

Dr hab. inż. Sławomir Cieślik  
Wydział Telekomunikacji, Informatyki i Elektrotechniki  
Politechnika Bydgoska  
Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz

WYDZIAŁ AUTOMATYKI,  
ROBOTYKI I I ELEKTROTECHNIKI  
POLITECHNIKA POZNAŃSKA

28-12-2022

Bydgoszcz, 19 grudnia 2022 r.

PRZEWODNICZĄCY RADY DISCYPLINY  
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika  
i Technologie Kosmiczne

WPŁYNEŁO

prof. dr hab. inż. Wojciech Szelaąg

## **Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Stanisława Mikulskiego pt.: „Optymalizacja parametrów i rozmieszczenia magazynów energii w sieciach dystrybucyjnych ze źródłami niestabilnymi”**

**Promotor: dr hab. inż. Andrzej Tomczewski**

**Promotor pomocniczy: dr inż. Arkadiusz Dobrzyński**

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Stanisława Mikulskiego pt.: „Optymalizacja parametrów i rozmieszczenia magazynów energii w sieciach dystrybucyjnych ze źródłami niestabilnymi”, została opracowana na podstawie:

- D1. Pisma Przewodniczącego Rady dyscypliny automatyka, elektronika i elektrotechnika Politechniki Poznańskiej, prof. dr. hab. inż. Wojciecha Szelaąga z dnia 4 października 2022 roku, sygn. DR-012/92/2022.
- D2. Uchwały nr 43/2021-2022 Rady dyscypliny automatyka, elektronika i elektrotechnika Politechniki Poznańskiej z dnia 28 września 2022 roku.
- D3. Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 30 stycznia 2018 r., poz. 261).
- D4. Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r., poz. 1789).
- D5. Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r., Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r., poz. 1669, z późn. zm.).

Z uwagi na to, że przewod doktorski mgr. inż. Stanisława Mikulskiego był wszczęty przed dniem 30 kwietnia 2019 r. recenzja odnosi się do osiągnięć naukowych kandydata w zakresie dyscypliny elektrotechnika będącej przedmiotem dotychczasowej działalności naukowej kandydata, ale również określa relacje tych osiągnięć do dyscypliny automatyka, elektronika i elektrotechnika wg nowej klasyfikacji (z uwzględnieniem dyscypliny automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne).

### **1. Ogólne informacje o rozprawie**

Oceniana rozprawa doktorska została przedstawiona w postaci drukowanej na 203. stronach. Po stronie tytułowej (zawierającej słowa kluczowe) następuje spis treści, następnie streszczenia w języku polskim i angielskim. Pierwszy rozdział jest wprowadzeniem, po którym, w osobnym rozdziale sformułowano cel, tezę, zadania szczegółowe oraz zakres pracy. Następnie jest 8 kolejnych rozdziałów, po których w 11. rozdziale znajduje się podsumowanie. Na końcu pracy umieszczono spis bibliograficzny, spis ilustracji oraz spis tabel. Kolejność rozdziałów oraz podział treści na poszczególne rozdziały są właściwe.

### **2. Ocena wyboru tematu**

Rozprawa doktorska mgr. inż. Stanisława Mikulskiego dotyczy optymalizacji parametrów i rozmieszczenia magazynów energii w sieciach dystrybucyjnych ze źródłami niestabilnymi. Bez wątpienia temat jest aktualny z naukowego, jak i praktycznego punktu widzenia.

Europa, w tym Polska, znajduje się w początkowej fazie procesu transformacji energetycznej. Poszukuje się modelu krajowych systemów elektroenergetycznych w warunkach niewykorzystywania węgla (kamiennego i brunatnego), ropy i gazu ziemnego. Poszukuje się modelu samego procesu transformacji ze stanu obecnego systemu do nowego bez paliw kopalnych.

Postulowany stan (struktura i funkcjonowanie) przyszłego systemu elektroenergetycznego będzie opierał się w głównej mierze na odnawialnych źródłach energii. Szczególnie w warunkach geograficznych Polski, pozyskiwanie energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych należy zakwalifikować do źródeł niestabilnych, przy czym niestabilność wynika ze zmiennych warunków atmosferycznych (trudność w prognozowaniu mocy dysponowanych źródeł). Rozwiązaniem tego problemu, przynajmniej w pewnym zakresie, może być zastosowanie magazynów energii. Instalowanie magazynów energii przy każdej jednostce wytwórczej może być nieefektywne. Zatem, poszukiwanie sposobów określania parametrów magazynów energii oraz ich rozmieszczenia w elektroenergetycznej sieci dystrybucyjnej (na każdym poziomie napięcia) jest aktualne z naukowego, jak i praktycznego punktu widzenia.

