

wpłynęło dnia 12.03.25 Rzeszów, 7.03.2025

nr ..... zał: .....

dr hab. inż. Mariusz Węglarski, prof. PRz

wmar@prz.edu.pl

Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza

Wydział Elektrotechniki i Informatyki

Zakład Systemów Elektronicznych i Telekomunikacyjnych

35-959 Rzeszów, ul. Wincentego Pola 2

## RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Pana mgr inż. Adama Kuli

Recenzję wykonano w odpowiedzi na pismo dr hab. inż. Adama Gałuszki, prof. PŚ, z dnia 14.01.2025, nr RDAEETK.512.8.2025, zgodnie z uchwałą Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Śląskiej.

Układ recenzji został dostosowany do wymagań określonych w umowie o dzieło UMC/0008/2025 na wykonanie recenzji (stopień doktora) do wniosku numer 4386/UMC/RAU0-3/2024.

### A. Tytuł rozprawy doktorskiej stanowiącej podstawę ubiegania się w aktualnym postępowaniu o nadanie stopnia doktora

„Opracowanie i wdrożenie systemu sterowania Inteligentnym Budynkiem biurowym wyposażonym w Centrum Przetwarzania Danych (Data Center)”

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska została przygotowana w ramach doktoratu wdrożeniowego pod opieką promotora dr hab. inż. Alberta Smalcerza, prof. PŚ z Katedry Informatyki Przemysłowej Wydziału Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej. Opiekunem pomocniczym był dr inż. Zygmunt Kamiński, pracownik podmiotu zatrudniającego Doktoranta.

Tytuł rozprawy powinien lepiej odzwierciedlać istotę rozważań prowadzonych przez Doktoranta, a ponadto zawiera on błędy językowe.

### B. Ocena układu rozprawy doktorskiej, w tym informacje o jej poszczególnych częściach składowych

#### 1) *Ogólny układ rozprawy doktorskiej*

Rozprawa doktorska została spisana na 187 stronach. Po karcie tytułowej Autor zamieścił podziękowania dla mentorów i bliskich oraz krótkie streszczenie w języku polskim i angielskim. Ponadto praca zawiera spis treści, siedem rozdziałów oraz trzy dodatkowe rozdziały, również numerowane, poświęcone kolejno spisowi literatury, rysunków i tablic.

## **2) Wstęp**

We wstępie (Rozdział 1) Autor nakreślił istotę rozważanego problemu. Powołując się na doniesienia literaturowe uzasadnił znaczenie społeczne i gospodarcze prowadzenia przedmiotowych badań. Wskazał metody stosowane do przewidywania zużycia energii wewnątrz budynków. Krótko wprowadził w przebieg eksperymentalnej części podjętego wyzwania projektowego, mającego na celu przeprowadzenie analiz zmierzających do zaproponowania rozwiązań ograniczających zużycie energii budynku biurowego wyposażonego w centrum przetwarzania danych (CPD). Zasygnalizował, że w części eksperymentalnej zostały osiągnięte następujące rezultaty końcowe prac badawczych:

- opracowanie koncepcji systemu sterowania i pomiarów dla nowego budynku biurowego wyposażonego w CPD, sygnowanego skrótem CRON – koncepcja ta nie została wdrożona w praktyce;
- opracowanie i wdrożenie projektu nowej serwerowni w istniejącym budynku biurowym K-133;
- opracowanie i wdrożenie instalacji PV wraz z magazynem energii dla budynku biurowego K-133.

## **3) Zakres rozważań teoretycznych**

Rozdział drugi Autor rozpoczął od przedstawienia historii rozwoju automatyki i sterowania instalacji budynkowych. Zdefiniował takie pojęcia jak automatyka budynku, systemy sterowania, instalacja inteligentna, inteligentny dom/budynek oraz podał niezbyt precyzyjną interpretację technicznych określeń instalacji niskonapięciowej i instalacji sygnałowej. Przytoczył również znaczenie, a czasami i rozbudowany opis innych terminów specjalistycznych powiązanych z tematyką rozprawy doktorskiej. Ponadto w rozdziale 3 rozwinął wybrane zagadnienia w odniesieniu do emisji zanieczyszczeń spowodowanych eksploatacją budynków. Scharakteryzował podstawowe cechy systemów automatyki budynkowej i ich potencjał do skalowalności oraz dokonał porównania rozwiązań najbardziej popularnych na światowych rynkach, zwracając szczególną uwagę na standard KNX, który został wykorzystany w części eksperymentalnej rozprawy. Należy również zwrócić uwagę, że istotna część rozważań teoretycznych została zawarta w rozdziałach 5 i 6 poświęconych omówieniu wdrożeń zrealizowanych projektów.

Tym samym Doktorant dokonał próby usystematyzowania wiedzy niezbędnej do rozwiązania postawionego problemu projektowego. Niemniej jednak czytelnik może odnieść wrażenie, że niektóre zagadnienia i stwierdzenia są niepotrzebnie wielokrotnie powtarzane i parafrazowane (szczególnie w odniesieniu do treści rozdziałów 2 i 3), a dobór poruszanych kwestii nie do końca znajduje uzasadnienie w potrzebie przygotowania do rozwiązania postawionego problemu projektowego rozprawy doktorskiej. Dodatkowo zaburzenie podziału struktury pracy w zakresie przygotowania podwalin teoretycznych (Rozdział 2 i 3 oraz 5 i 6) i późniejszej ich implementacji w realizowanych projektach istotnie utrudnia śledzenie toku wywodu naukowego.

## **4) Hipoteza badawcza, cel i zakres pracy**

Cały rozdział 4 został poświęcony przedstawieniu przyjętej tezy oraz założonych celów rozprawy. Została w nim omówiona również struktura pracy.

