



Politechnika Wrocławska

Katedra Energoelektryki

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Biuro Rady Dyscypliny
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika
i Technologie Kosmiczne
wpłynęło dnia 8.10.2024
nr zał.

Wrocław, 02.10.2024 r.

dr hab. inż. Robert Lis, prof. uczelni

robert.lis@pwr.edu.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgra inż. Bogdana Mola

„Ocena możliwości poprawy niezawodności oraz lokalnego bezpieczeństwa energetycznego sieci SN i nN współpracujących z generacją rozproszoną”

Promotor pracy: prof. dr hab. inż. Paweł Sowa

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest uchwała Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Śląskiej nr 57/2024 z dnia 16 lipca 2024 roku oraz zawiadomienie nr RDAEETK.512.7.2024 z dnia 5 sierpnia 2024 r. podpisane przez Przewodniczącą Rady Dyscypliny prof. dr hab. inż. Monikę Kwokę. Recenzja opiera się o postanowienia ustawy o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz.U. z 2017 r. poz. 1789) oraz Ustawę z 3 lipca 2018 r. - Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r. poz. 1669 z późn. zm.).

1 Wybór tematu rozprawy

Od kilku lat obserwuje się intensywny rozwój nowoczesnych sieci dystrybucyjnych. Charakteryzują się one tym, że w ich strukturze znajdują się rozproszone źródła energii, sterowalne odbiory oraz systemy magazynowania energii, często także są to elementy, które obejmują swoim zakresem różne postaci energii, nie tylko energię elektryczną. Polski termin generacja rozproszona, nie mający raczej rozpowszechnionych synonimów odpowiada kilku angielskim słowom kluczowym – *distributed, dispersed, decentralized, embedded generation* (DG, EG). Rozproszenie generacji energii elektrycznej polega na produkowaniu jej tam, gdzie sieć elektroenergetyczna nie była pierwotnie przewidywana do przyłączania elementów wytwórczych. Dlatego postępuje decentralizacja systemów elektroenergetycznych i badania niezawodności systemów elektroenergetycznych zmieniają swój charakter. O ile w systemie, który był zarządzany centralnie jednostka zajmująca się planowaniem systemu była odpowiedzialna za badania niezawodnościowe, o tyle w zdecentralizowanych systemach

inwestycje w obiekty do produkcji i/lub przesyłu energii elektrycznej są motywowane m. in. aspektami rynkowymi. Niezawodność systemu tylko pośrednio jest brana pod uwagę - zmniejszenie niezawodności systemu może spowodować wzrost cen energii (wytworzenia lub w węzłach systemu) i stanowi to bodziec do inwestycji w jednostki wytwórcze i/lub elementy sieci elektroenergetycznej.

W klasycznej analizie niezawodności wynikami są techniczne wskaźniki niezawodności, zwykle częstości i czas trwania przerw itp. i są one zazwyczaj używane do badania spełnienia założonych kryteriów. W zliberalizowanym środowisku te wskaźniki niezawodności są włączane do modeli oceny ekonomicznej. Oferuje to nowe możliwości dla oceny i dla ogólnego stosowania analiz niezawodności, ale oczywiście wymaga także odpowiednich badań w tych nowych obszarach.

Generalnym problemem w ocenie niezawodności jest to, że utrzymanie określonego poziomu jakości dostawy energii elektrycznej (czy też jakości zaopatrywania odbiorców w energię elektryczną) wymaga nakładów ze strony operatora systemu, podczas gdy niedostateczna jakość generuje koszty głównie po stronie odbiorców. Dla jednostek samorządu terytorialnego i odbiorców przemysłowych jakość zasilania energią elektryczną nadal pozostają – wraz z ceną – najbardziej interesującymi cechami energii elektrycznej. O jakości zasilania energią elektryczną, a zatem o niezawodności dostawy energii elektrycznej i w dużym stopniu o jej jakości decyduje niezawodność urządzeń i układów służących wytwarzaniu, przesyłaniu i rozdzielaniu energii elektrycznej – czyli niezawodność całego systemu elektroenergetycznego. Włączanie niezawodności dostawy do cech jakościowych energii elektrycznej a zatem utożsamianie jakości energii z jakością zasilania jest błędne, ponieważ czym innym jest proces dostarczania „towaru” (energii elektrycznej), charakteryzowany przez jakość jego realizacji - niezawodność; a czym innym są istotne parametry tego towaru, określające przez swoje wartości jego jakość - jakość energii elektrycznej (jakość napięcia). Problem jakości zaopatrywania odbiorców w energię elektryczną można zatem podzielić na trzy zagadnienia:

- jakość dostarczanej energii elektrycznej (jakość napięcia),
- niezawodność dostawy energii elektrycznej (niezawodność-ciągłość zasilania),
- jakość obsługi odbiorcy (klienta).

