

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

Politechnika Wrocławska
50-370 Wrocław
ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. Marcina Smółki
pt. „Optymalizacja pracy sieci rozdzielczej o dużym udziale instalacji prosumenckich”

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Śląskiej dr hab. inż. Adama Gałuszki prof. P. Śl., przekazane pismem RDAEETK.512.38.2025 z dnia 01.12.2025 wraz z egzemplarzem rozprawy doktorskiej, a otrzymanym w dniu 09.12.2025.

1. Przedmiot pracy doktorskiej

Odnawialna generacja rozproszona stanowi ważny element zrównoważonego rozwoju kraju i jest w ostatnich latach najbardziej dynamicznie rozwijającym się obszarem krajowego sektora wytwórczego.

Rozwój odnawialnych źródeł energii (OZE) przynosi wymierne efekty ekologiczno-energetyczne i ma istotne znaczenie w procesie transformacji energetycznej kraju oraz 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 zarówno polityki energetycznej jak i ekologicznej państwa.

Odnawialna generacja rozproszona obejmuje różne typy układów rozproszonych (wiatrowe, fotowoltaiczne, wodne, biogazowe, biomasowe), 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 kluczowe znaczenie w tym obszarze ma rozwój mikroinstalacji prosumenckich, w których podstawową technologię wykorzystywaną do produkcji energii elektrycznej stanowią instalacje fotowoltaiczne.

Mikroinstalacje prosumenckie, w kraju posiadają już moc zainstalowaną na poziomie 12,04 GW, a łączna ich liczba wynosiła w 2024 r. - 1522655. Stały się więc dzięki temu integralnym i ważnym elementem Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE).

Niestety wykorzystanie prosumenckich instalacji fotowoltaicznych przynosi nie tylko korzyści, ale stanowi również ogromny problem natury technicznej z racji ich wpływu na ważne parametry charakteryzujące pracę sieci dystrybucyjnej i duże wyzwanie dla przedsiębiorstw sieciowych - operatorów systemów dystrybucyjnych (OSD).

Dlatego problematyka odnawialnej generacji rozproszonej obejmująca m.in. mikroinstalacje prosumenckie 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 wpływu prosumenckich instalacji fotowoltaicznych na wybrane parametry charakteryzujące pracę sieci dystrybucyjnej i zakłóceń przez nie wprowadzanych

oraz rozwiązań ograniczających negatywny wpływ tych instalacji na sieć dystrybucyjną. Przy czym liczba publikacji odnosząca się do tej tematyki jest ograniczona i nie wyczerpuje odpowiedzi na wiele problemów w tym obszarze.

Problematyka mikroinstalacji prosumenckich stanowi również centrum zainteresowania różnych krajowych ośrodków naukowo-badawczych i rozwijana jest nie tylko na Politechnice Śląskiej ale również m.in. na: Politechnice Warszawskiej, Politechnice Wrocławskiej, Politechnice Gdańskiej, Politechnice Poznańskiej, Politechnice Lubelskiej i Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

Wprawdzie, jak wspomniano, problematyka mikroinstalacji prosumenckich jest znana i popularna w sferze naukowo-badawczej, to jednak waga, złożoność i wieloaspektowość problemu, ogromny postęp techniczny, technologiczny i informatyczny oraz bardzo duże nagromadzenie prosumenckich instalacji fotowoltaicznych w sieciach dystrybucyjnych (rozdzielczych) niskiego napięcia (nN) sprawiają, że istnieje potrzeba opracowania odpowiedniego rozwiązania umożliwiającego właściwą ocenę wpływu tych systemów na wybrane parametry charakteryzujące pracę sieci dystrybucyjnej. Dlatego podjęcie tematu w ramach doktoratu wdrożeniowego przez Doktoranta było w pełni uzasadnione, właściwe i świadczy o bardzo dużym rozeznaniu w problematyce dotyczącej funkcjonowania prosumenckich instalacji fotowoltaicznych w sieci dystrybucyjnej nN przedsiębiorstw energetycznych OSD. Doktorant zrealizował we wspomnianym obszarze naukowo-badawczym oryginalny, wartościowy i ważny dla gospodarki kraju program badawczy, którego efektem było wdrożenie i wykorzystanie opracowanej przez Doktoranta metodologii w jednym z pięciu najważniejszych operatorów systemów dystrybucyjnych - Tauron Dystrybucja S.A.

2. Przegląd pracy doktorskiej

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska liczy łącznie 209 stron, 28 tabel, 171 rysunków i 191 pozycji literaturowych. Składa się z obszernego autoreferatu i zbioru 6-ciu powiązanych tematycznie publikacji naukowych stanowiących rozprawę doktorską. Należą do nich:

- Korab R., Połomski M., Smółka M.: Wpływ źródeł fotowoltaicznych na pracę sieci niskiego napięcia. Śląskie Wiadomości Elektryczne, nr 5'2021 (137);
- Korab R., Połomski M., Smółka M.: Evaluating the Risk of Exceeding the Normal Operating Conditions of a Low-Voltage Distribution Network due to Photovoltaic Generation. Energies 2022, 15, 1969; <https://doi.org/10.3390/en15061969>;
- Korab R., Połomski M., Smółka M., Cieślik D.: Wpływ prosumenckich instalacji fotowoltaicznych na pracę sieci rozdzielczej niskiego napięcia. Przegląd Elektrotechniczny nr 1/2024; doi:10.15199/48.2024.01.66;
- Smółka M., Korab R., Połomski M.: Ryzyko przekroczenia normalnych warunków pracy sieci niskiego napięcia z dużym udziałem prosumenckich mikroinstalacji fotowoltaicznych. Rynek Energii, Nr 1 (170) – 2024;
- Korab R., Smółka M.: Wpływ prosumenckich mikroinstalacji fotowoltaicznych na pracę sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia. Monografia Senatu RP po konferencji naukowej „Polska energetyka w drodze do neutralności klimatycznej”. Kancelaria Senatu, Warszawa 2025;
- Smółka M., Korab R., Połomski M.: Minimalizacja wpływu prosumenckich mikroinstalacji fotowoltaicznych na pracę sieci niskiego napięcia. Przegląd Elektrotechniczny nr 10/2024; doi:10.15199/48.2024.10.01.

Autoreferat do rozprawy doktorskiej liczy łącznie 117 stron, 18 tabel, 60 rysunków i 82 pozycji literaturowych. Składa się z 5-ciu rozdziałów poprzedzonych streszczeniem w języku

polskim oraz uzupełnionych bibliografią i 2 załącznikami, z których pierwszy obejmuje zbiór powiązanych tematycznie artykułów naukowych stanowiących rozprawę doktorską, a drugi wystąpienia prezentujące wyniki prowadzonych przez Doktoranta prac naukowo-badawczych.

W rozdziale 1 autoreferatu (Wstęp) przedstawiono wprowadzenie dotyczące obszaru badawczego związanego z realizacją pracy doktorskiej.

W rozdziale 2 autoreferatu (Teza, cel i zakres pracy) przedstawiono tezę, cel i zakres pracy doktorskiej.

W rozdziale 3 autoreferatu (Opis osiągnięć naukowych) przedstawiono testową sieć rozdzielczą nN i narzędzie służące do wykonywania analiz. Omówiono wpływ prosumenckich mikroinstalacji fotowoltaicznych na pracę testowej sieci nN. Przedstawiono wpływ wybranych czynników na ryzyko przekroczenia dopuszczalnych warunków pracy testowej sieci nN współpracującej ze źródłami fotowoltaicznymi.