Niestety ze względu na zastosowanie niespójnej terminologii trudno zorientować się, jakie konkretnie aplikacje zostały wskazywane w poszczególnych celach i jaki one mają związek z wdrożeniami wymienionymi we wstępie. Kolejno w rozdziałach 4.1 i 4.2 pojawiają się następujące implementacje:

- system pomiarowy dla budynku KAMSOFT S.A. GLON;
- projekt wykonawczy nowego budynku CRON – Centrum Rozwoju Nauki;
- koncepcja i projekt dla nowego budynku CRON / KAMSOFT S.A.,
- koncepcja i wdrożenie systemów dla CPD / KAMSOFT S.A.,
- instalacja PV dla budynku KAMSOFT S.A.

Działania te nie współgrają ze wstępnym opisem, powiązanie budynku KAMSOFT S.A. z nazwą KS-133 pojawia się dopiero w końcowej części rozdziału. Ostatecznie okazuje się, że wszystkie projekty były realizowane na potrzeby firmy KAMSOFT S.A, a centrum przetwarzania danych to serwerownia w KS-133, w części eksperymentalnej rozprawy określana jako pomieszczenie S0, zarówno w liczbie mnogiej „serwerownie” jak i pojedynczej „serwerownia”. Tak więc zabrakło w pracy czytelnego zdefiniowania nazw dla poszczególnych przedsięwzięć, przy czym nazwa pracodawcy ma w tym przypadku drugorzędne znaczenie.

### **5) Opis części eksperymentalnej**

Opis części eksperymentalnej rozprawy został zawarty w rozdziałach 5 i 6, i rozpoczyna się już od strony 36, co nieco zaburza stosunek rozważań w zakresie podwalin teoretycznych do prezentacji działań praktycznych. Należy jednak zauważyć, że przy przedstawieniu założeń i koncepcji projektu budowlanego nowego budynku CORN, Autor omówił opracowany system pomiarowy, który należałoby potraktować jako stanowisko badawcze. Wyniki wstępnych pomiarów zostały poddane szczegółowej analizie i wykorzystane na etapie przygotowania propozycji nowej instalacji w budynku z CPD.

Z kolei w rozdziale 6, Doktorant przedstawił ogólne rozważania w zakresie modeli predykcyjnych, struktury układu sterowania i regulacji temperatury i odniósł je do konkretnego przypadku serwerowni w istniejącym biurowcu. Wskazał również istotne parametry decydujące o sprawności działania systemu chłodzenia. W konsekwencji powstała propozycja usprawnień działania systemu sterownia oraz wdrożenia dodatkowego źródła zasilania w postaci instalacji fotowoltaicznej z magazynem energii.

### **6) Podsumowanie**

W podsumowaniu Autor wypunktował swoje osiągnięcia oraz zawarł stwierdzenie, że przyjęta teza została udowodniona, a cele założone w rozprawie doktorskiej zostały zrealizowane.

### **7) Literatura**

Spis literatury zawiera 160 pozycji odnoszących się do publikacji w periodykach naukowych, dokumentów normatywnych oraz stron internetowych. Wśród cytowanych prac znajdują się dwie, w których Doktorant jest współautorem i które są powiązane tematycznie z rozprawą. Zostały one opublikowane w czasopiśmie *Energies*, wydawanym przez MDPI, indeksowanym w bazach naukowych i uwzględnionym w wykazie czasopism naukowych Ministra Nauki. Ogólnie bibliografia jest spójna, a dane bibliograficzne zostały odpowiednio przygotowane, poza drobnymi błędami językowymi, brakami i niedociągnięciami edytorskimi.



## **8) Ocena układ rozprawy doktorskiej**

Układ rozprawy doktorskiej jest zasadniczo zgodny z wymaganiami formalnymi dla tego typu prac. W strukturze wyraźnie został zachowany formalny podział na wstęp, przegląd literatury, prezentację metodologii badawczej, opis eksperymentu, dyskusję wyników i wnioski. Pewne zastrzeżenia wzbudzają proporcje poszczególnych komponentów oraz wzajemne ich przenikanie się. Ponadto, brak jednoznacznych i klarownie wypunktowanych powiązań pomiędzy kolejnymi rozdziałami prowadzi do istotnych trudności w śledzeniu toku rozumowania Autora.

Niestety, w rozprawie nie zamieszczono wykazu ważniejszych oznaczeń, co znacząco ułatwiłoby czytelnikowi szybkie odnalezienie i zrozumienie używanych terminów technicznych i oznaczeń. Sporządzenie takiego spisu niewątpliwie pozwoliłoby Autorowi na usystematyzowanie terminologii stosowanej przy kreowaniu opisów oraz zachowanie spójności w jej stosowaniu, czego wyraźnie brakuje w pracy.

### **C. Ocena piśmiennictwa zastosowanego w ramach rozprawy doktorskiej**

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska została napisana w języku polskim. Autor popełnił w niej znaczną liczbę błędów językowych.

