



POLITECHNIKA  
LUBELSKA



WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI  
I INFORMATYKI

KATEDRA ELEKTROENERGETYKI

20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 38A

tel.(+ 48 81) 53 84 360, fax (+48 81) 538 43 19

<http://weii.pollub.pl>

e-mail: [we.ke@pollub.pl](mailto:we.ke@pollub.pl)

Lublin, 17.05.2024 r.

**dr hab. inż. Piotr Miller, prof. Uczelni**

[p.miller@pollub.pl](mailto:p.miller@pollub.pl)

tel. 502 180 550

## **Recenzja rozprawy doktorskiej**

mgra inż. Tham Xuan Nguyen

### **„Enhancing operational capability of Islanded Microgrids through Optimal Multiple Droop-based DG Placements”**

Promotor pracy: Dr hab. inż. Robert Lis, Prof. uczelni

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest uchwała Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Wrocławskiej nr 839/36/RDND02/2021-2024 z dnia 26 lutego 2024 r. oraz zawiadomienie nr 08/03/D02/2024 z dnia 4 marca 2024 r. podpisane przez Prorektora Politechniki Wrocławskiej prof. dra hab. inż. Andrzeja Ożyhara. Recenzja opiera się o postanowienia Ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z dnia 20 lipca 2018 r.

## **1 Wybór tematu rozprawy**

Od kilku lat obserwuje się rozwój nowoczesnych sieci dystrybucyjnych zwanych mikrosieciami. Charakteryzują się one tym, że w ich strukturze znajdują się rozproszone źródła energii, sterowalne odbiory oraz systemy magazynowania energii, często także są to elementy, które obejmują swoim zakresem różne postaci energii, nie tylko energię elektryczną. Mikrosieci takie mogą pracować w połączeniu z systemem elektroenergetycznym lub autonomicznie, w trybie wyspowym. Sieć taka uważana jest za nowoczesną postać współczesnej sieci dystrybucyjnej, która wychodzi naprzeciw współczesnym wymaganiom stawianym tego typu sieciom. Chodzi głównie o elastyczność sieci, zwiększenie bezpieczeństwa zasilania odbiorców, stworzenie warunków umożliwiających przyłączenie

do sieci coraz większej liczby rozproszonych (odnawialnych) źródeł energii oraz zwiększenie efektywności przesyłu energii poprzez zmniejszenie strat sieciowych. Operatorzy systemów przesyłowych i dystrybucyjnych zdają sobie sprawę, że w stosunkowo niedługim czasie ich rola może ulec kompletnemu odwróceniu i tak jak teraz zwykle zasilanie sieciowe uważane jest za podstawowe, a źródła rozproszone stanowią jego uzupełnienie bądź rezerwę, tak w przyszłości może okazać się, że podstawową rolę zasilania odbiorców będą pełniły układy autonomiczne (mikrosieci), zaś systemy przesyłowe i dystrybucyjne będą pełniły rolę zasilania rezerwowego. Jest to dość radykalna teza, tym niemniej operatorzy mają to na uwadze, co miałem okazję usłyszeć na posiedzeniu Rady Programowej Konferencji Rynek Energii Elektrycznej, której jestem organizatorem.

Aby jednak mikrosieci mogły pełnić rolę podstawowego źródła zasilania odbiorców energii w ramach zakładów przemysłowych, klastrów energii, czy też wydzielonych obszarów, należy rozwiązać szereg problemów, które są zauważane i brane pod uwagę nie tylko przez naukowców, o czym świadczy bogata literatura światowa dotycząca tej tematyki. Jednym z tych problemów jest dążenie do ograniczenia strat sieciowych i utrzymania napięć węzłowych i częstotliwości na akceptowalnym poziomie. Recenzowana rozprawa doktorska proponuje wykorzystanie generatorów rozproszonych z regulowanym statyzmem do redukcji strat mocy poprzez ich optymalną lokalizację w strukturze autonomicznie pracującej mikrosieci oraz optymalny dobór parametrów układu regulacji statyzmu tych generatorów.

Biorąc powyższe pod uwagę uznaję tematykę rozprawy za ważną, aktualną oraz wybraną prawidłowo, zarówno pod względem naukowym jak i praktycznym.