W zliberalizowanej elektroenergetyce budowa i lokalizacja nowych jednostek wytwórczych, także w kontekście generacji rozproszonej, podyktowana jest względami rynkowymi w ramach obowiązującej polityki (np. subsydia i zachęty) oraz złożonych regulacji prawnych. Problem znalezienia odpowiedniej równowagi pomiędzy możliwie niskimi kosztami operacyjnymi i kapitałowymi a odpowiednią niezawodnością systemu jest kluczowy. Podczas gdy wykonanie obliczeń tylko dla finansowych aspektów zarządzania aktywami jest stosunkowo proste, określenie i ocena technicznych wskaźników niezawodności jest znacznie trudniejsze. Główna trudność to fakt, iż nie istnieją szczegółowe modele ilościowego oddziaływania większości czynników mających wpływ

na niezawodność systemu elektroenergetycznego w warunkach liberalizacji i konkurencji na długoterminową dyspozycyjność urządzeń i przez to na niezawodność systemu elektroenergetycznego (bezpieczeństwo i wystarczalność). Recenzowana rozprawa doktorska proponuje metodę oceny stanu bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej do odbiorców skupionych w ramach społeczności energetycznych z wykorzystaniem generacji rozproszonej. Analiza koncentruje się na klastrach energii, które funkcjonują w polskim porządku prawnym od roku 2015. Są to podmioty charakteryzujące się określoną specyfiką, jednak duża część problemów przez nie identyfikowanych ma charakter uniwersalny – może dotyczyć innych form energetyki społecznej, w tym obywatelskich społeczności energetycznych, wprowadzonych do polskiego porządku prawnego w roku 2023 jako element transpozycji Dyrektyw Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 2019/944 oraz 2018/2001.

Biorąc powyższe pod uwagę uznaję tematykę rozprawy za ważną, aktualną oraz wybraną prawidłowo, zarówno pod względem naukowym jak i praktycznym. Do zalet pracy zaliczam wybór tematu rozprawy – bardzo istotnego w aspekcie technicznym, poznawczym, a w przyszłości pewnie także komercyjnym. W dziedzinie jakości dostaw energii elektrycznej, jakości zasilania energią elektryczną, czy też jakości zaopatrywania odbiorców w energię elektryczną od pewnego czasu nie pojawiają się nowe propozycje obszarów badawczych. Tematyka rozważana przez Autora jest nową propozycją, tym większa zasługa Doktoranta i Promotora.

2 Ogólna ocena rozprawy

Opiniowana rozprawa zawiera 97 stron, przy czym część główna zawiera 83 strony tekstu wraz z ilustracjami, tabelami oraz wykazem literatury zawierającym 70 pozycji. Pozostałe strony to strona tytułowa, streszczenie rozprawy, wykaz podstawowych oznaczeń i skrótów oraz załączniki, w których zamieszczono tabele z raportami z obliczeń oraz schemat sieci testowej (sieci modelowej o strukturze klastrowej). Zabrakło zamieszczenia na końcu rozprawy listy publikacji z udziałem Autora rozprawy doktorskiej.

Część główna rozprawy podzielona została na pięć rozdziałów wliczając w nie zarówno rozdział wprowadzający, jak i podsumowujący całą rozprawę. W rozprawie zabrakło także osobnego rozdziału ze wskazaniem kierunków dalszych badań Doktoranta.