#### **1) Zauważone błędy oraz nieślusne sformułowania**

1. Autor okazjonalnie stosuje formę osobową, zmieniając tym samym styl wywodu prowadzonego przeważnie w formie bezosobowej, a także powielając schematy oraz zwroty szablonowe, które są charakterystyczne dla notek popularno-naukowych i nie zawsze są opracowane na odpowiednio wysokim poziomie naukowo-technicznym. Oczywiście, dla podkreślenia wkładu własnego w powstanie poszczególnych komponentów pracy, wskazane jest używanie formy osobowej, ale raczej w liczbie pojedynczej. Jednak wykorzystywanie liczby mnogiej, gdy Autor utożsamia się z grupą czytelników, jest w tym przypadku niewłaściwe, szczególnie w sytuacji, gdy brak jest konsekwencji w jej stosowaniu.
2. Nieuzasadnionym jest stosowanie wielkiej litery w odniesieniu do terminów ogólnych, które nie stanowią nazw własnych, tj. inteligentny budynek biurowy, centrum przetwarzania danych, instalacje niskoprądowe (str. 15), systemy automatyki budynkowej (str. 16). Należało wyraźnie rozgraniczyć nazwy własne przypisane budynkom rozważanym w rozprawie od określeń rzeczowych. Autor dodatkowo nie zachowuje konsekwencji w doborze pisowni terminów, stosując w sposób przypadkowy różne zapisy, np.: „Inteligentny budynek”, „Inteligentny Budynek” i „inteligentny budynek”, lub „systemy automatyki budynkowej”, „Systemy Automatyki Budynkowej” i „systemy automatyki Budynkowej”, lub „Internetu Rzeczy (IoT)”, „Internetu rzeczy (IoT)” i „internet rzeczy”.
3. W zapisie nagłówków rozdziałów stosowana jest zarówno forma, w której wszystkie wyrazy są rozpoczynane wielką literą lub w której wielka litera rezerwowana jest tylko dla początku zdania, np.: „2. Automatyka i Sterowanie Budynkiem” vs. „4. Hipoteza badawcza, cel i zakres pracy, struktura pracy”. Błąd ten pojawia się również w przypadku tworzenia list numerowanych, np. na stronie 16, 17, 18, 19.

4. Autor często używa nieprecyzyjnych sformułowań, typu: „zmniejszyć wpływ budynków na energię”; „... (HVAC) odpowiadają za większość (40%) zużycia energii...” – 40% nie stanowi większości; „aspekty budynku” itd.
5. Licznie występują błędy literowe, np.: **str. 4 / linia ostatnia:** jest „znacznie”, a powinno być „znaczenie”; **str. 9:** brak przymyka „na” w opisie „wpływu warunków zewnętrznych zużycie energii”, brak litery „a” w stwierdzeniu „oraz sterowani i automatyki”; **str. 29:** „możliwe jest tworzenia sieci” lub „Niedopuszczalne jest tylko struktura”; **str. 34:** niepoprawne stosowanie wielkiej litery „integracja Systemów”; **str. 35:** „Przedstawiono wynika analizy”; **str. 73:** „istniej możliwość”; **str. 97:** „danych dostarczanych pomiarowych dostarczanych”; **str. 100:** „zmian systemie sterowania”; **str. 106:** „Wszystkie tealgorytmy”; **str. 107:** „informacje a przebiegu”; **str. 136:** „po wprowadzonych mianach (po 9marca)”.
6. Często stosowane są niepoprawne końcówki wyrazów, np.: **str. 9:** „drugim wdrożenie opracowanym” **str. 33:** „analizy wpływu warunkami środowiskowymi”; **str. 34:** „omówiony pojęcie”, „hipotezę badawcza”, **str. 40:** „z profili aluminiowych wypełnione płaskim”; **str. 56:** „w zależności od ich usytuowanie względem”; **str. 85:** „do realizacji obejmujący budowę”; **str. 96:** „wykorzystanie narzędzi informatycznym”; **str. 97:** „klimatyzacja zwykle projektowany jest tak”; **str. 167:** „przedstawiono systemu sterowania”.
7. Tekst rozprawy zawiera dużą liczbę sformułowań niepoprawnych pod względem stylistycznym, np.: **str. 8:** „Na podstawie badań wykazanych przez liczne pozycje literaturowe, w tym te podkreślone wcześniej”; **str. 12:** „Prawdziwą zmianą było wprowadzenie protokołów ... ułatwiło integrację...”; **str. 14:** „Natomiast nowoczesne, wykorzystują stosowanie systemy magistralowe...”; **str. 14:** „Dwa najważniejsze kryteria to: ...”; **str. 14:** „Podstawowym pojęciem określającym nowoczesne instalacje to automatyka budynku”; **str. 16:** „Dzięki zaawansowanym systemom technicznym spełnia wymogi użytkownika”; **str. 18:** „... często przeważają początkowe wydatkami”; **str. 73:** „FCA 1 który jest ..., do którego będzie ..., które znajduje się ...”; **str. 98:** „... widoczne są obok zarejestrowanych wartości ... również linia czerwona reprezentująca...”; **str. 99:** Ze względu na wykorzystanie czujnika ... , nie pozwalał on rejestrować wartości ujemnych”.
8. Częstym błędem stylistycznym jest stosowanie zdań bez jawnego wskazania podmiotu, przy czym z kontekstu wypowiedzi nie można wywnioskować o jaki podmiot chodzi, np. **str. 20:** pierwszy akapit, drugie zdanie lub drugi akapit, drugie zdanie; **str. 99:** pierwsze zdanie „W przypadku charakterystyki ...”

## **2) Zauważone inne błędy**

1. Nieuzasadnione używanie zwrotów angielskich typu „Big Data” lub „Data Center”, gdy istnieją polskie odpowiedniki, a tym bardziej łączenie polskich i angielskich wyrazów do bezpodstawnego kreowania nowego nazewnictwa, np. „smart obiekty”.
2. Zauważalny jest brak zachowania zasad gramatycznych przy tworzeniu numerowanych list wyliczeniowych, np., początek str. 17: po dwukropku, Autor raz używa wielkiej litery do rozpoczęcia opisu w innym miejscu rozpoczyna od małej litery. Niepoprawnie stosowana jest również interpunkcja przy kreowaniu wszelkiego rodzaju list, w podpisach rysunków, a także widoczny jest brak konsekwencji w ich formatowaniu.
3. W języku polskim nie zaleca się pozostawiania jednoliterowych przymków i spójników (np. a, i, o, u, w, z) na końcu linii, ponieważ zaburza to estetykę i czytelność tekstu.