## **2 Ogólna ocena rozprawy**

Opiniowana rozprawa zawiera 105 stron, przy czym część główna zawiera 99 stron tekstu wraz z ilustracjami, wzorami oraz wykazem literatury zawierającym 146 pozycji. Pozostałe strony to strona tytułowa, podziękowania, streszczenie rozprawy, spis treści, spis tabel i rysunków, wykaz podstawowych oznaczeń i skrótów oraz załączniki, w których zamieszczono tabele z parametrami trzydziestu trzy węzłowej sieci testowej IEEE 33. Całość dopełnia zamieszczona na końcu rozprawy lista publikacji z udziałem Autora rozprawy doktorskiej.

Część główna rozprawy podzielona została na sześć rozdziałów wliczając w nie zarówno rozdział wstępny, jak i podsumowujący całą rozprawę z wskazaniem kierunków dalszych badań Doktoranta.

Przegląd literatury, obejmujący zagadnienia związane ze stabilnością i sterowaniem systemów elektroenergetycznych, metodami optymalizacji stosowanymi w elektroenergetyce, planowaniem pracy systemów elektroenergetycznych oraz modelowaniem i metodyką analiz systemów elektroenergetycznych. Wiele pozycji literaturowych wykazanych przez Autora prezentuje tematykę zbieżną z tematem rozprawy doktorskiej, co świadczy o aktualności tematyki badań. Stwierdzam, że

przeгляд literatury został przeprowadzony w rozprawie rzetelnie, jest adekwatny i wystarczający. Najstarsza pozycja w wykazie literatury datowana jest na rok 1994, najnowsza pochodzi z roku 2023. Pięć pozycji literaturowych powstało przy udziale Autora rozprawy (2 artykuły w czasopismach, jedna monografia i 2 zgłoszone manuskrypty).

W rozdziale pierwszym, wprowadzającym, można znaleźć uzasadnienie podjęcia tematu badań oraz krótką charakterystykę metod badawczych wykorzystywanych w rozprawie. Są to odpowiednio: algorytm ewolucji różnicowej (ang. Differential Evolution – DE), technika miodożernego borsuka (ang. Honey Badger technique) oraz zmodyfikowana metoda obliczania rozptywu mocy (ang. Modified Backward-Forward Sweep – MBFS). Charakterystyka powyższych metod badawczych nie ograniczyła się tylko do ich prezentacji i krótkiego wskazania celu ich zastosowania. Oprócz tego Autor rozprawy wskazał przykłady zastosowań tych metod w różnych dyscyplinach zaczerpnięte z literatury. Dalsza część rozdziału to krótki opis metody sterowania statyzmem źródeł rozproszonych pracujących w mikrosieciach, określenie problemu badawczego oraz celu i zakresu pracy. Według słów autora rozprawa koncentruje się na optymalizacji alokacji jednostek wytwórczych z regulowanym statyzmem w mikrosieciach pracujących w trybie wyspowym. Celem zadań optymalizacyjnych jest obniżenie strat mocy i poprawa jakości energii elektrycznej.

Rozdział drugi to klasyczny przeгляд literatury, przy czym Autor rozprawy podzielił go na dwie części. W części pierwszej (rozdz. 2.1) skupił się na tych pozycjach literatury, które dotyczą problematyki planowania alokacji źródeł rozproszonych z regulowanym statyzmem oraz doboru optymalnej mocy tych jednostek. W drugiej części (rozdz. 2.2) znalazły się odniesienia do prac, które miały na celu zbadanie wpływu rozmieszczenia wielu źródeł z regulowanym statyzmem na możliwość zminimalizowania strat sieciowych oraz poprawy poziomu napięcia w węzłach mikrosieci. Przeгляд literatury ma charakter przeglądu krytycznego. Autor stwierdza, że żaden z prezentowanych algorytmów nie był w stanie w pełni rozwiązać wszystkich problemów optymalizacyjnych. Wskazuje także luki w wiedzy, które wymagają wypełnienia, np. w temacie zbadania możliwości znacznego zredukowania strat mocy w liniach oraz poprawy poziomów napięć w węzłach mikrosieci. Dlatego też ciągle istnieje otwarte pole badań zmierzających do rozwiązania tych problemów. Na uwagę zasługuje liczba cytowanych pozycji literatury, związanych bezpośrednio z tematem rozprawy, która świadczy o tym, że tematyka podjęta przez Autora rozprawy jest bardzo popularna. Ciekawym pomysłem Autora jest podsumowująca tabela 2.1, która prezentuje, jak wyniki badań zawarte w rozprawie doktorskiej wypadają na tle badań dostępnych w literaturze.

