

Dr hab. inż. Sławomir GRYŚ, prof. uczelni

Częstochowa, dnia 28 sierpnia 2023 r.

Wydział Elektryczny

Politechnika Częstochowska

Al. Armii Krajowej 17

42-200 Częstochowa

SEKRETARIAT  
Rady Dyscypliny AEEITK

Wpłynęło dnia ..... 31.08.2023 .....

Zarejestrowano pod nr .....

Podpis ..... dm

## RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Autor rozprawy: mgr inż. **Krzysztof Piech**

Tytuł rozprawy: Wpływ fotowoltaicznych źródeł energii na jakość dostawy energii elektrycznej

Promotor: dr hab. inż. Andrzej Bień, prof. AGH

Dziedzina: nauki inżyniersko-techniczne

Dyscyplina naukowa: Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne

### I. Podstawa opracowania niniejszej recenzji

Recenzję rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Piecha opracowano na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Akademii Górniczo-Hutniczej, Pana dr hab. inż. Ryszarda Sroki, prof. AGH w piśmie z dnia 06.07.2023 r. zgodnie z uchwałą z dnia 6 lipca 2023 r. Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Akademii Górniczo-Hutniczej w sprawie wyznaczenia recenzentów rozprawy doktorskiej.

### II. Tematyka badawcza, cel i tezy

Celem przedstawionej do recenzji rozprawy, pt. „Wpływ fotowoltaicznych źródeł energii na jakość dostawy energii elektrycznej” jest opracowanie metodyki kompleksowej oceny poprawności i efektywności pracy instalacji fotowoltaicznej oraz jej wpływu na

[KAEiO >

Katedra Automatyki, Elektrotechniki i Optoelektroniki  
Wydział Elektryczny Politechnika Częstochowska  
al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, tel. +48 34 325 08 03,  
e-mail: [kaeio@pcz.pl](mailto:kaeio@pcz.pl), [www.we.pcz.pl](http://www.we.pcz.pl)

Stworzone 128

jakość energii elektrycznej oddawanej do sieci przesyłowej, będącej istotnym elementem krajowego systemu energetycznego. Obecnie, przynajmniej w Polsce, nadal obserwuje się znaczne zainteresowanie podłączaniem do sieci przydomowych mikroinstalacji fotowoltaicznych, przede wszystkim dzięki dofinansowaniu takich inwestycji z różnych funduszy wpartych kampaniami reklamowymi. Należy się spodziewać, że mimo spadku dynamiki tego zjawiska, liczba instalacji będzie nadal rosła w celu zwiększenia wskaźnika auto konsumpcji energii elektrycznej, dzięki zwiększeniu efektywności konwersji energii oraz ulepszonym technologiom jej magazynowania. Od instalacji rozumianej jako panel, falownik, zabezpieczenia, przewody, mocowanie mechaniczne wymaga się spełnienia szeregu wymagań jakościowych w zakresie efektywności energetycznej, trwałości wykonania, czasu użytkowania oraz bezpieczeństwa.

Podłączenie mikroinstalacji o nieprawidłowych parametrach generowanych napięć sieciowych jedno lub trójfazowych zaburza pracę sieci przesyłowej przez zmianę parametrów energii dostarczanej klientom końcowym. Typowe niezgodności to niedokładna synchronizacja częstotliwości i fazy, ich fluktuacje, zbyt niskie lub wysokie amplitudy napięć. Kontrola tych instalacji przed podłączeniem jak i w trakcie pracy jest kluczowa dla zapewnienia standardów dot. energii elektrycznej zgodnie z obowiązującymi regulacjami prawnymi i wymaganiami operatorów. Mimo zaostrożenia wymagań technicznych wobec falowników, zauważalnej poprawie jakości elementów instalacji fotowoltaicznych, jakości montażu, wymagań posiadania kwalifikacji przez monterów nadal pozostaje wiele przestrzeni w zakresie regulacji prawnych, ulepszenia materiałów i technologii oraz przede wszystkim metod monitoringu i diagnostyki in situ instalacji fotowoltaicznych. Dlatego, uważam podjętą w rozprawie tematykę za aktualną i istotną dla gospodarki oraz w pełni mieszczącą się w zakresie zainteresowań wielu instytucji badawczych, stąd nadającą się na przewod doktorski. Przyjęta teza „obserwacja i analiza danych pomiarowych związanych z pracą instalacji fotowoltaicznej umożliwia ocenę jej współpracy z systemem elektroenergetycznym” jest sformułowana prawidłowo, choć zdaniem Recenzenta, charakteryzuje się dużym stopniem ogólności, stąd bez lektury treści całej rozprawy trudno byłoby wskazać jej wartość poznawczą z punktu widzenia badawczego czy użytkowego.

