

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Klary Janigi  
pt.: „Wykorzystanie metod prognozowania warunków pracy sieci niskiego napięcia  
z generacją rozproszoną w kontekście rozwoju energetyki prosumenckiej”**

**Promotor:** dr hab. inż. Piotr Miller, prof. uczelni

**Promotor pomocniczy:** dr inż. Robert Jędrzychowski

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest pismo Zastępcy Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika i Technologie Kosmiczne ds. stopni naukowych Politechniki Lubelskiej Pana dr. hab. inż. Michała Majki z dnia 03.08.2023 r. oraz Uchwała Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Technologie Kosmiczne Politechniki Lubelskiej nr AEiE/36\_3.5b/20-24 z dnia 12.07.2023 r.

## **1. Ocena wyboru tematyki rozprawy**

Rozwój energetyki odnawialnej, w tym farm wiatrowych, fotowoltaicznych oraz instalacji prosumenckich, a także rozwój elektromobilności stawiają przed operatorami sieci nowe wyzwania. Skutkiem tych zmian jest m.in. zmiana profili obciążenia sieci oraz przepływów obciążenia determinująca większą niż wcześniej zmienność napięć. W przypadku źródeł odnawialnych instalowanych w sieciach najwyższych napięć (sieć przesyłowa) oraz sieci dystrybucyjnej (napięcie średnie) Operatorzy tych systemów posiadają pewne mechanizmy formalno-prawne, które pozwalają na określanie niekiedy dość restrykcyjnych warunków przyłączenia (do sieci) tego typu jednostek wytwórczych. Nieco inaczej przedstawia się sytuacja w przypadku instalacji prosumenckich przyłączanych do sieci najniższych napięć (nn). Tu wybór wspomnianych narzędzi i środków technicznych jest bardziej ograniczony.

Jednym z podstawowych problemów technicznych z jakimi borykają się operatorzy sieci dystrybucyjnych, w tym sieci nn, z dużym nasyceniem OZE jest wzrost napięcia w miejscu przyłączenia źródła wytwórczego. Ze względu na strukturę sieci nn, (tj. parametry jednostkowe układów, lokalizacje jednostek wytwórczych, brak koordynacji między chwilową generacją a zapotrzebowaniem) w przypadku korzystnych warunków pogodowych poziomy napięć mogą osiągać niebezpiecznie wysokie wartości. W przypadku dużego nasycenie sieci nn źródłami odnawialnymi, wzrost napięcia nie będzie dotyczył jedynie pojedynczych węzłów (generacyjnych) i może obejmować znaczny obszar sieci zasilanej z tej samej stacji. Mając na uwadze powyższe konieczna jest zmiana wyobrażenia o funkcjonowaniu KSE w tym obszarze. Niezbędne jest stworzenie możliwości a przede wszystkim nabycie umiejętności zarządzania pracą systemów w taki sposób, żeby z jednej strony zapewnić bezpieczeństwo pracy całego systemu z drugiej, żeby możliwie w największym stopniu pozyskać energie elektryczna z odnawialnych źródeł energii.

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Klary Janigi w pełni wpisuje się w aktualne zagadnienia dotyczące zarządzania pracą systemów elektroenergetycznych z określonymi funkcjami celu (wynikającymi z aspektów technicznych i ekonomicznych), z uwzględnieniem warunków ograniczających (wynikających z aspektów technicznych). Analiza sterowania

pracą elektroenergetycznej sieci dystrybucyjnej, poprzez sterowanie pracą instalacji fotowoltaicznych jest zagadnieniem aktualnym w dyscyplinie naukowej elektrotechnika i interesującym z naukowego punktu widzenia. Tematyka rozprawy doskonale wpisuje się również w dyscyplinę naukową Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.

## 2. Merytoryczna ocena rozprawy

Oceniana rozprawa doktorska została przedstawiona w postaci drukowanej na 210. stronach. Po stronie tytułowej zamieszczono, dwa streszczenia rozprawy, pierwsze w języku polskim, drugie w angielskim (wraz ze słowami kluczowymi). Na kolejnych trzech stronach znajduje się spis treści, dalej wykaz oznaczeń i skrótów. W dalszej kolejności przedstawiono Wstęp oraz 7 kolejnych rozdziałów w tym wnioski końcowe i perspektywy dalszych badań, wykaz literatury, rozdział 7. stanowią załączniki. Kolejność rozdziałów oraz podział treści na poszczególne rozdziały nie budzi większych zastrzeżeń.