4. Pełna nazwa terminu powinna być podana przy pierwszym użyciu wraz z jej skrótem zapisanym w nawiasie. Po zdefiniowaniu terminu powinno się używać tylko jego skrótu, chyba że pełna nazwa jest konieczna dla podkreślenia kontekstu wypowiedzi. Na przykład skróty IoT lub AI zdefiniowano ponad dziesięciokrotnie.
5. Wielokrotne wykorzystywanie tych samych wyrazów oraz ich form leksykalnych w jednym zdaniu lub akapicie negatywnie wpływa na styl i poprawność językową tekstu, np. nadużywanie wszelkich form wyrazu „system” w rozdziale 3.2.
6. System formatowania tekstu jest niespójny. Niepoprawnym jest również rozdzielanie jednego rysunku na kolejne strony, jeżeli nie jest to konieczne (np. rys. 57) oraz zostawianie niewykorzystanego miejsca na stronie (np. str. 93).

### **3) Ocena piśmiennictwa**

W przygotowanej rozprawie doktorskiej Autor popełnił znaczną liczbę błędów językowych, obejmujących zarówno nieprawidłowości gramatyczne, stylistyczne, jak i interpunkcyjne. W niektórych fragmentach mogą one utrudniać precyzyjne zrozumienie treści lub wpływać negatywnie na odbiór pracy pod względem formalnym. Pomimo tych uchybień, struktura tekstu jest przejrzysta i logiczna, a sposób prowadzenia narracji pozwala czytelnikowi na płynne śledzenie toku rozważań. Opisy są spójne, a układ treści umożliwia zrozumienie przedstawionych zagadnień.

## **D. Wskazanie oraz ocena celu pracy Kandydata**

### **1) Teza pracy**

Doktorant sformułował następującą tezę badawczą: „można opracować i wdrożyć system sterowania, który reaguje odpowiednio na potrzeby użytkownika budynku biurowego wyposażonego w Centrum Przetwarzania Danych (Data Center)”.

### **2) Ocena tezy zawartej w pracy**

Uważam, że teza pracy została sformułowana nieprecyzyjnie i w obecnej postaci wyraża trywialne zależności techniczne, które są powszechnie znane i stosowane we współczesnym budownictwie. Możliwość opracowania i wdrożenia systemu sterowania, który reaguje dynamicznie na potrzeby użytkownika jest łatwa do przewidzenia i nie stanowi istotnego przełomu, ponieważ istnieją już rozwiązania automatyki budynkowej, inteligentnych systemów sterowania oraz zarządzania energią w budynkach. Całe spektrum produktów dostępnych na rynku komercyjnym oraz innowacji opisywanych w literaturze zostało szeroko omówione w rozdziałach 2 i 3. Sam fakt istnienia CPD w budynku nie uzasadnia konieczności przeprowadzenia prac naukowo-badawczych w proponowanym zakresie. Należy podkreślić, że teza doktoratu nie powinna być oczywista, ponieważ celem rozprawy jest wniesienie nowej wiedzy do reprezentowanej dziedziny. Niemniej jednak, doktorat wdrożeniowy może mieć w istocie bardziej aplikacyjny charakter. W związku z tym Kandydat powinien doprecyzować znaczenie wyrazu „odpowiednio” oraz wskazać w jakim zakresie obecność serwerowni w budynku ma wpływać na globalny bilans energetyczny biurowca i zaspokojenie potrzeb jego użytkowników, przy czym najlepiej jakby ten zakres nie wynikał z oczywistych uwarunkowań kreowania systemów automatyki.

### **3) Cel rozprawy**

W celu zweryfikowania postawionej tezy Doktorant wyznaczył główne zadanie do realizacji w doktoracie wdrożeniowym, które polegało na „opracowaniu i wdrożeniu systemu sterowania w budynku biurowym wyposażonym w Data Center, który umożliwia współdziałanie znajdujących się w nim instalacji.” Bezpośrednim rezultatem do osiągnięcia w ramach prowadzonych badań miało być „ograniczenie zużycia energii, poprawienie bezpieczeństwa oraz jakości ergonomicznej środowiska pracy”. W rozdziale 4 wskazał również dodatkowe cele pośrednie zmierzające do osiągnięcia sukcesu końcowego, obejmujące, poza zadaniami aplikacyjnymi, opracowanie systemu do pomiaru i rejestracji danych, analizę zgromadzonych danych, przygotowanie modelu wykorzystującego narzędzia sztucznej inteligencji do predykcji parametrów pracy instalacji budynkowych.

### **4) Ocena celu rozprawy**

Niewątpliwie, przedstawione cele cząstkowe pracy były ukierunkowane na wykazanie słuszności postawionej tezy. Część z nich niestety została zdefiniowana w sposób mało precyzyjny i nie znalazła klarownego potwierdzenia w głównym nurcie wyводу badawczego rozprawy. Biorąc jednak pod uwagę charakter wdrożeniowy doktoratu, można doszukiwać się realizacji tych założeń w dokumentacji opisanych przedsięwzięć projektowych. Warto docenić, że Kandydat podjął się kompleksowego podejścia do problematyki projektowania inteligentnego systemu sterowania, łącząc aspekty teoretyczne i naukowo-badawcze z praktycznym wdrożeniem uzyskanych efektów, co stanowi istotny atut rozprawy.

