

Prof. dr hab. inż. Marian ŁUKANISZYN
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki
Politechnika Opolska

Opole 03.09.2023 r.

S E K R E T A R I A T
Rady Dyscypliny AEEITK

04.09.2023

Wpłynęło dnia

Zarejestrowano pod nr

Podpis 

Recenzja rozprawy doktorskiej

Mgr. inż. Krzysztofa S. Piecha

pt. " Wpływ fotowoltaicznych źródeł na jakość dostawy energii elektrycznej"
wykonanej pod kierunkiem Prof. AGH dra hab. inż. Andrzeja Bienia

*Niniejszą recenzję wykonano na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne AGH
z dnia 20 lipca 2023 r.*

1. Ocena wyboru tematu rozprawy

Praca doktorska "*Wpływ fotowoltaicznych źródeł na jakość dostawy energii elektrycznej*", dotyczy aktualnej i rozwijanej w ostatnich latach dziedziny wspomagane go komputerowo projektowania i analizy pracy odnawialnych źródeł energii.

W trakcie swojej pracy zawodowej Autor napotkał problemy wynikające z projektowania, analizy pracy, funkcjonowania i oceny odnawialnych źródeł energii elektrycznej, w szczególności instalacji fotowoltaicznych. Stabilność sieci energetycznych jest niezbędnym warunkiem do zapewnienia niezakłóconego przesyłu energii elektrycznej. Jednym z elementów gwarantujących to jest poznanie wpływu i współpracy instalacji fotowoltaicznych z siecią elektroenergetyczną. Problemy związane z analizą pracy, projektowaniem instalacji fotowoltaicznych z siecią elektroenergetyczną, należy zaliczyć do ważnych zagadnień badawczych związanych z budową niskoemisyjnego systemu elektroenergetycznego w Polsce.

Rozwój konstrukcji instalacji fotowoltaicznych spowodowany został, w ostatnich latach, znaczącym postępem technologicznym w dziedzinie materiałów, a także rozwojem metod pomiarowych i związanych z tymi metodami programów. Brakuje jednak ciągle kompleksowych opracowań dotyczących zjawisk i zaburzeń elektromagnetycznych spowodowanych rosnącą liczbą instalacji fotowoltaicznych i ich wpływu na jakość energii elektrycznej. Prace związane z pomiarami i długoterminową rejestracją wskaźników jakości energii elektrycznej (JEE) stały się obecnie codzienną praktyką operatorów systemów

dystrybucyjnych (OSD). Wynika to z chęci pozyskania wiedzy co do poziomów wskaźników JEE w systemie zasilającym. Dane te są cennym źródłem informacji o stanie technicznym danego fragmentu sieci oraz mogą zostać wykorzystane w celu podjęcia działań prewencyjnych, modernizacyjnych oraz inwestycyjnych. Operatorzy oprócz analizatorów mobilnych, wykorzystywanych do doraźnych prac pomiarowych, wyposażają się również systemy ciągłego monitorowania bazujące na analizatorach stacjonarnych. Analizatory te najczęściej umieszczane są w kluczowych punktach systemu. Jednak ze względu na bardzo rozbudowaną strukturę systemu dystrybucyjnego oraz z ekonomicznego punktu widzenia nie jest możliwe umieszczenie przyrządu w każdym jego punkcie. Wobec tego pojawia się pytanie czy korzystając z różnych metod aproksymacyjnych oraz wykonanych już pomiarów i rejestracji można byłoby rozwiązać ten problem. Moim zdaniem rozprawa doktorska mgra Piecha odpowiada na to pytanie.

Tematyka rozprawy ukierunkowana jest na problemy analizy pracy i wpływu instalacji fotowoltaicznych na jakość energii elektrycznej i współpracy z siecią elektroenergetyczną. Wymagania stawiane instalacjom fotowoltaicznym są określone w obowiązujących normach branżowych. Opiniowana praca doktorska dostarcza istotnych informacji na temat wpływu fotowoltaicznych źródeł energii na jakość dostawy energii elektrycznej, a wyniki badań mogą być cenne dla inwestorów, operatorów systemów dystrybucyjnych, a także dla naukowców i inżynierów pracujących nad rozwojem i optymalizacją systemów fotowoltaicznych.