**Podjęty przez mgr. inż. Stanisława Mikulskiego temat rozprawy doktorskiej jest zagadnieniem aktualnym w dyscyplinie naukowej elektrotechnika i interesującym z naukowego oraz praktycznego punktu widzenia. Biorąc pod uwagę nową kwalifikację dyscyplin naukowych (2019 rok), tematyka rozprawy wpisuje się również w dyscyplinę naukową automatyka, elektronika i elektrotechnika oraz w dyscyplinę naukową automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne (2022 rok).**

Można mieć zastrzeżenie do użycia liczby mnogiej w tytule rozprawy dotyczącej parametrów magazynów energii. W treści pracy, w zasadzie pod uwagę brana jest tylko pojemność magazynów.

### 3. Merytoryczna ocena rozprawy

We wprowadzeniu, w pierwszej części podane są ogólne informacje, które mają na celu uzasadnienie podjętej tematyki badań. Akcent został położony głównie na stan obecny elektroenergetyki w przedmiotowym zakresie. Zdaniem recenzenta celowe byłoby uwzględnienie w uzasadnieniu aspektów przyszłego, nowego systemu elektroenergetycznego, gdy nie będą wykorzystywane już paliwa kopalne. Autor odniósł się w ogólnym stopniu do prac innych badaczy, które są opublikowane w źródłach literaturowych o zasięgu światowym. Autor właściwie zidentyfikował problem badawczy i uzasadnił potrzebę opracowania metody optymalizacji rozmieszczenia magazynów energii i ustalania ich pojemności oraz analizy wpływu strategii sterowania ich pracą, które umożliwi optymalne rozwiązania ze względu na wybrane kryteria techniczne.

W rozdziale 2, Autor przedstawił cele, tezę, zadania szczegółowe i zakres rozprawy doktorskiej. Sprecyzowane zostały trzy cele. Pierwszym celem było opracowanie i implementacja algorytmu optymalizacji wielokryterialnej pozwalającego na wybór lokalizacji, dobór pojemności oraz strategii sterowania pracą magazynów energii w elektroenergetycznych sieciach dystrybucyjnych z dużą liczbą niestabilnych źródeł energii. Drugim celem było wykonanie wielowariantowych analiz optymalizacyjnych w poznańskiej sieci dystrybucyjnej 110 kV ze źródłami niestabilnymi (elektrownie wiatrowe i fotowoltaiczne) z zastosowaniem opracowanej metody. Trzecim celem była analiza zastosowanej metodyki i uzyskanych wyników dla określenia w pewnym sensie uogólnionych wytycznych dotyczących rozmieszczania magazynów energii na przykładzie Poznańskiego Systemu Elektroenergetycznego. Wszystkie trzy cele można zakwalifikować jako cele naukowe rozprawy doktorskiej.

Autor sformułował następującą tezę: „zastosowanie wielokryterialnej metody optymalizacji do ustalenia lokalizacji, parametrów i strategii pracy magazynów energii w sieciach dystrybucyjnych z generacją niestabilną pozwala na poprawę warunków pracy sieci dystrybucyjnej i parametrów jakościowych energii elektrycznej, szczególnie ograniczenie strat przesyłowych, wartości napięć węzłowych oraz wahań mocy bilansującej” (str. 14). Nie ma zastrzeżeń do tezy, z jedną uwagą, którą już sformułowano odnośnie do tytułu rozprawy doktorskiej, a dotyczy ona liczby mnogiej w kontekście parametrów magazynów energii.

Rozdział 3 zawiera charakterystykę metod analizy rozplywu mocy w systemie elektroenergetycznym. W tym miejscu warto odnieść się do zagadnienia teoretycznego, ale mającego duże znaczenie w praktycznej interpretacji wyników badań. Jeżeli moc jest rozumiana jako miara szybkości zmian energii elektrycznej, to sformułowania takie, jak np. „generowanie mocy”

i „rozptyw mocy” nie są zrozumiałe. Z uwagi na to, że w środowisku naukowym od lat używane są tego typu sformułowania, w dalszej części recenzji nie będzie już ten wątek podnoszony. Niemniej jednak, warto w pracach naukowych w XXI wieku, próbować porządkować pewne zaszłości.