W rozdziale 4 autoreferatu (Opis osiągnięć wdrożeniowych) przedstawiono modele rzeczywistych sieci rozdzielczych nN, narzędzie do przeprowadzania analizy pracy rzeczywistych sieci dystrybucyjnych nN oraz przykładowe wyniki uzyskane z jego zastosowaniem. Omówiono minimalizację wpływu mikroinstalacji fotowoltaicznych na pracę rzeczywistej sieci nN, zwracając szczególną uwagę na wpływ źródeł fotowoltaicznych na pracę analizowanej sieci nN oraz przedstawiając analizę możliwości obniżenia poziomów napięć w analizowanej sieci nN przy pracy mikroinstalacji fotowoltaicznych. Przedstawiono zastosowanie magazynów energii do regulacji napięcia w sieci dystrybucyjnej nN. W związku z tym przeprowadzono dobową symulację pracy rzeczywistej nN sieci z zainstalowanymi rozproszonymi magazynami energii oraz roczną symulację pracy rzeczywistej sieci nN z zainstalowanymi prosumenckimi magazynami energii.

W rozdziale 5 autoreferatu (Podsumowanie) przedstawiono podsumowanie i wnioski końcowe związane z realizacją pracy doktorskiej.

W rozdziale 6 autoreferatu (Bibliografia) przedstawiono bibliografię do autoreferatu, która obejmuje 82 pozycje literaturowe. Znajdują się wśród nich: krajowe regulacje prawne, monografie, podręczniki akademickie, artykuły, referaty, normy, instrukcje, standardy, opracowania, raporty i strony internetowe z informacjami technicznymi oraz informacje techniczne i statystyczne związane z przedmiotem badań realizowanym przez Doktoranta.

W załączniku 1 autoreferatu zawarto zbiór powiązanych tematycznie artykułów naukowych stanowiących rozprawę doktorską,

W załączniku 2 autoreferatu zawarto wystąpienia prezentujące wyniki prowadzonych przez Doktoranta prac naukowo-badawczych w ramach doktoratu.

W artykule w czasopiśmie *Śląskie Wiadomości Elektryczne* p.t. „Wpływ źródeł fotowoltaicznych na pracę sieci niskiego napięcia” przedstawiono wpływ źródeł fotowoltaicznych na wybrane parametry charakteryzujące pracę sieci niskiego napięcia. Do analiz wybrano sieć kablową zasilającą odbiorców komunalno-bytowych, będącą częścią sieci testowej CIGRE. Symulacje wykonano przy wykorzystaniu programu OpenDSS, dla dwóch poziomów mocy zainstalowanej w prosumenckich mikroinstalacjach fotowoltaicznych. Przeanalizowano wpływ generacji fotowoltaicznej na poziomy napięcie, rozpyły prądów oraz straty energii. Artykuł liczy łącznie 9 stron, 4 tabele, 12 rysunków i 12 pozycji literaturowych.

W artykule w czasopiśmie *Energies* p.t. „Evaluating the Risk of Exceeding the Normal Operating Conditions of a Low-Voltage Distribution Network due to Photovoltaic Generation” przeanalizowano ryzyko przekroczenia normalnych warunków pracy sieci dystrybucyjnej nN w zależności od wielu czynników, w tym od zainstalowanej mocy źródeł fotowoltaicznych. Wykorzystano metodę szeregów czasowych do określenia rocznego ryzyka przekroczenia limitów napięcia szyny, prądu znamionowego linii i transformatora oraz dopuszczalnego limitu składowej ujemnej napięcia szyny, a także ryzyka wystąpienia

przepływu wstecznego i ryzyka wzrostu strat energii. Ryzyka obliczono dla różnych poziomów penetracji źródeł fotowoltaicznych, różnych podziałów mocy znamionowej źródeł fotowoltaicznych między poszczególne fazy oraz różnych profili obciążenia odbiorców. Obliczenia wykonano na sieci testowej CIGRE przy użyciu programu OpenDSS i statystycznych danych meteorologicznych dla stacji meteorologicznej w Katowicach. Uzyskane wyniki wskazały, że podłączenie mikroinstalacji fotowoltaicznych do sieci niskiego napięcia ma największy wpływ na ryzyko wystąpienia przepływu wstecznego i ryzyko wzrostu strat energii. Ponadto znacznie wzrasta ryzyko przepięcia i przeciążenia linii (odgałęzienia). Opracowana metoda pozwala na określenie wartości zdolności przyjmującej danej sieci niskiego napięcia, zapewniając utrzymanie zakładanego ryzyka przekroczenia normalnych warunków pracy sieci. Artykuł liczy łącznie 35 stron, 4 tabele, 42 rysunki i 33 pozycji literaturowych.

W artykule w czasopiśmie *Przegląd Elektrotechniczny* p.t. „Wpływ prosumenckich instalacji fotowoltaicznych na pracę sieci rozdzielczej niskiego napięcia” przedstawiono wpływ prosumenckich instalacji fotowoltaicznych na pracę sieci rozdzielczej niskiego napięcia. Symulacje pracy sieci zostały przeprowadzone w programie OpenDSS, z wykorzystaniem modelu sieci testowej CIGRE. Na podstawie uzyskanych wyników określono wpływ warunków atmosferycznych na ryzyko przekroczenia normalnych warunków pracy sieci. Ponadto określono maksymalny stopień nasycenia sieci CIGRE źródłami fotowoltaicznymi, który nie powodował zaburzeń w pracy tej sieci. Artykuł liczy łącznie 6 stron, 1 tabelę, 14 rysunków i 13 pozycji literaturowych.

W artykule w czasopiśmie *Rynek Energii* p.t. „Ryzyko przekroczenia normalnych warunków pracy sieci niskiego napięcia z dużym udziałem prosumenckich mikroinstalacji fotowoltaicznych” przedstawiono wpływ prosumenckich źródeł fotowoltaicznych na pracę sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia, przez analizę wybranych parametrów charakteryzujących jej pracę. Obiektem badań była rzeczywista terenowa sieć dystrybucyjna. Symulacje pracy sieci zostały przeprowadzone w programie OpenDSS. W ich wyniku określono roczne ryzyko przekroczenia normalnych warunków pracy sieci dla różnego stopnia nasycenia źródłami fotowoltaicznymi. Artykuł liczy łącznie 6 stron, 8 rysunków i 18 pozycji literaturowych.

W rozdziale monografii senackiej p.t. „Wpływ prosumenckich mikroinstalacji fotowoltaicznych na pracę sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia” przedstawiono wpływ prosumenckich mikroinstalacji fotowoltaicznych na pracę sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia. Badano różne parametry charakteryzujące pracę rzeczywistej sieci. Dobowa symulacja została wykonana w programie OpenDSS. W pierwszej kolejności zasymulowano pracę sieci bez mikroinstalacji fotowoltaicznych, a następnie z uwzględnieniem instalacji fotowoltaicznych przyłączonych do tej sieci. Stwierdzono, że przy dużej koncentracji prosumenckich źródeł fotowoltaicznych okresowo dochodzi do przekroczenia dopuszczalnego poziomu napięcia, pojawienia się przepływów mocy z sieci niskiego do średniego napięcia, wzrostu asymetrii napięć, zwiększonego obciążenia niektórych elementów sieci oraz wzrostu strat sieciowych. Rozdział monografii liczy łącznie 26 stron, 26 rysunków i 16 pozycji literaturowych.