Przegląd literatury obejmuje zagadnienia związane z bezpieczeństwem energetycznym, niezawodnością pracy sieci elektroenergetycznej, elastycznością sieci, energetyką lokalną oraz klastrami energii, które wspierają integrację energetyki rozproszonej i angażują lokalną społeczność. Wiele pozycji literaturowych wykazanych przez Autora prezentuje tematykę zbieżną z tematem rozprawy doktorskiej, co świadczy o aktualności tematyki badań. Stwierdzam, że przegląd literatury został przeprowadzony w rozprawie powierzchownie, jest adekwatny i wystarczający jedynie w dostatecznym stopniu. Brak wszystkich odsyłaczy do źródeł w spisie literatury (rozdz. 6) uznaję

za uchybienie, np. brak odsyłaczy do poz. [22], [23], [24], [30], [31], [32], [42], [43] uniemożliwia czytelnikowi łatwe odnalezienie i zweryfikowanie użytych materiałów. Najstarsza pozycja w wykazie literatury datowana jest na rok 1988, najnowsza pochodzi z roku 2022.

W rozdziale pierwszym, wprowadzającym, można znaleźć uzasadnienie podjęcia tematu badań oraz tezy rozprawy. Są to odpowiednio:

Teza 1: *Istnieje metoda przeprowadzania analizy poprawy lokalnego bezpieczeństwa energetycznego w warunkach energetyki rozproszonej.*

Teza 2: *Niezawodność zasilania odbiorców przyłączonych do sieci SN i nN może być powiększona dla energetyki rozproszonej.*

Tezy pracy są napisane niezbyt czytelnie, nie wynika z nich rzeczywista korzyść będąca efektem zaproponowanej metody analizy. Jako czytelnik czekam niecierpliwie na dalszy ciąg i bardziej szczegółowe wyjaśnienia. Moim zdaniem, udowodnienie tez może mieć znaczenie praktyczne dla poprawy stanu bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej do odbiorców skupionych w ramach społeczności energetycznych z wykorzystaniem generacji rozproszonej. Potrzebujemy narzędzi obliczeniowych i danych do przeprowadzenia obliczeń wykorzystujących modele sieci (np. o strukturze klastrowej) i wskaźniki niezawodności, a także wskaźników i metod pozwalających na wykorzystanie wyników tych modeli i metod do odpowiednich zastosowań praktycznych. Dalsza część rozdziału to krótki opis założeń rozprawy ze wskazaniem na zbilansowane terenowe sieci elektroenergetyczne. Według słów autora podstawowym problemem poruszonym w rozprawie jest znalezienie zależności pomiędzy lokalizacją i wartością mocy dostępnej w sieci elektroenergetycznej pochodzącej z różnego rodzaju źródeł rozproszonych, w odniesieniu do możliwości utrzymania parametrów jakościowych pracy sieci elektroenergetycznej i zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa energetycznego odbiorców. Następnie Autor odniósł się do spotykanych w literaturze pojęć bezpieczeństwa energetycznego i niezawodności zasilania odbiorców oraz przedstawił kompendium wiedzy obejmujące miary zdolności systemu, wyrażone przez wskaźniki ilościowe, do dostarczania energii elektrycznej do wszystkich punktów zapotrzebowania w wymaganej ilości, przy zachowaniu akceptowalnych standardów jakości. W tym rozdziale Autor zawarł również podstawowe zagadnienia związane z energetyką lokalną i generacją rozproszoną.

Rozdział drugi to opis rozwiązań, które mają wpływ na poziom lokalnego bezpieczeństwa elektroenergetycznego przykładowej sieci terenowej i jej niezawodności: technicznego oraz organizacyjnego, w postaci uczestnictwa wybranej jednostki samorządu terytorialnego (JST) w klastrach energii. Autor dokonał oceny współpracy JST z lokalnym OSD i jako pozytywny przykład podał próbę wydzielenia do pracy wyspowej fragmentu sieci terenowej, która w układzie normalnym zasilą wybrane obiekty infrastruktury krytycznej. W rozdziale tym zaprezentowano także analizę

obszarowych wskaźników dotyczących przerw i/lub ograniczeń w dostawie energii z wykorzystaniem danych pozyskanych od lokalnego OSD (z dwóch wybranych farm fotowoltaicznych, przyłączonych do sieci dystrybucyjnej różnych OSD).

