

Wpłynęło dnia ..... 24. 01. 2024  
Zarejestrowano pod nr ..... 510-8-6/24  
Podpis .....  
Opole, 20-01-2025

dr hab. inż. Marek Rydel, prof. ucz.  
Katedra Informatyki  
Politechnika Opolska  
e-mail: m.rydel@po.edu.pl

## RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy:

**Standaryzacja i optymalizacja zarządzania zespołem  
rozproszonych heterogenicznych nieruchomości komercyjnych**

**Autor rozprawy: mgr inż. Kazimierz Kawa**

**Promotor rozprawy: dr hab. inż. Edyta Kucharska, prof. AGH**

**Promotor pomocniczy: dr inż. Waldemar Bauer**

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica, dra hab. inż. Ryszarda Sroki, prof. AGH, z dnia 25 listopada 2024 roku.

### 1. Zawartość pracy i ocena formalna

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska zawiera łącznie 177 stron podzielonych na wprowadzenie oraz pięć numerowanych rozdziałów. Praca zawiera streszczenie pracy w języku polskim i angielskim, wykazów stosowanych skrótów, spis literatury liczącej 139 pozycji oraz wykaz rysunków i tabel. Dysertacja została napisana w języku polskim.

We wprowadzeniu przedstawiono opis problemu badawczego. Postawiono w nim tezę pracy oraz scharakteryzowano cele pracy oraz umotywowano podjęcie problemu badawczego. Ponadto rozdział przedstawia strukturę dysertacji.

W rozdziale pierwszym przedstawiono wprowadzenie do systemów wspomagania decyzji, krótki rys historyczny oraz omówiono klasyfikację i metody wykorzystywane w tych systemach. Rozdział również przedstawia praktyczne zastosowania systemów decyzyjnych w różnych dziedzinach nauki i techniki ze szczególnym uwzględnieniem przedsiębiorstwa energetycznego.

Rozdział drugi przedstawia koncepcję, wytyczne oraz metody konserwacji predykcijnej. Omówiono w nim modele i metody predykcji bazujące na sieciach neuronowych, drzewach decyzyjnych oraz na szeregach czasowych. Rozdział przedstawia zalety i ograniczenia poszczególnych metod i algorytmów oraz przykłady ich zastosowań w różnych dziedzinach. Brakuje w nim jednak podstaw matematycznych przedstawianych metod (za wyjątkiem metod szeregów czasowych).

Rozdział trzeci wprowadza w specyfikę zarządzania, administrowania oraz serwisowania zespołami budynków. Przedstawiono w nim krótki rys historyczny rozwoju infrastruktury w branży energetycznej i jej wpływ na wymagania aktualnie stawiane systemom zarządzania budynków. Rozdział omawia problem utrzymania komfortu cieplnego oraz zabezpieczeń technicznych w budynkach o

h



różnym przeznaczeniu. Zawiera również przegląd różnych systemów ogrzewania, klimatyzacji oraz zarządzania ciepłem zewnętrznym i omawia ich wpływ na koszty eksploatacji budynków.

Rozdział czwarty przedstawia główny wkład Autora prezentując wyniki w zakresie możliwości obniżenia kosztów utrzymania zespołów heterogenicznych budynków poprzez zastosowanie algorytmów sterowania lokalnymi systemami w postaci węzłów cieplnych oraz predykcji zużycia mediów. Przedstawiono w nim sposób gromadzenia danych pomiarowych z zaproponowanych systemów pomiarowych oraz systemu zabezpieczeń technicznych budynku. W rozdziale tym zaproponowano metodą zdalnego nadzoru, regulacji oraz gromadzenia danych pomiarowych w systemach utrzymania komfortu cieplnego w heterogenicznych, rozproszonych budynkach. Ponadto przedstawiono badania symulacyjne z wykorzystaniem sieci neuronowych oraz metod szeregów czasowych dla predykcji zużycia energii elektrycznej pięciu budynków. Następnie zidentyfikowano modele zużycia mediów dla pojedynczej nieruchomości o niehomogenicznej infrastrukturze technicznej. Ostatnią częścią jest przedstawienie modelu predykcji uszkodzeń systemów zabezpieczenia technicznego budynków.