Dlatego też wybór tematu rozprawy doktorskiej mgr inż. **Krzysztofa S. Piecha** uważam za trafny i aktualny zarówno z punktu widzenia rozwiązania problemu naukowego jakim jest analiza stanów pracy i opracowanie metodyki pomiarów i projektowania instalacji fotowoltaicznych z uwzględnieniem ich wpływu na jakość energii elektrycznej, jak też ze względu na charakter aplikacyjny pracy związany ze stabilną pracą systemu elektroenergetycznego.

Katedra Energoelektroniki i Automatyki Systemów Przetwarzania Energii AGH od wielu lat realizuje w sposób ciągły badania z tej obszernej i ciekawej problematyki.

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska znajduje się zatem w głównym nurcie badań związanych z budową stabilnego, niskoemisyjnego systemu elektroenergetycznego w Polsce, opartego na energetyce jądrowej.

Reasumując stwierdzam, że praca badawcza mgr inż. **Krzysztofa S. Piecha** doprowadziła do powstania – dość użytecznego narzędzia analizy stanów pracy, projektowania, funkcjonowania i oceny odnawialnych źródeł energii elektrycznej, w szczególności instalacji fotowoltaicznych.

Tematykę rozprawy uważam zatem za aktualną i nowoczesną. Szerokie spektrum problemów, które pojawiły się w trakcie wykonywania badań, jak również aktualność tematyki z punktu widzenia technicznego gwarantują, że badania mogą być kontynuowane w przyszłości.

2. Cel i teza naukowa rozprawy

Praca Pana mgr inż. **Krzysztofa S. Piecha** jest wynikiem systematycznych studiów nad zagadnieniem projektowania, analizy stanów pracy, funkcjonowania i oceny instalacji fotowoltaicznych i ich wpływu na jakość dostawy energii elektrycznej.

Przedmiotem pracy jest analiza stanów pracy i opracowanie metodyki pomiarów i projektowania instalacji fotowoltaicznych z uwzględnieniem ich wpływu na jakość energii elektrycznej i stabilną pracą systemu elektroenergetycznego. Autor wykorzystując wiedzę z obszarów funkcjonowania systemu elektroenergetycznego, eksploatacji urządzeń energoelektronicznych i metrologii wielkości elektrycznych.

Autor formułuje cel pracy na str. 19, który sprowadza się do opracowania metody oceny współpracy instalacji fotowoltaicznych z siecią elektroenergetyczną oraz ich wpływ na jakość dostawy energii elektrycznej i ocenę dynamiki badanego zjawiska. Tak postawiony cel pracy uważam za poprawny i uzasadniony.

Autor wyszczególnia tezę naukową rozprawy na stronie 19. Zagadnienie naukowe, jakie Autor postawił sobie do rozwiązania, zostało określone poprawnie. Prezentowane wyniki pomiarów na obiektach rzeczywistych, analiza pracy przekształtników i badania ankietowe mające na celu udowodnienie postawionej tezy, przedstawiono w sposób dość czytelny.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Przedstawiona rozprawa została przygotowana jako praca promocyjna (doktorska). Praca jest bardzo obszerna (359 stron) oraz dwa załączniki stanowiące rozszerzenie i uzupełnienie dwóch rozdziałów. „**Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**” (167 stron) oraz „**Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**” (31 stron). Obydwa dokumenty stanowią integralną część rozprawy doktorskiej. Rozprawa składa się z dwunastu rozdziałów podstawowych, spisu literatury (179 pozycji, w tym 17 prac Autora) oraz wykazu ważniejszych oznaczeń i skrótów. Recenzowaną rozprawę zaliczam do grupy prac metodologiczno-pomiarowych. Stanowi ona wkład w rozwój technik analizy stanów pracy, projektowania, funkcjonowania i oceny instalacji fotowoltaicznych oraz ich wpływu na jakość dostawy energii elektrycznej. Nie ulega wątpliwości, że Doktorant osiągnął dobry

stopień opanowania zagadnień elektroenergetyki, energoelektroniki, teorii i techniki pomiarów oraz zaawansowanych narzędzi analizy wyników.

