

Szczecin, 28.02.2025 r.

dr hab. inż. Piotr Nikończuk, prof. ZUT
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Wydział Techniki Morskiej i Transportu
Katedra Technologii Ciepłych i Inżynierii Bezpieczeństwa
Al. Piastów 17, 70-310 Szczecin,
tel: +48 91 449 47 46
e-mail: piotr.nikonczuk@zut.edu.pl

S E K R E T A R I A T
Rady Dyscypliny AEEITK

Wpłynęło dnia 14.03.2025
Zarejestrowano pod nr 510-8-7/24
Podpis *Om*

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Kazimierza Kawy
pt.: *Standaryzacja i optymalizacja zarządzania zespołem rozproszonych
heterogenicznych nieruchomości komercyjnych*

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzję opracowano na podstawie pisemnego zlecenia dr hab. inż. Ryszarda Sroki prof. AGH Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. Zlecenie zostało przekazane zgodnie z Uchwałą podjętą przez powyżej wspomnianą Radę Dyscypliny w dniu 7 listopada 2024 roku.

2. Aktualność, geneza i ocena podjętego tematu

Systematyczny wzrost zapotrzebowania oraz cen energii prowadzą do potrzeb obniżania energochłonności budynków. W tym celu realizowane są zabiegi poprawy stanu izolacji termicznej obiektu budowlanego, modernizacja instalacji HVAC oraz zastosowanie układów automatyki optymalizujących proces sterowania temperaturą pomieszczeń w zakresie minimalizacji zużycia energii bez pogorszenia komfortu cieplnego w pomieszczeniach.

Rozwój układów automatyki w tym automatyki budynkowej (BMS) coraz bardziej opiera się na rozwiązaniach metod sztucznej inteligencji. Zastosowania Internetu rzeczy (IoT) umożliwiają akwizycję i gromadzenie w chmurze zbiorów danych, które stanowią między innymi materiał do nauki sieci neuronowych w zakresie modelowania i predykcji zmienności zjawisk i procesów.

Systemy BMS realizują zadania nadzoru i sterowania infrastrukturą budynku, obejmującą opomiarowane elementy instalacji wewnętrznych i jego otoczenia. W procesie zarządzania zużyciem energii i utrzymaniem komfortu cieplnego, określana jest krzywa grzania na podstawie charakterystyki energetycznej budynku.

Utrudnione staje się zarządzanie i konserwacja zasobu rozproszonych budynków, zwłaszcza gdy ich stan architektoniczny, infrastruktura techniczna i przeznaczenie są zróżnicowane. W zakresie konserwacji wymagane jest dysponowanie odpowiednimi zasobami ludzkimi i technicznymi, zdolnymi do bezzwłocznej reakcji na wystąpienie awarii w którymkolwiek z zarządzanych budynków. Pomocna w tym zakresie staje się konserwacja predykcyjna umożliwiająca znaczne ograniczenie występowania stanów awaryjnych.

Autor rozprawy doktorskiej zidentyfikował potrzeby rozwoju systemów zarządzania grupą obiektów budowlanych w działalności przedsiębiorcy dysponującego rozproszoną, heterogeniczną infrastrukturą budynków.

Biorąc pod uwagę powyższe uważam, że podjęta tematyka pracy jest aktualna i wychodzi naprzeciw istniejącym współcześnie wyzwaniom. W rozprawie Autor podjął próbę sformułowania, a następnie rozwiązania złożonego i aktualnego problemu badawczego. Atrakcyjność techniczną i użyteczność tematu pracy uzasadnia realizacja badań w charakterze doktoratu wdrożeniowego.

3. Charakterystyka ogólna, źródła literaturowe, cel i zakres pracy

Recenzowaną pracę zredagowano i wydrukowano łącznie na 177 stronach z afiliacją Akademii Górniczo - Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. Rozprawa składa się z Wprowadzenia, czterech ponumerowanych rozdziałów merytorycznych obejmujących 144 strony oraz Podsumowania w postaci rozdziału piątego. W Podsumowaniu przedstawiono wykonane prace badawcze wraz z opisem sposobu wdrożenia uzyskanych rezultatów a także wskazano kierunki dalszych badań. Pracę zakończono Bibliografią, spisami rysunków i tabel oraz zamieszczeniem Załącznika nr 1 Lista Pakietów Pythom.