W rozdziale trzecim opisano bardziej szczegółowo wykorzystane w rozprawie metody badawcze i narzędzia służące do wyznaczania optymalnych stanów pracy systemu elektroenergetycznego. Zaprezentowano także modele matematyczne sieci modelowej, odbiorów oraz źródeł rozproszonych dostępnych w programie OeS 6 (IPC Sp. z o.o.), który jest dedykowany do wykonywania obliczeń rozptylowych i zwarciovych. Wypracowano również dwuetapową metodę analizy trendów zmian parametrów w sieci modelowej w zależności od lokalizacji i mocy zainstalowanej źródeł generacji rozproszonej. W etapie 1 rozpatrzono następujące warianty zbilansowania sieci modelowej: bez generacji, przewaga odbioru, bilansowanie oraz przewaga generacji. W etapie drugim, na podstawie wariantowych rozptyłów mocy i napięcia w sieci modelowej, dokonano oceny zmian kierunków przepływu mocy w gałęziach oraz wartości parametrów wg kryterium napięciowego. Autor rozprawy również zamieścił wyniki wariantowych obliczeń wartości prądów zwarciovych.

Rozdział czwarty, w którym niejako powtórzono przegląd literatury, zawiera rozważania teoretyczne o elastyczności sieci oraz sposobie pozyskiwania usług elastyczności. Autor, w sposób tabelaryczny, przedstawił cechy pozyskiwanych usług elastyczności przez OSD na przykładzie Wielkiej Brytanii.

Rozdział piąty zawiera podsumowania, wnioski, wykaz istotnych osiągnięć rozprawy oraz pomysły Autora rozprawy na dalsze badania.

Integralną częścią pracy są załączniki, ograniczone do siedmiu tabel prezentujących dane do analiz i wyniki obliczeń symulacyjnych oraz dwóch schematów sieci modelowej z podanymi wynikami symulacji.

Strukturę rozprawy oraz jej zawartość oceniam pozytywnie z jedną uwagą dotyczącą umiejscowienia rozdziału 4, który zawiera rozważania teoretyczne. W pracy zastosowano poprawną metodę badawczą, rozumianą jako zbiór czynności niezbędnych do rozwiązywania problemu technicznego. W tym łańcuchu działań zawarto: (1) przedstawienie problematyki i tematu rozprawy w szerszej perspektywie, (2) prezentację stanu wiedzy, (3) rozważania teoretyczne, (4) badania symulacyjne (dla zróżnicowanych wariantów/zbioru danych) oraz (5) podsumowanie i wnioski końcowe.

Każda nowa tematyka badawcza w technice, także ta rozważana przez Autora, ma dwa ważne etapy rozwoju. Pierwszy to działania prowadzone niekiedy z relatywnie słabym odniesieniem do analizowanego obiektu, z mniejszą atencją dla szczegółów podmiotu rozważań (w tym przypadku jakości zasilania w sieciach klastrowych) - służą one głównie doskonaleniu narzędzi analizy. Drugi etap

to aplikacja dojrzałych narzędzi i ocena praktycznych efektów ich zastosowania. W opinii recenzenta oceniana praca przynależy do drugiego wyróżnionego etapu i jest jego cennym elementem.

Praca jest ciekawa i zasługuje na pozytywną ocenę merytoryczną, wnosi nowe elementy do dyskusji na temat jakości dostaw energii elektrycznej, prowokuje pytania, jest dobrym zaczynem dyskusji. Tak należy traktować przedstawione w kolejnym punkcie recenzji uwagi krytyczne – jako głos w naukowej dyskusji z Autorem.

3 Wątpliwości i uwagi dyskusyjne

W trakcie lektury rozprawy nasunęło mi się kilka pytań i wątpliwości. Większość z nich ma charakter dyskusyjny, dlatego proszę o odpowiedź na nie w trakcie publicznej obrony.

