



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)

dr hab. inż. Piotr Miller, prof. Uczelni

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

POLITECHNIKA ŚLĄSKA Lublin, 09.02.2026 r.  
Automatyzacja i Informatyka  
Elektrotechnika i Technologia Kosmiczna  
wpłynęło dnia 12.02.2026  
nr .....

## Recenzja rozprawy doktorskiej

mgra inż. Tomasza Naczyńskiego

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

Promotor pracy: dr hab. inż. Roman Korab, prof. uczelni

Promotor pomocniczy: dr inż. Marcin Połomski

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest uchwała Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Śląskiej nr 129/2025 z dnia 18 listopada 2025 r. oraz pismo podpisane przez Przewodniczącą Rady Dyscypliny AEEiTK PŚ dra hab. inż. Adama Gałuszkę z dnia 10.12.2025 r. Recenzja opiera się o postanowienia Ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z dnia 20 lipca 2018 r.

## 1 Wybór tematu rozprawy

Tematyka rozprawy doktorskiej dotyczy problematyki zarządzania energią elektryczną u odbiorców komunalno-bytowych wyposażonych w prosumenckie mikroinstalacje fotowoltaiczne.

W ostatnich latach obserwowany jest bardzo dynamiczny rozwój mikroinstalacji fotowoltaicznych, który w wielu obszarach kraju prowadzi do istotnych problemów eksploatacyjnych w sieciach niskiego napięcia, takich jak przekroczenia dopuszczalnych poziomów napięcia, przepływy wsteczne mocy czy pogorszenie parametrów jakości energii elektrycznej. Zagadnienia te mają charakter praktyczny i systemowy, a ich rozwiązanie wymaga nie tylko rozbudowy infrastruktury sieciowej, lecz również działań po stronie odbiorcy końcowego. Rozprawa wpisuje się zatem w aktualny nurt badań



poszukujących rozwiązań umożliwiających bardziej efektywną integrację generacji rozproszonej z istniejącymi sieciami dystrybucyjnymi.

Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że autor koncentruje się na kształtowaniu lokalnego bilansu energii poprzez zwiększenie autokonsumpcji energii w miejscu jej wytworzenia, co stanowi podejście komplementarne wobec klasycznych metod modernizacji sieci elektroenergetycznych. Zastosowanie systemów typu Home Energy Management System (HEMS) jako narzędzia realizującego automatyczne sterowanie odbiornikami oraz współpracę z magazynami energii wpisuje się w koncepcję inteligentnych sieci elektroenergetycznych (smart grids) i odpowiada na aktualne potrzeby operatorów systemów dystrybucyjnych oraz prosumentów.

Istotnym atutem podjętego tematu jest jego wyraźny wymiar aplikacyjny. Rozwiązania oparte na systemach HEMS, odpowiednich algorytmach sterowania oraz lokalnych magazynach energii mogą być wdrażane w istniejących obiektach mieszkalnych bez konieczności kosztownych i długotrwałych inwestycji sieciowych. Wskazuje to na realną możliwość praktycznego wykorzystania wyników rozprawy zarówno w skali pojedynczego gospodarstwa domowego, jak i w szerszym ujęciu systemowym, obejmującym ograniczenie problemów eksploatacyjnych w sieciach niskiego napięcia.

Podsumowując, wybór tematu rozprawy doktorskiej należy ocenić bardzo pozytywnie. Tematyka pracy jest aktualna, istotna z punktu widzenia funkcjonowania współczesnych systemów elektroenergetycznych oraz dobrze uzasadniona zarówno od strony teoretycznej, jak i praktycznej. Zaproponowane podejście badawcze stwarza warunki do uzyskania wyników o znaczeniu naukowym, a jednocześnie posiada wyraźny potencjał wdrożeniowy, co w pełni odpowiada wymaganiom stawianym rozprawom doktorskim o charakterze technicznym.