Rozdział pierwszy stanowi skromny jednostronicowy wstęp. Autorka w sposób ogólny wskazuje na OZE (odnawialne źródła energii), głównie instalacje PV, jako przyczynę problemów w pracy sieci elektroenergetycznych najniższych napięć. Autorka zwraca uwagę, że choć wiele z proponowanych w literaturze światowej rozwiązań charakteryzuje się wysoką skutecznością to jednak wymaga znacznych nakładów inwestycyjnych do ich wdrożenia. We wstępie znajdziemy również tezę, opis celów oraz zakres pracy.

We wstępie tło problemu nie zostało jasno przedstawione, brak merytorycznego odniesienia się do obszaru nauki, w którym zidentyfikowany został problem badawczy jak również brak bezpośredniego odniesienia się do prac innych uczonych, którzy próbowali ów problem rozwiązać. Umieszczenie tych aspektów we wstępie pozwoliłoby na merytoryczne uzasadnienie tezy, celu i zakresu pracy. Jest to o tyle istotne, że teza oraz cele jakie stawia doktorantka w dysertacji nieco odbiegają od tematyki jaką sugeruje tytuł rozprawy: „*Wykorzystanie metod prognozowania warunków pracy sieci niskiego napięcia z generacją rozproszoną w kontekście rozwoju energetyki prosumenckiej*”. Lektura tytułu pracy wskazuje, że tematyka dysertacji będzie dotyczyła wykorzystania metod prognozowania, zaś teza brzmiąca „*Wykorzystanie możliwości sztucznych sieci neuronowych w modelowaniu stanów pracy sieci niskiego napięcia umożliwi opracowanie metod opanowania problemów napięciowych w sieciach o dużym nasyceniu generacją rozproszoną*” nie wskazuje w sposób jednoznaczny wykorzystania metod prognostycznych do wspomaganie pracy sieci elektroenergetycznej. Ponadto tytuł sugeruje również, że analizowana będzie praca sieci elektroenergetycznej z dużym nasyceniem „...generacją rozproszoną...”. W rozprawie obiektem wymuszającym zakłócenia w modelowanej sieci są jedynie instalacje fotowoltaiczne. Wskazane byłoby zatem wykazanie, że instalacje PV są reprezentatywnym, adekwatnym obiektem dla przedmiotowej analizy. Mając na uwadze powyższe tytuł rozprawy powinien zostać zmodyfikowany np. do postaci „*Wykorzystanie metod sztucznych sieci neuronowych do poprawy warunków pracy sieci niskiego napięcia z dużym nasyceniem generacji fotowoltaicznej*”. Jednakże, biorąc pod uwagę treść rozdziałów 2.4 oraz 3 dokumentującą ogólną znajomość problemu przez Doktorantkę należy stwierdzić, że teza i cel rozprawy, są sformułowane w stopniu zadowalającym.

W rozdziale 2 Autorka przedstawia aspekty związane z szeroko rozumianym rozwojem generacji rozproszonej i odnawialnych źródeł energii. Pod względem rzetelności i konsekwencji w utrzymaniu przez Autorkę koncepcji rozdziału nie mam zastrzeżeń. Jednak uważam, że rozdział ten jest zbyt obszerny (ponad 20% treści) i w znacznej części nie wnosi, żadnej wartości dodanej do rozprawy (w odniesieniu do przedstawionego zakresu). Pominięcie wspomnianego rozdziału lub istotne ograniczenie jego treści wpłynęłoby korzystnie na jakość i czytelność całej rozprawy. Najcenniejszym fragmentem rozdziału 2 jest rozdział 2.4. *Oddziaływanie źródeł prosumenckich na sieć nn*. Przedstawia on bowiem istotę problemu

przedmiotowej rozprawy i z całą pewnością znacznie lepiej pasuje jako wstęp do rozdziału 3. traktującego o metodach sterowania napięciem w sieci nn niż do zakresu tematycznego rozdziału nr.2.