Praca jest skonstruowana poprawnie, zawiera wstęp (rozdział 1) oraz wyraźnie sformułowany cel oraz precyzyjnie postawioną tezę, jak również motywację do podjęcia tematyki badawczej.

Przegląd aktualnej literatury oraz dyskusję na temat odnawialnych źródeł energii zamieszczono w rozdziale 2.

W rozdziale 3 omówiono dość szczegółowo stan wiedzy dotyczący jakości energii elektrycznej w systemach elektroenergetycznych w skład których wchodzi układy fotowoltaiczne. Opisano też typowe zaburzenia elektroenergetyczne ze szczególnym uwzględnieniem wyższych harmonicznych prądu i napięcia.

Rozdział 4 i następne stanowią własny wkład Doktoranta. W obszernym rozdziale 4 zaprezentowano wyniki prac przeprowadzonych na badawczych instalacjach fotowoltaicznych wchodzących w skład Parku Naukowo-Technologicznego Euro-Centrum w Katowicach.

W rozdziale 5 Autor zamieścił wyniki analizy porównawczej elementów systemu PV jak również całości instalacji badawczej zlokalizowanej w laboratorium na dachu budynku C3 Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

Rozdziały 6 i 7 są poświęcone analizie pomiarów wykonanych na komercyjnych instalacjach fotowoltaicznych (53,07 kWp – Tauron Dystrybucja S.A. Gliwice, instalacja 60 kWp - MPWIK Kraków, instalacja 311 kWp - GWP Ruda Śląska). Autor opracował koncepcję badań i przedstawił wyniki pomiarów. Analizę przeprowadzono dla następujących wskaźników JEE: wartości skutecznej napięcia U , wskaźników krótkoterminowego i długoterminowego migotania światła P_{st} i Plt (miara wahań napięcia), współczynnika odkształcenia napięcia THDU, zawartości wyższych harmonicznych napięcia oraz współczynnika asymetrii napięcia.

W rozdziale 8 Autor przedstawił opracowane testy oraz badania symulacyjne na 31 falownikach jedno i trójfazowych, dedykowanych dla prosumenckich instalacji PV.

Ciekawe wyniki badań ankietowych przeprowadzonych wśród trzech grup respondentów związanych z Klastrami Energii: ich twórców i koordynatorów, operatorów sieci dystrybucyjnych oraz instytucji zainteresowanych rozwojem energetyki rozproszonej w Polsce, zamieszczono w rozdziale 9 pracy. Badania pozwoliły poznać opinię uczestników na temat funkcjonowania Klastrow Energii oraz spostrzeżeń ankietowanych dotyczących korzyści i zagrożeń wynikających z ich powstania. Dyskusyjne stwierdzenie Autora dotyczy

wniosku, że badani największe nadzieje na bezpieczeństwo energetyczne, zrównoważony rozwój z poszanowaniem środowiska naturalnego oraz stabilizację sytuacji ekonomicznej na rynku energii upatrują w energii pochodzącej z instalacji fotowoltaicznych.

W rozdziałach 10, 11 i 12 zamieszczono podsumowanie badań i przedstawiono najważniejsze osiągnięcia naukowe. Wartościowa, moim zdaniem, jest propozycja autorskiej metody oceny współpracy instalacji fotowoltaicznych z siecią elektroenergetyczną

Oceniając pracę chcę podkreślić, że została ona wykonana na dobrym poziomie i jest wartościowa z punktu widzenia pogłębienia wiedzy na temat analizy stanów pracy, metodyki pomiarów i projektowania instalacji fotowoltaicznych z uwzględnieniem ich wpływu na jakość energii elektrycznej. Wnosi ona także dość oryginalny wkład naukowy i potwierdza kwalifikacje Autora rozprawy.