Treść rozdziału 3, w zdecydowanej większości jest znana i dobrze opisana w literaturze przedmiotu. Jednak, z uwagi na wieloaspektowość merytoryczną zakresu zadań w ocenianej rozprawie, zdaniem recenzenta takie uporządkowanie i przypomnienie metod analizy rozptywu mocy w systemie elektroenergetycznym jest zasadne. Autor zwraca uwagę na kontekst przyspieszenia obliczeń, zwłaszcza że rzeczywiste systemy elektroenergetyczne opisane są dużą liczbą równań (problem odwracania macierzy). W tym kontekście interesujące są wyniki badań Autora, które umożliwiły na porównanie metod rozwiązywania rozptywu mocy (podrozdział 3.5.3). Jednym z ważnych wniosków z tego podrozdziału jest propozycja zastosowania technik programowania równoległego i obliczeń współbieżnych.

Rozdział 4 dotyczy zagadnienia zrównoleżenia obliczeń mocy z zastosowaniem jednostki GPU. Autor proponuje do przyspieszenia analiz systemów elektroenergetycznych jednostki graficzne w architekturze CUDA. Nie jest to propozycja oryginalna, ale rozwiązuje skutecznie problem przyspieszenia obliczeń wskazany w poprzednim rozdziale. Autor w szczegółach przedstawił sposób analizy rozptywu mocy z zastosowaniem GPU. Istotnym, poznawczym wynikiem badań są czasy obliczeń z zastosowaniem CPU (obliczenia sekwencyjne) oraz GPU (obliczenia równoległe) dla czterech klasycznych systemów testowych (IEEE 5 Bus, IEEE 9 Bus, IEEE 30 Bus oraz IEEE 118 Bus).

W kolejnym rozdziale są informacje dotyczące zastosowania magazynów energii w systemie elektroenergetycznym. Treść tego rozdziału w zdecydowanej większości również jest znana i dobrze opisana w literaturze przedmiotu. Jednak, zdaniem recenzenta ma ona charakter porządkujący i przygotowujący czytelnika do rozważanych w dalszych analizach scenariuszy pracy magazynów energii. Z technicznego i praktycznego punktu widzenia, wątpliwe jest zdefiniowanie czasu  $t_{roz}$  (str. 43), jako najkrótszego możliwego do uzyskania czasu rozładowania magazynu od stanu pełnego naładowania do pełnego rozładowania. Jaka jest przydatność tego parametru, jeżeli wiadomo że magazyny nie powinny być rozładowywane w pełni?

W rozdziale 6 Autor opisał niestabilne źródła energii elektrycznej. Przez niestabilne źródła energii rozumie się źródła charakteryzujące się nieprzewidywalnym (losowym) profilem wytwarzanej energii elektrycznej. Treść tego rozdziału w zdecydowanej większości również jest znana i dobrze opisana w literaturze przedmiotu. Uwaga merytoryczna recenzenta sformułowana jest w punkcie 4 niniejszej recenzji.

Rozdział 7 zawiera opis metod optymalizacji wielokryterialnej. Treść tego rozdziału jest oparta o znane źródła literaturowe, ale z uwagi na główne cele ocenianej rozprawy doktorskiej stanowi bardzo istotny element teoretyczny, niezmiernie przydatny do prawidłowego przebiegu procesu badawczego. Autor zdecydował się na wykorzystanie algorytmu opisanego w [140], ale wyraźnie wskazał, że należy przeprowadzić badania wstępne potwierdzające właściwy wybór algorytmu. Na podstawie treści tego rozdziału można potwierdzić bardzo dobre przygotowanie teoretyczne Autora rozprawy w zakresie współczesnych metod optymalizacji wielokryterialnej. Komentarze autorskie potwierdzają wysokie kompetencje Autora rozprawy w kontekście właściwego wykorzystania metod optymalizacji.

Rozdział 8 dotyczy optymalizacji parametrów (rozdziału pojemności magazynów) i rozmieszczenia magazynów energii w sieci elektroenergetycznej. Jest to rozdział w pełni autorski. Pytania i uwagi merytoryczne recenzenta sformułowane są w punkcie 4 niniejszej recenzji. Niestety, Autor zastosował te same symbole do oznaczania różnych parametrów, co znacznie utrudnia lekturę tekstu.