## **2 Ogólna ocena rozprawy**

Recenzowana rozprawa doktorska to zbiór powiązanych tematycznie artykułów, których autorem bądź współautorem jest Doktorant. Zbiór ten, będący osiągnięciem Doktoranta podlegającym ocenie, składa się z pięciu następujących artykułów:

- 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 (70 pkt. MNiSW, IF 0,4),
- 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 (200 pkt. MNiSW, IF 10,9),



- 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 (70 pkt. MNiSW, IF 0,4),
- 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 (70 pkt. MNiSW, IF 0,4),
- 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 (140 pkt. MNiSW, IF 3,2).

Dokumentacja, będąca przedmiotem recenzji składa się, oprócz wspomnianych artykułów, także z autoreferatu, w którym można znaleźć tezę, cel i omówienie zakresu pracy, a także opis osiągnięć naukowych, wdrożeniowych oraz ocenę efektów implementacji opracowanego przez Doktoranta systemu HEMS - Home Energy Management System. Całość została zaprezentowana w formie zwartej.

Dokument zawiera w sumie 150 stron, z czego autoreferat to 90 stron tekstu wraz z ilustracjami, wzorami oraz wykazem literatury zawierającym 32 pozycje. Pozostała część dokumentu to załączniki prezentujące zbiór powiązanych tematycznie artykułów naukowych, które stanowią rozprawę doktorską. Jak już wspomniano zbiór ten składa się z 5 artykułów opublikowanych w czasopismach indeksowanych w WoS, posiadających Impact Factor oraz punkty MNiSW. Każdy z tych artykułów zawiera swój oddzielny wykaz literatury, który uzupełnia bibliografię rozprawy doktorskiej zawartej w autoreferacie.

Autoreferat podzielony został na sześć rozdziałów wliczając w nie zarówno rozdział wstępny, jak i podsumowujący całą rozprawę. Rozdział siódmy to przegląd literatury, obejmujący zagadnienia związane z tematyką dotyczącą wpływu mikroinstalacji PV na pracę sieci niskiego napięcia, metod ograniczania negatywnego wpływu instalacji PV oraz zarządzania energią po stronie odbiorcy. Najstarsza pozycja w wykazie literatury datowana jest na rok 1993, najnowsza pochodzi z roku 2025. Jak już wspomniano przegląd literatury zawarty w autoreferacie uzupełnia bibliografia artykułów stanowiących rozprawę doktorską (artykuł Z.1: 14 pozycji, artykuł Z.2: 42 pozycje, artykuł Z.3: 15 pozycji, artykuł Z.4: 27 pozycji, artykuł Z.5: 42 pozycje).

Rozdział pierwszy autoreferatu, wprowadzający, stanowi uzasadnienie podjęcia tematu badań, osadzone w kontekście dynamicznego rozwoju prosumenckich mikroinstalacji fotowoltaicznych i narastających problemów technicznych w sieciach niskiego napięcia. Autor wskazuje na niski poziom autokonsumpcji energii elektrycznej w gospodarstwach domowych z instalacjami PV oraz wynikającą



z tego nadmierną wymianę energii z siecią, prowadzącą do pogorszenia warunków jej pracy. W rozdziale omówiono główne konsekwencje wysokiego nasycenia sieci nN źródłami PV oraz ograniczoną skuteczność klasycznych działań modernizacyjnych. Następnie przedstawiono koncepcję zwiększenia autokonsumpcji energii poprzez sterowanie odbiornikami i zastosowanie magazynu energii, którą opracowano na podstawie badań opisanych w jednym z artykułów wchodzących w skład zbioru – **Z.1**. Rozdział kończy się wprowadzeniem i omówieniem ogólnej architektury systemu Home Energy Management System (HEMS), stanowiącego główny przedmiot dalszych analiz i badań w rozprawie.

W rozdziale drugim sformułowano tezę pracy, która brzmi następująco: *„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”*. Sposób sformułowania tezy uważam za prawidłowy. W rozdziale tym określono także cel pracy oraz wykazano etapy prac badawczo-wdrożeniowych, których realizacja pozwoliła osiągnąć założony cel.