Układ pracy jest dobrany stosownie do jej specyfiki merytorycznej oraz zakresu i sposobu rozwiązania problemu badawczego, z poprawnym następstwem rozdziałów.

Wykaz przywołanych źródeł literaturowych zawiera 142 pozycje podane w nieponumerowanej kolejności alfabetycznej. Sumaryczna liczba źródeł

bibliograficznych obejmuje 71 publikacji oraz wydawnictw, z tego 86 pozycji zostało opublikowanych nie wcześniej niż 5 lat przed złożeniem rozprawy doktorskiej oraz 5 pozycji datowana jest na rok złożenia pracy. Oznacza to, że Doktorant równolegle z badaniami eksperymentalnymi śledził nowe pozycje literaturowe i aktualizował swoją wiedzę w tematyce prowadzonych badań. Wskazuje to również na fakt, iż dokonaną analizę istniejącego stanu wiedzy oparto na współczesnej i merytorycznie aktualnej literaturze.

Autor przedstawił opis problemu zarządzania rozproszoną, heterogeniczną infrastrukturą budynków. Wskazał, iż tematyka pracy związana jest z aktualnymi potrzebami spółki TAURON Dystrybucja S.A., która zarządza blisko dwustoma nieruchomościami komercyjnymi, zróżnicowanymi pod względem architektonicznym, infrastruktury technicznej oraz pełnionych funkcji. Przedsiębiorstwo zauważa problemy związane z brakiem następujących rozwiązań:

- brak wdrożenia narzędzi umożliwiających centralizację monitorowania systemów automatyki i zabezpieczeń oraz poprawę jakości danych zarządczych,
- brak standaryzacji wymagań dla systemów automatyki budynkowej i ochrony technicznej,
- brak systemowego podejścia do utrzymania budynków, z uwzględnieniem identyfikacji obszarów oszczędności i zarządzania zużyciem energii.

Na podstawie badań literaturowych Autor rozprawy dokonał oceny stanu wiedzy dotyczącej systemów wspomagających podejmowanie decyzji (SWD). Przedstawił ich klasyfikację oraz wskazał główne komponenty występujące w SWD. Przedstawił mechanizmy SWD oraz ich zastosowania. W związku ze złożonością problemu badawczego Doktorant przeprowadził analizę literaturową również w tematyce konserwacji predykcyjnej, koncentrując się na jej mechanizmach, cechach charakterystycznych, metodach oceny jakości predykcji a także zaletach i wadach jej stosowania. Zakres analizy literaturowej został rozszerzony o tematykę automatyki budynkowej (BMS) i problematyki zarządzania budynkami. Autor skoncentrował się na zagadnieniach komfortu cieplnego w aspekcie przeznaczenia budynku jego konstrukcji, stanu i infrastruktury wewnętrznej.

Wskazane potrzeby TAURON Dystrybucja S.A. oraz synteza wiedzy w zakresie systemów wspomagania decyzji, konserwacji predykcyjnej oraz automatyki budynkowej doprowadziła do sformułowania we Wprowadzeniu problemu badawczego oraz celu rozprawy.

Autor wskazał, iż celem pracy jest „analiza możliwości zastosowania metod predykcji danych do wspomagania zarządzania rozproszonych, heterogenicznych zespołów nieruchomości komercyjnych, wyposażonych w systemy o różnorodnych parametrach technicznych i eksploatacyjnych, zidentyfikowanie zakresu danych pozyskiwanych z budynków niezbędnych dla przeprowadzania predykcji oraz opracowanie odpowiednich procedur wdrożenia tych metod do sprawnego zarządzania obiektami oraz przewidywania zapotrzebowania na energię, kosztów utrzymania i ryzyka awarii.”

Powyższy cel pracy stanowił fundament do postawienia następującej tezy badawczej:

„Zastosowanie metod predykcyjnych w zarządzaniu heterogenicznymi zespołami nieruchomości komercyjnych zwiększa efektywność procesów zarządzania, przyczynia się do redukcji kosztów operacyjnych oraz pozwala na lepsze przewidywanie i zarządzanie ryzykiem awarii.”

