi redakcyjne

Usterki redakcyjne w rozprawie doktorskiej dotyczą błędów gramatycznych, edycyjnych (literówek) i interpunkcyjnych. Liczba tych usterek jest stosunkowo mała.

Błędy gramatyczne wiążą się z: niewłaściwą formą zdania: (str.53) „...ładowanie nie zaszło w ogóle ze względu na osiągnięcie maksymalnej założonej wartości energii...”, które powinno brzmieć „...ładowanie nie nastąpiło ze względu na osiągnięcie maksymalnej założonej wartości energii ...”; (str.54) „...rozładowanie nie zaszło w ogóle ze względu na osiągnięcie minimalnej założonej wartości energii...”, które powinno brzmieć „...rozładowanie nie nastąpiło ze względu na osiągnięcie minimalnej założonej wartości energii ...”; (str.73) „...dokonuje się na podstawie najniższej wartości wskaźnika LCOE spośród kombinacji ...”, które powinno brzmieć „...dokonuje się na podstawie najmniejszej wartości wskaźnika LCOE spośród kombinacji ...”; (str.112) „...ograniczenie tempa degradacji akumulatora w ciągu lat eksploatacji ...”, które powinno brzmieć „...ograniczenie tempa degradacji akumulatora w ciągu okresu eksploatacji ...”; (str.144) „...Za pomocą prezentowanej analizy porównawczej autorka ukazała i wyznaczyła konieczną skalę przewymiarowania systemu...”, które powinno brzmieć „...Za pomocą prezentowanej analizy porównawczej autorka pokazała i wyznaczyła konieczną skalę przewymiarowania systemu...” i (str.144) „...zapewnienie żądanego poziomu niezawodności w perspektywie lat eksploatacji...”, które powinno brzmieć „...zapewnienie żądanego poziomu niezawodności w perspektywie okresu eksploatacji...”.

Błędy gramatyczne ponadto wiążą się z użyciem nieodpowiedniego lub slangowego słowa w zdaniu: (str.33) „...Najpierw autorzy zamodelowali elementy systemu...”, które powinno brzmieć „...Na początku autorzy zamodelowali elementy systemu ...” i (str.37) „...szkła hartowanego z przedniej strony modułu lub tworzywa pokrywającego spód modułu...”, które powinno brzmieć „...szkła hartowanego z przedniej strony modułu lub tworzywa pokrywającego dolną część modułu ...”.

Błędy edycyjne pojawiają się na: str. 7 („...(ang. *Levelized Cost of Electricity*)...”, a powinno być „...(ang. *Levelized Cost of Electricity*)...”); str. 9 („...rozpatrywano alternatywne podejście do procesu wymiarowania...”, a powinno być „...rozpatrywano alternatywne podejście do procesu wymiarowania...”); str. 19 („...wskaźnik uczenia się dla modułów fotowoltaicznych wnosi 20,2%...”, a powinno być „...wskaźnik uczenia się dla modułów fotowoltaicznych wynosi 20,2%...”); str. 25 („...w rozpatrywanym okresie [dni/rok], [h/rok],

[h/tydzień], [h/dobę]...”, a powinno być „...w rozpatrywanym okresie [dni/rok], [h/rok], [h/tydzień], [h/doba]...”); str. 26 („...zagadnieniach rozważanych przez naukowców na całym świecie....”, a powinno być „...zagadnieniach rozważanych przez naukowców na całym świecie....”); str. 31 („...szeregi czasowe zmiennych meteorologicznych z 1-godzinnym krokiem....”, a powinno być „...szeregi czasowe zmiennych meteorologicznych z 1-godzinnym krokiem....”); str. 34 („...dane wejściowe bazujące na profilu meteorologicznym Malezji....”, a powinno być „...dane wejściowe bazujące na profilu meteorologicznym Malezji....”); str. 54 („...czy rozładowanie akumulatora nie spowoduje....”, a powinno być „...czy rozładowanie akumulatora nie spowoduje....”); str. 64 („...od liczby przepracowanych cykli ładowania i rozładowania akumulatora....”, a powinno być „...od liczby przepracowanych cykli ładowania i rozładowania akumulatora....”); str. 73 („...w ostatnim 15-stym roku eksploatacji....”, a powinno być „...w ostatnim 15-tym roku eksploatacji...”); str. 118 („...po 15-stu latach eksploatacji....”, a powinno być „...po 15-tu latach eksploatacji...”) i str. 151 („...Degradationfor Cell Life Assessment....”, a powinno być „...Degradation for Cell Life Assessment...”).

Informacje o błędach interpunkcyjnych zostały naniesione ołówkiem przez Recenzenta na otrzymanym egzemplarzu rozprawy doktorskiej wraz z propozycjami zmian.

Przedstawione powyżej uwagi redakcyjne nie obniżają wartości merytorycznej rozprawy i nie umniejszają osiągnięć Doktorantki.

8. Wniosek końcowy

Opiniowana rozprawa doktorska mgr inż. Agaty Mielcarek stanowi wartościowe i oryginalne opracowanie, które przedstawia rozwiązanie interesującego, aktualnego i ważnego dla praktyki problemu naukowego dotyczącego modelowania i wymiarowania niezależnego systemu wytwórczego złożonego z instalacji fotowoltaicznej i elektrochemicznego magazynu energii z uwzględnieniem degradacji jego komponentów w perspektywie długoterminowej.

Przedstawione przez Doktorantkę rezultaty badań analitycznych i symulacyjnych w zakresie dotyczącym modelowania i wymiarowania niezależnego systemu wytwórczego złożonego z instalacji fotowoltaicznej i elektrochemicznego magazynu energii z uwzględnieniem degradacji jego komponentów w perspektywie długoterminowej są interesujące, a wnioski przedstawione przez Doktorantkę z nich wynikające są spójne i logiczne. Mają dużą wartość poznawczą i praktyczną, bowiem opracowana przez Doktorantkę metodologia i jej implementacja komputerowa w środowisku Matlab może stanowić bardzo pomocne narzędzie dla inwestorów i projektantów w procesie projektowania hybrydowych układów wytwórczych składających się z instalacji fotowoltaicznej i elektrochemicznego magazynu energii.

Recenzowana rozprawa wykazuje ponadto bardzo dobrą ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w obszarze nauk inżynierijno-technicznych w dyscyplinie naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka oraz umiejętność samodzielnego tworzenia metodyki badań oraz prowadzenia pracy naukowej.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska opracowana przez mgr inż. Agatę Mielcarek spełnia w pełni warunki stawiane rozprawom doktorskim w art. 187. Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r., poz. 1668 z późn. zm.).

W związku z tym wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Jednocześnie biorąc pod uwagę bardzo wysoki poziom merytoryczny rozprawy doktorskiej, osiągnięte wyniki i możliwości jej praktycznego wykorzystania w procesie

projektowania niezależnego systemu wytwórczego złożonego z instalacji fotowoltaicznej i elektrochemicznego magazynu energii stawiam wniosek o wyróżnienie rozprawy.



Waldemar DOŁĘGA