W rozdziale trzecim opisano bardziej szczegółowo wykorzystane w rozprawie metody badawcze służące do wyznaczania optymalnej alokacji źródeł rozproszonych z regulowanym statyzmem w izolowanej mikrosieci. Opis technik optymalizacyjnych DE i HB oraz algorytmu MBFS wyznaczania

optymalnego rozplywu mocy w izolowanych mikrosieciach, zasygnalizowany w rozdziale pierwszym, zostal uzupełniony o wyrażenia matematyczne i szczegółową prezentację kroków realizowanych przez poszczególne algorytmy. W rozdziale tym zaprezentowano także modele matematyczne odbiorów oraz źródeł rozproszonych z regulowanym statyzmem oraz wypracowano strategię optymalizacji parametrów automatycznej regulacji źródeł.

W rozdziale czwartym zaprezentowano wyniki praktycznego zastosowania metaheurystycznych technik optymalizacyjnych DE i HB oraz algorytmu wyznaczania rozplywu mocy w izolowanych mikrosieciach MBFS, opisanych w poprzednim rozdziale, do określenia optymalnej lokalizacji źródeł rozproszonych z regulowanym statyzmem w sieci testowej IEEE 33. Rozdział rozpoczyna się od sformułowania modelu matematycznego, w tym zdefiniowania funkcji celu dla zadań optymalizacyjnych. W tym przypadku funkcja celu zakłada minimalizację strat mocy czynnej, przy jednoczesnym ograniczeniu strat mocy biernej, z zachowaniem właściwych i stabilnych poziomów napięć w poszczególnych węzłach. W ramach modelu określono także różne ograniczenia operacyjne występujące w izolowanych mikrosieciach. Dotyczą one utrzymania częstotliwości i poziomu napięcia w określonych zakresach, zgodność generacji mocy czynnej i biernej źródeł rozproszonych z ograniczeniami oraz utrzymania mocy wyjściowej źródeł rozproszonych w dozwolonym zakresie w celu spełnienia wymagań obciążenia i zmniejszenia odchylenia napięcia roboczego i częstotliwości od zadanych wartości. Zasadniczą częścią rozdziału jest opis badań symulacyjnych przeprowadzonych dla sieci testowej IEEE 33 dla czterech przypadków. Wszystkie omawiane przypadki dotyczą pięciu generatorów rozproszonych z regulowanym statyzmem zainstalowanych w sieci testowej IEEE 33. Dwa pierwsze przypadki zajmują się optymalizacją parametrów układu regulacji statyzmu generatorów (jeden przy założeniu stałej wartości napięcia odniesienia o wartości 1.0 pu, drugi z uwzględnieniem możliwości dostrojenia napięcia odniesienia w zakresie od 1.0 do 1.2 pu). Dwa kolejne przypadki skonstruowane są podobnie, ale oprócz optymalizacji parametrów układu regulacji statyzmu jednocześnie starają się określić optymalną lokalizację tych pięciu generatorów rozproszonych. Wyniki symulacji wykazały przewagę techniki HB nad techniką DE, jednocześnie wykazano, że jednoczesne strojenie parametrów układu regulacji statyzmu generatorów rozproszonych i optymalizacja lokalizacji tych generatorów w obrębie sieci pozwala znacząco ograniczyć straty mocy i poprawić poziomy napięć węzłowych w mikrosieci.

W rozdziale piątym niejako powtórzono badania symulacyjne dla sieci IEEE 33, przy czym przeprowadzono je z wykorzystaniem techniki optymalizacyjnej DE (zrezygnowano z alternatywnej techniki HB). Badania przeprowadzono według czterech scenariuszy, nieco innych niż te z poprzedniego rozdziału. Scenariusze uwzględniały bądź to optymalizację parametrów układu regulacji

statyzmu generatorów rozproszonych oraz ich poziomu generacji, odpowiednio trzech lub pięciu, bądź to jednoczesną optymalizację parametrów układu regulacji, poziomu generacji oraz lokalizacji w obrębie mikrosieci dla odpowiednio trzech i pięciu generatorów rozproszonych. Wyniki zestawiono z wynikami uzyskanymi z wykorzystaniem innych technik optymalizacyjnych zaczerpniętych z literatury. Wyniki badań nie wykazały przewagi techniki DE nad technikami optymalizacyjnymi znanymi z literatury, tym niemniej wykazały jej skuteczność. Badania potwierdziły także, że najlepsze wyniki, w kontekście minimalizacji strat mocy i poprawy poziomów napięć węzłowych, uzyskuje się optymalizując zarówno parametry generatorów rozproszonych, jak i ich lokalizację w obrębie izolowanej mikrosieci.