Do oryginalnych osiągnięć w pracy doktorskiej można zaliczyć:

- 1.** Opracowanie przeglądu literatury w szerokim zakresie, co pozwala na kompleksową metodę oceny współpracy instalacji fotowoltaicznych z siecią elektroenergetyczną;
- 2.** Opracowanie metodyki badania i testów instalacji PV oraz sposobu agregacji danych pomiarowych;
- 3.** Opracowanie metodyki badania i testów falowników jedno i trójfazowych dedykowanych do instalacji fotowoltaicznych oraz analiza uzyskanych wyników;
- 4.** Opracowanie metodyki badania opinii trzech grup respondentów związanych z Klastrami Energii: ich twórców i koordynatorów, operatorów sieci dystrybucyjnych oraz instytucji zainteresowanych rozwojem energetyki rozproszonej w Polsce;
- 5.** Wykonanie analizy zebranych danych przy wykorzystaniu autorskich narzędzi takich jak algorytmy i arkusze kalkulacyjne
- 6.** Przeprowadzenie analizy porównawczej modułów fotowoltaicznych;
- 7.** Wykazanie powiązania zaburzeń elektromagnetycznych generowanych przez systemy fotowoltaiczne do sieci elektroenergetycznej ze zmiennością warunków atmosferycznych;
- 8.** Zaproponowanie nowych, autorskich wskaźników $PDPP_{st}$ i $PDPTHU$ do analizy poziomu dyskomfortu spowodowanego migotaniem światła dla ludzi oraz poziomu $THDU$ przekraczającego 8%;
- 9.** Przeprowadzenie wielowariantowych pomiarów instalacji PV;
- 10.** Opracowanie środowiska komputerowego, które może być uniwersalnym narzędziem do analizy stanów pracy, wspomagania procesu projektowania instalacji PV;

Brak też moim zdaniem poważniejszych błędów i uchybień, które należałoby podnieść.

W trakcie zapoznawania się z treścią pracy nasunęło mi się kilka pytań i uwag dyskusyjnych, do których prosiłbym o komentarz ze strony Doktoranta:

1. Dyskusyjne jest stwierdzenie Autora dotyczące sprawności elektrowni zlokalizowanych w Polsce na poziomie 35% (str. 26). Nowe bloki w Elektrowni Opole o mocy 900 MVA mają sprawność dochodzącą do 45%.
2. Dyskusyjne jest stwierdzenie Autora dotyczące wpływu energii pochodzącej z instalacji fotowoltaicznych na bezpieczeństwo energetyczne, zrównoważony rozwój z poszanowaniem środowiska naturalnego oraz stabilizację sytuacji ekonomicznej na rynku energii.
3. Jakie, zdaniem Autora, będzie znaczenie fotowoltaicznych źródeł energii w przyszłości?
4. Jakie są możliwości ograniczenia zakłóceń elektromagnetycznych z instalacji PV?
5. Jaką rolę Autor widzi dla energetyki rozproszonej w budowaniu stabilnego, niskoemisyjnego systemu elektroenergetycznego opartego na elektrowniach atomowych?
6. Czy celowe i możliwe jest rozszerzenie obecnie obowiązujących norm o dodatkowe współczynniki jakości energii elektrycznej?
7. Czy Autor na podstawie Swoich doświadczeń i przeprowadzonych analiz mógłby sformułować zalecenia dotyczące doboru falowników, bardzo ważnej składowej całego systemu PV?
8. Czy Autor na podstawie Swoich doświadczeń i przeprowadzonych analiz mógłby sformułować zalecenia dotyczące projektowania instalacji PV?
9. Proszę o podanie kierunków dalszych badań.

4. Uwagi szczegółowe

Praca została napisana poprawnym i zrozumiałym stylem. Podkreślam staranność Autora w poprawnym zapisywaniu wzorów matematycznych oraz dobrą stronę graficzną pracy.