W artykule w czasopiśmie *Przegląd Elektrotechniczny* p.t. „Minimalizacja wpływu prosumenckich mikroinstalacji fotowoltaicznych na pracę sieci niskiego napięcia” przedstawiono wpływ prosumenckich mikroinstalacji fotowoltaicznych na pracę sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia (nN), głównie poprzez analizę poziomów napięć. Obiektem badań była rzeczywista terenowa sieć dystrybucyjna o dużym nasyceniu źródłami fotowoltaicznymi. Symulacje pracy sieci przeprowadzono w programie OpenDSS. Przeanalizowano możliwość zastosowania różnych rozwiązań technicznych minimalizujących

negatywny wpływ mikroinstalacji fotowoltaicznych na pracę tej sieci. Artykuł liczy łącznie 6 stron, 1 tabelę, 9 rysunków i 17 pozycji literaturowych.

3. Ocena merytoryczna treści pracy doktorskiej

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska obejmująca 6 powiązanych tematycznie publikacji naukowych wraz z autoreferatem jest wartościowym i oryginalnym opracowaniem naukowym zarówno pod względem poznawczym jak i praktycznym, zawierającym obszerne i ciekawe wyniki badań analitycznych i modelowo-symulacyjnych.

Prawidłowo uzasadniono cel badań polegający zbadaniu wybranych sposobów sterowania prosumenckimi magazynami energii w rzeczywistej sieci nN o dużym udziale mikroinstalacji fotowoltaicznych, pozwalającego na minimalizację negatywnego wpływu tych źródeł na pracę sieci. Przy czym szczególną uwagę zwrócono na problem obniżenia napięć, ponieważ zmniejszenie czasu trwania przekroczenia dopuszczalnej wartości napięcia pozwala na skrócenie przerwy w pracy źródeł fotowoltaicznych w wyniku ich wyłączenia przez zabezpieczenia nadnapięciowe falowników.

Właściwie sformułowano tezę rozprawy w brzmieniu: *„Zastosowanie odpowiedniego sterowania prosumenckimi magazynami energii elektrycznej umożliwia poprawę warunków pracy sieci rozdzielczej niskiego napięcia o dużym udziale mikroinstalacji fotowoltaicznych, prowadząc m.in. do obniżenia poziomów napięć”*.

Zarówno cel jak i teza rozprawy zostały dostatecznie jasno sformułowane przez Doktoranta, a teza została przez Niego w pełni udowodniona, poprzez realizację prac badawczych podzielonych na część naukową oraz wdrożeniową. W ramach części naukowej opracowano model testowej sieci dystrybucyjnej (rozdzielczej) nN z zainstalowanymi prosumenckimi mikroinstalacjami fotowoltaicznymi w programie OpenDSS, opracowano metodę określania ryzyka przekroczenia dopuszczalnych warunków pracy sieci nN, ze szczególnym uwzględnieniem ryzyka przekroczenia napięcia powyżej wartości dopuszczalnej ($U_n + 10\% U_n$) i określono, wykorzystując opracowaną metodę wyznaczania ryzyka, wpływ prosumenckich mikroinstalacji fotowoltaicznych na pracę sieci nN w różnych warunkach jej pracy. W ramach części wdrożeniowej przeprowadzono analizę pracy rzeczywistych sieci dystrybucyjnych niskiego napięcia o dużym udziale mikroinstalacji fotowoltaicznych, opracowano narzędzia do automatyzacji symulacji pracy sieci współpracującej ze źródłami fotowoltaicznymi wraz z analizą wyników końcowych, pozwalającą na wyznaczanie ryzyka przekroczenia dopuszczalnych (normalnych) warunków pracy sieci dla różnych stopni nasycenia mikroinstalacjami fotowoltaicznymi, przeprowadzono analizę skuteczności wybranych metod regulacji napięć stosowanych obecnie przez OSD w sieciach niskich napięć oraz przedstawiono propozycję zastosowania prosumenckich magazynów energii elektrycznej do poprawy warunków napięciowych w sieci nN o dużym udziale mikroinstalacji fotowoltaicznych.

Bardzo cenna jest część modelowo-symulacyjna rozprawy doktorskiej, w której realizowano złożone badania warunków pracy sieci nN w programie OpenDSS zarówno dla testowej jak i rzeczywistej sieci dystrybucyjnej nN z zainstalowanymi prosumenckimi mikroinstalacjami fotowoltaicznymi.

Przeprowadzone badania są bardzo istotne dla operatora systemu dystrybucyjnego - Tauron Dystrybucja S.A. oraz innych operatorów systemów dystrybucyjnych w procesie oceny wpływu prosumenckich instalacji fotowoltaicznych na wybrane parametry charakteryzujące pracę sieci dystrybucyjnej i zakłóceń przez nie wprowadzanych oraz rozwiązań ograniczających negatywny wpływ tych instalacji na sieć dystrybucyjną.

Problem naukowo-badawczy przedstawiony przez Doktoranta w rozdziale 1 autoreferatu (Wstęp) został rozwiązany w trzech rozdziałach autoreferatu – rozdziale 3 (Opis osiągnięć

naukowych), rozdziale 4 (Opis osiągnięć wdrożeniowych) i rozdziale 5 (Podsumowanie) oraz w 6-ciu powiązanych tematycznie publikacjach naukowych:

- Korab R., Połomski M., Smółka M.: Wpływ źródeł fotowoltaicznych na pracę sieci niskiego napięcia. *Śląskie Wiadomości Elektryczne*, nr 5'2021 (137);
- Korab R., Połomski M., Smółka M.: Evaluating the Risk of Exceeding the Normal Operating Conditions of a Low-Voltage Distribution Network due to Photovoltaic Generation. *Energies* 2022, 15, 1969; <https://doi.org/10.3390/en15061969>;
- Korab R., Połomski M., Smółka M., Cieślak D.: Wpływ prosumenckich instalacji fotowoltaicznych na pracę sieci rozdzielczej niskiego napięcia. *Przegląd Elektrotechniczny* nr 1/2024; doi:10.15199/48.2024.01.66;
- Smółka M., Korab R., Połomski M.: Ryzyko przekroczenia normalnych warunków pracy sieci niskiego napięcia z dużym udziałem prosumenckich mikroinstalacji fotowoltaicznych. *Rynek Energii*, Nr 1 (170) – 2024;
- Korab R., Smółka M.: Wpływ prosumenckich mikroinstalacji fotowoltaicznych na pracę sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia. Monografia Senatu RP po konferencji naukowej „Polska energetyka w drodze do neutralności klimatycznej” Kancelaria Senatu, Warszawa 2025;
- Smółka M., Korab R., Połomski M.: Minimalizacja wpływu prosumenckich mikroinstalacji fotowoltaicznych na pracę sieci niskiego napięcia. *Przegląd Elektrotechniczny* nr 10/2024; doi:10.15199/48.2024.10.01.

Doktorant przeprowadził złożone i liczne badania analityczne i modelowo-symulacyjne za pomocą programu OpenDSS, a ich wyniki zamieszczone w autoreferacie i publikacjach naukowych stanowiących rozprawę doktorską oraz opracowane modele mają dużą wartość zarówno poznawczą, jak i praktyczną. Umożliwiają bowiem właściwą ocenę wpływu prosumenckich instalacji fotowoltaicznych na wybrane parametry charakteryzujące pracę sieci dystrybucyjnej i zakłóceń przez nie wprowadzanych oraz rozwiązań ograniczających negatywny wpływ tych instalacji na sieć dystrybucyjną. Takie rozwiązanie stanowi niezwykle pomocne narzędzie dla operatorów systemów dystrybucyjnych.