Utylitarność wyników pracy wynika nie tylko z postawionej hipotezy i zakresu pracy, ale również z zawartej rozprawie Preambuły oraz wskazania realizacji pracy w formie doktoratu wdrożeniowego.

Zakres pracy został sformułowany w sposób pośredni poprzez przedstawienie we Wprowadzeniu konieczności realizacji prac badawczych wraz z opisem celu pracy. Autor wskazał, iż zakres pracy obejmuje badania dotyczące „możliwości i efektywności stosowania metod predykcji w podejmowaniu decyzji zarządczych w zakresie:

- przewidywania awarii systemów automatyki budynkowej, w szczególności systemów HVAC oraz systemów zabezpieczeń technicznych budynków,
- prognozowania zużycia energii elektrycznej, zarówno dla pojedynczych nieruchomości, jak i całych ich zespołów,
- prognozowania zużycia wody,
- przewidywania obciążenia prądowego opomiarowanych obwodów oraz innych parametrów związanych z poborem energii elektrycznej,
- prognozowania pogody dla nieruchomości zlokalizowanych na obszarach o specyficznych warunkach mikroklimatycznych.”

W przedstawionym zakresie nie ujęto zrealizowanych i wynikających z celu pracy zadań opracowania procedur wdrożenia powyższych metod do sprawnego

zarządzania obiektami oraz przewidywania zapotrzebowania na energię, kosztów utrzymania i ryzyka awarii.

4. Analiza i ocena merytoryczna rozprawy

Pierwsza część pracy zatytułowana „Wprowadzenie” zawiera opis wyzwania badawczego, które przedstawia istotę problemu zarządzania rozproszoną i heterogeniczną strukturą nieruchomości w aspekcie sterowania i monitoringu HVAC oraz konserwacji predykcyjnej. Autor wskazał wdrożeniowy charakter rozprawy gdzie w roli interesariusza występuje TAURON Dystrybucja S.A. Wprowadzenie zawiera również cel i tezę pracy oraz opis struktury pracy.

W rozdziale pierwszym Autor na podstawie źródeł literaturowych przedstawił i scharakteryzował systemy SWD. Opisał ich klasyfikację oraz wskazał ich główne komponenty. Przedstawił mechanizmy SWD oraz ich zastosowania. W dalszej części rozdziału zamieścił przykład SWD dla zarządzania zasobami serwisowymi w przedsiębiorstwie energetycznym oraz wyodrębnił w nim następujące elementy składowe: (1) pobranie danych historycznych, aktualnych zasobów oraz bieżących zgłoszeń serwisowych; (2) prognoza zapotrzebowania na usługi serwisowe; (3) optymalizacja alokacji zasobów wraz z minimalizacją kosztów operacyjnych; (4) monitoring i raportowanie działań serwisowych wraz z oceną jakości alokacji zasobów i identyfikacją potencjalnych obszarów do poprawy; (5) procesy pomocnicze. Elementy (1) – (5) zostały zaprezentowane w postaci pseudokodu wraz z jego opisem.

W rozdziale drugim Doktorant przedstawił problematykę i charakterystykę konserwacji predykcyjnej. W oparciu o źródła literaturowe zostały przedstawione stosowane modele i metody predykcji z uwzględnieniem wyboru danych źródłowych oraz metod oceny jakości predykcji. Obszerna część rozdziału koncentruje się na metodach *Gradient Boosting'u* stosujących techniki uczenia maszynowego.

