

Częstochowa, dn. 29.01.2026 r.

Dr hab. inż. Janusz Sowiński,
emerytowany profesor Politechniki Częstochowskiej

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Biuro Rady Dyscypliny
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika
i Technologie Kosmiczne
wpłynęło dnia 30.01.26
nr zał.

Recenzja rozprawy doktorskiej
w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie
automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne

Pana mgr. inż. Tomasza Naczyńskiego

*Analiza i optymalizacja pracy układu zasilania odbiorcy indywidualnego wyposażonego w
źródło fotowoltaiczne*

Promotor pracy: Dr hab. inż. Roman Korab, prof. PŚ

Promotor pomocniczy: Dr inż. Marcin Połomski

1. Podstawa formalna recenzji

Podstawą opracowania recenzji rozprawy doktorskiej, wykonanej w Katedrze Elektroenergetyki i Sterowania Układów na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej pod kierunkiem dr. hab. inż. Romana Koraba, prof. PŚ i promotora pomocniczego dr. inż. Marcina Połomskiego, jest pismo o symbolu RDAEETK.512.41.2025 Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Śląskiej dr. hab. inż. Adama Gałuszki, prof. PŚ. Rozprawę doktorską stanowi zbiór 5 powiązanych tematycznie artykułów naukowych wraz z przewodnikiem w formie maszynopisu, który systematyzuje dokonania opisane w publikacjach. Tytuł rozprawy doktorskiej: *Analiza i optymalizacja pracy układu zasilania odbiorcy indywidualnego wyposażonego w źródło fotowoltaiczne*.

2. Tytuł rozprawy doktorskiej

Analiza i optymalizacja pracy układu zasilania odbiorcy indywidualnego wyposażonego w źródło fotowoltaiczne

Generalnie tytuł rozprawy oddaje treści w niej prezentowane, choć pewne aspekty realizowane w dysertacji mogły być uwypuklone i lepiej sprecyzowane w tytule. Zamierzeniem Autora jest opracowanie nowatorskiego podejścia do zaprojektowania systemu zarządzania energią budynku wyposażonego w mikroinstalację fotowoltaiczną i magazyn energii.

Użycie w tytule słowa optymalizacja inspirowane do zadania pytania „w jakim sensie optymalizacja, optymalizacja z punktu widzenia odbiorcy czy spółki dystrybucyjnej, optymalizacja jednokryterialna, czy wielokryterialna?”, a tego tytuł nie wyjaśnia. „Optymalizacja pracy” też jest dość ogólnym stwierdzeniem, gdy chodzi w zasadzie o poszukiwanie optymalnego sterowania pracą magazynu energii współpracującego z instalacją PV odbiorcy, a wykorzystuje się trzy różne funkcje celu (minimalizacja wymiany energii z systemem, minimalizacja kosztu odbiorcy, maksymalizacja neutralności finansowej odbiorcy).

Mając jednak na uwadze przedstawione w rozprawie badania **można uznać sformułowanie tytułu rozprawy za uzasadnione.**

Podstawowe zagadnienia rozprawy wpisują się w dziedzinę nauk inżynieryjno-technicznych, **w dyscyplinę automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne** i dotyczą sterowania układami elektrycznego zasilania odbiorców indywidualnych.

3. Ocena układu rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska składa się:

- z przewodnika w formie maszynopisu obejmującego 93 strony tekstu, w tym 1 strony *Streszczenia pracy*, 1 strony *Spisu treści*, , 4 stron *Wstępu*, pięciu rozdziałów merytorycznych (rozdz.2-6), 3 stron *Bibliografii* (32 pozycje powoływane w tekście),
- z *Załącznika. Zbiór powiązanych tematycznie artykułów naukowych stanowiących rozprawę doktorską* (5 artykułów współautorstwa Doktoranta, oznaczonych jako Z.1-Z.5.)