Rozdział piąty zawiera podsumowanie pracy oraz przedstawia szereg otwartych problemów, które mogą być podstawą do prowadzenia dalszych badań i rozwoju zaproponowanych rozwiązań.

Układ pracy jest poprawny. Treści dysertacji została logicznie podzielona na poszczególne rozdziały pracy. Praca zachowuje jednolity wygląd, rozdziały, podrozdziały, opisy rysunków i tabel są utrzymane w jednej konwencji stylistycznej. Język użyty w pracy jest jasny. Rozprawa jest również dobrze przygotowana redakcyjnie, nieliczne błędy typograficzne zostały wypunktowane w dalszej części recenzji.

## 2. Ocena merytoryczna pracy

Właściwe zarządzanie nieruchomościami jest kluczowe dla stabilności ekonomicznej przedsiębiorstw. Konieczne jest zatem monitorowanie stanu technicznego, odpowiedniego planowania przeglądów i napraw prewencyjnych oraz szybka detekcja usterek w celu zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa. W miarę wzrostu liczby nieruchomości oraz ich zróżnicowania, problem efektywnego zarządzania kosztami operacyjnymi staje się coraz bardziej skomplikowany. Konieczne jest zatem opracowanie odpowiednich systemów wspomagania decyzji, które na podstawie aktualnych pomiarów oraz modeli matematycznych zbudowanych na podstawie danych archiwalnych umożliwią efektywne zarządzanie infrastrukturą oraz optymalizację prac serwisowych. Wpływa to również na redukcję zużycia energii, powodując ograniczenie negatywnego wpływu na środowisko, zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub> oraz bardziej zrównoważonego zarządzania energią. Wymaga to opracowania nowoczesnych systemów monitorowania i diagnostyki oraz zastosowania zaawansowanych metod analizy danych.

Zagadnienia te są z natury multidyscyplinarne i są szeroko eksplorowane w ramach kilku dyscyplin naukowych, tj. *Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne, Informatyka Techniczna i Telekomunikacja*. Tematyka pracy jest zatem aktualna i o dużym potencjale aplikacyjnym.

Autor wykazał się wiedzą oraz umiejętnościami zakresu projektowania układów pomiarowych, modelowania oraz przeprowadzenia badań symulacyjnych i aplikacyjnych. Doktorant potwierdził zalety proponowanego podejścia w predykcji zużycia mediów dla heterogenicznych, rozproszo-



nych nieruchomości o zróżnicowanych parametrach technicznych i użytkowych, tym samym zrealizował postawiony cel pracy. Zastosowanie metod modelowania matematycznego, predykcji wielkości nieliniowych i okresowo zmiennych oraz zadań optymalizacji umiejscawia dysertację w dyscyplinie *Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne* w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych.

Do podstawowych osiągnięć pracy można zaliczyć:

- Zaprojektowanie i stworzenie jednolitego systemu kontrolno-pomiarowego do gromadzenia danych zużycia energii i mediów, danych pogodowych oraz alarmów z systemu zabezpieczenia technicznego obiektu.
- Opracowanie harmonogramów grzewczych umożliwiających optymalizację zamówień mocy cieplnej koniecznej do utrzymania komfortu cieplnego w zespołach heterogenicznych i rozproszonych budynków.
- Przeprowadzenie badań prognozowania zużycia energii elektrycznej oraz mediów z zastosowaniem modeli opartych na sieciach neuronowych, drzewach decyzyjnych oraz szeregach czasowych.
- Opracowanie narzędzi programistycznych umożliwiających analizę danych pomiarowych, implementację algorytmów predykcji oraz prezentację wyników.