Rozdział trzeci autoreferatu prezentuje osiągnięcia naukowe rozprawy doktorskiej. Składa się z trzech podrozdziałów omawiających opracowane przez Doktoranta metody: prognozowania bazowego zapotrzebowania na energię elektryczną odbiorcy komunalno-bytowego, prognozowania generacji energii elektrycznej w źródle fotowoltaicznym na podstawie numerycznej prognozy pogody oraz algorytm optymalizujący pracę urządzeń elektrycznych zainstalowanych u odbiorcy komunalno-bytowego. Metoda prognozowania bazowego zapotrzebowania odbiorcy na energię elektryczną jest przedmiotem rozważań jednego z artykułów wchodzących w skład zbioru – **Z.4**. Zaproponowany model prognostyczny opiera się na rozszerzonej metodzie naiwnej, wykorzystującej historyczne dane pomiarowe z kilku takich samych dni poprzedzających. Oprócz klasycznego grafiku średniego wprowadzono dodatkowe opisy zmienności obciążenia w postaci grafiku „typowego” oraz grafiku statystycznie najczęstszego, a prognoza zapotrzebowania wyznaczana jest jako suma ważona tych grafików. Opracowaną przez Doktoranta metodę wykorzystano do prognozowania bazowego obciążenia rzeczywistego budynku mieszkalnego, z wykorzystaniem danych z dedykowanego systemu pomiarowego. Uzyskana dokładność prognoz, porównywalna z bardziej zaawansowanymi metodami opisanymi w literaturze, przy jednoczesnej prostocie modelu, potwierdza zdaniem Doktoranta jego przydatność do implementacji w systemie HEMS.

Drugi podrozdział rozdziału trzeciego prezentuje opracowaną przez Doktoranta metodę krótkoterminowego prognozowania generacji energii elektrycznej w mikroinstalacji fotowoltaicznej, przeznaczoną do zastosowania w systemach zarządzania energią w budynkach (HEMS). Metoda ta



bazuje na fizycznym modelu źródła PV zaimplementowanym w programie OpenDSS i wykorzystuje numeryczne prognozy pogody jako podstawowe dane wejściowe. Kluczowym elementem proponowanego podejścia jest wyznaczanie temperatury modułu fotowoltaicznego, mającej istotny wpływ na generowaną moc. Autor wykazał, że powszechnie stosowane modele empiryczne, omówione w publikacji **Z.2**, charakteryzują się ograniczoną dokładnością przy wysokiej rozdzielczości czasowej danych meteorologicznych, głównie z powodu pominięcia bezwładności cieplnej modułu PV. W odpowiedzi na to ograniczenie autor zaproponował dynamiczny model cieplny modułu fotowoltaicznego, oparty na metodzie różnic skończonych, którego parametry zostały zoptymalizowane z wykorzystaniem algorytmu PSO. Model ten, szczegółowo opisany i zweryfikowany w publikacji **Z.2**, wykazał istotną poprawę dokładności szacowania temperatury modułu w porównaniu z klasycznymi modelami empirycznymi. Dodatkowa weryfikacja, obejmująca porównanie z modelem Barry'ego i in. oraz dane z instalacji zlokalizowanych w Niemczech, potwierdziła poprawność zaproponowanego rozwiązania. Zweryfikowany model cieplny został następnie wykorzystany do opracowania metody prognozowania generacji PV, opisanej w publikacjach **Z.2** oraz **Z.4**. Przeprowadzone symulacje, oparte na historycznych numerycznych prognozach pogody o różnych rozdzielczościach czasowych, wykazały, że najwyższą dokładność prognoz uzyskano dla danych o rozdzielczości pięciominutowej. W najlepszych przypadkach różnica pomiędzy dobową energią obliczoną i zmierzoną nie przekraczała kilku procent, przy wartościach błędu MAPE rzędu 26–27%. Autor potwierdził możliwość zastosowania metody również w rzeczywistych mikroinstalacjach prosumenckich.

Trzeci podrozdział rozdziału trzeciego omawia algorytm optymalizujący pracę urządzeń elektrycznych zainstalowanych u odbiorcy komunalno-bytowego. Doktorant przedstawia tło oraz motywację rozwoju systemów HEMS w kontekście dynamicznego wzrostu mikroinstalacji PV, szczególnie tych prosumenckich, które prowadzą do problemów wynikających z rozbieżności profili generacji i obciążenia, nadwyżek energii oddawanych do sieci i związanych z tym potencjalnie negatywnych oddziaływań na sieć nN. W podrozdziale można znaleźć rys historyczny dotyczący rozwoju systemów DSM oraz HEMS wprowadzając podział tych drugich na systemy oparte na regułach oraz oparte na optymalizacji. W dalszej części Doktorant opisuje podejście optymalizacyjne: horyzont dobowy, rozdzielczość godzinowa, typową funkcję celu minimalizacji kosztu energii oraz bilans wymiany z siecią (uwzględniający obciążenia stałe i sterowalne, generację PV i pracę magazynu RESS). Kluczowym wkładem Doktoranta jest wprowadzenie alternatywnej funkcji celu – maksymalizacji dobowej neutralności finansowej prosumenta, motywowanej sprzecznością między czystą minimalizacją kosztu a ideą prosumenta. To rozwiązanie oraz jego weryfikacja zostały opisane w publikacji **Z.5**. Doktorant zaprezentował wyniki porównania systemu opartego na regułach (fabryczny sterownik magazynu) z systemem HEMS opartym na optymalizacji (PSO), w dwóch wariantach:



optymalizacja pracy RESS oraz łączna optymalizacja RESS i sterowalnych odbiorników SL. Na danych z rzeczywistego budynku jednorodzinnego pokazano, że optymalizacja dostosowuje strategię ładowania/rozładowania do profilu cen (w tym ujemnych cen w środku dnia) oraz pozwala ograniczyć eksport energii do sieci i zwiększyć autokonsumpcję; najlepsze efekty uzyskano przy jednoczesnym sterowaniu RESS i SL.

Rozdział czwarty autoreferatu prezentuje osiągnięcia wdrożeniowe rozprawy doktorskiej. Składa się z trzech podrozdziałów, w których znaleźć można charakterystykę badanego obiektu (budynku jednorodzinnego), informacje o zakresie rozbudowy układu pomiarowego zainstalowanego w badanym obiekcie oraz funkcjach pomiarowych i sterujących realizowanych przez system Home Assistant (platforma pomiarowo-sterująca wybrana przez Doktoranta). Badanym obiektem jest dwukondygnacyjny budynek jednorodzinny z lat 70. XX wieku, zamieszkiwany przez cztery osoby, o rocznym zużyciu energii elektrycznej rzędu 4 MWh. Autor uzasadnia wybór obiektu jego reprezentatywnością dla najliczniejszej grupy budynków mieszkalnych w Polsce, odwołując się do danych statystycznych GUS. Doktorant opisał szczegółowo infrastrukturę elektroenergetyczną budynku, w tym przyłącze, układ sieciowy instalacji wewnętrznej oraz zabezpieczenia. Przedstawiono również parametry prosumenckiej mikroinstalacji fotowoltaicznej o mocy 6,1 kW, eksploatowanej od 2019 roku, wraz z charakterystyką lokalnych warunków sieciowych, w tym występujących okresowo przekroczeń napięcia w sieci nN. W połowie 2023 roku obiekt został doposażony w magazyn energii elektrycznej RESS o pojemności około 20 kWh, zintegrowany z instalacją PV i wykorzystywany do testowania algorytmów sterowania.

W drugim podrozdziale omówiono zakres rozbudowy układu pomiarowego w badanym obiekcie. Wskazano, że standardowy dwukierunkowy licznik energii zainstalowany przez operatora systemu dystrybucyjnego, ze względu na ograniczone możliwości komunikacyjne, nie umożliwiał realizacji zaawansowanego monitoringu, co wymusiło zastosowanie dodatkowych liczników energii elektrycznej w kluczowych punktach instalacji. Zainstalowane liczniki pozwalają na niezależny pomiar wymiany energii z siecią, generacji PV oraz pracy magazynu energii RESS i zostały zintegrowane z systemem pomiarowo-sterującym budynku za pomocą protokołu Modbus RTU. Uzupełnieniem stacjonarnego układu pomiarowego jest przenośne stanowisko pomiarowe, umożliwiające rejestrację profili pracy poszczególnych urządzeń elektrycznych z wysoką rozdzielczością czasową. Zapewnia to komplet danych niezbędnych do analizy i optymalizacji pracy systemu HEMS.

Trzeci podrozdział przedstawia platformę Home Assistant jako otwartą i lokalnie działającą platformę pomiarowo-sterującą, wykorzystaną do implementacji systemu HEMS w badanym budynku mieszkalnym. Platforma została zintegrowana z rozbudowanym układem pomiarowym poprzez protokół Modbus RTU, co umożliwiło bieżący odczyt, archiwizację i wizualizację parametrów



elektrycznych instalacji zasilającej oraz wyznaczanie profilu obciążenia bazowego budynku. Home Assistant wykorzystano również do realizacji funkcji sterujących, obejmujących zdalne załączanie odbiorników o sterowanym czasie pracy oraz zdalne sterowanie magazynem energii na podstawie zadanego harmonogramu. Zaimplementowane algorytmy, oparte na narzędziu Node-RED, umożliwiły pełną kontrolę punktów pracy magazynu energii i odbiorników SL, co potwierdzono w testach przeprowadzonych w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych.

W rozdziale piątym Doktorant zaprezentował wyniki testów opracowanego w ramach rozprawy systemu HEMS przeprowadzonych w rzeczywistym środowisku pracy. Ocenę efektów pracy systemu przeprowadzono w trzech tygodniowych etapach: (1) sterowanie magazynem algorytmem fabrycznym opartym na regułach (minimalizacja chwilowej wymiany z siecią), (2) sterowanie magazynem według planu wyznaczanego PSO minimalizującego koszty energii, (3) sterowanie według planu PSO maksymalizującego neutralność finansową. Dla spójności porównania autor nie optymalizuje pracy odbiorników SL (nie planuje ich załączeń), ograniczając się w każdym etapie do sterowania pracą magazynu energii.

W etapie 1 (22–28.06.2025) magazyn pracuje realnie według reguł logicznych, a równolegle autor wykonuje symulacje dwóch wariantów PSO na podstawie prognoz obciążenia bazowego, prognoz generacji PV oraz godzinowych cen rynkowych PSE. W etapie 2 (10–16.07.2025) realizowany jest plan PSO minimalizujący koszty w sterowaniu rzeczywistym, przy czym w tym etapie nie są prowadzone żadne równoległe badania symulacyjne. Podobnie wygląda to w etapie 3 (17–23.07.2025), gdzie analogicznie wdrażane jest sterowanie PSO maksymalizujące neutralność finansową. Wnioski z każdego badania oceniają dokładność prognozy dobowego obciążenia i generacji, uzyskany poziom autokonsumpcji, tygodniowy import oraz eksport energii oraz rzeczywiste przychody prosumenta.

Rozdział szósty zawiera podsumowanie i wnioski. Autoreferat kończy się spisem literatury oraz spisem skrótów.

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 z zachowaniem reguł dotyczących opracowywania tekstów technicznych. Ogólne uwagi redakcyjne można streścić w następujących punktach:

- W kilku miejscach występują przecinki po wyrazach wprowadzających, które może nie są błędem, ale są opcjonalne i raczej nie są zalecane w tekstach technicznych. Przykłady: „Obecnie, w gospodarstwach domowych...”, „W efekcie, nadwyżki wyprodukowanej



energii...”. Moim zdaniem można spokojnie napisać: „Obecnie w gospodarstwach domowych...” lub „W efekcie nadwyżki wyprodukowanej energii...” z pominięciem przecinka.

- Zgodnie z zasadami języka polskiego dwukropek po „m.in.” nie jest konieczny i bywa uznawany za błąd stylistyczno-interpunkcyjny. Przykład: „czynnikami mającymi wpływ na zróżnicowany pobór energii są m.in.: pora roku...”. Lepiej napisać: „...są m.in. pora roku, dzień tygodnia oraz...” lub „...są następujące czynniki: ...”.

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

#### 4 Uwagi redakcyjne szczegółowe

Poniżej kilka przykładów błędów redakcyjnych:

| Nr strony | Lokalizacja         | Uwagi                                                                                                                                                                               |
|-----------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 12        | Akapit 2 od góry    | „W drugiej <b>część</b> prac nad kalibracją modelu...” – powinno być: „W drugiej <b>części</b> prac...”                                                                             |
| 14        | Akapit 1 od dołu    | „Na moc generowaną przez moduł fotowoltaiczny <b>ma wpływ</b> wiele czynników.” – powinno być „ <b>ma wpływ</b> ”.                                                                  |
| 14        | Akapit 1 od dołu    | „... w <b>karatach</b> katalogowych...” – powinno być „ <b>kartach</b> ”                                                                                                            |
| 26        | Akapit 1 od dołu    | „...systemu HEMS bazującego <b>ma metodzie</b> optymalizacji...” – powinno być „ <b>na metodzie</b> ”.                                                                              |
| 26        | Podpis Rys. 3.8.    | „w dniu 20 września. 2023 r.” – zbędna kropka po „września”.                                                                                                                        |
| 33        | Akapit 1 od dołu    | „...magazyn baterijny RESS i <b>odbiorniki znanych</b> profilach poboru energii...” – powinno być „... odbiorniki <b>o</b> znanych...”                                              |
| 34        | Akapit 1 od dołu    | „...czuwa trójfazowy falownik marki <b>Fornius</b> Symo o mocy znamionowej 5 kW...” – powinno być „ <b>Fronius</b> ”.                                                               |
| 35        | Akapit 1 od dołu    | „...opisany budynek <b>został wykorzystywany</b> do szczegółowego testowania...” – jeżeli „został” to „ <b>wykorzystany</b> ”, jeżeli „ <b>wykorzystywany</b> ”, to „ <b>był</b> ”. |
| 36        | Akapit pod Rys. 4.2 | „...mają wpływ <b>odbiorniki jakie są zainstalowane</b> ...” – powinno być „ <b>odbiorniki, które są</b> ”.                                                                         |
| 37        | Akapit 2 od dołu    | „...konieczne było <b>zainstalowane</b> w tym miejscu...” – powinno być „ <b>zainstalowanie</b> ”.                                                                                  |
| 39        | Akapit 1 od góry    | „Kolejne liczniki energii <b>eklektycznej</b> widoczne...” – powinno być „ <b>elektrycznej</b> ”.                                                                                   |
| 39        | Akapit 1 od dołu    | „W celu odczytu różnorodnych <b>paramentów</b> kompleksowo charakteryzujących...” – powinno być „ <b>parametrów</b> ”.                                                              |
| 40        | Akapit 1 od góry    | „...energii <b>eklektycznej</b> Orno OR-WE-504.” - powinno być „ <b>elektrycznej</b> ”.                                                                                             |
| 57        | Podpis Rys. 4.21    | „(a) stopień <b>naładowana</b> ” – powinno być „ <b>naładowania</b> ”                                                                                                               |
| 68        | Akapit 2 od dołu    | „...skutkowało wolniejszymi <b>zmiany</b> SoC...” – powinno być „ <b>zmianami</b> ”                                                                                                 |



| Nr strony | Lokalizacja      | Uwagi                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 85        | Akapit 1 od góry | „...u odbiorcy <b>indywidulanego wyposażanego</b> w źródło PV...” – powinno być „ <b>indywidualnego</b> ” oraz „ <b>wyposażonego</b> ”. Podobnie w zdaniu „...w rzeczywistym układzie zasilania odbiorcy <b>indywidulanego</b> (prosumenta) pozwalają ...” w następnym akapicie. |
| 87        | Punkt 7.         | „Opisany system HEMS został zbudowany <b>jest</b> na bazie mikrokomputera...” – słowo „ <b>jest</b> ” jest zbędne.                                                                                                                                                               |

Liczba błędów redakcyjnych jest akceptowalna, tym bardziej, że nie są to istotnie rażące błędy.

## 5 Uwagi o charakterze ogólnym i dyskusyjnym:

- Analizując wykresy z rysunku 3.1 można zauważyć, że przebiegi rzeczywistego zapotrzebowania i prognozy w niektórych godzinach znacząco się różnią. Czy błąd prognozowania bazowego zapotrzebowania na energię elektryczną na poziomie 20-30% jest faktycznie akceptowalny i czy taki model prognostyczny jest możliwy do zastosowania w systemie HEMS? Czy Doktorant widzi możliwość i celowość poprawy dokładności prognozowania? Czy dalsze badania w tym zakresie są planowane i czy są potrzebne?
- W przypadku metody prognozowania generacji, a przede wszystkim metody szacowania temperatury modułu PV należy zauważyć, że mimo wyraźnej poprawy dokładności tego szacowania, uzyskane wartości błędu MAPE prognoz generacji pozostają stosunkowo wysokie, zwłaszcza w przypadku badań przeprowadzonych na instalacjach prosumenckich. Ogranicza to możliwość bezpośredniego porównania skuteczności zaproponowanej metody z nowoczesnymi podejściami prognostycznymi opartymi na metodach uczenia maszynowego, które w literaturze często osiągają niższe wartości błędów.
- Walidacja metody szacowania temperatury PV została przeprowadzona dla ograniczonej liczby dni oraz lokalizacji, co utrudnia jednoznaczną ocenę jej odporności na zmienne warunki klimatyczne i sezonowe. Zasadne byłoby rozszerzenie badań o dłuższe szeregi czasowe oraz bardziej zróżnicowane warunki atmosferyczne. Proszę o komentarz Doktoranta.
- Czy Doktorant zastanawiał się nad niezawodnością systemu pomiarowo-sterującego opartego na platformie Home Assistant i narzędziu Node-RED. Czy takie rozwiązanie zapewni długotrwałą pracę systemu HEMS w warunkach rzeczywistych? Jaki wpływ na pracę takiego systemu mają ewentualne opóźnienia komunikacyjne, czy awarie pojedynczych komponentów?
- Prezentując wyniki testów systemu HEMS w pierwszym etapie Doktorant zestawia pomiary (sterowanie oparte na regułach logicznych) z symulacjami dwóch strategii PSO. Czy dla zachowania pełnej konsekwencji porównawczej rozważono wykonanie analogicznych



„równoległych symulacji” także w etapach 2 i 3 (tj. symulowanie pozostałych strategii dla tych samych dni, dla których zrealizowano sterowanie rzeczywiste)?

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

## **6 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. Tomasz Naczyński, 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:

- opracowanie metody prognozowania zapotrzebowania odbiorcy komunalno-bytowego opartej na idei metody naiwnej, wykorzystującej pomiary zużycia energii z kilku takich samych dni poprzedzających,
- opracowanie metody krótkoterminowego prognozowania generacji źródła fotowoltaicznego bazującej na numerycznych prognozach pogody, z wykorzystaniem modelu źródła PV wchodzącego w skład pakietu OpenDSS,
- opracowanie dynamicznego modelu temperaturowego paneli PV, pozwalającego na dokładniejsze uwzględnienie zmienności temperatury paneli PV pracujących w zmiennych warunkach atmosferycznych,
- opracowanie i implementacja systemu HEMS opartego na metodzie optymalizacji realizującej różne funkcje celu.

Doktorant w rozprawie zmierza konsekwentnie do realizacji 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. Na podkreślenie zasługuje aplikacyjność prezentowanych rozwiązań.

Biorąc pod uwagę przedstawioną powyżej ocenę stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska Pana mgr inż. Tomasza Naczyńskiego stanowi cenny wkład w rozwój dyscypliny naukowej automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne oraz spełnia z dużym zapasem



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.