## **E. Wskazanie oraz ocena zastosowanych metod badawczych**

### **1) Analiza spójności przyjętej metodologii badań**

1. Autor wykonał bardzo obszerne badania wstępne i przeprowadził klasyczną analizę zgromadzonej bazy danych pomiarowych. Zostały one przeprowadzone dla istniejącego budynku biurowego i były rozciągnięte na okres ponad jednego roku. Niestety analiza zmierzająca do znalezienia związku pomiędzy temperaturą wewnętrzną a warunkami atmosferycznymi została zawężona do jednego zimowego miesiąca. Samo stwierdzenie, że okres ten jest reprezentatywny pod względem zróżnicowania warunków zewnętrznych jest niewystarczające do uzasadnienia takiej metodologii postępowania. Ponadto pominięto wpływ innych czynników, tj. centralna instalacja grzewcza całego budynku, ciśnienie atmosferyczne lub siła wiatru, chociaż Autor, w podsumowaniu rozważań, uznał ten ostatni parametr jako istotny dla algorytmu sterowania. Dodatkowo, opisany zakres wnioskowania jest mocno ograniczony. Autor jedynie ogólnie wskazuje na konieczność uwzględnienia warunków atmosferycznych i lokalizacji pomieszczeń przy projektowaniu nowych obiektów, jednak nie proponuje żadnych ilościowych parametrów lub współczynników, które umożliwiłyby praktyczne wdrożenie tych założeń. Zabrakło niewątpliwie usystematyzowanego podejścia do kluczowych czynników, takich jak bezwładność termiczna pomieszczeń i systemu klimatyzacji, wpływ nasłonecznienia lub innych zakłóceń środowiskowych. W rezultacie wyniki badań wstępnych nie zostały uogólnione w sposób umożliwiający ich zastosowanie w kolejnych implementacjach instalacji budynkowych. Co więcej, choć Autor wspomina o możliwości opracowania dokładnych modeli termicznych dla poszczególnych pomieszczeń, to nie rozwija tej kwestii w kontekście proponowanego projektu nowego budynku biurowego



CRON lub systemu sterowania serwerowni w biurowcu KS-133. Takie podejście znacząco ogranicza wartość aplikacyjną przedstawionych analiz wstępnych.

2. Autor podkreśla, że niewiele jest prac zawierających dane pomiarowe w zakresie prognozowania zużycia energii dla rzeczywistych obiektów budowlanych. Jednocześnie zauważa, że „zachowanie użytkowników wewnątrz budynków jest ważnym aspektem wykorzystania energii” lub „Wiadomo, że zużycie energii wewnątrz budynku zależy od wielu zmiennych, takich jak... zachowanie użytkowników...”. W takim ujęciu realizacja akwizycji wstępnych danych badawczych w pomieszczeniach wyłączonych z użytkowania wydaje się nieuzasadniona. Jakkolwiek na takich danych można prowadzić pewne analizy, niemniej jednak Autor powinien zawrzeć gruntowne wyjaśnienie przyjęcia takiego scenariusza badań wstępnych i metodę ich adaptacji do warunków rzeczywistego funkcjonowania budynku.
3. Zasadnicza część badań została ukierunkowana na projekt systemu chłodzenia i klimatyzacji w centrum przetwarzania danych. Opracowany układ pomiarowy pozwalał na gromadzenie informacji jedynie o temperaturze w wybranych punktach serwerowni i na zewnątrz biurowca KS-133 oraz mocy elektrycznej zużywanej przez jednostki obliczeniowe i dodatkowe instalacje pomieszczenia. Trudno więc w tym przypadku uznać, że przeprowadzony wywód badawczy dotyczył całego budynku wyposażonego w CPD. Ponadto, ponieważ został on właściwie ograniczony do analizy zużycia energii elektrycznej, to nie ma również większego wpływu na poprawne rozpoznanie i optymalizację bilansu energetycznego całego biurowca.
4. W wielu miejscach Autor podkreśla, że jego praca jest ukierunkowana na zmniejszenie zapotrzebowania energetycznego budynków, jak również jednym z celów rozprawy było „ograniczenie zużycia energii, poprawienie bezpieczeństwa oraz jakości ergonomicznej środowiska pracy”. Na podstawie tezy można wnioskować, że założenie to powinno zostać odniesione do całego budynku wyposażonego w CPD. Przy tak zdefiniowanym zakresie pracy pojawia się pytanie, dlaczego w rozważaniach bilansu energetycznego uwzględniono tylko energię elektryczną i ewentualnie tą wynikającą z nasłonecznienia, a całkowicie pominięto kwestię ogrzewania innych pomieszczeń biurowych lub wykorzystania ciepła odbieranego z serwerowni; czy centralny system ogrzewania budynku KS-133 był oparty na lokalnej klimatyzacji zasilanej energią elektryczną, czy może do budynku było doprowadzone ciepło systemowe z instalacji miejskiej.

## **2) Ocena zastosowanych metod badawczych**

Doktorant wykazał się umiejętnością prowadzenia wnikliwej analizy obiektu podlegającego sterowaniu, efektywnie wykorzystując narzędzia do przetwarzania danych. W odniesieniu do kolejno podjętych częściowych wyzwań projektowych właściwie dobierał metody badawcze sięgając zarówno po klasyczne algorytmy stosowane w automatyce, jak i nowoczesne modele predykcyjne oparte na sztucznej inteligencji i osadzone w obszernej bazie danych pomiarowych. Należy jednak zauważyć, że w rozprawie pojawia się wiele nieścisłości, które przede wszystkim wynikają z nieprecyzyjnie sformułowanej tezy oraz nie do końca poprawnie przemyślanych celów. W konsekwencji prowadzi to do wrażenia braku spójności wywodu naukowego i utrudnia jednoznaczne powiązanie poszczególnych komponentów pracy. Dodatkowym problemem jest niewłaściwa koncepcja struktury rozprawy, która nie wspiera logicznego rozwinięcia przedstawionych zagadnień. Ponadto

niespójna i niejednoznaczna nomenklatura techniczna utrudnia jednoznaczną interpretację wypracowanych rezultatów badań

Pomimo tych niedociągnięć, należy docenić znaczący nakład pracy badawczej, oparty na solidnym warsztacie naukowym, który Doktorant włożył w realizację przyjętych wyzwań projektowych. Świadczy to o jego zaangażowaniu w zgłębianie tematu oraz umiejętności zastosowania zaawansowanych metod analizy i modelowania do rozwiązywania podjętych wyzwań praktycznych. Wyniki uzyskane z przeprowadzonych eksperymentów oraz na podstawie opracowanych modeli stanowią istotny wkład w rozwój wiedzy w zakresie sterowania i predykcji parametrów systemów automatyki budynkowej.