Rozdziały 3 i 4 zawierają najistotniejszą część rozprawy. W rozdziale 3 znajdziemy przegląd metod sterowania napięciem w sieci nn (z licznymi przykładami) oparty na analizie prac badawczych krajowych i zagranicznych. Przegląd opracowany jest w sposób przemyślany a dobór bibliografii należy uznać za poprawny.

W rozdziale 4 zawarto opis: modeli opracowanych przez doktorantkę, przyjętej metodyki badawczej wraz z przedstawieniem rozważanych wariantów, wybranych wyników badań wraz z komentarzem. Jako narzędzie do badań symulacyjnych wybrane zostało środowisko DigSILENT PowerFactory. Jest to właściwy wybór w kontekście postawionego celu badawczego. Zastosowane oprogramowanie pozwala na tworzenie dowolnie złożonych modeli różnych układów elektroenergetycznych wraz z układami regulacji autokratycznej, co daje możliwości kompleksowej analizy zjawisk w zdefiniowanym zakresie badawczym. Eksperymenty symulacyjne zostały dobrze ukierunkowane, starannie zaplanowane i wykonane. Szczególną uwagę należy zwrócić na autorską metodę z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych (SNN) – Wariant 8. Wykorzystanie SNN do celów wspomagania pracy sieci elektroenergetycznej nie jest podejściem nowym. Jednak wykorzystanie tego narzędzia do opracowania swego rodzaju kompensacji prądowej „off-line” przy założeniu dużej zmienności napięć wynikającej z dużej zmienności generacji źródeł prosumenckich z instalacjami PV jest podejściem nowym. Jak wykazano w dysertacji udało się osiągnąć porządne rezultaty w postaci ograniczenia nadmiernego wzrostu napięcia w wyniku dużej generacji instalacji PV przy jednoczesnym ograniczeniu poboru mocy biernej źródeł PV oraz wyeliminowaniu strat generacji mocy czynnej wynikających z awaryjnych włączeń instalacji prosumenckich przez zabezpieczenia nadnapięciowe. Skuteczność zastosowanego rozwiązania jest m.in. efektem poprawnego doboru zarówno sieci uczącej jak i zbioru uczącego. Oczywiście, tak spektakularne efekty wnikają między innymi z przyjęcia do badań jednego, prostego schematu sieci (układ sieciowy, parametry) niemniej jednak udało się wykazać słuszność tezy, że „Wykorzystanie możliwości sztucznych sieci neuronowych w modelowaniu stanów pracy sieci niskiego napięcia umożliwi opracowanie metod opanowania problemów napięciowych w sieciach o dużym nasyceniu generacją rozproszoną”. W rozdziale 5 zawarto wnioski, opis oryginalnych osiągnięć rozprawy. Znajdziemy tu także informacje o kierunkach dalszych badań, co wskazuje na pożądaną cechę badacza, mianowicie krytyczne podejście do własnych osiągnięć, w tym przypadku przedstawionych w recenzowanej rozprawie.

Wykaz literatury obejmuje 257 pozycji w tym 131 w języku angielskim, 35 aktów normatywnych, instrukcji ruchu i zaleceń eksploatacyjnych. Wykaz zawiera pozycje z lat 1993÷2023, przy czym starsze pozycje to opracowania akademickie (książkowe). Znakomita większość to aktualne publikacje naukowe nie starsze niż 8 lat. Wśród nich jest jedna praca, w której doktorantka jest współautorką. Pozycje literatury zostały zestawione prawidłowo, co więcej są one Autorce znane, gdyż cytuje je obszernie i w odpowiednich miejscach rozprawy. W świetle wskazanych informacji stwierdzam, że doktorantka zna i wykorzystuje najnowszy stan wiedzy w zakresie problematyki poruszanej w rozprawie.

Próg wejścia do analizy tematyki przedmiotowej rozprawy ustawiono dość nisko co jest pewnym mankamentem części rozpraw doktorskich. Zaletą takiego podejścia jest przedstawienie podjętej w dysertacji problematyki od elementarnych podstaw. Wadą natomiast czas jaki musi poświęcić czytelnik, aby określić jaki jest wkład autorski w rozwiązanie postawionego problemu badawczego oraz jakie istotne efekty osiągnięto w wyniku realizacji przedmiotowej rozprawy.