Autor, uwzględniając cel pracy, przyjęty model zagadnienia optymalizacyjnego (podrozdziały: 8.2, 8.3 oraz 8.4) oraz wyniki porównania metod optymalizacji opublikowane we współautorskim artykule [153], do wyznaczenia rozwiązań niezdominowanych dla analizowanego problemu zaproponował zmodyfikowaną metodę BRKGA o akronimie BRKGA-PM. Modyfikacja procesu mutacji została przedstawiona w postaci listingu 9.1 (str. 95). Skuteczność

zmodyfikowanej metody optymalizacji w rozwiązaniu analizowanego problemu wykazana została w podrozdziale 8.6.4. Uzyskane wyniki rozwiązań dwukryterialnych problemów testowych oraz wartości sprawności własnej i relatywnej (zdefiniowane wzorami (8.31) i (8.32) na str. 95) pokazują, że w każdym przypadku metoda BRKGA-PM jest metodą najlepszą, zarówno pod względem jakości otrzymanych rozwiązań, jak i powtarzalności wyników. W pełni uzasadnia to przyjęcie tej zmodyfikowanej metody w dalszych badaniach.

Na podstawie treści całego rozdziału 8 można stwierdzić, że Autor ocenianej rozprawy wykazał się umiejętnością oceny proponowanych w literaturze metod optymalizacji określonego problemu. Potrafił skutecznie zmodyfikować jedną z przedstawionych metod w taki sposób, żeby dla przyjętego w rozprawie problemu optymalizacyjnego uzyskać właściwe rozwiązania. Autor rozprawy w stopniu bardzo dobrym opanował umiejętność właściwego planowania i przeprowadzania eksperymentów symulacyjnych. W sposób właściwy interpretuje wyniki uzyskane z symulacji.

W rozdziale 9 znajduje się charakterystyka obiektu optymalizacji, w postaci Poznańskiego Systemu Elektroenergetycznego (POSE). W skład POSE wchodzi 20 stacji (węzłów) rozmieszczonych na terenie Poznania oraz 16 stacji na obrzeżach miasta. Węzły połączone są 51. liniami elektroenergetycznymi (kablowymi oraz napowietrznymi), w tym 49 linii 110 kV oraz 2 linie 220 kV. Wybór obiektu badań, w kontekście celów i tezy rozprawy jest właściwy.

Rozdział 10 zawiera opis procesu optymalizacji oraz wyniki badań w kontekście optymalizacji rozmieszczenia magazynów energii w POSE. Badania obejmują cztery eksperymenty, których wyniki oceniane są na podstawie trzech zdefiniowanych funkcji celu:  $f_1$  (wzór (8.33), str. 96),  $f_2$  (wzór (8.34), str. 98) i  $f_3$  (wzór (8.35), str. 100) oraz ograniczenia równościowego  $f_4 = K_4$ . Eksperyment nr 1 obejmował analizę stanu pracy POSE ze źródłami wiatrowymi i fotowoltaicznymi, ale bez magazynów energii. W kolejnych trzech eksperymentach analizowane były stany pracy POSE z magazynami energii sterowanymi wg następujących algorytmów: Peak Shaving (eksperyment nr 2), Voltage Support (eksperyment nr 3) oraz Power Smoothing (eksperyment nr 4). Eksperymenty polegały na optymalizacji rozmieszczenia magazynów energii w POSE dla różnych mocy jednostek wytwórczych wykorzystujących OZE. Jednostki te pracowały z różnym stosunkiem mocy między elektrowniami fotowoltaicznymi (PV) i elektrowniami wiatrowymi (TW), przyjęto następujące udziały mocy źródeł PV w stosunku do mocy całkowitej OZE: 0%, 25%, 50%, 75% oraz 100%. Przyjęty plan badań jest właściwy w kontekście celów i tezy rozprawy doktorskiej.

Szczegółowe wyniki badań optymalizacyjnych zamieszczone są w podrozdziałach 10.1 – 10.4. Wyniki badań nie budzą zastrzeżeń. Wyniki zostały zinterpretowane przez Autora rozprawy i opatrzone autorskim komentarzem. Świadczy to o tym, że Autor ma szeroką wiedzę w zakresie funkcjonowania systemów elektroenergetycznych, która pozwala na właściwą interpretację wyników eksperymentów symulacyjnych.

W bibliografii znajduje się 160 pozycji, których dobór i wykorzystanie oceniane jest jako prawidłowe. Wśród wymienionych pozycji są trzy artykuły z udziałem Autora rozprawy. Spis literatury obejmuje pozycje o zasięgu światowym, w renomowanych czasopismach i liczących się w branży konferencjach.