### 3. Dorobek publikacyjny Doktoranta, umiejętność przedstawiania wyników

Tematyka przedstawionej dysertacji jest aktualna i o dużym potencjale aplikacyjnym. Należy dodatkowo podkreślić pozycję pierwszego autora w dwóch publikacjach w czasopiśmie *Przegląd Elektrotechniczny* w latach 2022 oraz 2024 jak również w czasopiśmie *Energies* w roku 2024, które są wymienione na liście czasopism naukowych MEiN w dyscyplinie *Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne*. Ponadto Doktorant jest współautorem jednej publikacji konferencyjnej w ramach 28th International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems, KES 2024. Zaprezentowane w pracy wyniki mogą być z powodzeniem wykorzystane w kolejnych publikacjach.

W ogólności praca ma charakter praktyczny. Główny wkład Autora stanowi rozdział czwarty. Autor przedstawia uzyskane przez siebie wyniki dość zwięźle bez podawania wartości parametrów modeli. Nie poszerza swoich badań o wyznaczenie wrażliwości uzyskanych modeli na zmianę parametrów, jak również nie stosuje metod statystycznych tj. sprawdzian krzyżowy w celu potwierdzenia wiarygodności uzyskanych wyników. Pomimo pewnych uwag recenzenta do niektórych prezentowanych wyników (wyszczególnionych w części czwartej recenzji) należy stwierdzić wkład Doktoranta w rozwój dyscypliny *Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne*.

### 4. Uwagi krytyczne i polemiczne

W trakcie czytania pracy recenzentowi nasunęły się następujące uwagi polemiczne, drobne uchybienia oraz niejasności. Uwagi zostały podzielone na trzy grupy, a) uwagi dyskusyjne i pytania b) uwagi redakcyjne oraz c) drobne uchybienia typograficzne.



Uwagi dyskusyjne i pytania:

- 1) W tabeli 3 przedstawiono czynności regulacyjne wpływające na zmiany w harmonogramów grzewczych. Czy są to harmonogramy pierwotnie zaproponowane dla badań z roku 2017? W jaki sposób zmodyfikowano pierwotnie przyjęty harmonogram, aby uzyskać wyniki w sezonach grzewczych 2019/20 i 2020/21? Jak uzyskane wyniki zużycia ciepła w sezonach 2019/20 i 2020/21 wyglądają na tle z wcześniejszych lat o podobnych średnich temperaturach w których nie stosowano zaproponowanych harmonogramów grzewczych.
- 2) W podrozdziale "Analiza danych zużycia energii" (str. 108) autor powołując się na wymagania biznesowe zagregował dane otrzymywane częstotliwością 15 min na dane zużycia miesięcznego. Danymi tymi dostrajał parametry modeli. Czy Autor sprawdzał w jaki sposób takie bardzo znaczne ograniczenie ilości danych wejściowych wpłynie na możliwość dostrojenia zwłaszcza sieci neuronowych DNN, RNN i LSTM? Czy odwrotne podejście, tj. agregacja otrzymanych wyników predykcji z częstotliwością 15 min na prognozę zapotrzebowania miesięcznego nie dałaby lepszych rezultatów? Ewentualnie czy Autor rozważał inne przeskalowanie częstości danych wejściowych, np.: godzinne, dzienne?
- 3) Autor otrzymał dość słabe wyniki predykcji zużycia energii w horyzoncie całego roku, szczególnie dla modeli opartych na sieciach neuronowych. Czy autor rozważał sprawdzenie czy modele te nie będą się lepiej sprawdzać dla krótszych horyzontów predykcji. Być może warto byłoby przeprowadzenie walidacji krzyżowej opartej na czasie (cross-validation for time-series models) w celu sprawdzenia jakości predykcji dla różnej długości danych treningowych oraz testowych.
- 4) Autor zastosował dostrajania parametrów modeli metodą Grid Search nie motywując takiego wyboru. Czy Autor próbował innych metod dostrajania modeli tj.: randomowe, gradientowe, bayesowskie czy przeprowadzone za pomocą algorytmów genetycznych? Jakie ograniczenia widzi Autor w ich zastosowaniu, że z nich nie korzystał?
- 5) W rozdziale 4.6 Autor przedstawia predykcję zużycia energii elektrycznej na podstawie odczytów z liczników energii. Każdy z budynków posiada jednak również instalację fotowoltaiczną. W jaki sposób ta energia jest uwzględniana w predykcji zużycia energii? Czy dokonywana jest predykcja energia pobranej od dostawcy, czy całkowite zużycie energii wraz z wyprodukowaną energią odnawialną? Czy i w jaki sposób algorytm będzie uwzględniał prognozy produkcji energii elektrycznej ze źródeł energii odnawialnej?
- 6) str. 127 Autor stwierdził przygotowanie bazy danych obejmujących okres 6 kolejnych miesięcy i ich podziału na dane treningowe i testowe w proporcji 80% -20%. Przedstawione w rozdziale wyniki obejmują jednak różne okresy czasowe. Dla prognozy zużycia energii elektrycznej nie przedstawiono żadnych wykresów predykcji określając wyłącznie zakres zbioru danych od lutego do września. Dla regresji liniowej kumulatywnego zużycia wody przedstawiono wykresy dla 3 miesięcy (12 marca - 18 czerwca), a dla predykcji temperatury wykresy 5 tygodni (21 maj - 25 czerwiec). Praca zyskałaby na czytelności, gdyby zamieszczono wykresy danych treningowych, testowych oraz predykcji na jednym wykresie z wyraźnym zaznaczeniem typu danych.