W przypadku recenzowanej pracy podejście takie było dość ryzykowne wszak Autorka jest członkiem silnego zespołu badawczego, którego prace z przedmiotowego zakresu Autorka wielokrotnie cytuje. Osobiście obszerne fragmenty obejmujące niektóre zagadnienia

teoretyczne rozprawy jak i część badań zwartych w rozdziale 4 dysertacji opublikowałbym w renomowanych czasopismach i wykorzystał w rozprawie jako odwołanie do opracowań autorskich. Powyższe podejście pozwoliłoby zwiększyć wskaźniki biometryczne Doktorantki i bardziej skupić się na wykazaniu autorskiego wkładu w rozwiązanie postawionych w rozprawie celów zmierzających do wykazania poprawności postawionej tezy.

Niezależnie od uwag krytycznych zawartych w niniejszej części recenzji z całą pewnością należy stwierdzić, że problem badawczy (naukowy) przedstawiony przez Autorkę został zdefiniowany i rozwiązany poprawnie. Do rozwiązania postawionego problemu zastosowano właściwe metody oraz modele opracowane w często stosowanym w pracach naukowych oprogramowaniu symulacyjnym PowerFactory, w tym z autorskimi modyfikacjami układów sterowania oraz opracowaniem własnych modeli. Autorka wykazała się dobrym przygotowaniem merytorycznym i umiejętnościami w zakresie metodyki i metodologii prowadzenia badań naukowych z zastosowaniem symulacji komputerowej.

### 3. Pytania i uwagi dyskusyjne

- 1) Praca zatytułowana jest „Wykorzystanie metod prognozowania warunków pracy sieci niskiego napięcia z generacją rozproszoną w kontekście **rozwoju energetyki prosumenckiej**”. Autorka ograniczyła się jedynie do analizy oddziaływania na sieć instalacji fotowoltaicznych. Pytanie, czy zaprezentowane w pracy sposoby sterowania i wyniki są prawdziwe tylko dla wykorzystania w przypadku źródeł fotowoltaicznych? Niezbędne jest również wykazanie, dlaczego Autorka ograniczyła się jedynie do jednego typu źródeł.
- 2) W rozdziale 2 w obszerny sposób przedstawiono aktualny stan prawny instalacji fotowoltaicznych w kontekście współpracy z OSD. W dysertacji oczekiwałbym bardziej krytycznego podejścia do przedmiotowej analizy niż tylko stwierdzenie „...konieczne wydaje się zatem rozszerzenie istniejących wymagań”. Czy w na podstawie analiz przeprowadzonych w toku prac nad rozprawą doktorantka byłaby w stanie przedstawić konkretne rekomendacje poprawiające aktualny stan prawny/techniczny?
- 3) Jak jest uzasadnienie zastosowanie w mianowniku we wzorze (2.2) znamionowej wartości napięcia sieci? Wzór ten stosowany jest w obliczeniach tzw. metodą mocową i zwykle w mianowniku występuje wartość sprzężona napięcia po stronie mocy P, Q zawartych w liczniku.
- 4) Nie zachowano jednakowego stylu wzorów np. wzór (2.1) ma zupełnie inne proporcje niż np. wzór (4.1).
- 5) Rys.2.18 – jakość rysunku odstaje od standardu przyjętego w rozprawie. Dla zachowania wysokiej jakości rozprawy warto byłoby przerysować charakterystykę (oryginał pochodzi z opracowania [254]).
- 6) Na stronie 61 pojawia się niezdefiniowane wcześniej określenie „Zbiorniki wymagań” – czy autorka ma na myśli dokumenty zawarte w bibliografii pozycje [252-256]?
- 7) Rys. 4.1, rys.4.2 oraz sposoby realizacji charakterystyk w języku DSL np. rys.4.20, algorytmu sterowania przełącznikiem zaczepów rys.4.26 dla lepszej czytelności rozprawy powinny znaleźć się w załączniku. Ponadto dla osiągnięcia większej uniwersalności warto tworzyć modele opisane parametrami a nie wartościami liczbowymi. W przypadku zmiany progu (np.  $U_{\text{prog}} = 248,4 \text{ V}$  rys.4.19, rys.4.20) nie byłoby konieczności ingerowania w kod modelu.
- 8) Na str.119 Autorka stwierdza, że do określenia wielkości wejściowych „...wystraczające jest dostarczenie informacji na temat wartości prądu mierzonych

w stacji SN/mn." Stwierdzenie to wymaga szerszego wyjaśnienia (np. opisu „...prób empirycznych” pozwalających na zdefiniowanie wejść i wyjść SNN). Oczywistym bowiem jest, że identyczna wartości składowej czynnej i biernej prądu w stacji zasilającej może wystąpić przy różnej koincydencji generacji P i Q w poszczególnych węzłach modelowanej sieci. Mając na uwadze powyższe nasuwa się pytanie czy zaproponowane podejście nie jest zbyt prostym uproszczeniem?