Pracę stanowi zbiór bardzo starannie przygotowanych pod względem edycyjnym pięciu artykułów naukowych powiązanych tematycznie. Artykuły układają się w spójną całość opisującą realizację projektu badawczego, którego celem jest budowa systemu sterowania HEMS dla odbiorcy komunalno-bytowego wyposażonego w mikroinstalację PV i magazyn energii. W [Z.1] zaprezentowano architekturę systemu pomiarowego, umożliwiającego analizę profilu zużycia energii w budynku i profilu generacji źródła PV. Do prognozy generacji źródła fotowoltaicznego wskazane jest wyznaczenie w sposób dynamiczny temperatury panelu. Model cieplny modułu fotowoltaicznego, wykorzystujący metodę różnic skończonych FDM opisano w [Z.2]. Kolejny artykuł [Z.3] przedstawia model źródła fotowoltaicznego, wykorzystującego pakiet OpenDSS. Model posłużył do wyznaczenia krótkoterminowej prognozy generacji mikroinstalacji PV w zmiennych warunkach pogodowych. Dobowa prognoza bazowego zapotrzebowania na energię elektryczną odbiorcy została wyznaczona modelem opisanym w [Z.4]. Modele opisane w [Z.1-Z.4] posłużyły do budowy systemu HEMS i publikacji wyników jego działania w artykule [Z.5] w celu optymalnego sterowania magazynem energii w instalacji odbiorcy komunalno-bytowego z zainstalowanym źródłem fotowoltaicznym i sterowalnymi odbiornikami.

Bardzo cennym elementem pracy doktorskiej jest przewodnik w formie maszynopisu, który systematyzuje i uzupełnia badania opisane w publikacjach [Z.1-Z.5]. W maszynopisie podano tezę pracy i przedstawiono wyniki projektu, potwierdzające tezę.

Wniosek: struktura rozprawy, której istotą jest zbiór powiązanych tematycznie artykułów naukowych wraz z przewodnikiem jest typową dla realizacji prac doktorskich.

4. Ocena zastosowanego piśmiennictwa w ramach rozprawy doktorskiej

Bibliografia obejmuje 32 pozycje, cytowane w maszynopisie. 19 pozycji literaturowych to angielskojęzyczne teksty.

Z ostatnich sześciu lat (od 2020 roku) w spisie *Bibliografii* znajdują się 26 pozycje, więc udział aktualnych pozycji jest znaczący.

Autor przedstawia cykl 5 powiązanych tematycznie artykułów stanowiących rozprawę doktorską, a w każdym artykule cytowane są pozycje, będące uzupełnieniem *Bibliografii*.

W artykule Z.1. *Naczyński T., Korab R.: Możliwości kształtowania bilansu energii elektrycznej odbiorcy indywidualnego wyposażonego w źródło fotowoltaiczne. Przegląd Elektrotechniczny, 11 (97), 2021, doi:10.15199/48.2021.11.38* Literatura obejmuje 14 pozycji. Omówiono rejestrację danych dotyczących zapotrzebowanie na energię elektryczną i generację źródła fotowoltaicznego zainstalowanego u odbiorcy komunalno-bytowo. Przedstawiono w środowisku LabVIEW model symulacyjny obiektu z mikroinstalacją PV i magazynem energii.

W publikacji Z.2. *Korab R., Połomski M., Naczyński T., Kandzia T.: A dynamic thermal model for a photovoltaic module under varying atmospheric conditions. Energy Conversion and Management, 280, 2023, doi.org/10.1016/j.enconman.2023.116773* References obejmują 42 angielskojęzyczne pozycje literaturowe, w których szczegółowo omówiono cieplne modele paneli fotowoltaicznych (17 modeli). Zaprezentowano wykorzystanie metody elementów skończonych w modelach empirycznych do wyznaczenia temperatury panelu PV. Zaproponowano cieplny model elementów skończonych uwzględniający dynamikę zmian temperatury modułu PV pracującego w zmiennych warunkach pogodowych.

Literatura w publikacji Z.3. *Korab R., Naczyński T., Kandzia T.: Short-term forecasting of photovoltaic power generation. Przegląd Elektrotechniczny, 9 (99), 2023, doi:10.15199/48.2023.09.06* to 15 pozycji, z których [7-9] to przegląd metod prognozowania generacji instalacji PV. Opracowano także model źródła fotowoltaicznego, wykorzystując pakiet OpenDSS.