Autor rozwiązał problem naukowy zidentyfikowany na początku rozprawy doktorskiej. Opracował algorytm optymalizacji rozmieszczenia oraz doboru pojemności magazynów energii, stanowiących element struktury sieci dystrybucyjnej w Poznaniu i okolicach, uwzględniając następujące kryteria: ograniczenie strat przesyłowych, poszerzenie możliwości regulacyjnych w zakresie wartości napięć węzłowych i stabilności częstotliwościowej oraz ograniczenie sumarycznej pojemności stosowanych magazynów.

#### 4. Pytania i uwagi dyskusyjne

1. Jak fizycznie uzasadnić (wyjaśnić) to, że zdaniem Autora „zespolona moc pozorna jest wprowadzana do lub wyprowadzana z systemu elektroenergetycznego przez konkretny węzeł sieciowy i rozptywa się do węzłów sąsiadujących” (str. 22; 9g)? Podobnie, że

„Dotyczy to wartości mocy pozornej oddawanej lub przyjmowanej przez instalację magazynującą ...” (str. 89, 7d).

2. W rozdziale 6 przedstawione są podstawowe informacje dotyczące procesów przetwarzania energii wiatru lub słońca na energię elektryczną. W wielu pracach naukowych dotyczących przedmiotowego tematu, również w ocenianej rozprawie doktorskiej, uwaga koncentrowana jest na uśrednione wartości prędkości wiatru lub irradiancji. Wykorzystuje się dane uśredniane w czasie kilku lub kilkunastu minut, jednego dnia, jednego miesiąca lub jednego roku. Jaka jest wartość praktyczna tego typu danych (zwłaszcza z długim czasem uśredniania) w zastosowaniach do badań naukowych systemów elektroenergetycznych bilansowanych w każdej chwili, w których występują jednostki wytwórcze przetwarzające energię z wiatru lub słońca?  
Ma to szczególne znaczenie również w kontekście opisanych w podrozdziale 8.4 profili obciążeń i generacji. W tekście napisane jest, że wykorzystuje się „średnie w skali miesięcznej” (str. 82, 2d), co dotyczy prędkości wiatru. Jak to się ma w kontekście profili mocy (później energii), gdy uwzględni się nieliniową charakterystykę turbozespołów wiatrowych, np. pokazaną na rys. 6.8 (str. 60)?  
Jakie jest, w kontekście celów i zadań ocenianej rozprawy doktorskiej, znaczenie praktyczne stwierdzenia, że „Analizując archiwalne pomiary irradiancji całkowitej na płaszczyźnie poziomej GHI w Poznaniu największą ilość energii można wyprodukować w okresie letnim, a najmniejszą w okresie zimowym” (str. 83,6d)?
3. W podrozdziale 8.2, zatytułowanym „Zmienne decyzyjne, ograniczenia” trudno znaleźć informacje dotyczące ograniczeń. Interesujący będzie szerszy komentarz Autora rozprawy dotyczący sposobu uwzględnienia ograniczeń wynikających z dopuszczalnych wartości napięcia w poszczególnych węzłach systemu? W dalszej części pracy można znaleźć informację, że ten aspekt został uwzględniony w kolejnym kryterium optymalizacyjnym (funkcji celu). Jaka jest procedura (sposób) decydowania w której części modelu optymalizacyjnego, w zbiorze warunków ograniczających, czy w formule funkcji celu (wielokryterialnej) uwzględnia się ograniczenia dotyczące dopuszczalnych wartości napięcia w poszczególnych węzłach systemu?
4. Autor, w zagadnieniu optymalizacyjnym, wybrał następujące kryteria jakościowe: minimalizacja strat energii w liniach elektroenergetycznych, bilansowanie zapotrzebowania na energię wewnątrz systemu elektroenergetycznego, podtrzymywanie napięcia w węzłach systemowych oraz ograniczenie krótkotrwałych wahań mocy węzłowej. Jedynie pierwsze kryterium jest określone jednoznacznie i w kontekście matematycznym optymalizacji precyzyjnie (dążenie do minimum wartości strat). Proszę o wyjaśnienie w kontekście matematycznym optymalizacji realizacji pozostałych kryteriów.
5. Przy formułowaniu kryterium nr 2 dotyczącego napięcia w węzłach systemu, w postaci wzoru (8.9) (str. 80) napisane jest, że „... zdefiniowano funkcję  $F$  uchybu napięcia węzłowego w chwili  $t$  ...”. W objaśnieniach do wzoru (8.9) podane jest, że uwzględnia się wartości skuteczne napięć w węzłach. Prawdopodobnie są to wartości uśredniane w określonym czasie. Jaki jest czas uśredniania wartości skutecznych napięć w węzłach? W tym aspekcie istotne jest kolejne pytanie. Różna od zera wartość  $K_2$  (wzór (8.11)) świadczy o tym, że przekroczone są dopuszczalne wartości napięć w węzłach analizowanego systemu. Może to być na przykład duża wartość „uchybu napięcia” (sformułowanie Autora rozprawy) w jednym węźle lub stosunkowo małe „uchyby napięcia” w wielu węzłach. Jakie to ma znaczenie z punktu widzenia dopuszczalnych stanów pracy analizowanego systemu elektroenergetycznego?
6. Wzór (8.15) (str. 82) wyraża uproszczoną postać miary fluktuacji częstotliwości, pośrednio określoną przez rezerwę mocy (energii). Rozpływ mocy w sieci elektroenergetycznej jest przedstawiony w  $N+1$  dyskretnych i odległych od siebie o  $\Delta t$  chwilach. Jakie są ograniczenia (wytyczne) dotyczące  $N$  ze względu na właściwą interpretację wyników związanych ze stabilnością częstotliwościową w analizowanej sieci?