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

Praca doktorska obejmująca autoreferat i zbiór 6-ciu powiązanych tematycznie publikacji naukowych 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. Szata graficzna pracy (autoreferatu i 6-ciu publikacji naukowych) jest właściwa. Praca jest wszechstronnie zilustrowana, zawiera 28 tabel i 171 rysunków.

Struktura pracy oraz podział treści przedstawionych w zarówno w autoreferacie jak i 6-ciu publikacjach naukowych jest właściwa. Na początku w rozdziale 1 autoreferatu przedstawiono wprowadzenie dotyczące obszaru badawczego związanego z realizacją pracy doktorskiej. W rozdziale 2 autoreferatu przedstawiono tezę, cel i zakres pracy doktorskiej, przy czym zakres podzielono na część naukową i wdrożeniową. Stanowi to naturalne umiejscowienie własnych zamierzeń Doktoranta, które chce zrealizować w ramach rozprawy doktorskiej, a zastosowany podział wynika z faktu, że doktorat ma charakter wdrożeniowy.

Część naukowa obejmuje rozdział 3 autoreferatu oraz 3 publikacje naukowe: „Wpływ źródeł fotowoltaicznych na pracę sieci niskiego napięcia” w czasopiśmie „Śląskie Wiadomości Elektryczne”; „Evaluating the Risk of Exceeding the Normal Operating Conditions of a Low-Voltage Distribution Network due to Photovoltaic Generation” w czasopiśmie „Energies” oraz „Wpływ prosumenckich instalacji fotowoltaicznych na pracę

sieci rozdzielczej niskiego napięcia” w czasopiśmie Przegląd Elektrotechniczny. W tej części przedstawiono: testową sieć rozdzielczą nN; narzędzie służące do wykonywania analiz; wpływ prosumenckich mikroinstalacji fotowoltaicznych na pracę testowej sieci nN oraz wpływ wybranych czynników na ryzyko przekroczenia dopuszczalnych warunków pracy testowej sieci nN współpracującej ze źródłami fotowoltaicznymi.

Część wdrożeniowa obejmuje rozdział 4 autoreferatu oraz 3 publikacje naukowe: „Ryzyko przekroczenia normalnych warunków pracy sieci niskiego napięcia z dużym udziałem prosumenckich mikroinstalacji fotowoltaicznych” w czasopiśmie Rynek Energii; „Wpływ prosumenckich mikroinstalacji fotowoltaicznych na pracę sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia” w monografii senackiej oraz „Minimalizacja wpływu prosumenckich mikroinstalacji fotowoltaicznych na pracę sieci niskiego napięcia” w czasopiśmie „Przegląd Elektrotechniczny”. W tej części przedstawiono: modele rzeczywistych sieci rozdzielczych nN; narzędzie do przeprowadzania analizy pracy rzeczywistych sieci dystrybucyjnych nN; przykładowe wyniki uzyskane z zastosowaniem opracowanego narzędzia; minimalizację wpływu mikroinstalacji fotowoltaicznych na pracę rzeczywistej sieci nN oraz zastosowanie magazynów energii do regulacji napięcia w sieci dystrybucyjnej nN.

Zakres i forma przeprowadzonych przez Doktoranta analiz i badań zarówno w części naukowej jak i wdrożeniowej jest właściwa, a zastosowane opisy i prezentacje założeń i danych dla rozpatrywanych wariantów sieci dystrybucyjnych nN z prosumenckimi instalacjami fotowoltaicznymi i wyniki obliczeń modelowo-symulacyjnych są usystematyzowane, właściwe i dobrze zilustrowane w postaci głównie rysunków. W ograniczonym stopniu Doktorant stosował do prezentacji tabele, co jest uzasadnione problematyką poruszaną w rozprawie doktorskiej. Doktorant przeprowadził w autoreferacie i publikacjach naukowych usystematyzowaną wnikliwą dyskusję i wszechstronną analizę uzyskanych wyników.

Rozprawa doktorska została zakończona ciekawym podsumowaniem i interesującymi wnioskami końcowymi związanymi z realizacją pracy doktorskiej. Znajdują się one w rozdziale 5 autoreferatu w wersji pełnej oraz w każdej z 6-ciu publikacji naukowych w wersji częściowej, odnoszącej się do poruszanej tematyki.

Rozprawa doktorska zawiera obszerną bibliografię do rozprawy doktorskiej, która zawiera: krajowe regulacje prawne, monografie, podręczniki akademickie, artykuły, referaty, normy, instrukcje, standardy, opracowania, raporty i strony internetowe z informacjami technicznymi oraz informacje techniczne i statystyczne związane z przedmiotem badań realizowanym przez Doktoranta. Bibliografia znajduje się w rozdziale 6 autoreferatu w wersji pełnej oraz w każdej z 6-ciu publikacji naukowych w wersji częściowej, odnoszącej się do poruszanej tematyki. Pozycje bibliograficzne są aktualne, właściwie dobrane i odpowiednie w stosunku do tematyki rozprawy doktorskiej. Publikacje zamieszczone są w kolejności cytowania. W tekście autoreferatu i publikacji naukowych znajdują się odwołania do wszystkich pozycji literatury, a Doktorant cytuje je obszernie, prawidłowo i we właściwych miejscach.

Rozprawa doktorska obejmująca autoreferat i zbiór 6-ciu powiązanych tematycznie publikacji naukowych opracowana przez Doktoranta jednoznacznie wskazuje, że Doktorant w bardzo dobrym stopniu opanował umiejętność redagowania tekstów naukowych (artykułów, referatów, rozdziałów w monografiach). Lektura zarówno autoreferatu jak i publikacji naukowych jest ciekawa i interesująca. Doktorant bardzo dobrze czuje się w tematyce dotyczącej odnawialnych źródeł energii, prosumenckich mikroinstalacji fotowoltaicznych oraz sieci dystrybucyjnych. Doktorant ma bardzo dużą wiedzę w tych obszarach i potrafi to przedstawić ją w sposób jasny i zrozumiały w tekście zarówno autoreferatu jak i publikacji naukowej.

5. Główne osiągnięcie Doktoranta

Głównym osiągnięciem Doktoranta jest opracowanie i wdrożenie w przedsiębiorstwie energetycznym Tauron Dystrybucja S.A. metodologii i narzędzi obliczeniowych do oceny wpływu prosumenckich instalacji fotowoltaicznych na wybrane parametry charakteryzujące pracę sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia i zakłóceń przez nie wprowadzanych oraz rozwiązań ograniczających negatywny wpływ tych instalacji. Doktorant opracował m.in. model testowej sieci rozdzielczej nN i narzędzie służące do wykonywania analiz pracy tej sieci; modele rzeczywistych sieci rozdzielczych nN i narzędzie do przeprowadzania analizy pracy rzeczywistych sieci dystrybucyjnych nN; analizę wpływu wybranych czynników na ryzyko przekroczenia dopuszczalnych warunków pracy sieci testowej i sieci rzeczywistej z prosumenckimi instalacjami fotowoltaicznymi; analizę możliwości obniżenia poziomów napięć w analizowanej sieci testowej i sieci rzeczywistej przy pracy prosumenckich mikroinstalacji fotowoltaicznych oraz zastosowanie rozproszonych prosumenckich magazynów energii do regulacji napięcia w sieci dystrybucyjnej nN.

6. Uwagi szczegółowe i dyskusyjne

1. Dlaczego Doktorant w autoreferacie na początku, obok streszczenia pracy doktorskiej w języku polskim przedstawionego na stronach 4-6 autoreferatu, nie przedstawił streszczenia w języku angielskim wraz z listą skrótów, oznaczeń i symboli stosowanych w pracy.