W rozdziale trzecim Autor przeprowadził analizę problematyki sterowania oraz zarządzania budynkami. Przedstawił stopień skomplikowania zagadnienia wynikający z niejednorodności architektonicznej budynków, zmian ich przeznaczenia w czasie eksploatacji oraz infrastruktury technicznej. Autor słusznie wskazał zmienność standardów komfortu cieplnego na przestrzeni lat, co przy zmianach przeznaczenia pomieszczeń często wymagało modernizacji infrastruktury technicznej w zakresie instalacji HVAC oraz poprawy izolacji cieplnej budynków. Przedstawił również

konieczność automatyzacji systemów zarządzania budynkami oraz wsparcia ich przez SWD szczególnie w odniesieniu do heterogenicznych i rozproszonych zasobów lokalowych. W dalszej części rozdziału zwrócił uwagę na potrzeby i możliwości zastosowania technik predykcyjnych w systemach automatyki budynkowej (BMS). Predykcja została ujęta w aspekcie przewidywania i zapobiegania potencjalnych uszkodzeń oraz konserwacji instalacji HVAC, zasilania oraz instalacji przeciwpożarowych. W rozdziale Autor przeprowadził inwentaryzację wybranych budynków w dyspozycji TAURON Dystrybucja S.A. Wskazał istniejące systemy BMS, systemy zabezpieczenia technicznego oraz systemy sterowania komfortem cieplnym w budynkach niewyposażonych w BMS. Wyodrębnił źródła ciepła i chłodu w istniejących obiektach budowlanych. W podsumowaniu rozdziału wskazał na konieczność standaryzacji technicznych rozwiązań zarządzania budynkiem w odniesieniu zarówno do nowych inwestycji jak i modernizacji istniejących budynków. W przypadku modernizacji zauważył znaczenie kolejności etapów w aspekcie wymiernych korzyści wynikających z odpowiedniej chronologii prac remontowych.

Rozdział czwarty stanowi logiczną kontynuację przedmiotu badań w zakresie problematyki standaryzacji układów automatyki budynkowej. Doktorant przeprowadził badania możliwości standaryzacji wymagań układów BMS dla grupy nieruchomości znajdujących się w zasobach TAURON Dystrybucja S.A. Do badań zostały wytypowane nieruchomości w dwóch miejscowościach w obszarze Podbeskidzia, w obu lokalizacjach znajdują się pomieszczenia biurowe oraz warsztatowo-magazynowe. Przedstawił charakterystykę obiektów w zakresie ich funkcjonalności, powierzchni, parametrów architektonicznych oraz stanu izolacji cieplnej. Wskazał, iż wszystkie rozpatrywane budynki zasilane są z miejskich sieci ciepłowniczych. Badania skoncentrowane były na analizie i optymalizacji metod sterowania ogrzewaniem pomieszczeń i ciepłej wody użytkowej z uwzględnieniem minimalizacji kosztów energii. Do badań w zakresie sterowania, pomiarów i akwizycji danych wykorzystano odpowiednie systemy telemetryczne i teleinformatyczne. Czujniki pomiarowe zainstalowano w węzłach ciepłowniczych oraz instalacjach budynkowych. Badania opierały się przede wszystkim na weryfikacji metod regulacji za pośrednictwem zdalnej zmiany nastaw, kontroli parametrów oraz zmian charakterystyk grzewczych. Uzyskane dane pomiarowe wraz z danymi nastaw regulacyjnych zostały zestawione oraz przeanalizowane. Autor stabelaryzował

czynności regulacyjne wpływające na zmiany harmonogramów grzewczych oraz porównał zużycie energii. Stwierdził, że „spadek zużycia energii kształtował się w granicach 12 - 50% i był wynikiem eksperymentalnego dostosowania charakterystyk grzewczych przez administratora do odczuć użytkowników oraz różnych funkcji realizowanych przez poszczególne budynki, lub ich części.” W treści zabrakło jednak szczegółowego zestawienia badanych lokalizacji i uzyskanych w nich oszczędności a także szczegółowej analizy przyczyn rozpiętości zmniejszenia zużycia energii w przedziale od 12% do 50%.