- 9) Na tej samej stronie czytamy „Aby otrzymać jak najszerszy zestaw danych w zbiorze uczącym, przeprowadzono symulacje w pięciu wariantach, różniących się poziomem obciążenia i generacji”. Pytanie czy różny poziom generacji odnosi się do poziomu mocy zainstalowanej w zamodelowanych instalacjach PV przy załączonych wszystkich instalacji czy jest efektem pracy np. losowej liczby instalacji PV z losową wartością mocy generacji? Niniejsze pytanie ma bezpośredni związek przyczynowo skutkowy z uwagą zawartą w p.8.
- 10) Literatura wskazuje wiele różnych algorytmów uczenia, które zasadniczo można podzielić na dwie grupy opierających się na: uczeniu z nadzorem oraz uczeniu bez nadzoru. W pracy zastosowano podejście oparte na uczeniu z nadzorem, które wymaga, aby klasyfikator był uczony przy użyciu danych z informacją o wszystkich urządzeniach, które są w danym momencie aktywne. Wymaga to uczenia całego systemu dla każdego z urządzeń w sieci. Pytanie czy badano wrażliwość metody uczącej na stany N-x definiowane jako odstawienie z pracy x instalacji fotowoltaicznych.
- 11) Jak jest uzasadnienie przyjęcia jako modelu badawczego sieci składających się z identycznych odcinków o jednakowym typie i przekroju. Czy jest to przypadek reprezentatywny? Czy w związku z tym założeniem, wyniki uzyskane podczas prac nad rozprawą są miarodajne w odniesieniu do typowych układów sieciowych spotykanych w KSE?
- 12) W rozprawie nie zawarto informacji jaką wrażliwością cechuje się algorytm uczący a dokładniej jakie są efekty uczenia w przypadku zmiany konfiguracji analizowanej sieci, asymetrii prądów i napięć tak istotnej w sieciach nn (o czym wspomniana się np. na str.80), zmian poziomu napięcia w sieci SN wynikających np. z pracy źródeł OZE do niej przyłączonych. Czy doktorantka rozważała wspomniane aspekty?
- 13) Na stronie 126 Autorka omawiając łączny czas występowania przekroczeń dla Wariantu 1 podaje wartość 2274,8 minut – wartość ta nieznacznie różni się od sumy wartości zawartych w tabeli 4.9 równej 2274,9 minut. Warto też podając takie wyniki odnieść je np. do wariantu bazowego.
- 14) Wyjaśnienia wymaga również praktyczny wymiar wskaźnika jakim jest łączny czas przekroczeń. Inna jest bowiem jego interpretacja, gdy przekroczenia nie występują w tym samym czasie inna, gdy występują jednocześnie. Ponadto podejmowane działania regulacyjne nie będą w sposób identyczny tzn. synchronicznie i w tych samych proporcjach, zmniejszały czasu występowania przekroczeń w poszczególnych węzłach. Dodatkowo trudno za pomocą tego wskaźnika porównywać sieci zasilane z różnych stacji, gdyż na jego wartość będą miały wpływ nie tylko warunki sieciowe, ale również liczba instalacji prosumenckich. Rozpatrując sieci z tą samą sumaryczną wartością mocy generowanej w instalacjach PV w sieci z większą liczbą instalacji prosumenckich wskaźnik ten będzie zwykle większy.
- 15) W opisie Wariantu 2 (str.130) Autorka stwierdza, że „Po zadziałaniu zabezpieczenia czas obserwacji przed ponownym załączeniem źródła PV ustawiono na 20 minut.