1. W treści rozdziału 2.4 Autor przedstawia normalny układ pracy centrum energetycznego oraz układ awaryjny, w którym generator wiatrowy ma pełnić rolę awaryjnego zasilania. Generator wiatrowy może być elementem systemu awaryjnego zasilania, ale zazwyczaj wymaga integracji z innymi technologiami, takimi jak magazynowanie energii czy inne źródła zasilania, aby zapewnić niezawodne działanie w każdej sytuacji. Autor nie określa tych istotnych czynników, które należy wziąć pod uwagę, aby to było efektywne i niezawodne rozwiązanie.
2. W rozdziale 2.4, na str. 35, rys. 5, Autor przedstawia koncepcję pracy wyspowej minicentrów energetycznych oraz grup minicentrów energetycznych. Odłączenie jednostki rozproszonej od sieci w warunkach utraty zasilania podstawowego jest operacją naturalną i uzasadnioną. Bardzo ważne jest jednak przejście jej do pracy na odbiory wydzielone, czyli na „wyspę” – bo tak naprawdę bronimy się przed pracą wyspową niekontrolowaną. W tym przypadku chodzi jednak o „wyspę kontrolowaną/intencjonalną”. Taka wyspa może być z powodzeniem utworzona, gdy rozpatrujemy źródło wytwórcze pracujące nie tylko na sieć (*grid-on*), ale także (a właściwie przede wszystkim) jako zasilanie dużego odbioru typu (*grid-off*): ZSP, ZP. Należy brać pod uwagę możliwość przejścia do pracy w warunkach konieczności zredukowania mocy czynnej generatora ze 100% do np. 20-30%, przy równoczesnym przejściu regulatora turbiny z trybu pracy $P=const$ na tryb $f=const$. Potrzeba taka powinna być bardzo wyraźnie wyartykułowana w stosunku do dostawcy generatora i jego układu regulacyjnego. Stwierdzam, że większość źródeł wytwórczych małej mocy pracująca równolegle z siecią nie przewiduje opcjonalnego przechodzenia na pracę wyspową - ich odporność na warunki awaryjne systemu jest słaba. Jeśli źródło pracuje równolegle z siecią, to po utracie zasilania zostaje odłączone – jego układ regulacyjny nie jest dostosowany do przejścia na pracę wyspową, nawet gdy jest to jednostka synchroniczna. Które źródło wytwórcze pełni rolę bilansującego podczas pracy sieci w trybie wyspowym (który układ regulacyjny przewiduje pracę na sieć wydzieloną)?

3. W celu zbadania wpływu generacji rozproszonej na jakość napięcia w sieci elektroenergetycznej uzupełniono model wyjściowy (rozdz. 3.1) o modele różnego rodzaju źródeł energii elektrycznej. W obliczeniach rozpliwów mocy zasadniczo nie ma znaczenia rodzaj źródła energii, a tylko wartości mocy czynnej i biernej lub wartości zadanego napięcia w punkcie przyłączenia źródła. Wartość mocy biernej wprowadzanej do węzła przez źródło jest wynikiem przyjętego trybu pracy układów regulacji generatora (regulacja mocy biernej, regulacja współczynnika mocy, regulacja napięcia). Dlaczego źródła fotowoltaiczne w pracy doktorskiej modelowane są ze współczynnikiem mocy równym 0,95?
4. W badanej sieci zakłada się dużą zmienność generacji mocy w różnych, rozproszonych źródłach energii. Wychodząc naprzeciw pierwotnej idei generacji rozproszonej, czyli realizowanej przez niezależne podmioty w tych miejscach sieci, gdzie jest to dla nich wygodne, źródła zwykle rozmieszcza się w sieci testowej w sposób losowy. Jaką metodę rozmieszczania źródeł przyjęto w pracy doktorskiej (18 szt., str. 60), czy lokalizację źródeł w sieci zmieniano w sposób losowy (str. 64), czyli tak jak postąpiono w przypadku losowo dobranej liczby i parametrów źródeł (str. 51)? Autor deklaruje kluczowy problem poruszany w rozprawie – „...znalezienie zależności pomiędzy lokalizacją i wartością mocy dostępnej w sieci elektroenergetycznej pochodzącej z różnego rodzaju źródeł rozproszonych, w odniesieniu do możliwości utrzymania parametrów jakościowych pracy sieci elektroenergetycznej i zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa energetycznego odbiorców”.
5. Włączanie źródeł oraz wartości mocy generowanych mogą być dowolnie zmieniane tak by możliwe były analizy dla różnych warańów pracy sieci. W szczególności możliwe jest modelowanie różnych trybów pracy układów regulacji napięcia i mocy biernej źródeł. Jaka konfiguracja układów regulacji była wykorzystywana przez Doktoranta w punkcie 3.2?
6. Podobciążeniowy przełącznik zaczepów (PPZ) to kluczowy podzespół transformatora elektroenergetycznego, który służy do utrzymywania stabilnego napięcia systemowego w sieci elektroenergetycznej. Takie możliwości regulacyjne powszechnie zapewniają transformatory mocy NN/SN pracujące w stacjach GPZ, gdzie za pomocą PPZ po stronie NN można było dostosowywać U_{nDN} transformatorów, tak by zapewniać odpowiednie napięcia SN w sieciach zasilanych przez poszczególne GPZ. Brak uzasadnienia rezygnacji z regulacji pod obciążeniem w modelu wyjściowym transformatora mocy 100/15 kV o mocy znamionowej 16 MVA. Dlaczego zrezygnowano z bardzo ważnej funkcjonalności jaka jest z tym związana?
7. Komentarza wymaga problem zmian wartości prądów zwarciovych w przyjętych czterech wariantach pracy układu modelowego, np. prąd znamionowy krótkotrwały wytrzymywany I_{thr} jaki może płynąć w określonym czasie (rysunki 17, 18, 19 na str. 63 i 64). Rozpatrywane