- 7) W prognozie zużycia energii elektrycznej oraz kumulatywnego zużycia wody zaproponowano model ARIMA oraz regresji liniowej nie podając żadnego umotywowania takiego wyboru. Jakie wyniki można byłoby uzyskać wprowadzając model ARIMA predykcji chwilowego zużycia wody lub regresję wielomianową kumulacyjnego zużycia energii? Czy taki wybór dałby porównywalne, lepsze czy gorsze wyniki predykcji?
- 8) W prognozie kumulatywnego zużycia wody regresja liniowa dla pierwszego miesiąca (marzec) niezbyt dobrze radzi sobie z aproksymacją zużycia wody. Czy takie okresy braku poboru wody są przewidywane w przyszłości, czy był to jednorazowy przypadek wyłączenia budynku z użytkowania? W tym drugim przypadku lepsze wyniki aproksymacji można byłoby uzyskać przesuwając zakres danych uczących na okres normalnej pracy budynku. Jakie wyniki otrzymuje się wykorzystując aproksymację wielomianami wyższego stopnia, że zdecydowano się na aproksymację liniową?
- 9) Rozdział 4.10. Model predykcji uszkodzeń proponuje zastosowanie modelu XGBoost w celu przewidywania awarii. Nie podano jednak przyczyn wyboru takiego rozwiązania. Przetawiono wyłącznie wartości błędów tego modelu określającego liczbę uszkodzeń w zadanym okresie. Model nie rozróżnia jednak typów alarmów. W przypadku predykcji awarii bardziej przydatne byłoby podanie tablicy pomyłek i określenie takich miar jakości jak czułość, swoistość, dokładność czy miara F1.

Przetawione uwagi mają charakter konstruktywnej krytyki będącej przyczynkiem do dyskusji i nie podważają istoty pracy, którą oceniam jako napisaną na wystarczającym poziomie merytorycznym.

