

Dr hab. inż. Artur Kozłowski

Katowice, 11.marzec.2025r.

Recenzja rozprawy doktorskiej

Tytuł rozprawy: „Opracowanie i wdrożenie systemu sterowania inteligentnym budynkiem biurowym wyposażonym w Centrum Przetwarzania Danych (Data Center)”

Autor rozprawy: mgr inż. Adam Kula

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Albert Smalcerz, profesor Politechniki Śląskiej

Dyscyplina: Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne

1. Podstawa opracowania recenzji

Przedmiotowa recenzja dotyczy rozprawy doktorskiej mgr. inż. Adama Kuli pt. „Opracowanie i wdrożenie systemu sterowania inteligentnym budynkiem biurowym wyposażonym w Centrum Przetwarzania Danych (Data Center)”. Recenzja opracowana na zlecenie Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne na podstawie Uchwały nr 85/2024 z 19 listopada 2024r.

2. Temat i cel rozprawy

Tematyka rozprawy obejmuje zagadnienia inteligentnego sterowania budynkiem wyposażonym w Centrum Przetwarzania Danych. Przedmiotowe zagadnienie jest bardzo istotne z punktu widzenia zarówno naukowego – poznawczego i rozwojowego, jak również praktycznego. Opracowanie spójnego, jednolitego systemu stanowi oryginalne podejście w zakresie optymalizacji zużycia energii energetycznej w czasie rzeczywistym oraz adaptacyjnego sterowania systemami HVAC. Wypracowanie zaawansowanych algorytmów zarządzania energią elektryczną w kontekście opracowania inteligentnych algorytmów predykcyjnych oraz modeli optymalizacji kosztów energetycznych to kolejne zagadnienie świadczące o aktualności i ważności podejmowanych w rozprawie zagadnień. Należy pamiętać, że aktualne zarządzanie efektywnością energetyczną budynku musi być połączone z integracją systemów monitorowania emisji CO₂, śladu węglowego czy też certyfikacji środowiskowej. W związku z czym system sterowania musi uwzględniać również obszary dynamicznej optymalizacji zużycia energii elektrycznej z uwzględnieniem minimalizacji śladu węglowego działalności budynku i centrum przetwarzania danych. Opracowanie i wdrożenie zintegrowanego systemu sterowania wymaga również analiz związanych z wprowadzeniem standardów bezpieczeństwa w szerokim ujęciu, uwzględniając systemy detekcji anomalii, czy też certyfikacji systemu (jego elementów) w obszarze cyberbezpieczeństwa. Wybór tematyki i celu rozprawy uważam za właściwy, wymagający szerokiego spojrzenia co stanowi o interdyscyplinarności i jednocześnie ważności podejmowanych w rozprawie zagadnień. Szczególnie ważny jest z punktu widzenia potrzeb i oczekiwań przemysłowych.

3. Struktura i charakter rozprawy

Analizowana praca składa się z dziesięciu rozdziałów. We wstępie (rozdział pierwszy) autor przedstawia uzasadnienie dla podjęcia tematu związanego ze sterowaniem inteligentnymi budynkami. W kolejnym rozdziale (rozdział drugi) zawarto przedstawienie rozwiązania systemów sterowania automatyki i sterowania budynkami. To odniesienie do historii ze wskazaniem jednocześnie obowiązujących trendów rozwoju jest zbieżne z tematyką i uzasadnia podjęcie przedmiotowej pracy. Wszechobecny Internet Rzeczy czy sztuczna inteligencja w ocenie autora to elementy wspierające i na stałe obecne w zaawansowanych systemach sterowania budynkami. W rozdziale trzecim zawarto opis technologii i systemów sterowania budynkami. Porównano wybrane rozwiązania, przedstawiono korzyści z ich stosowania oraz zaprezentowano możliwości skalowalności wybranych rozwiązań. W kolejnym rozdziale (rozdział czwarty) przedstawiono hipotezę badawczą, cel, następnie zakres pracy oraz strukturę pracy. Rozdział następny (rozdział piąty) opisuje badania eksperymentalne wykonane przez autora rozprawy w istniejącym budynku firmy KAMSOF S.A. Badania te dotyczyły pomiarów instalacji ogrzewania i chłodzenia oraz analizy zużycia energii w wybranych pomieszczeniach biurowych. Dodatkowo, w tym rozdziale opisano wykonany projekt budowlany. Przedstawiono koncepcję oraz rozwiązanie techniczne systemu pomiarowego. W dalszej części tego rozdziału przeprowadzono analizę zarejestrowanych wyników pomiarowych. Stanowiło to podstawę dla założeń technicznych i technologicznych dla nowo projektowanego budynku. Ostatnią część stanowi projekt budowlany oraz projekty wykonawcze wykonane na podstawie badań, analiz i otrzymanych wniosków. Rozdział szósty zawiera elementy wdrożenia systemu sterowania. W skład przedstawionych działań wchodzi projekt, opis instalacji, następnie koncepcja i prace wdrożeniowe. Przedstawione działania dały podstawę do opracowania na podstawie otrzymanych danych pomiarowych modelu predykcyjnego. To bardzo ważna część pracy związana z działaniami optymalizacyjnymi, działaniami rozwojowymi. W dalszej kolejności opracowano i zbudowano model dla układu automatyki i sterowania procesem chłodzenia, opisano proces optymalizacji sterowania w oparciu o dostępne pomiary. Ostatnim elementem tego rozdziału jest wdrożenie rozwiązania instalacji fotowoltaicznej i magazynu energii. W rozdziale siódmym zawarto wnioski końcowe oraz podsumowano prace. Rozdział ósmy to spis literatury, natomiast w rozdziale