## **F. Ocena części rozprawy doktorskiej dotyczącej omówienia wyników badań**

### **1) Omówienie prezentacji wyników badań**

Omówienie wyników badań jest zawarte w rozdziałach 5 i 6 rozprawy i jest bardzo obszerne. Zaczyna się od przedstawienia badań wstępnych (Rozdz. 5), obejmujących pomiary parametrów instalacji ogrzewania i chłodzenia oraz parametrów zewnętrznych, jak również analizę struktury budynku. Eksperyment został przeprowadzony w czterech pomieszczeniach budynku wyłączonego z użytkowania i trwał ponad rok. Z rozdziału 5.3 oraz 5.4 można wnioskować, że największym wyzwaniem w tym przypadku było zapewnienie bezpieczeństwa przepływu i przechowywania ogromnej ilości gromadzonych danych pomiarowych i ich uporządkowanie w bazie MS SQL Server. Pomimo znacznej obszerności zbudowanej bazy, Doktorant ogranicza się do formułowania jedynie jakościowych wniosków, opartych na analizie krótkiego przedziału czasowego i stwierdzenia, że zostały one zaaplikowane do opracowania nowego budynku biurowego. W rozdziale 5.6 dokładnie wylicza swój udział w poszczególnych etapach projektowych, a następnie opracowane przez siebie dokumenty opisuje bez potrzeby z dużą dokładnością (rozdział 5.7). Problem w tym, że większość rozważań dotychczas prowadzonych w rozprawie dotyczyła efektywności energetycznej budynków, podczas gdy przygotowane streszczenia projektów skupiają się na konstrukcyjnych i typowych techniczno-inżynierskich rozwiązaniach, zastosowanych w systemie sterowania i automatyki budynku oraz instalacji KNX i OZE. Dodatkowo Autor szczegółowo przedstawia strukturę innych instalacji tj. dźwiękowy system ostrzegania lub kontrola dostępu. Choć instalacje te niewątpliwie stanowią istotny element inteligencji budynkowej, która reaguje na potrzeby użytkownika, to ich rola w kontekście głównego nurtu wyводу badawczego pozostaje niejasna. Definitywnie w rozprawie zabrakło jednoznacznego wskazania, w jaki sposób wnioski z badań wstępnych zostały uwzględnione w opracowanych projektach.

W celu rozwiązania postawionego problemu projektowego CPD w budynku KS-133, opisywanego w rozdziale 6, został zbudowany system pomiarowy monitorujący temperaturę oraz zużycie energii elektrycznej, który następnie był na bieżąco modyfikowany w celu poszukiwania zoptymalizowanych ustawień dla obiektu sterowania. Na podstawie analizy pozyskanych danych zostały zaproponowane modele predykcyjne mające za zadanie przewidywanie temperatury w kanale odprowadzającym ciepło z serwerowni. Następnie, modele te zostały poddane porównaniu i ocenie ich skuteczności pod kątem możliwości zastosowania w podjętym wyzwaniu projektowym, a także posłużyły do oszacowania wpływu mierzonych parametrów na zapotrzebowanie mocy niezbędnej do zasilenia instalacji chłodniczo-klimatyzacyjnej. W rozdziale 6.4. omawiany jest jeszcze jeden model, zbudowany w oparciu na klasycznych rozwiązaniach sterowania procesem chłodzenia. Niestety,

w rozprawie nie zostało jednoznacznie określone, jaką formę finalnie przyjęła ta koncepcja – nie wiadomo, czy Autor ograniczył się jedynie do rozważań teoretycznych, implementacji wirtualnej, analizy danych pomiarowych czy też model ten odnosi się bezpośrednio do rzeczywistej instalacji w serwerowni, której parametry pracy poddano procesowi optymalizacji.

## **2) Ocena sposobu prezentacji części badawczej rozprawy**

Chociaż prezentacja wyników badań nie jest ciągiem logicznie powiązanych zdarzeń prowadzących do jasno zdefiniowanego celu, a poszczególne projekty nie tworzą spójnego przedsięwzięcia badawczego, to Autor konsekwentnie deklaruje, że uzyskiwane rezultaty były implementowane w kolejnych etapach pracy. Niemniej jednak brak jednoznacznego wskazania zależności pomiędzy poszczególnymi etapami analizy sprawia, że narracja rozprawy traci na spójności, co utrudnia pełny wgląd w przyjętą koncepcję badawczą i sposób jej realizacji. Pomimo tych niedociągnięć, skuteczność usprawnień wprowadzonych do rzeczywistego systemu sterowania została wyraźnie wykazana, co znajduje odzwierciedlenie chociażby na wykresach zaprezentowanych na rysunkach 59, 63 i 64. Szczególnie interesująca jest część pracy poświęcona optymalizacji parametrów układu chłodzenia, zawarta w rozdziale 6.4.4., gdzie Doktorant wykazał się dociekliwością i umiejętnością prowadzenia dogłębnej analizy danych pomiarowych, formułowania wniosków oraz identyfikowania przyczyn niepoprawnego działania systemu. Na uwagę zasługuje bogaty dobór narzędzi analitycznych, jak i konsekwencja w dążeniu do uzyskania optymalnych rozwiązań zarówno w zakresie prowadzonych pomiarów jak i sterowania obiektem. Takie podejście świadczy o wysokim poziomie kompetencji badawczych Kandydata oraz jego zdolności do prowadzenia samodzielnych i systematycznych analiz technicznych.