7. W opisie planowanych eksperymentów (str. 111), w kontekście obciążeń transformatorów, Autor odnosi się do mocy pozornej. W praktyce, obciążenie transformatorów powinno w pierwszej kolejności uwzględniać natężenie prądu w uzwojeniach, zwłaszcza że dopuszczalne są wartości napięć w dość szerokim zakresie. Jak przyjęte w badaniach 81% obciążenia transformatorów dla mocy pozornej przekłada się na obciążenie dla natężenia prądów, uwzględniając możliwość występowania wyższych harmonicznnych prądów.

Wyżej wymienione pytania i wątki dyskusyjne nie zmieniają ogólnej, pozytywnej oceny rozprawy doktorskiej mgr. inż. Stanisława Mikulskiego. Mają one na celu zachęcenie Autora do bardziej dogłębnego przeanalizowania niektórych kwestii oraz do udzielenia dodatkowych wyjaśnień tam, gdzie wywody są niejasne lub dyskusyjne.

## 5. Osiągnięcia naukowe Autora

Mgr inż. Stanisław Mikulski wykazał się wiedzą w zakresie współczesnych metod optymalizacji stosowanych w zagadnieniach optymalizacyjnych w obszarze elektroenergetyki oraz wiedzą w zakresie funkcjonowania współczesnych systemów elektroenergetycznych z generacją rozproszoną i magazynami energii. Na podstawie literatury dokonał analizy proponowanych metod optymalizacji, w jednej z nich dokonał modyfikacji, która pozwoliła na uzyskanie lepszych wyników. Wykazał się umiejętnością planowania i przeprowadzenia badań symulacyjnych mających na celu potwierdzenie formułowanych postulatów naukowych w dążeniu do realizacji założonych celów.

**Rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu skutecznej optymalizacji rozmieszczenia oraz doboru pojemności magazynów energii we współczesnych elektroenergetycznych sieciach dystrybucyjnych, pokazanej na przykładzie sieci dystrybucyjnej w Poznaniu i okolicach.**

Główne osiągnięcia naukowe Autora to:

1. Opracowanie koncepcji i algorytmu wielokryterialnej optymalizacji rozmieszczenia i pojemności magazynów energii, stanowiących element struktury sieci dystrybucyjnej w Poznaniu i okolicach, z uwzględnieniem następujących kryteriów: ograniczenie strat przesyłowych, poszerzenie możliwości regulacyjnych w zakresie wartości napięć węzłowych i stabilności częstotliwościowej oraz ograniczenie sumarycznej pojemności stosowanych magazynów.
2. Modyfikacja metody BRKGA do wyznaczenia rozwiązań niezdominowanych dla analizowanego problemu oraz wykazanie przewagi proponowanego rozwiązania w stosunku do samej metody BRKGA oraz innych proponowanych w literaturze.
3. Implementacja numeryczna autorskiej aplikacji do optymalizacji wielokryterialnej rozmieszczenia i pojemności magazynów energii ze zrównolegleniem obliczeń rozplywu mocy z zastosowaniem procesorów graficznych (GPU).
4. Przygotowanie planu badań i przeprowadzenie eksperymentów symulacyjnych procesów optymalizacyjnych dotyczących wybranego obiektu z zastosowaniem autorskich wskaźników sprawności relatywnej i własnej pozwalających na jakościowe porównanie wyników optymalizacji wielokryterialnej.
5. Analiza wpływu rozmieszczenia i pojemności magazynów energii na jakość energii elektrycznej (głównie jakość napięcia), w tym określenie korelacji między strategią sterowania magazynami (kryterium oceny jakości) a lokalizacją i pojemnością magazynów w przykładowej sieci dystrybucyjnej 110 kV.