W ocenie Recenzenta takie streszczenie wraz z listą skrótów, oznaczeń i symboli stosowanych w pracy powinno się znaleźć w autoreferacie, mimo że praca doktorska Doktoranta nie jest klasyczną rozprawą dokorską, a stanowi zbiór 6 powiązanych tematycznie publikacji naukowych wraz z autoreferatem. Spośród tych 6-ciu publikacji 5 jest w języku polskim, a tylko jedna w języku angielskim (w czasopiśmie *Energies*). Przy czym streszczenia krajowych publikacji w języku angielskim są skrótowe i nie oddają w pełni złożonych badań Doktoranta.

2. Dlaczego Doktorant w autoreferacie nie omówił w ramach wprowadzenia krajowych regulacji prawnych w obszarze mikroinstalacji prosumenckich takich jak Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawianych źródłach energii, która definiuje m.in. pojęcie prosumenta i mikroinstalacji oraz regulacji dotyczących zasad współpracy mikroinstalacji prosumenckich z siecią elektroenergetyczną, w tym kodeksu sieci *NC RFG - The Network Code of Requirements for Generators*. Takich informacji nie ma również w żadnej z 6-ciu powiązanych tematycznie publikacji naukowych, a Doktorant ogranicza się w tym zakresie właściwie tylko do Instrukcji Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej spółki Tauron Dystrybucja S.A.

W ocenie Recenzenta wspomniane regulacje mają kluczowe znaczenie w kontekście problematyki realizowanej przez Doktoranta w ramach doktoratu wdrożeniowego, a publikacja naukowa obejmująca: wprowadzenie, przegląd krajowych regulacji prawnych w obszarze mikroinstalacji prosumenckich, przegląd regulacji dotyczących zasad współpracy mikroinstalacji prosumenckich oraz np. analizę rozwoju instalacji prosumenckich w kraju stanowiłaby dobrą podbudowę do pracy doktorskiej Doktoranta obejmującej 6 powiązanych tematycznie publikacji naukowych.

Proszę o informacje jakie są najważniejsze krajowe akty prawne w obszarze mikroinstalacji prosumenckich i regulacje dotyczące zasad współpracy mikroinstalacji prosumenckich z siecią elektroenergetyczną i co one obejmują.

3. Doktorant w autoreferacie na stronach 9 i 10 przedstawia rysunki *Rys. 1.1. Łączna liczba mikroinstalacji PV przyłączonych przez OSD w cyklu kwartalnym* oraz *Rys. 1.2. Łączna moc mikroinstalacji PV przyłączonych przez OSD w cyklu kwartalnym* i analizuje je wyróżniając trzy

okresy rozwoju prosumenckich instalacji fotowoltaicznych w kraju: I - do końca 2019 r. włącznie; II – od IV kwartału 2019 r. – do końca I kwartału 2022 r. i III – od II kwartału 2022 r. do chwili obecnej. Przy czym w ocenie Doktoranta II okres rozwoju ma związek z wprowadzeniem rozliczenia ilościowego produkowanej przez prosumentów energii realizowanego w systemie opustów (tzw. „net-metering”), a III okres rozwoju ma związek z wprowadzeniem rozliczenia wartościowego (sprzedawanej i kupowanej energii przez prosumenta) z wykorzystaniem odpowiedniej ceny (tzw. „net-billing”).

Takie spojrzenie jest uproszczone w ocenie Recenzenta bowiem rozwój prosumenckich instalacji fotowoltaicznych w kraju wynika z: rosnących kosztów energii elektrycznej dla odbiorcy końcowego; chęci uzyskania częściowej niezależności energetycznej; poprawy niezawodności, ciągłości i pewności zasilania; obniżania poziomu kosztów podzespołów mikroinstalacji; dotacji krajowych i samorządowych na zakup mikroinstalacji (np. program „Mój Prąd 6.0”) oraz wzrostu świadomości ekologicznej społeczeństwa. Wspomniane systemy rozliczeń prosumenta odgrywają w tym ważną, ale jednak ograniczoną rolę.

Proszę o informacje jakie są w ocenie Doktoranta najważniejsze czynniki rozwoju prosumenckich instalacji fotowoltaicznych w kraju i wyjaśnienie czy zaobserwowana w ostatnim okresie słabnąca dynamika wzrostu liczby instalacji prosumenckich w kraju i ich mocy zainstalowanej (w 2024 r. - 10%, 2023 r. – 15%, 2022 r. – 41%. 2021 r. – 87%) ma jedynie związek z wprowadzeniem rozliczenia wartościowego prosumenta (tzw. „net-billing”), czy nie.

4. Doktorant w autoreferacie na stronie 12 (oraz w 6-ciu publikacjach naukowych) przedstawia zakłócenia w pracy sieci nN wprowadzane przez prosumenckie instalacje fotowoltaiczne. Obejmują one wg Doktoranta: przekroczenie napięcia powyżej wartości dopuszczalnej, pojawienie się odwrotnych przepływów mocy czynnej, czyli przepływów z sieci nN do sieci SN, przekroczenie prądu dopuszczalnego długotrwale dla danego elementu sieci, wzrost strat sieciowych w stosunku do pracy tej samej sieci bez źródeł PV oraz wzrost niesymetrii napięć (głównie składowej zerowej).

Dlaczego Doktorant pominął takie zakłócenia jak: skokowe zmiany napięcia; wzrost wartości krótko i długookresowych współczynników migotania światła (P_{st} i P_{lt}) czy wzrost niesymetrii prądów. Proszę o informacje jakie są w ocenie Doktoranta trzy najistotniejsze zakłócenia w sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia w przypadku jej dużego nasycenia prosumenckimi instalacjami fotowoltaicznymi, w sytuacji gdy rozpatrujemy ją całościowo, a nie lokalnie.

5. Doktorant w autoreferacie na stronach od 22 do 25 (oraz w dwóch publikacjach naukowych (*Śląskie Wiadomości Elektryczne, Energies*)) przedstawia wybór narzędzia do analizy stanów pracy sieci niskiego napięcia. Przeprowadza w zróżnicowanej formie opisowej analizę cech oraz głównych zalet i wad najczęściej stosowanych programów komputerowych: OpenDSS, GridLAB-D, CYMDIST i PowerFactory oraz dokonuje wyboru najlepszego narzędzia – programu OpenDSS.

W ocenie Recenzenta, o ile można uznać, że narzędzie analityczne OpenDSS jest lepsze od programów GridLAB-D czy CYMDIST, to jednak ma zdecydowanie mniejsze możliwości od najpopularniejszego w tym zakresie programu komercyjnego jakim jest Power Factory Dlatego głównym i najważniejszym kryterium wyboru narzędzia przez Doktoranta było - czy jest to narzędzie bezpłatne (typu open-source) czy komercyjne (płatne), co powinno być zaakcentowane w przeprowadzonej analizie. Ponadto takie porównanie narzędzi obliczeniowych, aby było bardziej czytelne, powinno być przeprowadzone w formie tabeli z porównaniem ważnych elementów, cech, możliwości, zalet i wad wspomnianych programów, a nie w formie opisowej i zróżnicowanej dla każdego opisywanego programu.

6. Doktorant w autoreferacie na stronach od 27 do 35 (oraz w dwóch publikacjach naukowych (*Energies, Przegląd Elektrotechniczny-1/2024*)) przedstawia wpływ prosumenckich

mikroinstalacji fotowoltaicznych na pracę testowej sieci nN. Przeprowadza badania dla trzech stopni nasycenia sieci źródłami fotowoltaicznymi α na poziomie: 0, 25% i 50%. Przy czym dla każdego odbiorcy wyposażonego w źródło PV przyjmuje jednakowe wartości rocznego czasu wykorzystania mocy zainstalowanej źródeł fotowoltaicznych T_z na poziomie 1000 h oraz współczynnika autokonsumpcji β na poziomie 0,25.