W następnym kroku Autor przeprowadził prace związane z badaniem możliwości predykcji wybranych parametrów eksploatacyjnych budynku. Do prac modelowych wytypował pięć obiektów budowlanych rozlokowanych w południowej części Polski. Budynki zostały scharakteryzowane pod względem architektonicznym, infrastruktury technicznej systemów utrzymania komfortu cieplnego oraz źródeł energii. Wykazują one zróżnicowane parametry architektoniczne oraz niejednorodne układy automatyki budynkowej. Do badań aplikacyjności metod predykcyjnych Autor wytypował dane z liczników energii elektrycznej. Dane zostały zagregowane w okresach miesięcznych w celu wykonania prognozy na rok do przodu w ujęciu miesięcznym. Zostały podzielone odpowiednio na zbiory treningowe oraz testowe. Przeprowadzono eksperymenty predykcji zużycia energii dla roku 2021 na podstawie danych z lat 2018-2020. W badaniach zastosowano różne metody predykcji, oddzielnie dla każdego z przedstawionych wcześniej budynków. Zestawiono w tabelach uzyskane wyniki wraz z oszacowanymi błędami predykcji. We wnioskach Autor wskazał, iż „zużycie energii w badanych budynkach (biuro, magazyn) charakteryzuje się sezonowością w okresach miesięcznych”, zabrakło jednak analizy czynników wpływających na przedmiotową sezonowość.

W dalszej części przeprowadzono badania jakości predykcji dla pojedynczego budynku. Wytypowany budynek scharakteryzowano w podziale na strefy pomiarowe w których zaplanowano analizę zużycia energii oraz przedstawiono infrastrukturę pomiarową. Autor wskazał, iż obiekt znajduje się na etapie projektowania. Uznaję, iż stanowi to oczywistą omyłkę ponieważ dalsza część tekstu odwołuje się do wyników pomiarów w tym obiekcie. W analizie danych pomiarowych zawarto zmienność warunków meteorologicznych, wartości odczytów parametrów energii elektrycznej i zużycia wody. W kolejnych krokach Doktorant przedstawił modele

prognozowania zużycia energii elektrycznej i wody ze wskazaniem ich modułów składowych, parametryzacją oraz oceną jakości predykcji.

Następnie w podrozdziale 4.9 Autor zawarł analizę przebiegów temperatury pompy ciepła i jej otoczenia w celu monitorowania efektywności działania tego systemu oraz planowanie ewentualnych interwencji w przypadku awarii lub nieprawidłowego funkcjonowania. W przedstawionym rozdziale brakuje szczegółowego opisu danych, które zostały użyte do badań. Autor zaproponował model predykcji uszkodzeń na podstawie danych pochodzących z trzech źródeł: monitorowania parametrów zasilania, danych z układów automatyki instalacji utrzymania komfortu cieplnego oraz sygnałów z systemów zabezpieczenia technicznego. Dopelnienie proponowanej metody predykcji stanowiłaby analiza awaryjności pomp ciepła w zakresie statystyk uszkodzeń poszczególnych komponentów oraz parametrów wskazujących na wystąpienie ich uszkodzenia.

W kolejnej części Autor zawarł podrozdział 4.11. „Sprzężenie Zwrotne Wyników Predykcji ze Sterowaniem Urządzeniami”. W rozdziale wspomniał o zastosowaniu sprzężenia zwrotnego wyników predykcji w układzie sterowania urządzeniami, jednak w treści nie przedstawił w sposób przejrzysty istoty tego sformułowania.

Rozprawę zamyka Podsumowanie stanowiące piąty rozdział rozprawy doktorskiej. Autor w sposób syntetyczny uporządkował swoje osiągnięcia badawcze w odniesieniu do celu pracy z podkreśleniem wdrożenia rezultatów prac w postaci wielodomenowego systemu wspomagania decyzji zarządczych utrzymania budynków komercyjnych TAURON Dystrybucja S.A. Potwierdził i uzasadnił prawdziwość tezy postawionej we Wprowadzeniu rozprawy doktorskiej. W dalszej części podsumowania Autor wskazał kierunki dalszych badań podkreślając potrzebę rozwoju algorytmów predykcyjnych z uwzględnieniem większej liczby zmiennych oraz integracji ich z systemami automatyki budynkowej. Wskazał również potrzebę akwizycji danych nie tylko z systemów i urządzeń w obrębie budynków ale również z ich otoczenia. Rozdział Podsumowanie został zakończony wewnętrzną formą podsumowania.