W pracy znalazłem niewiele błędów edytorskich (np. str.: 14, 38) oraz błędów stylistycznych (np. str.: 17, 33, 156, 157, 161), które nie wpływają na ostateczną pozytywną ocenę pracy.

Należy zwrócić jednak uwagę na pewne niedociągnięcia:

- str.: 25, 94, 122, 168 – nie „przy pomocy”, a „za pomocą” - błąd językowy;
- str. 179, 186 – opis rysunków 5.21 i 5.22, nie „prądu”, a „ napięcia”;

- kilka rysunków mało czytelnych, np. rys. 4.15, str. 30 - niejasne oznaczenia rysunku 4.1.

5. Konkluzja recenzji

Stwierdzam, iż rozprawa jest napisana poprawnie, a układ pracy jest precyzyjny i logiczny. Wnioski końcowe uzyskane w pracy są poprawne i interesujące.

Przedstawione powyżej uwagi ogólne i szczegółowe nie obniżają mojej pozytywnej oceny pracy.

Wyniki rozważań zawarte w rozprawie upoważniają jednak do stwierdzenia, iż została udowodniona teza oraz osiągnięto założone cele pracy. Pomiarów wykonanych na obiektach rzeczywistych instalacji PV, analiza pracy przekształtników i badania ankietowe uzasadniają prawdziwość postawionej w pracy tezy.

Przedstawiona rozprawa dowodzi, że Doktorant umiejętnie korzysta z najnowszej literatury w obranej dziedzinie wiedzy, podchodzi do niej krytycznie, a ponadto potrafi twórczo rozwijać osiągnięcia innych autorów.

Doktorant wykazał się dość dobrą znajomością nowoczesnej metodyki pomiarów złożonych obiektów fizycznych, metod i technik programowania, wykorzystując wiedzę z obszarów funkcjonowania systemu elektroenergetycznego, eksploatacji urządzeń energoelektronicznych i metrologii wielkości elektrycznych. Uważam, że praca stanowi samodzielne rozwiązanie przez Autora szeregu zagadnień naukowych przy użyciu nowoczesnych metod badawczych.

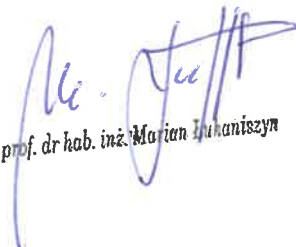
Mgr inż. K. Piech jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym AGH. Wyniki badań Autora przedstawione w pracy, zostały we fragmentach opublikowane. Według bazy AGH jest autorem 91 publikacji, natomiast według bazy Scopus zostało uwzględnionych 5 dokumentów, h=1. Brał również udział w realizacji kilku grantów w macierzystej Uczelni.

Uważam, że opiniowana praca zawiera oryginalne i wartościowe wyniki badań naukowych, które sytuują ją w dyscyplinie naukowej automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

Stwierdzam, iż przedstawiona rozprawa pt. **"Wpływ fotowoltaicznych źródeł na jakość dostawy energii elektrycznej"** autorstwa Pana mgr inż. **Krzysztofa S. Piecha** stanowi samodzielne rozwiązanie zadania badawczego i spełnia podstawowe wymagania stawiane pracom doktorskim przez Ustawę o Tytule Naukowym i Stopniach Naukowych oraz o Stopniach i Tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. Nr. 65, poz. 595), Rozporządzenia Ministra Edukacji Narodowej i Sportu z dnia 15 stycznia 2004 roku,

Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 3 października 2014 roku ,
Rozporządzenie 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 2018
r., poz. 261, obowiązujące od dnia 01.02.2018 roku) oraz na podstawie art. 179 ust. 1 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 stawiam wniosek o przyjęcie przedstawionej pracy jako
rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej Autora Pana mgr inż. **Krzysztofa S. Piecha** do
publicznej obrony pracy.



prof. dr hab. inż. Marian Iwaniszyn