Proszę o przedstawienie przesłanek, które zadecydowały o wyborze takich, a nie innych wartości: współczynnika nasycenia sieci źródłami fotowoltaicznymi, rocznego czasu wykorzystania mocy zainstalowanej źródeł fotowoltaicznych czy współczynnika autokonsumpcji wyprodukowanej przez prosumenta energii elektrycznej w instalacji fotowoltaicznej, bowiem w literaturze spotyka się również analizy dla wielu innych wartości wspomnianych parametrów.

7. Doktorant w autoreferacie na stronie 30 (oraz w dwóch publikacjach naukowych (*Energies*, *Przegląd Elektrotechniczny-1/2024*)) przedstawia wzór 3.3, który umożliwia określenie wymaganej mocy znamionowej źródła fotowoltaicznego P_{nPV} . We wzorze tym pojawia się współczynnik γ , który określa ilość energii produkowanej w źródłach PV.

W ocenie Recenzenta nazwa tego współczynnika jest niefortunna, ilość energii produkowanej w źródłach fotowoltaicznych powinna być wyrażana w kWh, a nie w formie bezwymiarowej. Proszę o wyjaśnienie, co ten współczynnik oznacza, jak jest definiowany i określany, czy ma charakter bezwymiarowy i dlaczego jest przyjmowany przez Doktoranta na stałym poziomie równym 0,2.

8. Doktorant w autoreferacie na stronie 36 (oraz w dwóch publikacjach naukowych (*Energies*, *Przegląd Elektrotechniczny-1/2024*)) przedstawia zależność 3.4, która umożliwia wyznaczenie ryzyka przekroczenia dopuszczalnych warunków pracy sieci nN z zainstalowanymi mikroinstalacjami PV. Przy czym niedopuszczalne warunki rozpatrywane przez Doktoranta obejmują: napięcie w danym węźle jest wyższe niż 1,1 U_n lub niższe niż 0,9 U_n (gdzie: U_n – napięcie znamionowe sieci); składową zerową i przeciwną napięcia w danym węźle jest większa niż 2% składowej zgodnej napięcia; wartość prądu przepływającego przez dany element sieci (linia, transformator) jest większa od prądu znamionowego tego elementu; pojawienie się odwrotnego przepływu energii przez transformator (od sieci nN do sieci SN) oraz całkowite straty energii w sieci z zainstalowanymi źródłami PV są większe niż w sieci bez tych źródeł.

Przedstawione przez Doktoranta niedopuszczalne warunki pracy sieci dystrybucyjnej nN nie wyczerpują katalogu zakłóceń, które mogą wprowadzać prosumenckie instalacje fotowoltaiczne, ponadto mają często zróżnicowaną wagę dla operatorów systemu dystrybucyjnego, w sytuacji gdy odnoszą się do różnych lokalnych sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia zlokalizowanych w różnych częściach kraju na terenach wiejskich, podmiejskich lub miejskich, gdzie dominuje zabudowa jednorodzinna. W ocenie skutków zakłóceń ważne jest nie tylko miejsce, ale również czas ich wystąpienia. Czy w związku z tym Doktorant dopuszcza pewną elastyczność w swoim podejściu. Proszę o informacje, dla których z wymienionych warunków należy bezwzględnie lub w pierwszej kolejności szacować ryzyko przekroczenia warunków.

9. Doktorant w autoreferacie na stronie 39 przedstawia rysunek *Rys. 3.12. Asymetryczny przebiegu obciążenia, w jednostkach względnych, dla tygodniowego horyzontu czasowego*. Niestety rysunek ten jest nieczytelny, co ogranicza możliwość jego analizy przez czytelnika autoreferatu pracy doktorskiej. Niewiele pomaga tutaj sięganie do źródła i jego analiza w publikacji naukowej (*Energies*), bowiem jakość tego rysunku niestety nie jest właściwa.

10. Doktorant w autoreferacie na stronie 59, 60, 63 i 64 przedstawia rysunki: *Rys. 4.4. Porównanie rocznych ryzyk wystąpienia przepływu odwrotnego na transformatorze w zależności od wartości współczynnika α dla różnego typu sieci; Rys. 4.5. Porównanie stosunku rocznych strat energii w sieci z zainstalowanymi źródłami PV do sieci bez nich w*

zależności od wartości współczynnika α dla różnego typu sieci nN; Rys. 4.6. Porównanie średniego rocznego ryzyka wzrostu napięcia powyżej $1,1 U_n$ w całej sieci w zależności od wartości współczynnika α dla różnego typu sieci nN; Rys. 4.7. Porównanie średnich rocznych ryzyk wzrostu napięcia powyżej $1,1 U_n$ dla odbiorcy zlokalizowanego najdalej od stacji SN/nN w zależności od wartości współczynnika α dla różnego typu sieci nN ograniczając się tylko do podania wartości, bez podania jednostek. Informacja o jednostkach jest szczególnie istotna w przypadku osi pionowej, bowiem umożliwia właściwą analizę rysunków.

11. Doktorant w autoreferacie na stronie 54 przedstawia Tabelę 4.1 Przykłady nazewnictwa elementów sieci nN zastosowane podczas ich wizualizacji w programie QGIS w której element O4S8 objaśnia błędnie jako obwód nr 2, słup nr 8. Prawidłowe objaśnienie tego elementu powinno brzmieć obwód nr 4, słup nr 8.

12. Doktorant w autoreferacie w rozdziale 4.3.2 (oraz w trzech publikacjach naukowych (*Rynek Energii*, rozdział w monografii senackiej, *Przegląd Elektrotechniczny-10/2024*)) na stronach od 73 do 84 przedstawia analizę możliwości obniżenia poziomów napięć w wybranej sieci nN przy pracy mikroinstalacji PV. Przy czym bierze pod uwagę dla analizowanego przykładu - fragmentu rzeczywistej sieci dystrybucyjnej nN klasyczne, typowe rozwiązania praktyczne do których zalicza się: wymianę transformatora na jednostkę o mocy 630 kVA oraz dodatkowo skablowanie całej sieci razem z przyłączami za pomocą kabli o przekroju 240 mm²; wymianę przewodów o przekroju 50 mm² na 70 mm², a 70 mm² na 120 mm² (pozostała część sieci bez zmian); wymianę transformatora na jednostkę o mocy 630 kVA przy zachowanych dotychczasowych przekrojach przewodów roboczych linii; budowę nowej stacji SN/nN i wprowadzenie nowych podziałów sieci polegające na skróceniu wybranych obwodów; beznapięciową zmianę przekładni transformatora SN/nN (400 kVA); podobciążeniową zmianę przekładni transformatora SN/nN (400 kVA); zmianę współczynnika mocy falowników z obecnego $\cos\varphi = 1$ na $\cos\varphi = 0,8^p$ (pobór mocy biernej indukcyjnej); instalację centralnego magazynu energii zlokalizowanego przy stacji zasilającej; instalację zbiorczych magazynów energii zlokalizowanych po jednym w każdym obwodzie oraz instalację rozproszonych magazynów energii, zlokalizowanych u losowo wybranych prosumentów.