Natomiast 27 pozycji literaturowych dołączono do artykułu Z.4. *Naczyński T., Korab R., Połomski M.: Krótkoterminowe prognozowanie bazowego obciążenia odbiorcy komunalno-bytowego z wykorzystaniem danych historycznych. Przegląd Elektrotechniczny, 5 (101), 2025, doi: 10.15199/48.2025.05.05* Większość przytaczanych w [Z.4] źródeł literaturowych dotyczy przeglądu krótkoterminowych metod i modeli prognozowania zapotrzebowania na energię elektryczną odbiorców komunalno-bytowych, w tym metody naiwnej w prognozowaniu obciążenia. Na tej podstawie opracowano autorski model prognozowania wykorzystujący grafik typowy i grafik statystycznie najczęstszy.

Dodatkowo w publikacji Z.5. *Korab R., Połomski M., Naczyński T.: Optimal scheduling of energy storage and shiftable loads in grid-connected residential building with photovoltaic micro-installation. Energies, 17 (21), 2024, doi.org/10.3390/en17215264* powołano się na 42 pozycje literaturowe (References). Omówiono [5-9, 11-26] różne aspekty pracy instalacji fotowoltaicznych i magazynów energii w sieciach dystrybucyjnych. Przedstawiono nowoczesne metody prognozowania [27,28]. Przywołano pozycje literaturowe dotyczące metod optymalizacji [29-32]. Pozycje [38,39] dotyczą architektury systemów HEMS.

Generalnie można stwierdzić, że każde z zagadnień naukowych dysertacji jest szczegółowo udokumentowane publikacjami zarówno krajowymi, jak i zagranicznymi.

W konkluzji należy stwierdzić, że zaproponowane badania wpisują się w trend badań prowadzonych w krajowej i światowej elektroenergetyce. Analiza źródłowa jest przeprowadzona poprawnie.

5. Wskazanie oraz ocena celu pracy kandydata oraz zastosowanych metod badawczych

Charakterystyka zagadnienia naukowego

Strategia transformacji energetycznej dla Polski, realizująca również wymagania UE w dążeniu do gospodarki niskoemisyjnej, charakteryzuje się szybkim wzrostem mocy zainstalowanej odnawialnych źródeł energii. Równolegle do wielkoskalowej energetyki rozwija się energetyka rozproszona, w tym mikroinstalacje fotowoltaiczne u odbiorców indywidualnych. Wysoka generacja energii elektrycznej u odbiorców energii elektrycznej, przewyższająca ich zapotrzebowanie, powoduje, że nadmiar energii elektrycznej oddawany jest do sieci elektroenergetycznej. Powoduje to szereg niekorzystnych zjawisk w sieci dystrybucyjnej, spowodowanych przepływem mocy czynnej i biernej, wzrostem napięcia powyżej napięcia dopuszczalnego, wzrostem strat sieciowych, wzrostem niesymetrii napięć itp. Działania zaradcze operatorów systemów dystrybucyjnych idą głównie w kierunku modernizacji i rozbudowy sieci rozdzielczych, ale jednocześnie odbiorcy indywidualni powinni efektywnie zarządzać energią elektryczną w obrębie instalacji elektrycznej budynku wyposażonego w mikroinstalację fotowoltaiczną, magazyn energii elektrycznej i odbiorniki o elastycznym czasie załączania.

Doktorant podjął się budowy systemu zarządzania energią w budynku mieszkalnym (Home Energy Management System HEMS). Realizacja zadania wymagała budowy układu pomiarowego i na podstawie zebranych danych budowy algorytmów prognostycznych oraz realizacji zadania optymalizacji i sterowania.

W modelowaniu sterowania systemów energetycznych można wykorzystać programowanie matematyczne, umożliwiające budowę modeli rozwiązujących problemy optymalizacji. Wkraczamy w dziedzinę badań operacyjnych, oferujących rozwiązywanie m.in. zadań programowania nieliniowego. Rozwiązanie problemu optymalizacji z wieloma zmiennymi decyzyjnymi i z ograniczeniami jest zagadnieniem trudnym, wymagającym wyboru właściwej metody.