w pracy doktorskiej źródła w postaci elektrowni fotowoltaicznej są przyłączane do sieci poprzez inwerter. W takich układach system sterowania inwerterem ma za zadanie między innymi zapewnić jego bezpieczną pracę podczas zwarć w sieci, co prowadzi do ograniczenia wartości prądu i czasu jego przepływu. W rezultacie taka jednostka zachowuje się podczas zwarcia jak źródło prądowe o prądzie określonym przez krotność prądu znamionowego inwertera. Poziom tych ograniczeń zależy od rodzaju generatora zastosowanego w elektrowni i jest niski w przypadku elektrowni fotowoltaicznej oraz stosunkowo wysoki w przypadku generatorów maszynowych. Jakie są najważniejsze wnioski z badań lub analiz wpływu inwerterowego źródła energii elektrycznej na warunki zwarcia w sieci modelowej?

8. Jakie bariery i ograniczenia techniczne i administracyjne (organizacyjne) utrudniają rozwój klastrów energii oraz spółdzielni energetycznych w Polsce oraz w jakim stopniu te bariery mogą wpływać na rozwój obywatelskich społeczności energetycznych wprowadzonych do polskiego porządku prawnego w 2023 roku na podstawie dyrektyw 2019/944 i 2018/2001?
9. Wnioski przedstawione w pracy mają charakter opisu uzyskanych wyników z małym udziałem rekomendacji i zaleceń użytkowych/praktycznych.

Bardzo proszę, aby w trakcie obrony Doktorant odniósł się do wszystkich powyższych uwag oraz wskazał, w przypadku których z przeprowadzonych badań otrzymane wyniki zaskoczyły Autora, tzn. były inne niż oczekiwane.

4 Uwagi redakcyjne o charakterze ogólnym

W pracy są nieliczne błędy redakcyjne, językowe i interpunkcyjne. Chciałbym zwrócić uwagę na kilka z nich:

1. W języku formalnym i pisanym należy trzymać się zasady dotycząca stosowania słów "liczba" i "ilość", która jest związana z rozróżnieniem między rzeczownikami policzalnymi i niepoliczalnymi.
2. Można rozpoczynać zdanie od słowa "zatem", „tak więc”, „niestety”, jeśli wynika z niego logiczna konkluzja lub podsumowanie wcześniejszej myśli. Słowo "zatem" pełni funkcję spójnika wprowadzającego wniosek lub konsekwencję, dlatego dobrze pasuje na początek zdania, zwłaszcza w tekstach naukowych. "Niestety" – to słowo wyraża negatywną emocję lub smutek z powodu jakiejś sytuacji. Rozpoczęcie zdania od "niestety" jest powszechnie akceptowane, zwłaszcza w sytuacjach, gdy chcemy podkreślić negatywny aspekt. Warto jednak pamiętać o tym, żeby nie nadużywać tej konstrukcji, a także dbać o płynność wypowiedzi.
3. Warto pamiętać o tzw. zasadzie sierotek i nie pozostawić na końcu linii pojedynczych liter, takich jak spójniki ("i", "w", "o") lub innych krótkich wyrazów, ponieważ powoduje to nieestetyczny wygląd tekstu.