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

Integralną częścią pracy są załączniki, ograniczone do dwóch tabel prezentujących parametry linii (rezystancje i reaktancje) oraz węzłów (poziom napięcia oraz obciążenie mocą czynną i bierną) tworzących sieć testową IEEE 33.

Strukturę rozprawy oraz jej zawartość oceniam pozytywnie.

### **3 Uwagi redakcyjne o charakterze ogólnym**

Nie zauważyłem w pracy rażących błędów redakcyjnych. Rozprawa napisana jest w sposób czytelny, przejrzysty, jest również bardzo estetyczna wizualnie. Jakość rysunków i wykresów nie budzi zastrzeżeń, tabele są czytelne, chociaż mnie osobiście brakuje kompletnych obramowań. Czcionka jest duża, odstęp między wierszami zdecydowanie większe niż w większości recenzowanych przeze mnie prac. Nagłówek każdego nowego rozdziału zajmuje połowę strony nie mówiąc już o tym, że pomiędzy rozdziałami zwykle znajduje się pusta strona, czasami nawet cała kartka. Przy czym nie jest to dążenie do tego, by każdy nowy rozdział zaczynał się od strony nieparzystej, co byłoby zrozumiałe. Praca nie jest zbyt obszerna, zastanawiam się więc, czy taki układ pracy wynika z poczucia estetyki Doktoranta, czy jest to raczej próba sprawienia wrażenia, że praca jest bardziej obszerna niż jest w rzeczywistości. Jeżeli był to drugi z powodów, to nie było to potrzebne. Praca zawiera dokładnie to, co moim zdaniem powinna zawierać. Nie ma tutaj podręcznikowej wiedzy, często niepotrzebnie umieszczanej w pracach jako wypełniacz. Przyjmuję więc, że Doktorantem kierowały względy estetyczne.

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

#### 4 Uwagi o charakterze ogólnym i dyskusyjnym:

- W pracy zabrakło jasnego sformułowania tezy rozprawy. Jest uzasadnienie podjęcia tematu, jest sformułowanie celu i zakresu pracy. Nie znalazłem jednak w rozprawie miejsca, gdzie pojawia się hipoteza badawcza (teza), ani w podsumowaniu stwierdzenia, że została ona udowodniona. Prośba do Doktoranta o sformułowanie hipotezy badawczej (tezy) i zaprezentowanie jej podczas obrony.

*(The work lacked a clear formulation of the thesis of the dissertation. There is a justification for taking up the topic, there is a formulation of the purpose and scope of the work. However, I did not find a place in the dissertation where the research hypothesis (thesis) appears, nor in the conclusion a statement that it has been proven. A request to the Doctoral Student to formulate a research hypothesis (thesis) and present it during the doctoral dissertation defense.)*

- Istnieje bardzo wiele metaheurystycznych metod optymalizacyjnych. Jedną z nich, technikę strzelca wyborowego, opracował dr hab. inż. Paweł Pijarski z Politechniki Lubelskiej, przy okazji badając i porównując wyniki otrzymywane jego metodą z innymi metodami metaheurystycznymi. Stąd wiem, że jest ich naprawdę wiele, charakteryzują się różnymi właściwościami i różną skutecznością rozwiązywania specyficznych problemów optymalizacyjnych. Zwykle też mają ciekawe nazwy, często nawiązujące do zachowań znanych z natury. Czym kierował się Doktorant wybierając te akurat techniki optymalizacyjne, czyli technikę ewolucji różnicowej (ang. Differential Evolution – DE) oraz technikę miodożernego borsuka (ang. Honey Badger technique). Przeczytałem, że jest to ratel miodożerny z rodziny łąsicowatych, dawniej zwany pszczoło-jamnikiem. Czy Doktorant wyłonił właśnie te metody w ramach badań wstępnych, w trakcie których testował kilka różnych metod heurystycznych? Czy wybór został dokonany na podstawie studiów literaturowych?