Z punktu widzenia naukowego bardzo istotna jest prognoza zapotrzebowania na energię elektryczną odbiorcy komunalno-bytowego (profilu zapotrzebowania bazowego budynku) i prognoza generacji w mikroinstalacji PV wraz z prognozą temperatury panelu. Szczegółowo omówione w dysertacji autorskie modele prognostyczne zapotrzebowania na energię elektryczną oparte na prognozach naiwnych, współautorski dynamiczny model cieplny modułu fotowoltaicznego w zmiennych warunkach pogodowych z wykorzystaniem metody elementów skończonych i metod optymalizacji (np. PSO) wskazują na wykorzystywanie zaawansowanych metod naukowych.

O istotności i aktualności rozwiązywanego w dysertacji zagadnienia naukowego świadczą również przytaczane liczne publikacje krajowe i zagraniczne na ten temat.

Autor, inspirowany przez Promotorów, podjął bardzo aktualne i istotne zagadnienie naukowe, polegające na budowie systemu zarządzania energią w budynku mieszkalnym, rozwiązanie którego może być wykorzystane w pracach dotyczących poprawy efektywności pracy układów zasilania w sieciach dystrybucyjnych.

Teza rozprawy i jej udowodnienie

Teza sformułowana w pracy:

Zastosowanie u odbiorcy indywidualnego wyposażonego w źródło fotowoltaiczne systemu HEMS (Home Energy Management System), realizującego odpowiednio zaprojektowaną funkcję celu, umożliwia zwiększenie autokonsumpcji generowanej energii, a przez to zmniejszenie oddziaływania tego odbiorcy na system elektroenergetyczny.

Teza pracy brzmi dość trywialnie, bo podaje naturalnie formułowane stwierdzenia. System sterowania zazwyczaj optymalizuje w różnych aspektach pracę obiektu sterowania uwzględniając jako kryterium maksymalizację lub minimalizację funkcji celu. Wiadomo również, że system rozliczeń odbiorcy z dostawcą energii preferuje jak największą autokonsumpcję i wymusza instalowanie magazynu energii u odbiorcy. Idea prosumencji zakłada wręcz generację energii tylko na własne potrzeby.

Teza powinna wskazywać na elementy nowości związane z opracowaną przez Autora funkcją (funkcjami) celu oraz formułować, w jakim zakresie, czy pożądanym aspektach, realizacja założonego celu zmniejsza oddziaływanie odbiorcy na system elektroenergetyczny.

Celem pracy doktorskiej jest opracowanie, praktyczna implementacja i przetestowanie w rzeczywistym środowisku metody kształtowania bilansu energii odbiorców komunalno-bytowych, a w konsekwencji budowa systemu sterowania HEMS dla odbiorcy komunalno-bytowego wyposażonego w mikroinstalację fotowoltaiczną i magazyn energii.

Realizacja celu pracy i udowodnienie tezy wymagały wykonania prac badawczo-wdrożeniowych obejmujących m.in. opracowania własnych metod prognozowania zapotrzebowania na energię elektryczną odbiorcy komunalno-bytowego, opracowania metody prognozowania generacji mikroinstalacji fotowoltaicznej na podstawie prognozy pogody i nowatorskiego modelu cieplnego panelu, opracowania algorytmu optymalizującego pracę urządzeń zainstalowanych w budynku mieszkalnym, opracowania autorskiego systemu HEMS i przeprowadzenia badań potwierdzających efektywność systemu HEMS.

Ogólnie można stwierdzić, że założony cel pracy został zrealizowany, a przedstawione rezultaty analiz i obliczeń wskazują, że sformułowana w pracy teza została udowodniona.

6. Ocena części rozprawy doktorskiej dotyczącej omówienia wyników badań i ich praktycznego wykorzystania

Przedstawione w artykułach wyniki badań zostały zebrane i zaprezentowane w przewodniku w *Rozdz.4. Opis osiągnięć wdrożeniowych i Rozdz.5. Ocena efektów implementacji opracowanego systemu HEMS w rzeczywistym środowisku pracy*. Do budowy systemu pomiarowo-sterującego urządzeniami zainstalowanymi w konkretnym budynku wybrano otwartoźródłową platformę Home Assistant (HA), służącą do automatyzacji inteligentnego domu. Platformę zainstalowano na mikrokomputerze RPi. Narzędzie Node-RED wykorzystano do zaimplementowania układu sterowania gniazdami WiFi Shelly Plus S i układu sterowania magazynem energii. Przydatność opracowanego systemu HEMS przetestowano w trzech etapach badań, obejmujących: (1) sterowanie magazynem za pomocą fabrycznie zaimplementowanego algorytmu bazującego na regułach logicznych (minimalizacja wymiany energii elektrycznej z siecią), (2) sterowanie magazynem za pomocą algorytmu opartego na metodzie optymalizacji w sposób minimalizujący koszty energii elektrycznej i (3) sterowanie magazynem za pomocą algorytmu opartego na metodzie