*Nastawa czasu nie jest sprecyzowana w przepisach, wybrano więc wartość, która przynajmniej częściowo ograniczy częste wyłączenie i ponowne załączenie instalacji". Jaka była metodyka wyboru czasu? Pytanie zamierza do ustalenia w jaki sposób operator sieci dystrybucyjnej miałby dokonać takiego wyboru? Czy są jakieś techniczne/teoretyczne przesłanki/kryteria doboru?*

- 16) W opisie wyników uzyskanych dla Wariantu 3 Autorka zauważa, że podjęte działanie „...przyniosło również efekt w postaci ograniczenia konieczności wyłączenia źródeł PV wskutek działania zabezpieczeń nadnapięciowych” – warto byłoby przedstawić powyższe spostrzeżenie w postaci wskaźnika, co ułatwiłoby porównanie wariantów.
- 17) W opisie wyników wariantu 6 czytamy, że dla uzyskania pożądaných efektów „W symulacji przyjęto pewne rozwiązanie pośrednie, przyjmując parametry charakterystyk jak na rysunkach 4.19 oraz 4.23.” – co to dokładnie oznacza? Jak należy skonfigurować model?
- 18) Wątpliwości budzi reprezentatywność wyników uzyskanych dla Wariantu 7. Pozytywne efekty uzyskano m.in. dzięki pojedynczemu przełączeniu zacze­pów. Trudno byłoby uzasadniać takimi wynikami potrzebę wielomilionowych (w skali OSD) nakładów inwestycyjnych proponowanej modernizacji. Należy przypuszczać, że porównywalne efekty uzyskano by w wyniku optymalizacji pozycji zacze­pów i ustawienia ich na stałej pozycji?
- 19) W opisie wyników dla tego przypadku czytamy „...po rozpoczęciu symulacji doszło do podwójnej zmiany zacze­pu z pozycji 0 na +2, a następnie – koło południa pierwszego z rozważanych dni,...” – powyższe nie znajduje odzwierciedlenia ani na rys.4.55.c ani rys.4.55.d.
- 20) Tablica 4.17 nie zawiera przedstawienia skali barw ten sam kolor oznacza co innego zależnie od wielkości zestawianej. Znacznie lepszym sposobem porównania wyników byłyby wykresy słupkowe pokazujące różnice w stosunku do wariantu bazowego. Warto byłoby również pokusić się o zdefiniowanie współczynników wagowych w celu ustalenia np. rankingu rozwiązań rekomendowanych.
- 21) W kontekście zaproponowanego w rozprawie autorskiego rozwiązania wymagającego istotnych i kosztownych inwestycji właściwe byłoby porównanie kosztów takiej inwestycji oraz zysków z niej wynikających. Tym bardziej, że praktycznie całość kosztów inwestycyjnych (zakup i instalacja transformatora z OLTC, indywidualne dla każdej stacji badania symulacyjne niezbędne do uczenia sieci, itd.) jest po stronie OSD. Zysk dla OSD to ograniczenie wahań napięcia a w konsekwencji lepsze wskaźniki niezawodności. Głównymi beneficjentami będą jednak prosumenci zyskując możliwość nieprzerwanej pracy własnych instalacji PV. W tym kontekście warto byłoby oszacować (nawet zgrubnie), jak proponowane rozwiązanie wypada:
  - a. w porównaniu do kosztów utraconej przez prosumenta energii?
  - b. w porównaniu do zastosowania np. lokalnych magazynów energii (u prosumenta)?
  - c. w porównaniu np. z wybranymi krytykowanymi we wstępie rozwiązaniami?
- 22) Jednym z efektów dysertacji powinno być przedstawienie efektów pracy naukowej w postaci ogólnej a nie tylko wniosków dedykowanych dla modelowanej sieci, jak to ma miejsce w rozdziale 5 Wioski. Cennym byłoby zatem aby Doktorantka podjęła próbę przedstawienia np. zaleceń dotyczących pracy sieci, wymaganych funkcjonalności przekształtników instalacji PV oraz ich nastaw.

- 23) Do wskazanych w rozdziale 5.2. kierunków dalszych badań dodałbym zagadnienie pracy wydzielonej sieci z dużą generacją OZE w przypadku zasilania z agregatu prądotwórczego, a przedstawione w pracy warianty rozszerzyłbym o wariant z wykorzystaniem magazynów energii.