W ocenie Recenzenta wymienione rozwiązania techniczne różnią się od siebie kosztami, możliwościami implementacji oraz odpowiedzialnością za ich wdrożenie (OSD lub prosument). Przykładowo budowa nowej stacji SN/nN, ingerencja w transformator SN/nN czy wymiana przewodów lub zmiana sposobu prowadzenia linii nN leży w kompetencjach operatora systemu dystrybucyjnego, natomiast za stosowanie regulacji w falownikach lub montaż indywidualnych magazynów energii odpowiedzialni są zgodnie z krajowymi regulacjami prawnymi prosumenci. Dlatego w pracy Doktorant powinien wymienione rozwiązania techniczne pogrupować, omówić szczegółowo, a nie przedstawić ogólnie. Ponadto powinien zwrócić uwagę na koszty rozwiązania ponoszone przez OSD, potencjalne problemy np. w obszarze formalno-prawnym przy wymianie linii z napowietrznej na kablową czy potencjalne dodatkowe korzyści dla operatora np. zwiększenie elastyczności sieci dystrybucyjnej po modernizacji sieci i wymianie transformatora. Proszę o informacje jakie są najkorzystniejsze dla operatora systemu dystrybucyjnego rozwiązania techniczne, które umożliwiają obniżenie poziomów napięć w analizowanym przez Doktoranta fragmencie rzeczywistej sieci dystrybucyjnej nN.

13. Doktorant w autoreferacie w rozdziale 4.3.2 (oraz w trzech publikacjach naukowych (*Rynek Energii*, rozdział w monografii senackiej, *Przegląd Elektrotechniczny-10/2024*)) na stronach od 73 do 84 przedstawia analizę możliwości obniżenia poziomów napięć w wybranej sieci nN przy pracy mikroinstalacji PV. Przy czym bierze pod uwagę dla analizowanego przykładu - fragmentu rzeczywistej sieci dystrybucyjnej nN klasyczne, typowe rozwiązania

praktyczne do których zalicza się m.in. beznapięciową zmianę przekładni transformatora SN/nN (400 kVA).

Jaka jest w ocenie Doktoranta efektywność takiego rozwiązania bowiem zmiana położenia przełącznika zaczeów transformatora SN/nN jest najprostszym i najtańszym rozwiązaniem dla OSD. Metoda ta nie wymaga nakładów inwestycyjnych, a operator ponosi jedynie koszty operacyjne (zaangażowanie pracowników i pojazdów spółki) oraz straty z tytułu chwilowego wstrzymania dostawy energii elektrycznej, na czas wykonania operacji przełączenia, która jest przeważnie realizowana w stanie bezprądowym.

14. Doktorant w autoreferacie w rozdziale 4.4 (oraz w dwóch publikacjach naukowych (*rozdział w monografii senackiej, Przegląd Elektrotechniczny-10/2024*)) na stronach od 85 do 105 przedstawia zastosowanie magazynów energii do regulacji napięcia w sieci dystrybucyjnej nN. Przy czym magazyny te zlokalizowane są u wybranych prosumentów, a ich sterowanie może być realizowane w oparciu o zaproponowane przez Doktoranta algorytmy minimalizacji kosztów energii lub maksymalizacji neutralności finansowej.

W ocenie Recenzenta indywidualne magazyny energii stanowią najlepsze i najtańsze rozwiązanie do regulacji napięcia w sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia. Jest ono korzystne zarówno dla prosumentów jak i OSD, zwiększa bowiem możliwości wykorzystania energii w okresach nadprodukcji i zmniejsza negatywne oddziaływanie prosumenckich instalacji fotowoltaicznych w sieci dystrybucyjnej nN należącej do OSD. Ich zainstalowanie nie powinno stanowić problemów technicznych dla większości prosumentów. Niemniej jednak ze względu na ich koszt (średnio kilka tys. zł) nie każdy prosument jest skłonny do takiej inwestycji. Ponadto obecnie prosument może przechowywać wyprodukowaną przez własną instalację energię elektryczną i wprowadzić do sieci po wyższej cenie rynkowej, natomiast ładowanie magazynu z sieci po niższej cenie i wprowadzanie do sieci po wyższej jest niedozwolone. Takie działanie wymaga założenia działalności gospodarczej.

Rozwiązania przedstawione przez Doktoranta muszą obok aspektów technicznych uwzględniać różnorodne krajowe ograniczenia natury ekonomicznej, społecznej czy formalno-prawnej w rozpatrywanym obszarze i uwzględniać realia krajowe. W związku z tym proszę o przedstawienie propozycji Doktoranta, które umożliwią większą implementację indywidualnych magazynów energii u prosumentów.

14. Doktorant w ramach autoreferatu w rozdziałach 3 i 4 dokładnie omówił i przedstawił osiągnięcia naukowe i wdrożeniowe związane z realizacją pracy doktorskiej. W podsumowaniu przedstawionym w rozdziale 5 autoreferatu zabrakło jednak informacji o planowanych przyszłych pracach badawczych w tym obszarze, co stanowi pewien standard przyjęty w rozprawach doktorskich. Czy oznacza to, że Doktorant uważa swoje rozwiązanie za kompletne, w pełni zaspokajające potrzeby operatora systemu dystrybucyjnego w tym względzie i nie wymagające dalszego rozwoju.

Proszę o uzupełnienie tych informacji i nakreślenie planów badawczych na przyszłość. W ocenie Recenzenta praca doktorska realizowana przez Doktoranta stanowi punkt wyjścia do dalszych badań w tym obszarze.

Przedstawione powyżej uwagi szczegółowe i dyskusyjne nie obniżają wartości merytorycznej pracy doktorskiej i nie umniejszają osiągnięć Doktoranta.

7. Uwagi redakcyjne

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

Usterki redakcyjne nie dotyczą zbioru 6-ciu powiązanych tematycznie publikacji naukowych, a więc artykułów i rozdziału w monografii senackiej, które zostały poddane pełnemu cyklowi wydawniczemu obejmującemu m.in. recenzje oraz korekty recenzentów, redakcyjną i autorską.

Błędy gramatyczne wiążą się z niewłaściwą formą zdania: (str.15) „Sieci rozdzielcze nN eksploatowane w Polskim, podobnie jak i pozostałych częściach europejskiego systemu elektroenergetycznego,...” , które powinno brzmieć „Sieci rozdzielcze nN eksploatowane w polskim systemie elektroenergetycznym, podobnie jak i pozostałych częściach europejskiego systemu elektroenergetycznego,...”; (str.37) „Do przygotowania asymetrycznego profilu obciążanie wykorzystano generator liczb losowych o rozkładzie normalnym.”, które powinno brzmieć „Do przygotowania asymetrycznego profilu obciążenia wykorzystano generator liczb losowych o rozkładzie normalnym.”; (str.66) „Odbiorcy w tej sieci doświadczają najwięcej i trwających najdłużej przepięć długoterminowych.”, które powinno brzmieć „Odbiorcy w tej sieci doświadczają najwięcej najdłużej trwających przepięć długoterminowych”; (str.103) „Z punktu widzenia całej sieci ilość niewygenerowanej energii zmniejszyła się średnio o 37% przy maksymalizacji neutralności finansową prosumentów...”, które powinno brzmieć „Z punktu widzenia całej sieci ilość niewygenerowanej energii zmniejszyła się średnio o 37% przy maksymalizacji neutralności finansowej prosumentów” i (str.106) „Wychodzą naprzeciw problemom z jakimi muszą mierzyć się operatorzy systemów dystrybucyjnych...”, które powinno brzmieć „Wychodząc naprzeciw problemom z jakimi muszą mierzyć się operatorzy systemów dystrybucyjnych...”.