4. Jakość rysunków i wykresów budzi zastrzeżenia, tabele są mało czytelne - czcionka jest zbyt mała.
5. Na stronie 44 omyłkowo podano zły skrót nazwy wskaźnika regulacyjnego czasu trwania przerwy na danym obszarze (CTP) – tabela 10.
6. Opis wyników pracy na stronie 44: „*Niestety nie można zaobserwować jednoznacznej korelacji pomiędzy wzrostem liczby i mocy zainstalowanej instalacji prosumenckich, a poprawą (zmianą) wskaźników niezawodnościowych obszarowych lub poszczególnych elementów sieci SN i nN (Tabela 9 i 10).*” – jest nieprecyzyjny.
7. Na stronie 48 omyłkowo powołano się na tabelę nr 12.
8. Na stronie 61 omyłkowo powtórzono numerację tabeli nr 15 (występują dwie tabele o numerze 15 – str. 49).
9. Opis wyników pracy na stronie 62: „*Zatem zostały zachowane założenia pracy układu oceniane według kryterium napięciowego, zwarciovego oraz dopuszczalnej obciążalności elementów sieciowych.*” - jest nieprecyzyjny, szczególnie w zakresie kryterium zwarciovego.
10. Rysunek nr 15 na str. 62 nie zawiera pełnej legendy opisującej wszystkie warianty pracy układu modelowego.
11. Na stronie 64 omyłkowo powtórzono opis rysunku nr 19 z rysunku nr 18.
12. Opis wyników pracy na stronie 64: „*Tym samym można zauważyć, że strona odbiorcza posiadająca swoje źródła wytwórcze może w pewnych warunkach poprawiać lub pogarszać parametry decydujące o jakości pracy sieci dystrybucyjnej SN i nN.*” - jest nieprecyzyjny.
13. Na stronie 69 omyłkowo powołano się na tabelę nr 16, której brak.

Pomimo powyższych uwag stwierdzam, że Autor potrafi redagować teksty techniczne i odbiór całości rozprawy jest pod względem redakcyjnym pozytywny.

5 Uwagi końcowe, podsumowanie, spełnienie wymogów ustawowych

Ustawa o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki wymaga, aby rozprawa doktorska stanowiła oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Opiniowana rozprawa według mnie spełnia to wymaganie. Zgodnie z wymogami Ustawy Doktorant, mgr inż. Bogdan Mól, wykazał się wiedzą, umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz umiejętnością prowadzenia badań i przedstawienia ich wyników.

Lista istotnych osiągnięć rozprawy, które powinny być uznane za oryginalny dorobek Doktoranta zawiera następujące, najistotniejsze elementy:

1. Opracowanie i weryfikacja metody oceny wpływu generacji rozproszonej na jakość dostawy energii elektrycznej, przy czym oryginalna metoda została tak zmodyfikowana, by znajdować

graniczne wartości napięć węzłowych i prądów przewodowych w sieci rozdzielczej SN/nN o strukturze klastrowej.

2. Przeprowadzenie szeregu badań symulacyjnych na testowym modelu sieci rozdzielczej SN/nN o strukturze klastrowej szeregowo-równoległej.
3. Uogólnienie uzyskanych wyników dla poprawy efektywności przyłączenia nowych rozproszonych źródeł wytwórczych, przy zachowaniu wymaganych parametrów pracy sieci elektroenergetycznej.

W podsumowaniu powyższych uwag uważam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Bogdana Mola pod tytułem *„Ocena możliwości poprawy niezawodności oraz lokalnego bezpieczeństwa energetycznego sieci SN i nN współpracujących z generacją rozproszoną”* zawiera oryginalny i wartościowy dorobek naukowy. Zapowiadane tytułem i sformułowane w rozdziale pierwszym cele zostały osiągnięte. Przedstawiona do recenzji praca doktorska świadczy, że Kandydat posiada ogólną wiedzę teoretyczną w Dyscyplinie Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne oraz szczegółową wiedzę w zakresie modelowania i metod obliczeniowych stosowanych w analizie systemów elektroenergetycznych, a także ich adaptacji do rozwiązywania problemów naukowych. Świadczy to o posiadaniu kwalifikacji i umiejętności samodzielnego prowadzenia prac naukowych.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Bogdana Mola odpowiada wymogom i warunkom określonym w ustawie o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz.U. z 2017 r. poz. 1789) oraz Ustawę z 3 lipca 2018 r. - Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r. poz. 1669 z późn. zm.) w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne. Stawiam wniosek o dopuszczenie rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Bogdana Mola do publicznej obrony przed Radą Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Śląskiej.