W dalszej części pracy zamieszczono bibliografię, spisy rysunków i tabel oraz wskazano załącznik zawierający listę pakietów Python. Wspomniany załącznik obejmuje siedmiostronicowy, nieponumerowany wykaz pakietów uporządkowany w kolejności alfabetycznej. Zestawienie pakietów bez opisu ich cech funkcjonalnych

staje się trudne w analizie. W tekście rozprawy Autor nie odwołuje się do konkretnych pozycji wykazu. Czytelniejszą postacią byłoby uporządkowanie listy pakietów w zakresie funkcjonalności np. operacje akwizycji danych, operacje na danych, operacje graficzne, itp.

5. Krytyczna analiza rozprawy

Treść pracy została zredagowana w sposób akceptowalny, jednak znajdują się w niej niedoskonałości, które w pewnych przypadkach stanowią utrudnienie w jej studiowaniu.

Organizacja rozprawy na poziomie rozdziałów jest prawidłowa, jednak podział podrozdziałów nie jest w pełni adekwatny. W odniesieniu do zakresu pracy niektóre podrozdziały są zbędne np. "1.2 Historia rozwoju informatycznych systemów wspomagania decyzji". Objętość tekstu w niektórych podrozdziałach jest równa jednej stronie, co sugeruje konsolidację ich z innymi podrozdziałami.

Autor w kilku rozdziałach rozprawy przeprowadza analizę stanu wiedzy dla zagadnień w niej poruszanych. Poprawę przejrzystości pracy stanowiłoby wyodrębnienie rozdziału zawierającego analizę stanu wiedzy.

Sposób przywołania źródeł literaturowych w „Bibliografii” oraz odwołania do nich w tekście nie zostały zrealizowane optymalnie. Wykaz źródeł bibliograficznych zamieszczono w kolejności alfabetycznej lecz bez numeracji. Odwołania w tekście poprzez nazwiska autorów i rok publikacji utrudnia wyszukanie pozycji w spisie bibliograficznym w przeciwieństwie do powszechnie stosowanych praktyk numerowania źródeł.

Na stronie 8 rozprawy przedstawiono listę akronimów, jednak w treści pojawiają się akronimy, które nie zostały w niej zawarte na przykład: MIS (str. 14), ES (str. 14), MSE (str.36) lub SZT (str. 70). Dodatkowe utrudnienie odnalezienia akronimu na zamieszczonej liście stanowi brak kolejności alfabetycznej. Brakującym elementem obok listy akronimów jest wykaz symboli stosowanych w opisach i wzorach matematycznych. Dodatkowo Autor zrezygnował z dobrej praktyki numeracji wzorów.

Rozdział czwarty w przeciwieństwie do pozostałych rozdziałów nie rozpoczyna się od nowej strony. Rozdział 5 „Podsumowanie” autor niefortunnie zakończył „Podsumowaniem”.

Tabele i rysunki opisywane są czcionką znacznie mniejszą niż tekst pracy. Również drobny rozmiar czcionki zawartości tabel znacząco obniża ich czytelność

np. Tabela1 na str. 87-88. Problem niewielkiego rozmiaru czcionki i spowodowanej tym słabej czytelności tekstu pojawia się także w wielu rysunkach np. rys. 10 na str. 101 czy rys. 38 na str. 122. W odniesieniu do rysunków zauważalna jest dowolność w ich podpisywaniu. Opisy dla rys. 1 do 8 zawarte są nad nimi natomiast w pozostałej części pracy stosowana jest popularniejsza praktyka zamieszczania podpisów pod rysunkami. W odniesieniu do elementów graficznych w wielu przypadkach nieczytelne są prezentowane wykresy i przebiegi w zakresie opisu współrzędnych jak i zamieszczonych legend np. rysunki 11 do 49 na str. 107 do 137. W tabelach i rysunkach wielokrotnie nie zostały zamieszczone jednostki miar.