Wymienione wyżej pytania i wątki dyskusyjne nie zmieniają ogólnej, pozytywnej oceny rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Klary Janigi. Maja one jedynie na celu zachęcenie Autorki do bardziej dogłębnego przeanalizowania niektórych kwestii oraz do udzielenia dodatkowych wyjaśnień. Uważam, że wiedza i umiejętności zdobyte podczas opracowania przedmiotowej rozprawy dają legitymacje do definiowania sobie znacznie odważniejszego zakresu tematyki badawczej do czego Doktorantkę zachęcam.

#### 4. Osiągnięcia naukowe Autorki

Pani mgr inż. Klara Janiga wykazała się wiedzą w zakresie pracy elektroenergetycznych sieci dystrybucyjnych z generacją rozproszoną oraz umiejętnością konstruowania i rozwiązywania zagadnień optymalizacyjnych opartych na algorytmach sztucznych sieci neuronowych. Wykazała się umiejętnością planowania i przeprowadzenia badań symulacyjnych zmierzających do udowodnienia postawionej w rozprawie tezy i osiągnięcia założonych celów.

Rozprawa doktorska zawiera oryginalne rozwiązanie problemu sterowania pracą elektroenergetycznych sieci dystrybucyjnych, poprzez odpowiednie (w oparciu o rozwiązanie autorskie) sterowanie pracą transformatora z podobciążeniowym przełącznikiem zaczełów wspomaganej pracą przekształtników instalacji fotowoltaicznych w trybie  $Q(U)$ .

Do najważniejszych oryginalnych elementów rozprawy, w ocenie recenzenta, należy zaliczyć:

- A. Opracowanie modeli DSL i QDSL w środowisku *PowerFactory* umożliwiających wykonywanie symulacji dynamicznych z wykorzystaniem trybów sterowania mocą bierną i czynną w falownikach PV ( $\cos\phi$  fixed,  $\cos\phi(P)$ ,  $Q(U)$ ,  $P(U)$ ,  $Q(U)+P(U)$ ).
- B. Modyfikacja bazowego modelu podobciążeniowego przełącznika zaczełów transformatora dostępnego w bibliotece programu *PowerFactory* do typu symulacji prowadzonych w rozprawie,
- C. Opracowanie modelu DSL dwustopniowego zabezpieczenia przed wzrostem napięcia zgodnego z aktualnymi wymogami dla falowników instalacji PV.
- D. Walidację opracowanego modelu zabezpieczenia nadnapięciowego poprzez testy falownika rzeczywistej instalacji PV, jak również weryfikację symulacyjną zamodelowanych trybów pracy falownika.
- E. Opracowanie autorskiej metody wykorzystującej sztuczną sieć neuronową do określenia nastaw kompensacji prądowej OLTC transformatora w celu dostosowania jego pracy do warunków panujących w sieci nn z dużym udziałem instalacji prosumenckich.

Mając na uwadze powyższe stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska zawiera oryginalne rozwiązanie problemu sterowania pracą elektroenergetycznych sieci dystrybucyjnych z dużym nasyceniem prosumenckich instalacji fotowoltaicznych. Autorka wykazała się zadowalającym zasobem wiedzy i umiejętności w zakresie analizy i symulacji pracy elektroenergetycznych sieci dystrybucyjnych, w tym wiedzy z zakresu stosowania badań symulacyjnych. Realizując cele pracy umiejętnie wykorzystowała nowoczesne podejście do konstruowania algorytmów układów sterowania w zarządzaniu pracą sieci elektroenergetycznych. Przedstawiona do oceny rozprawa, a szczególnie zaprezentowane

w niej wyniki (uwzględniając uwagi dyskusyjne) świadczą o umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Panią mgr inż. Klarę Janigę.

## 5. Wniosek końcowy

W mojej ocenie rozprawa doktorska pt.: „*Wykorzystanie metod prognozowania warunków pracy sieci niskiego napięcia z generacją rozproszoną w kontekście rozwoju energetyki prosumenckiej*”, autorstwa Pani mgr inż. Klary Janigi spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim określonym w art. 13 ust.1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. Ustawa o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (tj. Dz.U. 2003, Nr 65, poz. 595).

W związku z pozytywną oceną przedmiotowej pracy wnoszę o przyjęcie jej jako rozprawy doktorskiej i dopuszczenie Pani mgr inż. Klary Janigi do publicznej jej obrony.

*R. Motkowski*