## 6. Uwagi redakcyjne

### 6.1. Uwaga ogólna

Powinny być stosowane ogólne zasady pisania tekstów technicznych. Między wartością wielkości fizycznej i jej jednostką miary powinien być odstęp, np.: str. 7 (1d), str. 58 (6d) oraz (4d) i (3d). Symbole stałych i indeksy oraz symbole jednostek miar powinny być drukowane

czcionką prostą, np.: str. 19, wzory (3.1) – (3.6) oraz w tekście; str. 81 (14d). Symbole wielkości fizycznych powinny być drukowane czcionką pochyłą, np. rozdział 3. Nawiasy prostokątne powinny być zarezerwowane tylko do odwołania się do literatury, a jednostki miar nie powinny być w nawiasach, jeśli nie budzi to żadnych wątpliwości, np. tab. 5.1 (str. 45).

## 6.2. Uwagi szczegółowe

1. Str. 7 (2d). Powinno być: „... m.in.: ...”. Podobnie: str. 8 (2d), str. 11 (12d), str. 45 (14g).
2. Str. 8 (6g). Powinno być: „... miksie energetycznym ...”.
3. Str. 9 (5d). Powinno być: „... dokonano analizy ...”.
4. Str. 10 (13g). Powinno być: „... analizowano współpracę ...”.
5. Str. 10 (15g). Powinno być: „... powoduje znaczne zwiększenie ...”.
6. Str. 12 (5g). Powinno być: „... regulowanie wytwarzanej mocy ...”.
7. Str. 16 (5d) i odwołanie do źródła literaturowego w tytule rysunku nr 3.1. Należy uzgodnić odwołanie do literatury: [40], czy [41]?
8. Str. 17 (10g). Powinno być: „... współpracę z sąsiadującymi podsystemami ...”.
9. Str. 17 (2d). Powinno być: „... liczby węzłów ...”. Podobnie: str. 25 (22d), str. 35 (10g).
10. Str. 20 (8d). Zdanie dotyczące „admitancji, które składają się z impedancji wzdłużnych” nie jest czytelne.
11. Str. 20 (2d). Powinno być: „... bazującą na równaniach ...”.
12. Str. 23 (10d). Zdanie dotyczące „mocy biernej najbardziej naruszającej dozwolony przedział” nie jest czytelne.
13. Str. 25 (8g). Zbędny spójnik „i”.
14. Str. 25 (21d). Powinno być: „... do wyznaczania ...”.
15. Str. 26 (10d). Powinno być: „... musi być wyznaczana niezależnie ...”.
16. Str. 30 (5g). Powinno być: „... charakter nieliniowy ...”.
17. Str. 36 (8g). Powinno być: „Dane przechowywane są w niej ...”. Podobnie str. 36 (13g).
18. Str. 38 (16g). Odwołanie do niewłaściwego rysunku.
19. Str. 43 (5d). Powinno być: „... cykli ładowania i rozładowania ...”.
20. Str. 52 (9d). Powinno być raczej: „W celu odwzorowania ...”. Podobnie str. 71 (13g).
21. Str. 63 (16g). Zdanie wymaga przeredagowania. Podobnie str. 81 (14-15d).
22. Str. 64-65, niektóre punktory są zastosowane niewłaściwie.
23. Str. 81 (11d). Powinno być: „... regulację wtórną”.
24. Str. 82 (3-4g). Co to znaczy „przesyłać energię przez magazyn”?
25. Str. 82 (7g). Powinno być raczej: „... zmiana mocy w węźle ...”.
26. Str. 82 (14g). Czego dotyczy indeks „i”?
27. Str. 84 (1g). Może lepiej: „... wyznaczono referencyjne przebiegi ...”?
28. Str. 89 (15d). Powinno być: „... zgodnie z zależnością ...”.
29. Str. 91 (3g). Powinno być np.: „... jaką można wytworzyć w instalacji ...”.
30. Str. 91 (6-7g). Warto wyjaśnić jak interpretować znaki mocy biernej, na czym polega kompensacja mocy?
31. Str. 92 (3d). Powinno być: „... pełni rolę węzłów ...”.
32. Str. 93, legenda na rys. 8.15 nie jest jasna.
33. Str. 101 (10d). Powinno być: „... nałożono losowy szum ...”.
34. Str. 105 (4d). Powinno być: „... w tym 49 linii 110 kV oraz 2 linie 220 kV ...”.
35. Str. 109 (6g). Pierwsze zdanie w podrozdziale 9.3 nie jest zrozumiałe.
36. Str. 112 (7d). Napisane jest, że „W każdym przypadku włączanie OZE do systemu powoduje zmniejszenie kryteriów  $f_1$ ,  $f_2$  oraz  $f_3$  w porównaniu z przypadkiem systemu bez OZE”. Jak to się ma do wartości w tab. 10.2 dla całkowitej mocy OZE 250 MW?
37. Str. 118 (9d). Powinno być: „... rozmieszczone w węzłach ...”.
38. Str. 119 (3g). Pojemność jest to wielkość fizyczna, a zatem nie jest zrozumiałe sformułowanie „zamontować pojemność”.
39. Str. 128, tab. 10.22. Chodzi raczej o nr GPZ, a nie szyn? Podobnie tab. 10.23 i 10.24 (str. 129) oraz w innych miejscach rozprawy.