## **G. Informacje dotyczące praktycznego zastosowania uzyskanych wyników badań**

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska jest w całości oparta na efektach prac rozwojowych, które zostały zrealizowane w ramach wdrożeń projektowych prowadzonych na rzecz podmiotu zatrudniającego Kandydata. Oznacza to, że badania miały bezpośrednie przełożenie na rzeczywiste potrzeby sektora, w którym funkcjonuje jednostka gospodarcza, a ich rezultaty znalazły zastosowanie w realnych procesach operacyjnych. Niewątpliwie zaprezentowane realizacje projektowe mogą w przyszłości przynieść wymierne korzyści użytkownikom końcowym. Ponadto, zaproponowane metody, narzędzia i algorytmy stanowią przykład efektywnego transferu wiedzy akademickiej do zastosowań inżynierskich, przyczyniając się tym samym do rozwoju dyscypliny naukowej reprezentowanej przez Doktoranta.

## **H. Informacja o ewentualnych nieprawidłowościach, które pojawiły się w ocenianej rozprawie doktorskiej**

### **1) Zauważone błędy oraz nieślusne sformułowania**

1. Urwana ciągłość myśli na stronie 14: „Przyjrzyjmy się bliżej, jak ta ewolucja przebiegała na przestrzeni wieków.”
2. Niekonsekwentnie stosowana nomenklatura techniczna:
  - technika i technologia;

- instalacja niskonapięciowa i instalacja sygnałowa;
  - energia cieplna i energia elektryczna.
3. Układ tablicy (Tabela 1) na stronie 1 nie jest właściwie skomponowany. Po pierwsze, brak wypunktowania podstawowych cech znacząco utrudnia czytelnikowi porównanie wybranych systemów automatyki budynkowej. Ponadto Autor powinien jednoznacznie zdecydować się czy omawia portfolio producentów czy też kreowane przez nich standardy i oczywiście powinien odpowiednio dobrać wówczas tytuł tablicy. W tekście tablic występuje wiele błędów interpunkcyjnych, jak również niepoprawne sformułowania, np. „rosnąca w”, „wygodnie zarządzać”, „luksusowe projekty mieszkaniowe”. Również i w przypadku innych tablic można doszukać się pewnych niedociągnięć: np. legenda w tablicy „Tabela 5” jest sporządzona niedbale.
  4. Uważam, że szata graficzna prezentowanych wykresów statystycznych (w tym styl opisu osi, zmiennych przypisanych do poszczególnych osi, wielkość czcionki, występowanie lub brak tytułu itp.) powinna być przynajmniej zbliżona, nawet jeżeli powstały one na podstawie doniesień literaturowych.
  5. Zastosowano niepoprawny i niekonsekwentny styl notacji zmiennych i jednostek, który jest kluczowy dla zachowania jednoznaczności i przejrzystości wyводу naukowego:
    - zmienne oznaczające wielkości skalarne powinny być zapisywane kursywą;
    - czcionka prosta jest zarezerwowana dla stałych fizycznych i matematycznych;
    - wartość wielkości fizycznej powinna być oddzielona spacją od przypisanej do niej jednostki, z uwzględnieniem nielicznych wyjątków tj. °C, %.
  6. Na rysunku 56 przedstawione jest „zużycie energii elektrycznej w budynkach biurowych KAMSOFT S.A”. Jaki sens jest przytaczać takie dane, skoro przedmiotem analizy jest bilans energii wybranego pomieszczenia w budynku KS-133. Ponadto, odnośnie do opisu zawartego w tekście, bardziej rzuca się w oczy wzrost zapotrzebowania energetycznego przypadającego na miesiące grudzień i styczeń niż na miesiące letnie.
  7. Rysunek 58.a) jest zbędny. Dane zawarte na rysunku 58.a) powielają informacje z rysunku 58.b).
  8. Opis rysunku 62 jest kompletnie niezrozumiały. Autor przedstawia na jednym wykresie „zmiennosc temperatury regulacji” mierzonej przy wykorzystaniu 4 czujników, stosuje oznaczenia:  $T_{Meas1-4}$ ,  $T_{SET}$ ,  $T_{cur}$ . Ponadto ze względu na różną lokalizację czujników/czujnika w trzech okresach pomiarów nie można stwierdzić, że praca systemu uległa poprawie – na podstawie zmienności krzywej raczej można wyciągnąć wniosek przeciwny.
  9. **str. 147 i 148:** błędny numer rozdziału 6.2.5.

#### I. Ocena czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego

Istotnym mankamentem rozprawy jest prowadzenie rozważań modelowych z ukierunkowaniem na konkretny przypadek. W badaniach naukowych istotne jest, aby wypracowane rezultaty mogły przyczynić się do rozwoju reprezentowanej dyscypliny oraz wzbogacenia jej dorobku – zarówno pod względem praktycznym, jak i teoretycznym. Aspekt wdrożeniowy, potwierdzony licznymi oryginalnymi projektami, stanowi bardzo mocny atut podjętego wyzwania badawczego. Niemniej jednak, wszelkie nowe spostrzeżenia powinny

zostać uogólnione w celu sformułowania uniwersalnych zasad i reguł, które mogłyby być zastosowane w kolejnych przedsięwzięciach. Autor powinien wyraźnie wskazać, w jaki sposób przeprowadzone analizy rozwijają dotychczasowe teorie, jakie luki uzupełniają oraz jakie nowe kierunki wyznaczają. Pomimo tego ograniczenia, rozprawa wnosi istotny wkład w dziedzinę automatyki budynkowej i stanowi oryginalne podejście do rozwiązania postawionego problemu naukowego. Z niespójnych opisów wyłania się metodologia, która może posłużyć jako punkt wyjścia do dalszych badań i rozwoju, aczkolwiek z pewnością wymaga dalszego uogólnienia oraz wzbogacenia teoretycznego.