Uwagi redakcyjne:

- 1) str. 55 Autor przedstawia procedurę uczenia sieci DNN za pomocą propagacji wstecznej, z wykorzystaniem algorytmu stochastycznego spadku gradientu. Nie przedstawia żadnych podstaw matematycznych tych algorytmów ani nie komentuje zalet i ograniczeń takiego podejścia. Dodatkowo w rozdziale 3 (str. 108) stwierdza, że w prezentowanym podejściu będzie wykorzystywał metody wyszukiwania w siatce (Grid Search) nie komentując takiego wyboru.
- 1) str. 83 Powinno być odwołanie do pełnych danych bibliograficznych współlokatorskiego artykułu na podstawie którego opracowano podrozdział 4.1.
- 2) Na rysunkach 1 oraz 2 przyjęto identyczne oznaczenia budynków 1.1 1.2 ..., co może być to mylące jako, że wprowadzona numeracja nie uwzględnia osobnych lokalizacji budynków.
- 3) W Tabeli 2 na str. 91 wprowadzono nowe lokalizacje 1A, 1B, 2 ,3, 4A, 4B. Jak mają się one do wprowadzonych na rysunkach 1 oraz 2?
- 4) Na rysunku 5 na str. 93 podano wartość mocy cieplnej. Niemniej podawanie mocy jako wartości 0.05 czy 0.06 wydaje się stanowczo zbyt mało dokładne, aby móc ocenić procentową zmianę poboru mocy cieplnej. Znacznie bardziej wiarygodne byłoby przedstawienie wyników z dokładnością minimum do 3 cyfr znaczących, czyli w kWt.
- 5) Na rysunku 6 na str. 94 podano oszczędności z tytułu obniżenia mocy zamówionej w roku 2017 w porównaniu do roku 2016. We wszystkich wypadkach (za wyjątkiem lokalizacji 3) opłata za



rok 2017 jest z dokładnością do pojedynczych zł procentem energii pobranej w roku 2017 w porównaniu do roku 2016 pomnożonym przez koszt opłat z roku 2016. Zaznaczyć należy że pobór mocy cieplnej podany był z dokładnością 1 cyfry znaczącej dla Lokalizacji 4, dwóch cyfr znaczących dla Lokalizacji 1 i trzech cyfr znaczących dla lokalizacji 2 oraz 3. Czy na opłaty w roku 2017 nie miały wpływu opłaty stałe, zmiany cen, inflacja, itp. tak, że opłaty w roku 2017 zgadzają się z dokładnością co najmniej 5 cyfr znaczących z stosunkiem oszczędności energii w roku 2017 pomnożonym przez opłatę z roku 2016.

- 6) Na rysunkach 11-37, 44-47, 49, 51-52 nie podanego jednostek.
- 7) str. 138 podano wartość współczynnika determinacji  $R^2$ , którego wcześniej nie zdefiniowano wzorem. Ponadto podawania wartości współczynników  $R^2$  oraz MAE do 16 miejsc znaczących nie ma sensu w pomiarach i predykcjach obciążonych niepewnością pomiaru.

  - str. 160-174 W bibliografii powinien pojawić się pełny opis bibliograficzny, tj. powinni być wymienieni wszyscy autorzy publikacji.

Praca jest zredagowana starannie, występują jednak drobne uchybienia typograficzne:

- str.15 ostatecznie wypunktowanie powinno być osobnym akapitem
- str. 44 powinno być 'Odporność na nadmierne dopasowanie'
- str. 45-46 powinno być zastosowane wypunktowanie wielopoziomowe
- str. 64 nie zdefiniowano skrótów IT oraz OT
- str. 85-95 tytuły rysunków 1-8 jest wstawiane nad rysunkiem, podczas gdy dla pozostałych pod rysunkiem
- str. 108 powinno być 'wpływu na analizę'
- str. 108 powinno być 'eksperymentów opisanych w dysertacji'
- str. 127 powinno być 'wszystkich stref pomiarowych'
- str. 160 brakuje nazwy czasopisma w publikacji Azman, N. et al. (2014)
- str. 161 Dwukrotnie w bibliografii występuje pozycja: Belafi, Z., Hong, T. and Reith, A., Smart building management vs. intuitive human control—Lessons learnt from an office building in Hungary, *Building Simulation*, 10, pp. 811–828, 2017, doi:10.1007/S12273-017-0361-4
- str. 161-172 W publikacjach: Belafi, Z., Hong, T. and Reith, A. (2017), Bentéjac, C., Csörgő, A. and Martínez-Muñoz, G. (2021), Biau, G. and Scornet, E. (2016), Chen, T. and Guestrin, C. (2016), Hancock, J.T. and Khoshgoftaar, T.M. (2020), Natekin, A. and Knoll, A. (2013), Sivaramakrishnan, S. et al. (2021), Verma, J. (2022) oraz Vijayan, D.S. et al. (2020) do numerów doi dodano niepotrzebne ciągi znaków