optymalizacji w sposób maksymalizujący neutralność finansową prosumenta. Dało to podstawę do porównania wyników badań praktycznych oraz prac teoretycznych i pozwoliło Autorowi sformułować wnioski końcowe opisane w *Rozdz. 6. Podsumowanie i najważniejsze wnioski*. Wykazano przydatność opracowanych metod prognostycznych (profilu zapotrzebowania odbiorcy, generacji energii elektrycznej przez mikroinstalację PV oraz temperatury panelu w zmiennych warunkach pogodowych) w projektowanym systemie HEMS. Sterowanie magazynem w sposób maksymalizujący neutralność finansową prosumenta charakteryzuje się najwyższą autokonsumpcją energii generowanej w źródle PV w porównaniu z fabrycznie zainstalowanym sterowaniem oraz ze sterowaniem w sposób minimalizujący koszty energii elektrycznej. Zbudowany system HEMS ma potencjał wdrożeniowy, charakteryzując się zarówno lokalnym działaniem, jak i możliwością zdalnego dostępu. Ponadto system HEMS jest elastycznym rozwiązaniem, umożliwiającym zarządzanie energią w różnych obiektach już istniejących, jak i nowobudowanych, prowadząc do ograniczenia niekorzystnego wpływu mikroinstalacji PV na pracę sieci rozdzielczych.

7. Oryginalność rozwiązania zagadnienia naukowego

Realizacja zadania badawczego, zmierzającego do opracowania informatycznego systemu sterowania HEMS (Home Energy Management System), którego głównym celem jest zarządzanie energią w budynku mieszkalnym wyposażonym w instalację PV, wymagała systemu pomiarowego monitorującego pracę instalacji elektrycznej analizowanego obiektu. W tym celu zainstalowano w budynku jednorodzinnym miernik parametrów sieci Lumel P43, współpracujący z mikrokomputerem Raspberry Pi. Dane pomiarowe, rejestrowane z wykorzystaniem platformy Home Assistant, umożliwiają analizę profilu generacji źródła PV i profilu zużycia energii w budynku [Z.1].

W pierwszym kroku budowy algorytmu sterowania wykorzystano stronę popytową do zwiększenia autokonsumpcji. W tym celu w programie LabVIEW zbudowano model symulacyjny analizowanego układu elektrycznego budynku. Przeniesienie pracy wybranych odbiorników głównie z okresu szczytu wieczornego na okres największej generacji PV znacznie zwiększa autokonsumpcję energii elektrycznej. Bardzo korzystnym rozwiązaniem jest wyposażenie instalacji w magazyn energii (zasobnik bateryjny). System sterowania Home Energy Management System (HEMS) działa automatycznie i umożliwia sterowanie pracą różnorodnych urządzeń zainstalowanych u odbiorcy bytowo-komunalnego.

Ponieważ system HEMS działa w horyzoncie dobowym, to do jego działania niezbędna jest dobową prognoza bazowego zapotrzebowania na energię elektryczną analizowanego odbiorcy (praca podstawowych odbiorników). Autorska, nowatorska metoda prognozy została opisana w artykule [Z.4] i sprowadza się do wyznaczenia średniej ważonej z trzech grafików: średniego (metoda naiwna), „typowego” i statystycznie najczęstszego. Współczynniki wagowe dobrano minimalizując algorytmem PSO (Particle Swarm Optimization) błąd MAPE prognozy. Uzyskano trafniejsze prognozy w porównaniu do metody naiwnej.