W treści zidentyfikowano błędy edycyjne, z których najważniejsze zamieszczono poniżej:

- Autor błędnie stosuje określenie „ilość” w stosunku do rzeczowników policzalnych, np.: „ilość zasobów serwisowych” (str. 20); „ilość cech” (str. 42); „ilość prognozowanych wartości” (str. 60); „ilość pojazdów” (str. 64); „ilość osób” (str. 68, 104, 105); „ilość linii zasilających” (str. 79); „ilość budynków” (str. 86); „ilość kondygnacji” (Tab. 1 str. 87); „ilość węzłów centralnych” (str. 90); „ilość odbiorców” (str. 96); „ilość obiektów” (str. 99); „ilość urządzeń automatyki” (str. 102).
- W Preambule na str. 3 pojawiła się nazwa przedsiębiorcy „TAUTON”, z dalszej treści pracy domniemam, iż powinno być „TAURON”.
- Na stronach 100 oraz 177, a także w Załączniku nr 1 znajduje się błędna nazwa „Phyton”, domniemam iż dotyczy to języka programowania Python.
- Podrozdział 4.11 „Sprzężenie Zwrotne Wyników Predykcji ze Sterowaniem Urządzeniami” zawiera słowa rozpoczynające się dużymi literami.

6. Uwagi ogólne

Na podstawie zidentyfikowanej potrzeby przedsiębiorcy, w pracy zostało sformułowane zadanie badawcze. W celu weryfikacji jego wykonalności Autor przeprowadził analizę stanu wiedzy obejmującą szeroki zakres tematyczny, w tym narzędzia wspomagania decyzji, konserwację predykcyjną oraz zarządzanie rozproszoną infrastrukturą budynków wraz z systemami automatyki budynkowej. Pominięto rozpoznanie stanu wiedzy w zakresie predykcji uszkodzeń pomp ciepła, w szczególności statystyk uszkodzeń elementów konstrukcyjnych, przyczyn uszkodzeń, metod identyfikacji z uwzględnieniem parametrów wskazujących na bieżącą i nadchodzące awarie.

W oparciu o zebraną i uporządkowaną wiedzę oraz dane pomiarowe z rzeczywistych budynków Doktorant przeprowadził badania eksperymentalne. Prace obejmowały sterowanie sieciami grzewczymi z zastosowaniem systemów telemetrycznych i użyciem proponowanych przez Doktoranta kryteriów sterowania. Przeprowadzono eksperymentalne próby predykcji zużycia energii, zużycia wody i parametrów temperaturowych pompy ciepła i jej otoczenia. Na potrzeby badawcze zostały opracowane oraz poddane walidacji modele i procedury predykcyjne. W wielu miejscach Autor wskazuje na stosowanie sztucznych sieci neuronowych. W treści pominięto opisy metod i kryteriów doboru struktury sieci tj. liczby warstw, liczby neuronów funkcji aktywacji, rozmiaru zbiorów danych stosowanych do nauki i testowania sieci oraz parametrów i przebiegów uczenia w poszczególnych sieciach.

W opisie badań nad predykcją parametrów pracy pompy ciepła Autor zaproponował model predykcji jej uszkodzeń na podstawie danych pochodzących z trzech źródeł: monitorowania parametrów zasilania, danych z układów automatyki instalacji utrzymania komfortu cieplnego oraz sygnałów z systemów zabezpieczenia technicznego. W treści nie wskazano w sposób jawny parametrów pracy pompy ciepła, które mogą wskazywać na możliwość wystąpienia awarii.

W ostatniej części rozdziału opisującego prace badawcze, Autor zamieścił propozycję kontrolera adaptacyjnego opartego na modelu predykcyjnym. Opis postaci nie jest w pełni precyzyjny, zawiera między innymi niejasne zdanie: „Wprowadzenie mechanizmu sprzężenia zwrotnego umożliwi dynamiczne dostosowanie parametrów sterowania urządzeniami w odpowiedzi na rzeczywiste wyniki predykcji.” Zastanawiające jest sformułowanie „rzeczywiste wyniki predykcji”.

Powyższe uwagi nie stanowią przeszkody w stwierdzeniu, iż przedłożone opracowanie w stopniu wystarczającym prezentuje zawarte w nim treści merytoryczne. Zakres pracy obejmuje zastosowania narzędzi predykcyjnych i wspomaganie decyzji w systemach zarządzania i sterowania budynkami. Wskazuje to na fakt, iż tematyka pracy jest zgodna z dyscypliną Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne. W rozprawie zauważono następujące elementy decydujące o jej dysertabilności:

1. Aktualność problemu badawczego oraz pionierski charakter nierozpoznanego i nie w pełni zbadanego dotychczas tematu związanego z problematyką systemów zarządzania i sterowania infrastrukturą rozproszonych i niehomogenicznych budynków, w oparciu o systemy wspomaganie decyzji.