- str. 164 Brakuje skrótu dla publikacji Gao, X., Luo, H., Wang, Q., Zhao, F., Ye, L. & Zhang, Y., A Human Activity Recognition Algorithm Based on Stacking Denoising Autoencoder and LightGBM. *Sensors*, 19(4), 2019, doi:10.3390/s19040947
- str. 165 W opisie bibliograficznym pozycji Hansun, S. et al. (1AD) brakuje nazwy czasopi-  
sma i roku wydania. Poprawny opis powinien wyglądać następująco: Hansun S., Charles V.,  
Indrati, C. R., & Subanar, Revisiting the Holt-Winters' Additive Method for Better Foreca-  
sting. *International Journal of Enterprise Information Systems (IJEIS)*, 15(2), pp. 43-57, 2019,  
doi:10.4018/IJEIS.2019040103
- str. 165 Dwukrotnie w bibliografii występuje pozycja: Hou J., Li X., Wan H., Sun Q., Dong  
K., Huang G., Real-time optimal control of HVAC systems: Model accuracy and optimization  
reward, *Journal of Building Engineering*, 50, 104159, 2022, doi:10.1016/J.JOBE.2022.104159.
- str. 166 W publikacji Li, S. et al. (2018) brakuje nazwy konferencji.
- str. 168 Brak pełnego opisu bibliograficznego pracy magisterskiej D. Nielsen, Tree Boosting  
With XGBoost Why Does XGBoost Win "Every" Machine Learning Competition?, Norwegian  
University of Science and Technology, Trondheim 2016.
- str. 168 Brak pełnego opisu bibliograficznego pracy Olaniyi O. O, Okunleye O. J. and Olabanji  
S. O., Advancing Data-Driven Decision-Making in Smart Cities through Big Data Analytics: A  
Comprehensive Review of Existing Literature, *Current Journal of Applied Science and Tech-  
nology*, 42(25), pp. 10-18, 2023
- str. 170 Brak pełnego opisu bibliograficznego pozycji opisanej jako: Robert H. Bonczek, C.W.H.  
A.B.W. (2014). Poprawny opis powinien wyglądać następująco: Bonczek R. H., Hollsaple  
C.W., Whinston A. B., *Foundations of Decision Support Systems*, Academic Press Inc., 2014,  
New York.

Należy podkreślić, że przedstawione powyżej uwagi, mają w większości charakter dyskusyjny. W  
związku z tym nie wpływają one na ostatecznie pozytywną oceny pracy.

## 5. Podsumowanie recenzji i wnioski końcowe

Recenzowana rozprawa doktorska stanowi, zdaniem recenzenta, oryginalne rozwiązanie waż-  
nego problemu naukowego. Jej Autor wykazuje wiedzę aplikacyjną w dyscyplinie naukowej *Auto-  
matyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne*, a także umiejętność samodzielnego  
formułowania celów badawczych i prowadzenia pracy naukowej. Stwierdzam więc, że przedłożona  
**rozprawa mgr inż. Kazimierza Kawy spełnia warunki** określone przez Ustawę z dnia 20 lipca  
2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2024, poz. 1571). Na podstawie powyższego  
**wnoszę przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej Autora mgr inż. Kazimierza Kawę  
do publicznej obrony rozprawy** w dyscyplinie *Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Techno-  
logie Kosmiczne*.

*Paradek*