*(There are a great many metaheuristic optimization methods. One of them, the sharp gunner technique, was developed by Paweł Pijarski, Ph.D., of Lublin University of Technology, by the way, studying and comparing the results obtained by his method with other metaheuristic methods. That's how I know that there are really many of them, characterized by different properties and different effectiveness in solving specific optimization problems. They also usually have interesting names, often referring to behaviors known from nature. What guided the PhD student in choosing these particular optimization techniques, namely Differential Evolution (DE) and Honey Badger technique. Did the Ph.D. student select just these methods as part of his preliminary research, during which he tested several different heuristic methods? Or was the choice made on the basis of literature studies?)*

- W opisie badań symulacyjnych (rozdziały 4 i 5) brakuje schematu sieci testowej IEEE 33 z wstępnym rozmieszczeniem generatorów rozproszonych. Informację o tym rozmieszczeniu można znaleźć w tekście rozprawy, ale niewielka modyfikacja schematu z rys. 4.2, wrysowanie symboli generatorów przyłączonych do właściwych węzłów, poprawiłaby opis symulacji. W rozprawie generalnie brakuje tego typu schematów, np. jako ilustracja optymalnego rozmieszczenia generatorów rozproszonych dla poszczególnych przypadków.

*(The description of the simulation studies (Chapters 4 and 5) lacks a diagram of the IEEE 33 test network with the initial distribution of distributed generators. Information about this arrangement can be found in the text of the dissertation, but a slight modification of the diagram in Fig. 4.2, drawing in symbols of generators connected to the right nodes, would improve the description of the simulation. The dissertation generally lacks such diagrams, for example, as an illustration of the optimal distribution of distributed generators for particular cases.)*

- W obydwu przypadkach badań symulacyjnych (rozdziały 4 i 5) odbiory modelowane są jako stałe, niezależne od napięcia i częstotliwości o czym świadczą parametry modelu zebrane w tabelach 4.1 oraz 5.1. Czy Doktorant robił badania, a może planuje przeprowadzić takie badania z uwzględnieniem podatności napięciowej i częstotliwościowej odbiorów.

*(In both cases of simulation studies (Chapters 4 and 5), the loads are modeled as constant, independent of voltage and frequency as evidenced by the model parameters collected in Tables 4.1 and 5.1. Has the Ph.D. student done studies, or perhaps plans to conduct such studies, taking into account the voltage and frequency susceptibility of the loads.)*

- Dlaczego w rozdziale 5 wykorzystano technikę optymalizacyjną DE podczas gdy w rozdziale 4 wykazano, że HB daje lepsze rezultaty?

*(Why did Chapter 5 use the DE optimization technique while Chapter 4 showed that HB gives better results?)*

Powyższe uwagi traktuję jako dyskusyjne i pozostające bez wpływu na moją, pozytywną ocenę rozprawy.

## **5 Uwagi końcowe, podsumowanie, spełnienie wymogów ustawowych**

Ustawa o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki wymaga, aby rozprawa doktorska stanowiła oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Opiniowana rozprawa według mnie spełnia to wymaganie. Zgodnie z wymogami Ustawy Doktorant, mgr inż. Tham

Xuan Nguyen, wykazał się wiedzą, umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz umiejętnością prowadzenia badań i przedstawienia ich wyników.

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

- skuteczna implementacja metody MBFS realizująca obliczenia rozplywów mocy w izolowanych mikrosieciach,
- opracowanie i implementacja metaheurystycznych technik optymalizacyjnych DE oraz HB do dostrajania parametrów układu regulacji statyzmu generatorów rozproszonych oraz ich pozycjonowania w obrębie mikrosieci,
- opracowanie algorytmów pozwalających zminimalizować straty mocy czynnej i biernej w izolowanej mikrosieci z jednoczesnym zachowaniem ograniczeń operacyjnych takich jak poziomy napięcie węzłowych i częstotliwości sieci.

Doktorant w rozprawie zmierza konsekwentnie do realizacji jej celu pracy. Pomimo drobnych mankamentów wykład jest jasny i czytelny, zawiera także wszystkie istotne elementy: genezę, cel pracy, krytyczny przegląd aktualnego stanu wiedzy, sformułowanie problemu, jego rozwiązanie, prezentację wyników, podsumowanie ze wskazaniem wkładu własnego w rozwój dyscypliny naukowej oraz plany dalszych prac.

Biorąc pod uwagę przedstawioną powyżej ocenę stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska Pana mgra inż. Tham Xuan Nguyen stanowi cenny wkład w rozwój dyscypliny naukowej automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne oraz spełnia warunki i wymagania ustawowe stawiane rozprawom doktorskim, określone w artykule 187 Ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz.U. z 2023 r. poz. 1668 z późn. zm.) i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

*Piotr M. M.*