2. Rezultaty opisanych prac zostały wdrożone w działalności gospodarczej spółki TAURON Dystrybucja S.A.
3. Osiągnięcie naukowe w rozpatrywanym zakresie wiedzy wykazuje potencjał dla kontynuacji badań poznawczych stanowiących rozszerzenie prezentowanej problematyki.

Recenzowana rozprawa doktorska zawiera nie tylko wartość poznawczą, ale przede wszystkim użyteczną. Dlatego dostrzegam w niej elementy, które inspirują do zadania jej Autorowi następujących pytań:

1. Na rysunkach 7 i 8 (str. 95) zostały przedstawione porównania dla dwóch dużych lokalizacji, w których dokonano znaczących redukcji mocy zamówionej. Autor stwierdził, „że zamówiona w latach poprzednich moc jest nadal wystarczająca dla sprawnego funkcjonowania obiektów, co potwierdza jej właściwy dobór oraz sprawność opisywanych powyżej prostych systemów i metod regulacji temperatury”. Czy zostały porównane warunki pogodowe w przedmiotowych okresach i oszacowano zapotrzebowanie energetyczne do utrzymania komfortu cieplnego?
2. Na stronie 96 wskazano, iż „spadek zużycia energii kształtował się w granicach 12 - 50% i był wynikiem eksperymentalnego dostosowania charakterystyk grzewczych przez administratora do odczuć użytkowników oraz różnych funkcji realizowanych przez poszczególne budynki, lub ich części.” Czy przeprowadzono szczegółową analizę przyczyn tak dużej rozpiętości uzyskanych wyników?
3. Na stronie 153 znajduje się zdanie „*Wprowadzenie mechanizmu sprzężenia zwrotnego umożliwia dynamiczne dostosowanie parametrów sterowania urządzeniami w odpowiedzi na rzeczywiste wyniki predykcji.*” Co oznacza sformułowanie „rzeczywiste wyniki predykcji”?
4. Jakich awarii pomp ciepła można się spodziewać i na podstawie jakich danych można je przewidzieć?

7. Podsumowanie i konkluzja

Przedstawione w rozprawie prace eksperymentalne, prowadzące do rozwiązania problemu badawczego w rozprawie oparto o najnowszą wiedzę opublikowaną w selektywnie dobranych naukowych publikacjach krajowych

i zagranicznych, periodykach i materiałach konferencyjnych. Na tym tle w podsumowaniu recenzji pracy doktorskiej przedstawiam następującą opinię:

1. Rozpatrywane w rozprawie zadania rozwiązano i opracowano z uwzględnieniem aspektów aplikacyjnych wynikających ze szczególnej aktualności badanego zagadnienia oraz zidentyfikowanych potrzeb przedsiębiorcy.
2. Recenzowana praca dokumentuje wiedzę i umiejętności praktyczne jej Autora. Zaproponowane zastosowania metod wspomagania decyzji w systemach zarządzania i sterowania rozproszoną i niehomogeniczną infrastrukturą budynków jest rozwiązaniem oryginalnym i autorskim dorobkiem naukowym Doktoranta.
3. Tematyka oraz zakres merytoryczny rozprawy jest adekwatny dla dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne .
4. Przedstawione w recenzji uwagi krytyczne nie mają wpływu na końcową, pozytywną ocenę całokształtu rozprawy doktorskiej.

Znacząca przewaga wartości merytorycznych o charakterze użytkowym nad niedociągnięciami edytorskimi sprawia, iż recenzowaną pracę oceniam pozytywnie.

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzam, że rozprawa Pana mgr inż. Kazimierza Kawy pt.: *Standaryzacja i optymalizacja zarządzania zespołem rozproszonych heterogenicznych nieruchomości komercyjnych* spełnia wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2024r. poz. 1571) i wnioskuję o jej przyjęcie oraz dopuszczenie do publicznej obrony rozprawy.


dr hab. inż. Piotr Nikończuk, prof. ZUT