System HEMS potrzebuje prognozy generacji energii elektrycznej w źródle fotowoltaicznym na podstawie numerycznej prognozy pogody. Wykorzystano model źródła fotowoltaicznego zaimplementowany w oprogramowaniu OpenDSS (model panelu i falownika), wymagający generalnie prognozy pogodowej (natężenia promieniowania słonecznego) oraz temperatury panelu PV. Model do szacowania temperatury modułów PV, którego współautorem jest doktorant, ma charakter nowatorski, a został opublikowany w [Z.2]. Opracowano dynamiczny model cieplny modułu fotowoltaicznego, wykorzystujący metodę różnic skończonych FDM i model wzorowany na modelu cieplnym transformatora olejowego, uwzględniający bezwładność cieplną modułu. Weryfikacja modelu na danych pomiarowych potwierdziła przydatność proponowanego rozwiązania do prognozy generacji modułu PV.

W algorytmie sterowania systemu HEMS zaproponowano wariantowe wykorzystanie klasycznej funkcji celu (3.1) minimalizacji dobowego kosztu energii elektrycznej w analizowanym budynku oraz funkcji celu (3.3), opisanej w artykule [Z.5], która maksymalizuje dobową neutralność finansową prosumenta. Postać funkcji celu (3.3) jest ciekawym rozwiązaniem o cechach nowości. Funkcje celu uwzględniały również dynamiczne ceny energii elektrycznej. Badania przedstawione w [Z.5] wykorzystują algorytm PSO w celu maksymalizacji funkcji celu (3.3).

Konkluzja: opracowany w dysertacji model prognozowania zapotrzebowania na energię elektryczną w budynku jednorodzinnym, opracowany współautorski model szacowania temperatury panelu fotowoltaicznego to niewątpliwie elementy nowości.

8. Ocena ogólnej wiedzy teoretycznej kandydata w dyscyplinie naukowej automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne

Autor wykazał bardzo dobrą znajomością zarówno podstaw teoretycznych, jak i realiów funkcjonowania elektroenergetyki, a w szczególności zagadnień związanych:

- z funkcjonowaniem sieci dystrybucyjnych w systemie elektroenergetycznym,
- z technikami sterowania pracą urządzeń elektrycznych,
- z modelowaniem matematycznym i technikami symulacyjnymi,
- z metodami badań operacyjnych w elektroenergetyce, obejmujących metody optymalizacji.

Publikacje współautorskie doktoranta zgłoszone jako zbiór powiązanych tematycznie artykułów, stanowiących rozprawę doktorską:

- Z.1. Naczyński T., Korab R.: Możliwości kształtowania bilansu energii elektrycznej odbiorcy indywidualnego wyposażonego w źródło fotowoltaiczne. *Przegląd Elektrotechniczny*, 11 (97), 2021, doi:10.15199/48.2021.11.38
- Z.2. Korab R., Połomski M., Naczyński T., Kandzia T.: A dynamic thermal model for a photovoltaic module under varying atmospheric conditions. *Energy Conversion and Management*, 280, 2023, doi.org/10.1016/j.enconman.2023.116773
- Z.3. Korab R., Naczyński T., Kandzia T.: Short-term forecasting of photovoltaic power generation. *Przegląd Elektrotechniczny*, 9 (99), 2023, doi:10.15199/48.2023.09.06
- Z.4. Naczyński T., Korab R., Połomski M.: Krótkoterminowe prognozowanie bazowego obciążenia odbiorcy komunalno-bytowego z wykorzystaniem danych historycznych. *Przegląd Elektrotechniczny*, 5 (101), 2025, doi: 10.15199/48.2025.05.05
- Z.5. Korab R., Połomski M., Naczyński T.: Optimal scheduling of energy storage and shiftable loads in grid-connected residential building with photovoltaic micro-installation. *Energies*, 17 (21), 2024, doi.org/10.3390/en17215264

Czasopisma, w których opublikowano artykuły naukowe, znajdują się na punktowanej liście ministerialnej MNiSW i są przypisane dyscyplinie AEEiTK.

Energy Conversion and Management – 200 pkt., *Energies* – 140 pkt., *Przegląd Elektrotechniczny* – 70 pkt.

Dorobek publikacyjny Autora należy ocenić jako spełniający konieczne wymagania.

9. Umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Praca dotyczy trudnego zagadnienia naukowego, wymagającego wykorzystania nowoczesnego podejścia metodycznego, w tym metod z zakresu badań operacyjnych (programowania nieliniowego), metod prognozowania wielkości elektrycznych, metod numerycznych (metoda FEM) oraz technik symulacyjnych.