### III. Struktura rozprawy

Strona 2 z 8

Przedstawiona rozprawa liczy aż 359 numerowanych stron. Praca zawiera stronę tytułową, podziękowania, streszczenie w języku polskim i angielskim, spis treści, wykaz ważniejszych oznaczeń i symboli, 11 numerowanych rozdziałów, podsumowanie, bibliografię oraz 2 załączniki. Załączniki zawierają udokumentowany materiał badawczy i ze względu na znaczną objętość zostały umieszczone właśnie w tej kategorii. Tak duża objętość tekstu, z jednej strony, świadczy o wykonaniu przez Doktoranta ogromnej pracy, wymagającej pozyskania, usystematyzowania oraz opracowania wielu danych, lecz z drugiej strony utrudnia lekturę rozprawy. Można było spróbować przedstawić treści w sposób bardziej syntetyczny pomijając, np. bardzo szczegółowe informacje o badanych instalacjach. Przykładowo, jaką wartość w kontekście celów rozprawy ma informacja o w którym roku został założony Park Naukowo-Technologiczny Euro-Centrum – str. 69, zdjęcia lotnicze budynków na których montowano badane instalacje, czy schemat i opis systemu instalacji energii odnawialnej na obiekcie należącym do Tauron Dystrybucja – str. 193, obejmującym oprócz paneli fotowoltaicznych pompy ciepła i turbiny wiatrowe, skoro nie są one przedmiotem badań? Podobnie, bez znaczenia są informacje o udziale Doktoranta w Pikniku OZE 2021. Takich fragmentów można wskazać znacznie więcej. Podsumowując, zarówno strukturę jak i układ pracy oceniam warunkowo za poprawne, gdyż zawierają niezbędne składniki, lecz wiele informacji jest nadmiarowych, powtarzanych, stąd rozprawa staje się rozwlekła, nabiera formy sprawozdania, niekiedy dokumentacji technicznej, raportu z badań i przez to daleko jej do klasycznej formy przyjętej w środowisku akademickim. Pomijając te kwestie należy jednocześnie stwierdzić, że kolejność rozdziałów jest prawidłowa i logiczna: od sformułowania problemu badawczego przez bardzo obszerną charakterystykę zagadnienia, pojęć, użytych metod i narzędzi, dyskusję wyników, do wniosków końcowych i podsumowania.

W rozdziale pierwszym Autor wprowadza Czytelnika w zagadnienie rozprawy, określa cel, w tym aż pięć celów szczegółowych, tezę oraz zakres pracy.

Rozdział drugi i trzeci w bardzo obszerny i szczegółowy sposób wprowadzają w tematykę szeroko rozumianej energetyki odnawialnej oraz jakości energii elektrycznej. Oba te aspekty są kluczowe z punktu widzenia podjętego problemu badawczego, lecz wiele informacji ma charakter bardzo podstawowy i można mieć wątpliwość czy

przystające do poziomu rozprawy doktorskiej. Takich fragmentów jest wiele. Przykładowo, na str. 24 Autor przytacza ogólną wiedzę czym jest energia biomasy, wody, słoneczna i w jaki sposób zamienić energię wiatru na energię elektryczną, tj. za pomocą turbiny wiatrakowej. Wiele z tych informacji jest zbytecznych, nie wnoszących nic lub bardzo mało do rozprawy i bez straty dla jej spójności mogły być pominięte lub znacznie skrócone. W mniejszym stopniu ta uwaga dotyczy rozdziału trzeciego, choć w tym przypadku dokładne cytowanie norm i definicji wskaźników jakościowych oceny energii elektrycznej może być uzasadnione częstym odwoływaniem się do nich w części praktycznej pracy.

Rozdziały czwarty, piąty, szósty i siódmy dotyczą badań eksperymentalnych różnych instalacji fotowoltaicznych zarządzanych przez różne podmioty, w tym AGH. Charakteryzują się one różną konfiguracją techniczną i parametrami użytkowymi. Zależnie od instalacji oceniano spełnianie wymogów norm jakościowych przez analizę licznych wskaźników, m.in. wartość skuteczną natężenia prądu, współczynnik zawartości harmonicznych prądu, wartość skuteczną napięcia, współczynnik zawartości harmonicznych napięcia, moc czynną, stałość częstotliwości zasilania, niesymetrię napięć, wpływ stałości nasłonecznienia. Motywacją do wyboru kilku różnych instalacji była chęć stworzenia uniwersalnej metodyki oceny jakości pracy możliwej do zastosowania dla dowolnej instalacji. Takie podejście uznaję za uzasadnione.