dziewiątym umieszczono spis rysunków. Pracę kończy rozdział dziesiąty zawierający spis tabel.

Analizując strukturę należy zauważyć brak kompleksowego zestawienia rozwiązań oraz porównania ich cech zasadniczych. Brakuje analizy stanu techniki oraz prezentacji uniwersalnych, innych zastosowań dla proponowanego rozwiązania. Nie ma w strukturze pracy wyodrębnionego bloku związanego z bezpieczeństwem. To w dzisiejszych uwarunkowaniach i wyzwaniach związanych z wdrożeniem, nowych wymagań bezpieczeństwa na pewno podniosłoby wartość merytoryczną pracy.

4. Teza rozprawy

Autor rozprawy sformułował tezę:

„Można opracować i wdrożyć system sterowania, który reaguje odpowiednio na potrzeby użytkownika budynku biurowego wyposażonego w Centrum Przetwarzania Danych (Data Center)\".

Przedstawiona teza jest poprawna pod względem językowym i logicznym. Założeniem jest potwierdzenie możliwości opracowania, a następnie wdrożenia systemu sterowania w inteligentnych budynkach. Postawiona teza została doprecyzowana zdefiniowaniem głównego celu rozprawy.

Teza postawiona została w sposób precyzyjny, a badania i eksperymenty pokazują dążenie do ich weryfikacji w warunkach rzeczywistych i w efekcie uzyskania pozytywnych wyników – możliwości zastosowania praktycznego. Rozprawa wykazuje i jednocześnie potwierdza prawdziwość sformułowanej tezy i pomimo kwestii dyskusyjnych oraz uwag pozytywnie oceniam przedstawiony w rozprawie sposób prowadzenia badań.

5. Analiza i stan wiedzy

Spis literatury zawiera łącznie 160 pozycji składających się z artykułów, materiałów konferencyjnych, norm technicznych, aktów prawnych, odwołania do stron www. Należy

zauważyć, że wśród wykazu literatury znajduje się pozycja w której doktorant jest głównym autorem. Autor przywołuje pozycje literaturowe w odpowiednim kontekście. Szczególnie istotne z punktu widzenia praktycznego zastosowania i wdrożenia jest przedstawienie przepisów prawnych. Pewien niedosyt budzi brak rozwinięcia w zakresie modeli uczenia maszynowego oraz brak odniesienia się do istotnych kwestii bezpieczeństwa, w tym cyberbezpieczeństwa.

Spis literatury uzupełnia wykaz spisu rysunków i spis tabel. Całość odzwierciedla obecny stan wiedzy w obszarze podejmowanej tematyki badawczej.

6. Oryginalne wyniki i ich znaczenie

Doktorant w ramach realizowanej pracy podejmuje ważny obszar zagadnień związany ze sterowaniem budynkiem inteligentnym, dodatkowo wyposażonym w centrum przetwarzania danych. Niezwykle istotne dzisiaj są wyzwania praktyczne związane obniżaniem kosztów operacyjnych. W odniesieniu do przedmiotowej pracy znajduje to zastosowanie w optymalizacji zużycia energii elektrycznej (poprzez inteligentne zarządzanie), możliwość dynamicznego reagowania na ceny energii (dynamiczne taryfy), czy też wydłużenie żywotności infrastruktury dzięki zastosowaniu modeli predykcyjnych, które umożliwiają przewidywanie potencjalnych awarii i umożliwiają lepsze (bardziej efektywne) zarządzanie infrastrukturą techniczną.