Przedstawiona rozprawa doktorska dowodzi, że Autor:

- przeanalizował w sposób wyczerpujący istniejące rozwiązania w zakresie sterowania układami zasilania budynków mieszkalnych z mikroinstalacjami fotowoltaicznymi i magazynami energii,
- przeanalizował w sposób właściwy strukturę i otoczenie funkcjonowania układu zasilania pojedynczego odbiorcy komunalno-bytowego, przyjmując w konsekwencji uzasadnione założenia w celu rozwiązania zagadnienia naukowego,
- rozpoznał, zaadaptował i również opracował, prowadząc samodzielnie i w zespole badania naukowo-wdrożeniowe, właściwe metody badawcze wykazując przydatność metod prognozowania i optymalizacji nieliniowej w systemie HEMS,
- opracował i zaprogramował system HEMS, konieczny do rozwiązania zadania badawczego,
- zrealizował skomplikowane wariantowe obliczenia i analizy,
- ocenił i skomentował uzyskane wyniki.

Warto podkreślić, że mgr inż. Tomasz Naczyński uczestniczył w studiach doktoranckich, zdobywając doświadczenie w realizacji doktoratu wdrożeniowego.

Pozwala to na stwierdzenie, iż Autor posiadał umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

10. Uwagi polemiczne i dyskusyjne oraz edycyjne

10.1. Uwagi polemiczne i dyskusyjne

- 10.1.1. Proszę sprecyzować udział Autora w publikacjach [Z.1-Z.5] zgłoszonych do oceny w ramach rozprawy doktorskiej.
- 10.1.2. Proszę wskazać elementy nowości zastosowanych rozwiązań w informatycznym systemie sterowania HEMS, opracowanym w pracy doktorskiej. Co nowego proponuje Autor na tle np. pozycji literaturowej [32]?
- 10.1.3. W rozdz.3.3. zaprezentowano algorytm optymalizujący pracę urządzeń elektrycznych zainstalowanych u odbiorcy komunalno-bytowego. Przedstawiono ogólną postać funkcji celu (3.1) i (3.3). Algorytm optymalizacji PSO szuka minimum/maksimum funkcji celu. Należałoby w tym miejscu uściślić, jaki jest zestaw zmiennych decyzyjnych (ciągłych, dyskretnych), wskazać ograniczenia dla zmiennych decyzyjnych. W badaniach porównuje się tak uzyskane wyniki z wynikami systemu HEMS opartego na regułach logicznych (zaimplementowanych fabrycznie w sterowniku magazynu energii). W pracy ogólnie scharakteryzowano działanie tego systemu i podano, jaki cel przyświecał twórcom zaimplementowanego fabrycznie algorytmu sterowania. Czy Autorowi udało się może uzyskać opis zestawu reguł logicznych wykorzystanych w algorytmie sterowania? Porównanie byłoby wtedy bardziej precyzyjne.
- 10.1.4. Str. 64 Jest: "... Algorytm PSO w jednym cyklu obliczeniowym wykonywał 350 iteracji. W celu uzyskania optymalnego profilu pracy magazynu energii dla



zadanych funkcji celu wykonano po dziesięć symulacji, z których wybrano te, dla których uzyskano najlepsze wyniki.” Stwierdzenie powyższe nasuwa kilka pytań. Dlaczego wykonywano 350 iteracji i jaki był warunek stopu procedury optymalizacyjnej? Jeśli wynikiem procedury optymalizacyjnej jest optymalne rozwiązanie, to dlaczego i w jakim celu podjęto dalsze kroki? Czym podyktowany był limit 10 symulacji i jakie kryterium zastosowano przy wyborze symulacji z „najlepszymi” wynikami?