W rozdziale ósmym zaproponowano metodykę porównania różnych komercyjnie dostępnych falowników fotowoltaicznych pod kątem generacji zaburzeń elektromagnetycznych. Przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych z użyciem symulatorów słońca i sieci energetycznej.

Uzupełnieniem powyższych analiz przeprowadzonych w poprzednich rozdziałach są wyniki badań ankietowych opisane w rozdziale dziewiątym.

Rozdział dziesiąty zawiera propozycję Autora rozprawy w zakresie metodyki kompleksowej oceny jakości współpracy instalacji fotowoltaicznej z siecią elektroenergetyczną jako efekt wcześniejszych analiz, testów, pomiarów i badań ankietowych.

Trzy kolejne rozdziały stanowią podsumowanie wyników badań z odniesieniem do przyjętych celów w rozprawie ze wskazaniem wkładu własnego Doktoranta.

W rozdziale bibliografia wykazano 179 pozycji literaturowych, w tym 16 z udziałem autora rozprawy, głównie opublikowanych w materiałach konferencyjnych lub czasopismach o lokalnym zasięgu. Niemniej, wszystkie wskazane publikacje są ściśle związane z tematyką rozprawy doktorskiej. W ocenie Recenzenta sposób upowszechnienia wyników rozprawy jest prawidłowy i wystarczający do spełnienia wymogów stawianym rozprawom naukowym, choć zasięg ich oddziaływania jest dość ograniczony, głównie do środowiska krajowego.

#### IV. Istotne osiągnięcia

Pracę można podzielić na dwie części. Pierwsza część zawiera się w rozdziałach 1-3. Stanowi ona usystematyzowanie wiedzy teoretycznej, uwarunkowań prawnych wraz z ścisłymi definicjami i wzorami matematycznymi. Zebrana wiedza jest kompleksowa co świadczy korzystnie o umiejętności zbudowania przez Doktoranta warsztatu naukowego. Nie wnosi to jednak nowej wiedzy, a jedyna jej wartość to ułatwienie zrozumienia lektury dalszych rozdziałów przez mniej doświadczonego Czytelnika.

Zasadnicza część pracy to kolejne jej rozdziały zawierające bardzo rozległy materiał badawczy. Został on bardzo dobrze udokumentowany, więc może służyć za materiał źródłowy do dalszych analiz i opracowań również dla innych badaczy.

Za istotne osiągnięcie uznaję zaproponowaną metodykę oceny współpracy instalacji fotowoltaicznych z siecią energetyczną oraz szereg analiz z badań oraz płynące z nich wnioski, które mają charakter poznawczy i wnoszą nową wiedzę w obszarze tematyki analizy jakości energii elektrycznej. Doktorant wskazał, m.in., na wpływ szybkich zmian irradancji spowodowanej zmiennym zacienieniem na poziom zaburzeń elektromagnetycznych. Zdaniem Recenzenta, ww. metodyka dotyczy raczej określenia kluczowych czynników zależnych i niezależnych od elementów samej instalacji oraz w jakim stopniu wpływają one na parametry energii elektrycznej w sieci. Niewątpliwie jest to istotne w kontekście poznawczym, ale mam wątpliwości co do możliwości jej bezpośredniego zastosowania w przypadku pojedynczej, konkretnej instalacji, skoro elementami metodyki są np. w punkcie 4. Badania eksperymentalne falowników, gdzie

na str. 312 Doktorant postuluje „... badania te powinny uwzględnić różne modele i typy falowników” czy w punkcie 5 badania ankietowe? Raczej nie. Czy w takim przypadku Doktorant proponuje własne rozwiązania wykraczające poza stan wiedzy i stosowaną metodykę oceny pracy pojedynczej instalacji?

W przypadku dopuszczenia rozprawy do publicznej obrony oczekiwałbym ustosunkowania się do tej kwestii. Sugerowałbym też zebranie i przedstawienie najważniejszych wniosków z przeprowadzonych analiz w formie syntetycznej. Wartością dodaną rozprawy jest również sposób badań falowników dedykowanych do pracy z instalacją fotowoltaiczną oraz nowych wskaźników jakościowych do analizy wpływu migotania światła.