Wypracowanie w pracy adaptacyjnego modelu wynikowego rozwiązań (na podstawie przeprowadzonych prac badawczych) umożliwia zastosowanie przedmiotowego rozwiązania w innych warunkach technicznych i dostosowanie do innych zewnętrznych wymagań. Zostało to potwierdzone w aspekcie praktycznym. Bardzo ważnym efektem pracy jest opracowanie metody akwizycji danych, weryfikacji poprawności danych oraz stworzenie modelu bazy wiedzy i potwierdzenie zakładanych efektów modelem predykcyjnym w zdefiniowanym środowisku zewnętrznym. Umożliwi to dalszy rozwój bazy wiedzy i możliwość adaptacji (szybszej i skuteczniejszej) do nowych wymagań oraz tworzenie dodatkowych funkcji analitycznych. Ważnym efektem jest również możliwość tworzenia wytycznych do podejmowania decyzji biznesowych w celu optymalizacji kosztów i dalszego rozwoju firmy Kamsoft.

Do wyróżniających się osiągnięć można zaliczyć: przeprowadzenie szczegółowych badań eksperymentalnych w warunkach rzeczywistych wraz z analizą uzyskanych wyników, a także opracowanie modeli predykcji systemu pomiarowego.

Istotnym efektem jest również projekt wraz z analizą pracy instalacji HVAC.

7. Redakcja rozprawy i prezentacja wyników

Rozprawa zredagowana jest poprawnie. Układ pracy jest jasny oraz czytelny. Można zauważyć odpowiednią staranność przyłożoną do poprawności weryfikacji postawionej tezy oraz założonego celu badawczego. Uwagę można sformułować w zakresie prezentacji wyników, w kilku miejscach stwarza wrażenie nieczytelności prezentowanych danych.

8. Uwagi, dyskusja

W pracy nie poruszono kwestii związanej z bezpieczeństwem fizycznym oraz bezpieczeństwem teleinformatycznym. Brak jest analizy i oceny pod kątem nowych wymagań regulacyjnych (m.in. KSC). Zagadnienie cyberbezpieczeństwa nie zostało uwzględnione w pracy pomimo jego istotności.

Zrozumiałe jest, że prezentacja wyników została w pracy ograniczona ze względu na wewnętrzne regulacje w Firmie, natomiast warto zadać pytania: czy metoda badawcza może być zastosowana-wdrożona w innych przypadkach użycia, na ile opracowany model może być implementowany do innych zastosowań. Brak jest wyjaśnienia kwestii synchronizacji w systemie akwizycji danych. Nie uwzględniono w pracy opisów zastosowanych algorytmów.

W tym kontekście można zadać pytania: czy i w jakim zakresie można zaproponowaną w pracy metodę zastosować w budynku nie posiadającym Data Center?

Jak można zdaniem doktoranta skrócić okres zwrotu nakładów poniesionych na budowę inteligentnego budynku – stosując uzyskane efekty realizacji przedmiotowej pracy.

Rozprawa doktorska jest napisana starannie, poprawnie pod względem językowym i stylistycznym. Autor nie uniknął drobnych uchybień w tekście, które jednak nie mają istotnego wpływu na jakość pracy.

9. Podsumowanie

Podsumowując stwierdzam, że Autor rozprawy przedstawił przekonujące dowody potwierdzające postawioną hipotezę badawczą. Zastosował właściwe podejście naukowe do zagadnienia z uwzględnieniem zrozumienia problemu badawczego wraz z doбором prawidłowych metod badawczych. Bardzo ważny jest aspekt praktyczny, który moim zdaniem umożliwi kolejne wdrożenia proponowanego rozwiązania oraz stworzy warunki i możliwości do dalszego rozwoju. Aspekt wdrożenia jest równocześnie potwierdzeniem skutecznej realizacji prac badawczych i świadczy o użyteczności rozwiązania.

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr. inż. Adama Kuli pt. „Opracowanie i wdrożenie systemu sterowania inteligentnym budynkiem biurowym wyposażonym w Centrum Przetwarzania Danych (Data Center)” spełnia wymagania i warunki określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2022r. poz. 574 z późn. zm.) i wnoszę o przyjęcie ww rozprawy doktorskiej, dopuszczenie jej do publicznej obrony i dalszych etapów postępowania doktorskiego.

ARIUR WOZŁOWSKI