- 10.1.5. Artykuł [Z.1] przytacza analizy wykonane w pracy [13]. Które elementy artykułu są rozwinięciem tez zawartych w [13]?
- 10.1.6. W [Z.1] str.4 (206) jest: „...Zatem zakup zasobnika będzie opłacalny ekonomicznie tylko wtedy, kiedy zmniejszenie straty ponoszonej przez prosumenta będzie wyższe niż koszt związany z instalacją magazynu.” Problem opłacalności inwestycji w elektroenergetyce jest bardziej złożony, bo przy wieloletnim okresie eksploatacji należałoby uwzględnić np. zmienność wartości pieniądza w czasie itp. Proszę o komentarz.
- 10.1.7. W [Z.2] przedstawiono dynamiczny model cieplny modułu PV w zmiennych warunkach atmosferycznych. W [Z.3] model z wykorzystaniem metody różnic skończonych FDM został zastosowany do obliczania temperatury instalacji PV. Czy również został zaimplementowany w systemie HEMS proponowanym w pracy doktorskiej?
- 10.1.8. W [Z.3] uzyskano prognozy generacji z instalacji PV zainstalowanej na Politechnice Śląskiej oraz u wybranych prosumentów, charakteryzujące się dużymi błędami MAPE. Jakie przesłanki pozwoliły sformułować wniosek, że „prognoza generacji dla tego typu instalacji PV charakteryzuje się wystarczającą dokładnością, aby można ją wykorzystać do sterowania pracą urządzeń elektrycznych i magazynu energii”?
- 10.1.9. Czy Autor widzi potrzebę dalszych badań i kontynuacji projektu badawczego, będącego przedmiotem rozprawy doktorskiej i jakie są perspektywy wdrożenia systemu HEMS?

10.2. Uwagi szczegółowe i edycyjne

- 10.2.1. Str. 14 w Tabeli 3.1. powinien być dzień prognozy 03.07., a nie 03.04.
- 10.2.2. Str. 14 ostatni wiersz, powinno być „... w kartach katalogowych...”
- 10.2.3. Str. 16 jest „...w procesie prognozowania generacji obliczana jest moc czynna (P) źródła PV do strony AC.”. Powinno być „...po stronie AC.”
- 10.2.4. Str. 40 Pierwszy akapit rozdz.4.2.2. Jest „licznik energii elektrycznej Orno OR-WE-504” powinno być „...elektrycznej...”
- 10.2.5. Str. 61 Rys.4.25 Czy krok nie powinien być 100 W?
- 10.2.6. Str. 67 Jest: „...zapotrzebowanie budynku było w całości pokryte za pomocą zgromadzonej w magazynie energii pochodzącej z generacji PV.” Powinno być: „...pokryte...”
- 10.2.7. Str. 91 Jest: „ZAŁACZNIK.” Powinno być: „ZAŁĄCZNIK.”
- 10.2.8. W [Z.1] str.2 (204) jest: „...Z kolei rejestracja generacji źródła PV przeprowadzona została za pomocą aplikacji Fronius Solar.web.’ Powinno być: „...Z kolei...”

11. Konkluzja

Tematyka recenzowanej rozprawy w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie **automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne** jest bardzo aktualna zarówno w Polsce, jak też na świecie. Główna wartość pracy, zdaniem recenzenta, polega na kontynuowaniu i rozwinięciu przez Autora badań dotyczących analiz pracy sieci elektrycznych, podjętych w Katedrze Elektroenergetyki i Sterowania Układów na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej. Wyniki badań przedstawione w rozprawie wskazują na możliwość takiego sterowania pracą odbiorników energii elektrycznej, mikroinstalacji fotowoltaicznej i magazynu energii, aby realizując założoną funkcję celu zwiększyć autokonsumpcję energii elektrycznej i zmniejszyć tym samym niekorzystne oddziaływanie na sieć dystrybucyjną. Zaproponowane w rozprawie metody analizy są cenne ze względu na ich użyteczny charakter. Zrealizowany w ramach rozprawy doktorskiej projekt badawczy, polegający na budowie systemu HEMS, ma potencjał wdrożeniowy. W przekonaniu recenzenta Autor wykazał się umiejętnością samodzielnego formułowania i rozwiązywania problemów naukowych. Rozwiązał oryginalne zagadnienie naukowe.

W tym kontekście przedstawiona rozprawa doktorska odpowiada wymaganiom, sprecyzowanym w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2022 r. poz. 574) z późn. zm.) w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

Stawiam wniosek o dopuszczenie mgr. inż. Tomasza Naczyńskiego do publicznej obrony, w trakcie której oczekuję, że Pan mgr inż. Tomasz Naczyński ustosunkuje się do uwag polemicznych i dyskusyjnych zawartych w recenzji.