#### V. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

1. Ze względu na małą czcionkę na wielu wykresach opisy osi i wartości liczbowe są niewystarczająco widoczne.
2. W rozdziale 4 przedstawiono liczne wykresy, tabele przedstawiające dane pomiarowe i wyniki obliczeń a podsumowanie to zaledwie dwa akapity, pełniące rolę streszczenia wykonanych prac, gdzie brak jakichkolwiek wniosków z tych analiz? Wprawdzie, autor oświadcza, że „...wykazano zależność harmonicznego prądu i napięcia”, ale nie odniesiono się do jakichkolwiek mierzalnych wskaźników, miar ilościowych - przynajmniej w tym podsumowaniu.
3. Na str. 210 w podsumowaniu stwierdzono, że „badana instalacja jest efektywna a parametry są zgodne z normami.” Jest to z pewnością istotne dla właściciela/institucji zarządzającej instalacją, lecz jaką wartość naukową ma takie stwierdzenie?
4. W rozdziale 7 porównano eksperymentalnie różne typy falowników. Wyniki przedstawiono w formie wielu wykresów i tabel. Brak podsumowania tego rozdziału w przeciwieństwie do innych rozdziałów co zaburza strukturę pracy. Jakie zasadnicze wnioski można wysnuć z tych badań?
5. Na str. 296 w podrozdziale 8.5 przedstawiono wnioski z badań z rozdziału 8. W opinii recenzenta są to stwierdzenia dość oczywiste i do ich udowodnienia nie były potrzebne żadne badania. Przykładowo, autor rozprawy stwierdza, że „w panelach fotowoltaicznych energia elektryczna jest produkowana tylko w trakcie

dnia” i „falowniki ... mogą wprowadzić do sieci zaburzenia w postaci wyższych harmonicznych”. To są znane fakty. Czy można określić ilościowo wpływ wskazanych czynników na efektywność produkcji i jakość energii elektrycznej? Tak sformułowane wnioski miałyby większą wartość naukową.

6. W rozdziale 9 omówiono osobno wyniki trzech ankiet jednak brak podsumowania i wniosków końcowych? Czy wyniki tych ankiet dostarczają użytecznych informacji np. w podjęciu decyzji przez konsumenta indywidualnego o opłacalności inwestycji w instalację fotowoltaiczną w okresie przykładowo 5-10 lat i problemach które mogą w tym czasie wystąpić?

#### VI. Język rozprawy i uwagi redakcyjne

Pod względem językowym praca została przygotowana poprawnie, w większości objętości tekstu na wysokim poziomie. Autor prawidłowo formułuje zdania, dzięki temu tekst powinien być zrozumiały nawet dla Czytelnika nie będącego ekspertem w obszarze związanym z tematyką rozprawy doktorskiej. Niemniej, Autorowi nie udało się ustrzec od usterek, tzw. „literówek, błędnej formy gramatycznej oraz niejasności, które zostały poniżej wskazane:

- str. 15 w wykazie oznaczeń i symboli jest „U1” zamiast „U<sub>1</sub>”,
- str. 17 „badani” zamiast „badania”,
- str. 17 „badawczej. Koncentrującej” zamiast „badawczej, koncentrującej”
- nieprawidłowy zapis jednostek wielkości fizycznych w nawiasach kwadratowych, np. na str. 189 4,96 [A]”
- str. 170 zbędna kropka po „nr”

W niektórych fragmentach język odbiega od ogólnie przyjętego stylu dla tekstów naukowych, m.in.:

- str. 20 „słuszność tematyki badawczej”
- str. 105 „zjawiskiem godnym zaprezentowania”
- str. 170 „dowiadujemy się, co nie jest zaskoczeniem, że miesiącem z najniższą produkcją jest grudzień”.
- str. 299 „początkowy entuzjazm dla słusznej koncepcji lokalnych wspólnot energetycznych zostanie zmarnowany i trudno będzie go ponownie wzniecić” – styl charakterystyczny dla felietonu i eufemizmy.

Ww. uwagi nie wpływają w znaczący sposób na pozytywną ocenę pracy.

## VII. Konkluzja

Podsumowując, uważam że:

- tematyka rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Piecha stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego,
- mieści się w dyscyplinie Elektrotechnika odpowiadającej dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne,
- zdefiniowane cele zostały osiągnięte,
- doktorant wykazał się dostateczną wiedzą z tematyki, która jest przedmiotem niniejszej rozprawy oraz umiejętnościami w zakresie samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że przedstawiona rozprawa, mimo pewnych niedostatków, głównie słabo zarysowanego aparatu badawczego, braku przedstawienia głównych wniosków w syntetycznej formie, rozwlekłości tekstu, spełnia w stopniu wystarczającym wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. z 2017 r., poz. 1789), w związku z art. 179 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.). W związku z powyższym przedstawiam Wysokiej Radzie Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Akademii Górniczo-Hutniczej wniosek o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

*Sławomir Gryś*

Dr hab. inż. Sławomir GRYS, prof. uczelni