Błędy gramatyczne wiążą się dodatkowo z powtarzaniem tych samych słów w jednym zdaniu, co jest niewłaściwe stylistycznie: (str. 50) dotyczy „różny” - „... (różna lokalizacja tych samych prosumentów w różnych punktach sieci może mieć różny wpływ na jej pracę)..., które powinno brzmieć „... (inna lokalizacja tych samych prosumentów w punktach sieci może prowadzić do zróżnicowanego wpływu na jej pracę)...”.

Błędy edycyjne pojawiają się na: str. 13 („Należ jednak zaznaczyć...”, a powinno być „Należy jednak zaznaczyć...”); str. 14 („...z uwagi na dużą liczę zainstalowanych instalacji prosumenckich...”, a powinno być „...z uwagi na dużą liczbę zainstalowanych instalacji prosumenckich...”); str. 25 („...wybrano sieć zasilającą odbiorców komunalno-bytowych (część Residential)...”, a powinno być „...wybrano sieć zasilającą odbiorców komunalno-bytowych (część Residential)...”); str. 29 („... $E=PT_s=Scos\varphi T_s$, w której E oznacza roczne zużycie energii elektrycznej odbiorcy (w kWh),...”, a powinno być „... $E=PT_s=Scos\varphi T_s$, w której: E oznacza roczne zużycie energii elektrycznej odbiorcy (w kWh),...”); str. 29 („...wygenerowany przez mikroinstalację PV z nimi zintegrowane (E_{PV}).”, a powinno być „wygenerowany przez mikroinstalację PV z nimi zintegrowaną (E_{PV}).”); str. 30 („Ta nazwa i symbol będą wykorzystywane w dalszej części pracy.”, a powinno być „Ta nazwa i symbol będą wykorzystywane w dalszej części pracy.”); str. 30 („...w którym β oznacza współczynnik autokonsumpcji, γ jest współczynnikiem określającym ilość energii produkowanej w źródłach PV...”, a powinno być „...w którym: β oznacza współczynnik autokonsumpcji, γ jest współczynnikiem określającym ilość energii produkowanej w źródłach PV,...”); str. 61 („...przy wyższych wartościach współczynnika α).”, a powinno być „...przy wyższych wartościach współczynnika α .”) ; str. 66 („...pozwala to z punktu widzenia OSD skupić swoje działania inwestycyjne...”, a powinno być „...pozwala to z punktu widzenia OSD skupić swoje działania inwestycyjne...”); str. 78 („... (u odbiorcy tego stwierdzono najgorsze warunki napięciowe w całej sieci, stąd decyzja o jego wyborze)...”, a powinno być „... (u odbiorcy tego stwierdzono najgorsze warunki napięciowe w całej sieci, stąd decyzja o jego wyborze)...”); str. 79 („W tym miejscu należy zwrócić uwagę...”, a powinno być „W tym miejscu należy zwrócić uwagę...”); str. 79 („...to wzrost wskaźniki różnicy bilansowej danego OSD. ”, a powinno być „...to wzrost wskaźniki różnicy bilansowej danego OSD.”);

str. 80 („Szczegółowa analiza wyników wykazała, że dla takiej lokalizacji...”, a powinno być „Szczegółowa analiza wyników wykazała, że dla takiej lokalizacji...”); str. 86 („...gdzie c_h to cena energii...”, a powinno być „...gdzie: c_h to cena energii,...”); str. 89 („Dobowy profil sterownia magazynem...”, a powinno być „Dobowy profil sterowania magazynem ...”); str. 92 („Dla każdego odbiorcy określono maksymalną wartość przebieg oraz czas ich trwania w ciągu doby.”, a powinno być „Dla każdego odbiorcy określono maksymalną wartość przebieg oraz czas ich trwania w ciągu doby.”); str. 92 („Rys. 4.27. Maksymalne wartości przebieg w ciągu doby dla odbiorców...”, a powinno być „Rys. 4.27. Maksymalne wartości przebieg w ciągu doby dla odbiorców...”); str. 93 („Rys. 4.28. Czas trwania przebieg w ciągu doby dla odbiorców...”, a powinno być „Rys. 4.28. Czas trwania przebieg w ciągu doby dla odbiorców ...”); str. 95 („Rys. 4.30. Maksymalne wartości przebieg w ciągu doby dla odbiorców ...”, a powinno być „Rys. 4.30. Maksymalne wartości przebieg w ciągu doby dla odbiorców ...”); str. 95 („Rys. 4.31. Czas trwania przebieg w ciągu doby dla odbiorców ...”, a powinno być „Rys. 4.31. Czas trwania przebieg w ciągu doby dla odbiorców ...”); str. 97 („Rys. 4.33 Maksymalne wartości przebieg w ciągu doby dla odbiorców ...”, a powinno być „Rys. 4.33 Maksymalne wartości przebieg w ciągu doby dla odbiorców ...”); str. 97 („Rys. 4.34 Czas trwania przebieg w ciągu doby dla odbiorców...”, a powinno być „Rys. 4.34 Czas trwania przebieg w ciągu doby dla odbiorców ...”) i str. 100 („...obserwacje pracy pojedynczego magazynu energii w okresie kilku dni.”, a powinno być „...obserwacje pracy pojedynczego magazynu energii w okresie kilku dni.”);

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

Przedstawione powyżej uwagi redakcyjne dotyczą jedynie autoreferatu i nie dotyczą 6-ciu powiązanych tematycznie publikacji naukowych (artykułów i rozdziału w monografii senackiej), które zostały poddane pełnemu cyklowi wydawniczemu i prezentują się pod względem redakcyjnym bez zarzutu. Nie obniżają wartości merytorycznej doktoratu i nie umniejszają osiągnięć Doktoranta.

8. Wniosek końcowy

Opiniowana rozprawa doktorska mgr inż. Marcina Smółki obejmująca autoreferat i zbiór 6-ciu powiązanych tematycznie publikacji naukowych stanowi wartościowe i oryginalne opracowanie, które przedstawia rozwiązanie interesującego, aktualnego i ważnego dla praktyki problemu naukowego dotyczącego właściwej oceny wpływu prosumenckich instalacji fotowoltaicznych na wybrane parametry charakteryzujące pracę sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia oraz rozwiązań ograniczających ten wpływ, w sytuacji gdy jest on negatywny.

Przedstawione przez Doktoranta rezultaty badań analitycznych i modelowo-symulacyjnych są interesujące, a wnioski przedstawione przez Doktoranta z nich wynikające są spójne i logiczne. Mają dużą wartość poznawczą i praktyczną, bowiem opracowana przez Doktoranta metodologia i narzędzia obliczeniowe zostały wdrożone i są wykorzystywane w przedsiębiorstwie energetycznym - Tauron Dystrybucja S.A. Ponadto mogą stanowić bardzo pomocne narzędzie dla innych operatorów systemów dystrybucyjnych do oceny wpływu prosumenckich instalacji fotowoltaicznych na wybrane parametry charakteryzujące pracę sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia i zakłóceń przez nie wprowadzanych oraz rozwiązań ograniczających negatywny wpływ tych instalacji na wspomnianą sieć dystrybucyjną.

Recenzowana rozprawa obejmująca autoreferat i zbiór 6-ciu powiązanych tematycznie publikacji naukowych wykazuje ponadto bardzo dobrą ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w obszarze nauk inżynierjno-technicznych w dyscyplinie naukowej Automatyka,

Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne oraz umiejętność samodzielnego tworzenia metodyki badań oraz prowadzenia pracy naukowej.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska opracowana przez mgr inż. Marcina Smołkę obejmująca autoreferat i zbiór 6-ciu powiązanych tematycznie publikacji naukowych 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 Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Śląskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony.