

dr hab. inż. Andrzej Ożadowicz, prof. uczelni
Katedra Energoelektroniki
i Automatyki Systemów Przetwarzania Energii
Wydział Elektrotechniki, Automatyki,
Informatyki i Inżynierii Biomedycznej
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
ozadow@agh.edu.pl

Kraków, 24.04.2024

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Rafała Owczarczaka

Tytuł rozprawy:

Wykorzystanie harvestingu energii w podnoszeniu efektywności energetycznej budynków z systemem zarządzania BMS i autonomicznym zasilaniu współpracujących z nim zdalnych układów czujnikowych

Autor rozprawy: mgr inż. Rafał Owczarczak
Promotor rozprawy: dr hab. inż. Paweł Żyłka
Promotor pomocniczy: Ireneusz Wąsowicz

Niniejsza recenzja została opracowana na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Wrocławskiej prof. dr hab. inż. Andrzeja Dziedzica z dnia 4.03.2024 r.

1. Znaczenie podjętej tematyki

Współczesne budynki, w szczególności przemysłowe, komercyjne i użyteczności publicznej, charakteryzują się rozbudowaną infrastrukturą różnego typu instalacji technicznych i teleinformatycznych, zapewniających wymagany w tych obiektach poziom komfortu, bezpieczeństwa oraz możliwości komunikacji ich użytkowników między sobą i ze światem zewnętrznym. W szczególności należą do nich systemy wentylacji, klimatyzacji, instalacje dystrybucji ciepła i chłodu wraz z systemami monitoringu parametrów środowiskowych oraz układami ich regulacji i sterowania. Należy podkreślić, że są to jednocześnie jedne z najbardziej energochłonnych instalacji i systemów instalowanych w budynkach, zarówno nowych jak i starszych, poddawanych modernizacji. Ponadto, coraz częściej w ramach infrastruktury budynkowej pojawiają się nowe elementy związane z rozwojem infrastruktury lokalnych sieci elektroenergetycznych (mikrosieci), takie jak odnawialne źródła energii (panele fotowoltaiczne, kolektory słoneczne czy turbiny wiatrowe) wraz z różnego typu magazynami energii oraz stacjami ładowania samochodów elektrycznych. Wszystkie te trendy rozwojowe infrastruktury współczesnych budynków wymagają efektywnego wsparcia ze strony systemów monitoringu, sterowania i zarządzania. Dedykowanym narzędziem do tego typu aplikacji są systemy zarządzania budynkami BMS, z elementami automatyki budynkowej, rozproszonych sieci czujników i urządzeń monitorujących, które od wielu lat instalowane

są w nowo powstających budynkach komercyjnych i użyteczności publicznej, a w najbliższych latach rysuje się perspektywa ich instalacji także w obiektach już istniejących, poddawanych modernizacji i unowocześnieniu funkcjonalnemu oraz poprawie efektywności energetycznej. Stąd potrzeba nowych, innowacyjnych rozwiązań technicznych i organizacyjnych warstwy fizycznej rozproszonych sieci automatyki i systemów BMS. Podjęta przed Doktoranta tematyka wpisuje się w ten nurt rozwojowy branży automatyki budynkowej i platform zarządzania infrastrukturą budynków oraz wsparcia mechanizmów zarządzania energią w budynkach.

2. Zawartość, struktura pracy i ocena formalna

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska została napisana w języku polskim, zawiera łącznie 221 stron, a treść dysertacji podzielono na 14 rozdziałów. Ponadto zamieszczono jej streszczenie w języku polskim i angielskim, informację o cyklu trzech publikacji powiązanych z tematyką rozprawy doktorskiej, których doktorant jest współautorem lub autorem oraz spis rysunków, tabel i zastawienie pozycji literaturowych.

Rozdział pierwszy zawiera ogólne wprowadzenie w tematykę i branżę systemów zarządzania budynkami BMS, z krótką analizą ich funkcji, podstaw architektury systemowej oraz jednego z nowych trendów rozwojowych – zastosowania w obszarze poprawy efektywności energetycznej budynków. Doktorant odnosi się również do własnych doświadczeń i wiedzy zdobytej w czasie pracy zawodowej w branży systemów BMS, podkreślając wątek potencjału procesów harvestingu energii w budynkach, zarówno w kontekście poprawy efektywności energetycznej budynków w czasie eksploatacji, jak i możliwości wykorzystania odzyskanej energii w obsłudze modułów i urządzeń automatyki budynkowej i BMS. Na podstawie tych informacji i analiz, Doktorant poprawnie sformułował dwie tezy główne swojej dysertacji, a w odniesieniu do nich listę siedmiu zadań z obszaru analiz i badań, których realizacja i opis wyników stanowią podstawowy zakres przedmiotowej rozprawy doktorskiej.

Rozdział drugi stanowi bardzo, a nawet w opinii recenzenta za bardzo, syntetyczny przegląd najważniejszych informacji dotyczących możliwości wykorzystania funkcji systemów automatyki i BMS w poprawie efektywności energetycznej budynków, w szczególności w świetle zapisów i wytycznych normy PN-EN ISO 52120-1:2022-09. Zwraca uwagę bardzo ograniczona, krótka treść tego rozdziału, przy jednoczesnym pominięciu ważnych aspektów wynikających bezpośrednio ze wspomnianej normy, jak na przykład metody szacowania potencjalnych oszczędności energii w budynkach przy realizacji systemów automatyki i BMS w określonych w normie klasach.

Rozdział trzeci prezentuje przegląd literatury przedmiotowej, związanej z tematyką dysertacji. Doktorant omówił najważniejsze techniki harvestingu energii w budynkach w świetle informacji dostępnych w literaturze oraz na podstawie najnowszych wyników badań prowadzonych w zespołach naukowych i inżynierskich na świecie. W rozdziale szczegółowo przeanalizowano techniki harvestingu energii cieplnej, mechanicznej, promieniowania elektromagnetycznego, wraz z podsumowaniem analizy w kontekście możliwości ich wykorzystania w skali makro i mikro w budynkach oraz systemach BMS. Brak jednak przeglądu i analizy literatury przedmiotowej w zakresie zastosowań wytycznych norm PN-EN 15232 oraz PN-EN ISO 52120-1:2022-09, weryfikacji ich zapisów w badaniach przypadków (case-study) oraz odniesień do toczącej się w literaturze naukowej i branżowej dyskusji dotyczącej możliwości praktycznego i naukowego

wykorzystania zapisów tych norm oraz wprowadzonych przez nie metod szacowania i poprawy efektywności energetycznej budynków.

W rozdziale czwartym przedstawiono skrócony plan badań stanowiących najważniejszą merytorycznie część przedmiotowej dysertacji. Rozdział ten ma charakter wprowadzający do kolejnych rozdziałów rozprawy doktorskiej, z uporządkowaniem podejmowanych przez Doktoranta zróżnicowanych zagadnień badawczych w różnych obszarach harvestingu energii w zastosowaniach w budynkach.

Rozdział piąty zawiera szczegółowy opis pierwszego z podjętych przez Doktoranta problemów techniczno-badawczych, dotyczącego możliwości poprawy efektywności energetycznej kotłowni w budynku kuźni aluminium, wraz z implementacją systemu części biurowej i pomieszczeń funkcyjnych zakładu przemysłowego w Rudzie Śląskiej. Zwraca uwagę na szczegółowość opisów technicznych i technologicznych oraz wszechstronność analizy energetycznej omawianych procesów przemysłowych, w szczególności pod kątem identyfikacji możliwości ich modyfikacji i wprowadzenia funkcji sterujących, wspierających poprawę efektywności energetycznej tych procesów.

Rozdział szósty stanowi analiza techniczna systemów zapewnienia komfortu termicznego i jakości powietrza w zakładach produkcyjnych sprzętu AGD we Wrocławiu, wraz z opisem koncepcji organizacyjnej i realizacji systemu automatyki i zarządzania infrastrukturą budynku BMS CHRONOMATIK. Przedstawiona koncepcja funkcjonalna systemu z elementami harvestingu energii cieplnej sprężarek przemysłowych, to autorskie rozwiązanie opracowane przez Doktoranta w ramach swojej pracy zawodowej. Zwraca uwagę na opisane w dysertacji podejście naukowe do problemów technicznych zidentyfikowanych w procesach ogrzewania i wentylacji pomieszczeń przemysłowych, wraz z analityką różnych scenariuszy sterowania i ich weryfikacją w kontekście poprawy efektywności energetycznej budynku wg normy PN-EN ISO 52120-1:2022-09.

W rozdziale siódmym przedstawiono skrócony plan badań odnoszących się do koncepcji wykorzystania harvestingu energii w skali mikro w budynkach, w szczególności do zasilania wybranych modułów systemów automatyki budynkowej i BMS. Rozdział ten ma charakter wprowadzający do kolejnych rozdziałów rozprawy doktorskiej, i porządkuje podejmowane przez Doktoranta badania w przedmiotowym zakresie.

Rozdział ósmy prezentuje techniczne informacje dotyczące zapotrzebowania energetycznego wybranej do badań platformy czujników bezprzewodowych LoRa, wraz z wynikami eksperymentów pomiarowych i analizą możliwości poprawy efektywności energetycznej czujników dzięki mechanizmom harvestingu energii.

W rozdziale dziewiątym Doktorant podejmuje tematykę badania możliwości zasilania bezbaterijnego bezprzewodowych kontaktronów instalowanych przy oknach budynków, z wykorzystaniem harvestingu energii cieplnej szyb okiennych. Zwraca uwagę na kompleksowość podejścia do oryginalnego problemu techniczno-badawczego. Doktorant analizuje różne koncepcje realizacyjne harvestera energii cieplnej, opisuje przeprowadzone pomiary i procedurę wnioskowania.

Rozdział dziesiąty prezentuje analizy i wyniki kolejnych prac badawczych związanych tym razem z możliwościami wykorzystania energii cieplnej odpadowej w infrastrukturze budynków (instalacje zimnej wody zasilającej budynek oraz instalacje CO w budynku) do zasilania czujników bezprzewodowych LoRa w systemach BMS. Ponownie zwraca uwagę na kompleksowe badanie efektywności energetycznej termogeneratora różnych warunkach funkcjonowania instalacji budynkowych wraz z oceną jego użyteczności do postawionego przez Doktoranta celu.

Rozdziały jedenasty i dwunasty zawierają opisy badań na rzeczywistych układach harvesterów energii i czujników bezprzewodowych, przeprowadzonych w warunkach laboratoryjnych oraz w wybranej aplikacji przemysłowej. Opisano pobieżnie stanowiska badawcze oraz szczegółowo wybrane wątki badań i pomiarów, wraz z kompleksową analityką otrzymanych wyników, w kontekście celu i postawionych tez badawczych.

W rozdziale trzynastym przedstawiono koncepcję realizacji harvestingu energii mechanicznej z wybranych elementów infrastruktury budynków (samozamykacze i klamki drzwi), w kontekście możliwości zasilania lokalnych czujników, a nawet aktywnych elementów systemu BMS np. elektrozamków i innych modułów kontroli dostępu. Doktorant opisał pobieżnie stanowisko badawcze z symulatorami mechanicznymi analizowanych elementów infrastruktury budynkowej, przedstawił wyniki pomiarów dla różnych wariantów technicznych i technologicznych wraz z wnioskowaniem i nakreśleniem możliwych kierunków rozwoju.

Rozdział czternasty stanowi podsumowanie rozprawy doktorskiej, w szczególności w odniesieniu do dwóch postawionych na jej wstępie tez badawczych, które zdaniem Doktoranta zostały udowodnione. Ponadto, na podstawie wyników badań i wniosków z dysertacji, Doktorant przedstawił autorską koncepcję rozwojową platformy BMS CHRONOMATIK 2.0, bazującą na wdrożeniu bezprzewodowej komunikacji rozproszonych czujników w budynkach oraz możliwości eliminacji sprzętowej warstwy sterowników programowalnych obsługujących czujniki i włączenie ich zadań do warstwy „wirtualnej” na poziomie serwerów BMS obsługujących daną instalację systemową.

Struktura pracy poprawna. Zwraca jednak uwagę bardzo duża liczba rozdziałów, tym bardziej, że w trakcie lektury można odnieść wrażenie, że niektóre z nich wydzielono niepotrzebnie. Przykładem są rozdziały 4 i 7. Rozdział 4 stanowi w znaczącej mierze powielenie informacji ogólnych przedstawionych już wcześniej w rozdziale pierwszym z tezami rozprawy i listą zadań badawczych. Natomiast rozdział 7 to w praktyce wstęp i streszczenie planowanych badań do rozdziału 8 i mógłby być jego integralną częścią.

W tekście dysertacji występują stosunkowo liczne błędy interpunkcyjne, stylistyczne i edytorskie, jednak pozostają one bez znaczącego wpływu na odbiór treści merytorycznych przedmiotowej rozprawy. Do bardziej znaczących błędów w tych kategoriach odniesiono się w dalszej części recenzji.

3. Ocena merytoryczna rozprawy, umiejętność przedstawiania wyników i ich znaczenie

Jak już podkreślono w pkt. 1 niniejszej recenzji, zagadnienia techniczne i badawcze podjęte i zrealizowane przez Doktoranta w dysertacji wpisują się w aktualne trendy rozwojowe systemów automatyki budynkowej oraz zarządzania budynkami BMS. W rozprawie będącej wynikiem realizacji doktoratu wdrożeniowego, sam Doktorant wielokrotnie wskazuje na identyfikację przez niego realnych problemów technicznych związanych z implementacją niektórych funkcji systemów BMS w budynkach przemysłowych i biurowych, w szczególności w kontekście realizacji rozproszonych sieci bezprzewodowych czujników oraz wykorzystania niekonwencjonalnych źródeł energii dla takich czujników, dzięki różnym mechanizmom harvestingu energii. Analiza tej problematyki, przedstawiona szczegółowo i jednoznacznie w pierwszym rozdziale dysertacji, doprowadziła do sformułowania dwóch tez badawczych:

- (1) Energia pozyskiwana z otoczenia (poprzez harvesting energii) umożliwia poprawę efektywności energetycznej budynków z systemem BMS CHRONOMATIK.
- (2) Energia pozyskiwana z otoczenia (poprzez harvesting energii) umożliwia również autonomiczne, bezbateryjne zasilanie zdalnych układów czujnikowych instalowanych w budynkach i współpracujących z systemem zarządzania budynkiem BMS CHRONOMATIK. Sieć zasilanych w ten sposób zdalnych układów czujnikowych pozwala na poprawę efektywności energetycznej budynków zarządzanych systemem BMS CHRONOMATIK.

Tezy sformułowane są prawidłowo, choć zwraca uwagę odniesienie bezpośrednio w nich do konkretnego typu systemu BMS, co może wskazywać na jego szczególne cechy w odniesieniu do możliwych do osiągnięcia wyników w zakresie poprawy efektywności energetycznej. Tezy powinny mieć charakter uniwersalny w odniesieniu do platform technologicznych systemów zarządzania budynkami BMS. Uwaga ta nie umniejsza jednak znaczenia zaproponowanych przez Doktoranta tez, gdyż w badaniach dotyczących automatyki budynkowej ważne znacznie mają także badania prowadzone dla konkretnych aplikacji technologicznych, systemowych tzw. studiów przypadku (ang. case-study) i badania opisane w niniejszej dysertacji wpisują się w takie właśnie podejście.

Wychodząc od realnych problemów technicznych, Doktorant zaproponował konkretne prace badawcze, mające na celu udowodnienie tez poprzez analizę i porównanie różnych technik harvestingu energii dedykowanych dla elementów infrastruktury budynków. Na potrzeby oceny merytorycznej, zaproponowano ich podział na trzy części.

W pierwszej części opisanych w dysertacji prac (rozdział 3) dokonano przeglądu literatury przedmiotowej, gdzie Doktorant skupił się przede wszystkim na dyskusji zróżnicowanych technik harvestingu energii cieplnej, mechanicznej, promieniowania elektromagnetycznego, wraz z analizą ich potencjału aplikacyjnego w skali mikro i makro w budynkach oraz systemach BMS. Zwraca uwagę szczegółowość analiz technologicznych na bazie literatury, zróżnicowanych metod i technik harvestingu energii, wskazująca na znajomość tematyki i umiejętność prowadzenia krytycznej, a zarazem kreatywnej analizy techniczno-badawczej przez Doktoranta. Jednocześnie jednak istotny i zauważalny jest brak analizy literaturowej w odniesieniu do konkretnych rozwiązań technicznych badanych i testowanych w zespołach techniczno-badawczych na świecie, bezpośrednio dedykowanych wsparciu rozwoju systemów automatyzacji budynków i BMS. Taka analiza pozwoliłaby Doktorantowi i czytelnikowi dysertacji zweryfikować poziom innowacyjności opracowanych i badanych w ramach doktoratu rozwiązań technicznych i systemowych.

W części drugiej prac badawczych (rozdziały 5 i 6) przedstawiono realizację techniczną wybranych przez Doktoranta technik harvestingu energii w celu poprawy efektywności energetycznej budynków w dwóch zakładach przemysłowych. Dla obu przypadków opisano założenia koncepcyjne instalacji harvestingu energii, w odniesieniu do stanu istniejącego na obiektach budynkowych, wraz ze wskazaniem oczekiwanych rezultatów. Doktorant przedstawił proces analizy technicznej i procedur badawczych oraz testowych proponowanych przez siebie rozwiązań, z ich odniesieniem do analizowanych wcześniej w rozdziale 3 koncepcji prezentowanych w literaturze branżowej i przedmiotowej. Jednocześnie opracowane rozwiązania techniczne wdrożone zostały z wykorzystaniem platformy BMS CHRONOMATIK, która jak wynika z opisów stała się

bazowym systemem dla wszystkich rozwiązań opracowanych w ramach przedmiotowego doktoratu wdrożeniowego. Wyniki badań i testów technicznych przedstawione są przez Doktoranta poprawnie, bardzo szczegółowo, ze wskazaniem sekwencji iteracyjnej w zakresie doboru parametrów pracy modułów harvestingu energii oraz dedykowanych dla nich funkcji i harmonogramów sterowania. Zwraca uwagę bardzo pogłębiona analiza zmienności niektórych parametrów wybranych procesów przemysłowych (np. temperatury w systemach CWU kotłowni czy stanu pracy kanałów wentylacyjnych w systemie dystrybucji ciepła w zakładzie przemysłowym) w celu ich jak najbardziej efektywnego wykorzystania dla pozyskania dodatkowej energii cieplnej, wspomagającej procesy ogrzewania przestrzeni wewnątrzbudynkowych. Świadczą one o wysokim poziomie umiejętności Doktoranta w zakresie analiz procesów zapewniających komfort pracy i przemywania osób w budynkach, jak również weryfikacji rozwiązań technicznych wspierających efektywny monitoring, sterowanie i zarządzanie nowoczesną infrastrukturą budynków. W obu rozpatrywanych przypadkach pewien niedosyt pozostawia brak końcowej analizy wskaźnika zwrotu inwestycji (ang. Return of Investment – ROI). Doktorant podsumowuje prace i wdrożenia wskazując na uzyskane oszczędności o charakterze energetycznym, jednak bez odniesienia do koniecznych, opisywanych wcześniej zmian sprzętowych, technicznych na obiektach, które wiążą się niewątpliwie z inwestycjami finansowymi. Stąd wartościowe byłoby wskazanie poziomu takich kosztów i odniesienie ich do potencjalnych oszczędności, które w określonym czasie przyniosą realne oszczędności dla właściciela, zarządcy i użytkownika budynków.

Część trzecia opisu prac badawczych Doktoranta (rozdziały 8-13) dotyczy analiz koncepcyjnych różnych typów harvesterów energii skali mikro dedykowanych do zasilania rozproszonych niewielkich czujników bezprzewodowych dla systemu BMS, bazujących na mikrokontrolerach STM32L082. W rozprawie opisano środowisko technologiczne takiej platformy o charakterze uniwersalnym, pozwalającym na budowanie czujników różnych parametrów środowiskowych w budynkach, również w konwencji sieci Internetu Rzeczy jako technologii wspierającej organizację systemu BMS. Co warto podkreślić, technologię opracowano w ramach projektu B+R realizowanego we współpracy z Politechniką Wrocławską, ale Doktorant nie wspomina jaki był jego udział w tym projekcie oraz rezultaty bezpośrednie jego prac. W opisie prac badawczych realizowanych z wykorzystaniem platformy czujnikowej w samym doktoracie przedstawiono pogłębioną i szczegółową analizę architektury systemowej oraz komunikacji bezprzewodowej LoRa (niskoenergetycznej), z wnioskami dotyczącymi możliwości obsługi takiej komunikacji z poziomu modułu harvestingu energii o określonej, zredukowanej mocy. Zaprezentowane przez Doktoranta wyniki badań są szczegółowe, wiarygodne i świadczą o umiejętności krytycznej analizy technologii budowy oraz zasilania układów elektronicznych i mikroprocesorowych. W dysertacji przedstawiono ponadto bardzo szczegółowe analizy wybranych przez Doktoranta układów harvesterów energii na bazie termogeneratora, z uwzględnieniem możliwości ich dopasowania i optymalizacji do wcześniej wybranych układów czujników – kontaktronów okiennych. Kolejny etap badań obejmował dobór harwestera energii cieplnej odpadowego instalowanego na wodomierzu i innych elementach instalacji zasilania budynku w zimną i ciepłą wodę (np. rozdzielacz ogrzewania podłogowego). Po raz kolejny Doktorant przeprowadził bardzo szczegółowe badania i analizy funkcjonowania wybranych elementów instalacji budynkowych, z pomiarami i szacowaniem potencjalnych uzysków energetycznych i dyskusją możliwości ich wykorzystania do generacji napięć zasilających czujniki bezprzewodowe

LoRa dla systemu BMS. Zastosowane metody badawcze oraz zróżnicowane podejście techniczne zarówno do konstrukcji samych termogeneratorów, jak i niezbędnego do współpracy z nimi magazynu, bufora energii w postaci kondensatorów elektrolitycznych oraz EDCL, świadczą o znajomości warsztatu badawczego u Doktoranta oraz umiejętnościach jego organizacji i efektywnego wykorzystania dla weryfikacji przyjmowanych założeń parametrycznych i koncepcji organizacyjnych układów elektronicznych i automatyki. Ostatni etap w tej części prac badawczych to opracowanie koncepcji i badania testowe harvesterów energii na bazie ruchomych elementów mechanicznych w budynkach, w tym przypadku klamek i samozamykaczy drzwiowych. W pracy zaproponowano możliwość budowy mikroukładów przetwarzających energię mechaniczną na eklektyczną z wykorzystaniem mikrosilników współpracujących z przekładaniami mechanicznymi oraz przetwornicami DC-DC. Podobnie jak w innych etapach prac badawczych Doktorant przeanalizował różne warianty organizacji układu przetwarzania energii, z dyskusją wyników i opisem procesu decyzyjnego. Wybrane ostatecznie konstrukcje poddano tetom w warunkach laboratoryjnych, wykazując ich użyteczność do celów ujętych wcześniej w tezach przedmiotowej dysertacji.

Bogactwo i różnorodność podjętych przez Doktoranta zagadnień świadczą o jego umiejętnościach samodzielnego stawiania istotnych problemów badawczych z zakresu elektroniki i automatyki, wraz z opracowaniem koncepcji technicznych rozwiązań, ścieżki badawczej oraz krytycznej i twórczej dyskusji uzyskiwanych wyników badań. Od strony merytorycznej przedmiotowa dysertacja nie budzi zastrzeżeń. Jednakże w opisach prac badawczych i testowych zwraca uwagę brak istotnych elementów prowadzonego wywodu technicznego i badawczego. W szczególności dotyczy to braku schematów elektrycznych, choćby w uproszczonej formie blokowej, opisujących budowane przez Doktoranta instalacje testowe (rozdział 9, 12) czy stanowiska badawcze i pomiarowe (rozdział 10, 11, 13). W rozdziale 5, gdzie pojawiają się schematy technologiczne instalacji w budynku (rys. 15, 17, 19), są one nieczytelne lub bez odwołania w tekście rozprawy. Te uchybienia istotnie utrudniają czytelnikowi analizę techniczną proponowanych rozwiązań oraz zastosowanych technik pomiarowych, testowych w czasie badań przeprowadzanych przez Doktoranta i wpływają negatywnie na odbiór niewątpliwych wartości merytorycznych podjętej i realizowanej w dysertacji problematyki badawczej.

4. Analiza źródeł, pozycja i znaczenie naukowe rozprawy

Ocena pozycji przedmiotowej rozprawy doktorskiej w kontekście prowadzonych na świecie i w kraju badań naukowych jest znacząco utrudniona, ze względu na sposób prezentacji literatury i bibliografii zawarty w dysertacji. Spis literatury do jakiej odwołał się Doktorant w rozprawie obejmuje w sumie 114 pozycji, zarówno o charakterze stricte naukowym, jak i technicznym, branżowym. Jednak format opisu kolejnych pozycji w spisie jest bardzo chaotyczny i co istotne niekompletny. Dla wielu pozycji brak informacji czy to pozycja książkowa, artykuł z czasopisma, artykuł konferencyjny; w wielu przypadkach brak danych o roku publikacji, numerze magazynu, woluminu itp. Na przykład pozycje: 1, 10, 12, 17, 18, 22, 41, 53, 70-73, 75-80, 83, 86, 89-92, 95-98, 101-103, 105, 106, 107-114. Ponadto, zasadniczo przy wszystkich pozycjach odnoszących się do materiałów, informacji ze stron internetowych np. producentów, dystrybutorów urządzeń i systemów automatyki przemysłowej oraz budynkowej, brak wskazania daty dostępu oraz tytułów, ewentualnie autorów. Na przykład pozycje: 4, 5, 9, 54, 71, 76.

Doktorant zamieszcza też w spisie pozycje odwołujące się do dokumentacji technicznych różnych urządzeń i technologii wykorzystanych w ramach prowadzonych przez siebie badań, bez podania źródła tych dokumentacji, daty ich publikacji lub dostępu online. Na przykład pozycje: 69, 70, 81, 83, 89-92, 96, 98, 102, 103, 105, 107-114.

Ostatnią kategorią w literaturze są normy, standardy, dla których brak jednolitego formatu opisu pozycji literaturowych. Czasami podany tylko numer normy i standardu, w innych pozycjach jest numer, tytuł. Na przykład pozycje: 13-16, 23, 24, 94, 99, 100,

W efekcie tak opisanych większości pozycji literaturowych w rozprawie bardzo utrudniona jest weryfikacja nowości, unikalności podejmowanych przez Doktoranta problemów technicznych i badawczych, w szczególności ich odniesienie do najnowszych prowadzonych w tym obszarze badań przemysłowych, prac rozwojowych. Chaotyczny format opisów pozycji literaturowych znacząco obniża ogólną ocenę warsztatu badacza posiadanego przez Doktoranta oraz negatywnie wpływa na ogólną ocenę wartości naukowej przedmiotowej dysertacji.

5. Uwagi ogólne i szczegółowe

Należy podkreślić, że poziom merytoryczny przedmiotowej dysertacji jest wysoki, a podejmowany przez Doktoranta problem naukowy i związane z nim zagadnienia badawcze stanowią ważny element rozwoju dyscypliny naukowej niniejszej rozprawy doktorskiej oraz branży systemów automatyki budynkowej i zarządzania budynkami.

Trzeba jednak wskazać na pewne uchybienia i niejasności jakie pojawiają się w tekście rozprawy, utrudniające niekiedy jej odbiór i analizę prezentowanych zagadnień.

Uwagi podzielono na dwie grupy: 1) uwagi dyskusyjne i pytania, 2) błędy i uchybienia stylistyczne, formatowania itp.

1) Uwagi dyskusyjne i pytania

- a) W rozdziale 1 Doktorant stwierdza „(...) najbardziej strategiczne role w systemie BMS pełnią sterowniki PLC (...)” wymieniając realizowane przez nie istotne zadania. Jednocześnie, w rozdziale 14 w swojej autorskiej koncepcji systemu BMS CHRONOMATIK 2.0 proponuje usunięcie fizycznych sterowników PLC ze struktur systemu BMS i przeniesienie realizowanych przez nie funkcji na poziom serwerów BMS (wirtualne sterowniki PLC). Proszę o wyjaśnienie tego dualizmu koncepcyjnego oraz dodatkowe wyjaśnienia dotyczące bezpieczeństwa nowej koncepcji sterowników wirtualnych, ich bezprzewodowej komunikacji z innymi modułami systemu BMS, czujnikami itp. Jakie główne wyzwania dostrzega Doktorant w tym zakresie i jak ocenia perspektywę techniczną oraz czasową możliwości pojawienia się takich rozwiązań w ofercie komercyjnej firm branży automatyki budynkowej i systemów BMS?
- b) W kilku miejscach dysertacji Doktorant powołuje się na działające w systemie BMS CHRONOMATIK algorytmy sterowania różnymi podsystemami w analizowanych budynkach (np. algorytm systemu BMS sterowania instalacjami HVAC w fabryce lodówek – podrozdział 6.2 str. 77; np. algorytm systemu sterowania komfortem termicznym i oświetleniem w pomieszczeniach biurowych fabryki AGD – podrozdział 9.1 str. 108), bez wskazania funkcji tego algorytmu, zasady działania Proszę o wyjaśnienie dlaczego opisy takie nie pojawiają się, gdy jednocześnie

w kolejnych krotkach prac badawczych są one modernizowane w wyniku wdrożenia innowacyjnych rozwiązań harvestingu energii.

- c) Dla prezentowanych wdrożeń opracowanych w ramach dysertacji rozwiązań technicznych, Dyplomant przeprowadza analizę poprawy efektywności energetycznej w ujęciu rocznym, wskazując na oszczędności zużycia energii, ale również wynikające z nich oszczędności finansowe. Jednak nie odniesiono ich do koniecznych wcześniej nakładów finansowych koniecznych dla modernizacji i wdrożenia nowych funkcji systemu zarządzania budynkiem i energią. Przykład to analiza przedstawiona w podrozdziale 5.8 (w szczególności str. 73-74); również analiza w podrozdziale 6.6 (str. 91-93).

Proszę o przygotowanie takich szacunkowych analiz, w kontekście wskaźnika ROI, tak by pokazać realne oszczędności i wynikający z nich zwrot inwestycji w określonej perspektywie czasowej.

- d) Przy analizach poprawy efektywności energetycznej wynikających z wdrożeń rozwiązań opracowanych w ramach rozprawy doktorskiej, bark odniesienia do wskaźników podanych w normach PN-EN 15232 oraz PN-EN ISO 52120-1:2022-09. Czy uzyskane przez Doktoranta poziomy oszczędności energii mają odniesienie do tych wskaźników z norm? Czy przeprowadzono takie analizy i procedury weryfikacyjne? Do jakich klas systemów BACS można zakwalifikować systemy BMS z wdrożonymi w ramach doktoratu rozwiązaniami?
- e) Bazą technologiczną do badań czujników dla systemów BMS była platforma czujnikowa LoRa, opracowana w ramach projektu B+R. Jaka była rola Doktoranta w tym projekcie, jakie zaangażowanie i jakie były efekty bezpośrednie jego prac?
- f) W podrozdziale 11.5, przy opisach kondensatorów EDLC – str. 166 użyto sformułowania „(...) kondensatorem charakteryzującym się najszybszym spadkiem wartości zgromadzonego napięcia jest kondensator (...)”. Co oznacza termin „zgromadzone napięcie”? Czy napięcie może być zgromadzone? Proszę wyjaśnić znaczenie tych sformułowań.
- g) W przypadku harvesterów energii mechanicznej – w szczególności klamki drzwi – zwraca uwagę fakt, że ruch obrotowy klamki jest bardzo ograniczony – kilkanaście, maksymalnie do 40 stopni wychylenia kąтового. Czy w kontekście opisywanych w rozprawie problemów z przekładaniami mechanicznymi obrotowymi Doktorant rozważał wykorzystanie w takim harvesterze przejścia z ruchu obrotowego na liniowy i np. zastosowanie przetworników piezoelektrycznych do generowania napięcia, mocy. Proszę o informację, ewentualne wyjaśnienia.

2) Błędy i uchybienia stylistyczne, formatowania itp.

- a) W dokumencie pracy nastąpiło przesunięcie numeracji stron. Streszczenie rozpoczyna się na stronie nr 2, a tymczasem powinna to być strona nr 3 (strony otwartego wydrukowanego dokumentu po prawej stronie powinny być nieparzyste – taka zasada we wszystkich monografiach i książkach do druku).

Błąd ten i zasada mają dalsze konsekwencje: (i) spis rysunków powinien zaczynać się na nowej stronie dokumentu po prawej stronie otwartej rozprawy, (ii) wszystkie rozdziały główne pracy powinny zaczynać się na nowej nieparzystej stronie dokumentu, po prawej stronie po otwarciu rozprawy.

- b) Zasady składu tekstu nakazują, by między nagłówkami rozdziału/podrozdziału był choćby fragment tekstu. Należy unikać sytuacji, gdy nagłówek podrozdziału jest

bezpośrednio pod nagłówkiem rozdziału – przykład: początek rozdziału 2, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14.

- c) W wielu miejscach tekstu rozprawy są błędy interpunkcyjne typu brak znaków przestankowych, nadmiar znaków przestankowych, podwójne spacje itp. Przykłady: liczne podwójne spacje w tekście rozdziału 1 Wstęp; str. 25 ostatnie zdanie przecinek na końcu, przed odnośnikiem do literatury [12]; str. 27 ostatnie zdanie na stornie, brak przecinka po odnośniku do literatury [20].
- d) W kilku miejscach tekstu rozprawy Doktorant stosuje odwołanie do wcześniejszych lub późniejszych fragmentów tekstu pracy lub grafik stosując sformułowania np. „eliminującym wyżej opisane wady” (str. 34), „poniżej opisano wybrane z nich” (str. 35), „poza wymienionymi powyżej” (str. 38). Sformułowań takich należy unikać, przy wydruku dokumentu okazuje się bowiem, że fragmenty do których się odwołano są np. na wcześniejszej lub dopiero na kolejnej jego stronie, zatem nie powyżej ani poniżej.
- e) Brak konsekwencji w formacie nagłówków zwłaszcza podrozdziałów – tytuły niektórych są zakończone kropką, a tak być nie powinno. Przykłady: podrozdziały 2.3, 6.4, 9.5.2, 13.6, 13.9.
- f) Niektóre rysunki nieczytelne – np. zbyt małe elementy – patrz rysunek 12, 17, 26, 28, 63, 66, 72.

Do niektórych grafik i rysunków brak odnośników w tekście – patrz rysunek 19, 26, 28, 80

Niektóre z rysunków skopiowane z materiałów zewnętrznych, z literatury anglojęzycznej, bez przetłumaczenia. Jeżeli praca jest w języku polskim, rysunki i grafiki powinny być również w tym języku lub z legendą oznaczeń, opisów. Przykłady: rys. 5-12, 27, 33, 40-42.

6. Podsumowanie i wniosek końcowy

Pomimo wspomnianych w recenzji uwag krytycznych oraz wymienionych w punkcie 5 braków i uchybień, zarówno o charakterze merytorycznym jak i formalnym, w szczególności zaś negatywnego wydźwięku oceny jednego z elementów warsztatu badacza opisanego w pkt. 4 recenzji, w opinii recenzenta przedmiotowa rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie aktualnego i istotnego problemu naukowego w dyscyplinie naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne. Dysertacja potwierdza, że Doktorant posiada dużą wiedzę teoretyczną i aplikacyjną oraz wskazuje jednoznacznie na jego umiejętności w zakresie samodzielnego prowadzenia prac badawczych. W rozprawie zawarto oryginalne wyniki i przedstawiono metody rozwiązywania problemów badawczych z zakresu przedmiotowej dyscypliny naukowej.

Stwierdzam zatem, że **rozprawa doktorska mgra inż. Rafała Owczarczaka spełnia warunki i kryteria stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora** w Ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 (Dz. U. 2023, poz. 742, z późn. zm.) i w związku z tym **wnoszę o dopuszczenie przedmiotowej rozprawy doktorskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego** przewidzianych odpowiednimi przepisami.

dr hab. inż. Andrzej Ojardowicz
profesor uczelni