**J. Ocena czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata w dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej**

**1) Czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata w dyscyplinie**

Na podstawie rozdziału 2 i 3 można wnioskować, że Doktorant dobrze orientuje się w rozważanych zagadnieniach i zna najnowsze trendy w technice sterowania inteligentnym budynkiem. Niestety forma wprowadzenia teoretycznego spisanego jedynie na około 20 stronach (ze 187 stron) jest dość uboga. Ponadto można mieć pewne zastrzeżenia co do niepotrzebnego, wielokrotnego powtarzania tych samych treści oraz prawidłowego doboru poruszanych zagadnień teoretycznych adekwatnie do zawartości eksperymentalnej części rozprawy doktorskiej.

W części teoretycznej rozprawy niewątpliwie brakuje szczegółowego i uporządkowanego wywodu w zakresie klasycznych algorytmów regulacji oraz budowy modeli predykcyjnych wykorzystywanych do usprawnienia systemów sterowania. Autor nie stworzył solidnych podstaw prowadzących do klarownego wyjaśnienia dalszych rozważań projektowych oraz nie wskazał ich znaczenia dla osiągnięcia postawionych celów. Takie wprowadzenie zostało zawarte dopiero w rozdziałach 6.3. oraz 6.4., w których również została zamieszczona szczegółowa dokumentacja skutecznej implementacji w odniesieniu do konkretnego przypadku rozważanego w pracy. W konsekwencji zaprezentowany wywód naukowy stracił na spójności, a zastosowane podejście do kreowania inteligentnego systemu automatyki budynkowej zostało słabo osadzone w kontekście literatury przedmiotu i praktyki znanej z istniejących rozwiązań.

Pomimo istotnych luk w logicznej ciągłości wywodu teoretycznego, należy uznać, że Kandydat osiągnął poziom wiedzy teoretycznej wystarczający do skutecznego rozwiązywania problemów stawianych w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

**2) Umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej**

Kandydat, w zaprezentowanej rozprawie doktorskiej, dostarczył wystarczających dowodów potwierdzających szeroką znajomość zagadnień teoretycznych w dziedzinie techniki sterowania oraz zdolność do samodzielnego rozwiązywania problemów naukowych. Autor konsekwentnie wykorzystywał i integrował wiedzę teoretyczną z działaniami inżynierskimi, co podkreśla charakter wdrożeniowy rozprawy. Takie podejście nie tylko potwierdza kompetencje badawcze Kandydata, ale także wskazuje na jego zdolność do efektywnego rozwiązywania problemów technicznych oraz adaptacji wyników badań do rzeczywistych

warunków eksploatacji analizowanych systemów. Kluczowym aspektem pracy jest umiejętność selekcji i adaptacji teorii do specyfiki badanego zagadnienia, co znajduje odzwierciedlenie w zaproponowanych analizach, algorytmach oraz przyjętych strategiach sterowania. Doktorant poprawnie formułował cząstkowe hipotezy badawcze, dobierał metody analityczne oraz właściwie interpretował uzyskane wyniki w kontekście istniejącej literatury i aktualnych trendów w przedmiotowej dziedzinie.

#### K. Indywidualny wkład Kandydata w powstanie pracy naukowej

Zgodnie z deklaracjami zawartymi w rozprawie, Doktorant na pewno samodzielnie opracował koncepcję systemu sterowania, pomiarów, jak i metodologię obróbki danych w kontekście projektu nowego budynku biurowego wyposażonego w CPD. Na podstawie swoich badań i analiz wdrożył skuteczne usprawnienia w serwerowni w istniejącym budynku biurowym K-133. Zaprojektował także i zrealizował instalację fotowoltaiczną wraz z magazynem energii. Niestety, z opisu nie wynika jednoznacznie, jaka była rola Doktoranta w opracowaniu pozostałej dokumentacji projektowej poszczególnych przedsięwzięć, szczegółowo omawianych w kolejnych rozdziałach. Na pewno nadzorował on realizację zastosowanych rozwiązań oraz pełnił funkcję osoby zatwierdzającej projekty (str. 86, drugi akapit). Opracował również „instalację chłodniczo-klimatyzacyjną”, a z analizy opisów technicznych można wywnioskować, że zaproponował także kilka instalacji z panelami fotowoltaicznymi.

Przedstawiony wkład pracy Doktoranta obejmuje zarówno działania koncepcyjne, wdrożeniowe, jak i zadania nadzorcze, co jednoznacznie potwierdza jego istotny udział w procesie badawczo-projektowym opisywanych przedsięwzięć, a tym samym w powstanie zaprezentowanej pracy naukowej.

#### L. Konkluzja

Pomimo licznych uwag krytycznych przytoczonych w recenzji, merytoryczna wartość pracy znacznie je przewyższa. Doktorant samodzielnie rozwiązał oryginalny problem projektowy ważny dla rozwoju dyscypliny automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne. Wykazał się dogłębną wiedzą teoretyczną, istotnymi umiejętnościami praktycznymi, zdolnością do prowadzenia rozważań naukowych. Wystarczająco dokładnie określił cele badawcze, przeprowadził poprawne rozpoznanie podjętego przedsięwzięcia. Przedstawione zadanie badawcze rozwiązał w sposób kompleksowy – poczynając od analizy stanu wiedzy poprzez własne badania, weryfikację otrzymanych rezultatów i odpowiednie wnioskowanie co do wyników prowadzonych rozważań. Uzyskane rezultaty umiejętnie zaaplikował w przestrzeni społeczno-gospodarczej.

W oparciu na zapisach ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku – 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, uważam, że praca Pana mgr inż. Adama Kuli pt. „Opracowanie i wdrożenie systemu sterowania Inteligentnym Budynkiem biurowym wyposażonym w Centrum Przetwarzania Danych (Data Center)” **spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, dlatego też wnoszę o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.**