Wyżej wymienione uwagi redakcyjne nie zmieniają ogólnej, pozytywnej oceny tej pracy. Rozprawa doktorska napisana jest w ogólnym ujęciu redakcyjnym dobrze.

## 7. Podsumowanie

Rozprawa doktorska mgr. inż. Stanisława Mikulskiego pt.: „Optymalizacja parametrów i rozmieszczenia magazynów energii w sieciach dystrybucyjnych ze źródłami niestabilnymi” została przygotowana pod opieką promotora dr. hab. inż. Andrzeja Tomczewskiego i promotora pomocniczego dr. inż. Arkadiusza Dobrzyckiego, co jest zgodne z art. 13.1. Ustawy [D4]. Rozprawa ma formę maszynopisu, co jest zgodne z art. 13.2. Ustawy [D4].

Rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu skutecznej optymalizacji rozmieszczenia oraz doboru pojemności magazynów energii we współczesnych elektroenergetycznych sieciach dystrybucyjnych, pokazanej na przykładzie sieci dystrybucyjnej w Poznaniu i okolicach. Mgr inż. Stanisław Mikulski wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie naukowej elektrotechnika oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, a zatem wypełniła wymagania określone w Ustawie [D4] (art. 13.1).

Przedmiotowa rozprawa doktorska zawiera streszczenie w języku polskim i angielskim, co jest zgodne z art. 13.6. Ustawy [D4].

Powyższe stwierdzenia odnoszące się do zapisów Ustawy [D4] są również wypełnieniem warunków stawianych rozprawom doktorskim wynikających z zapisów Ustawy [D5]. Przewód doktorski mgr. inż. Stanisława Mikulskiego był wszczęty przed dniem 30 kwietnia 2019 r. w dyscyplinie naukowej elektrotechnika. Osiągnięcia naukowe mgr. inż. Stanisława Mikulskiego wpisują się w zakres dyscypliny elektrotechnika będącej przedmiotem Jego działalności naukowej przed rokiem 2019, ale również wpisują się w zakres dyscypliny automatyka, elektronika i elektrotechnika wg zmienionej klasyfikacji oraz w zakres dyscypliny automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne wg nowej klasyfikacji.

## 8. Wniosek końcowy

W mojej ocenie rozprawa doktorska pt.: „Optymalizacja parametrów i rozmieszczenia magazynów energii w sieciach dystrybucyjnych ze źródłami niestabilnymi”, autorstwa mgr. inż. Stanisława Mikulskiego spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r., poz. 1789).

**W związku z pozytywną oceną pracy wnoszę o przyjęcie jej jako rozprawy doktorskiej i dopuszczenie mgr. inż. Stanisława Mikulskiego do publicznej jej obrony.**

Biorąc pod uwagę trzy aspekty: 1) aktualny temat rozprawy doktorskiej w kontekście procesu transformacji energetycznej Polski i dążenia do decentralizacji źródeł energii elektrycznej, 2) zakres pracy obejmujący zagadnienia analizy złożonych układów elektroenergetycznych, zaawansowane metody optymalizacji wielokryterialnej i wykorzystanie współczesnych możliwości wykonywania obliczeń równoległych oraz 3) wnikliwą analizę naukową otrzymanych wyników badań symulacyjnych **wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Stanisława Mikulskiego.**

