

Warszawa, 12.05.2023r.

Dr hab. inż. Michał Krzemiński, prof. uczelni
Politechnika Warszawska
Wydział Inżynierii Lądowej
Instytut Inżynierii Budowlanej
Zakład Inżynierii Produkcji
i Zarządzania w Budownictwie

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Moniki Górki-Stańczyk pt. „Modelowanie kosztów wykonania systemów fasadowych budynków użyteczności publicznej”

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą formalną opracowania recenzji jest pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej, Pana prof. dr hab. inż. Andrzeja Szaraty z dnia 25 kwietnia 2023r.

2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pani mgr. inż. Moniki Górki-Stańczyk pt. „Modelowanie kosztów wykonania systemów fasadowych budynków użyteczności publicznej”. Pracę przygotowano na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej. Promotorem rozprawy jest Pani dr hab. inż. Agnieszka Leśniak, prof. PK, promotorem pomocniczym jest Pan dr inż. Damian Wieczorek.

3. Charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska ma formę maszynopisu książki, w tym zakresie spełnia wymagania Ustawy o stopniach naukowych i tytułach naukowych oraz o stopniach i tytułach w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. Zasadniczą część pracy obejmuje 188 stron maszynopisu, łącznie z rysunkami, tablicami, spisem literatury, spisem treści i streszczeniem w języku polskim i angielskim. Uzupełnienie stanowią załączniki. Jedenaście załączników zajmuje 43 strony. Rozprawa została podzielona na siedem rozdziałów, które składają się w logiczny układ. Trzy pierwsze rozdziały stanowią część o charakterze przeglądu literaturowego. Pozostałe rozdziały składają się na część badawczą. Taki układ pracy jest jak najbardziej właściwy.

W pierwszym rozdziale rozprawy sformułowano problem badawczy, przedstawiono cele i tezę pracy oraz omówiono zakres tematyczny.

W drugim rozdziale wykonano przegląd literatury krajowej i zagranicznej w kilku blokach tematycznych, obejmujących m.in. metody i modele szacowania kosztów przedsięwzięć budowlanych, dokładność tych szacowań, zarządzanie jakością w budownictwie i koszty jakości.

Rozdział trzeci skupia się na klasyfikacji i funkcjach elewacji, ze szczególnym uwzględnieniem systemów elewacyjnych w formie fasad aluminiowo-szklanych oraz elewacji wentylowanych.

W czwartym rozdziale dokonano identyfikacji czynników wpływających na koszty systemów elewacyjnych, przeprowadzono ich analizę statystyczną i w efekcie badań zbudowano bazę danych.

W piątym rozdziale zidentyfikowano czynniki wpływające na koszty jakości realizacji systemów elewacyjnych i określono procentowy wskaźnik za podwyższoną jakość.

W rozdziale szóstym zaproponowano i zbudowano cztery modele predykcji kosztów systemów elewacyjnych, w tym model regresji wielorakiej, model regresji krokowej postępującej, model drzewa regresyjnego oraz model sztucznej sieci neuronowej. Na podstawie wartości błędów prognoz wybrano model o najlepszej jakości dopasowania i przeprowadzono analizę wrażliwości modelu. Ponadto zaprezentowano propozycję aplikacji komputerowej do szacowania kosztów systemów elewacyjnych oraz przeprowadzono weryfikację działania modelu dla nowych przypadków, nieuczestniczących w procesie budowy modeli.

W rozdziale siódmym znajdują się zakończenie oraz podsumowanie pracy.

W wykazie literatury umieszczono 218 pozycji, w tym 8 to prace Doktorantki związane bezpośrednio z tematyką rozprawy.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska w całości została opisana w sposób spójny i poprawny metodycznie. W ocenie recenzenta głównymi rozdziałami zawierającymi wkład badawczy doktorantki w prezentowanej rozprawie doktorskiej są rozdziały cztery, pięć i sześć.

W rozdziale czwartym Doktorantka przedstawiła wyniki własnych badań w odniesieniu do ustalenia kosztów wykonania systemów fasadowych. W pierwszym podrozdziale Autorka zaproponowała wybór czterech metod jakimi posłuży się przy pozyskiwaniu danych do analizy. Wyboru dokonała na podstawie przytoczonego z aktualnego źródła literaturowego zestawienia metod pozyskiwania danych. Trafny zdaniem recenzenta wybór padł na metody: analizy i krytyki piśmiennictwa, badania dokumentów, sondażu diagnostycznego oraz metodę statystyczną. W pierwszym podrozdziale znalazły się wystarczające opisy wybranych metod. Uwagę krytyczną zgłosiłbym jedynie do stwierdzenia o prowadzeniu analiz porównawczych uzyskanych wyników, zjawisk

czy faktów. Lepszym stwierdzeniem byłaby analiza uzyskanych wyników, zaobserwowanych zjawisk i stwierdzonych faktów. W kolejnym podrozdziale rozdziału czwartego pokazano wyniki obliczeń dotyczących kalkulacji kosztów wykonania fasad szklanych w trzech najczęściej występujących wariantach konstrukcyjnych. Podrozdział został opracowany starannie i jest czytelny. W ocenie recenzenta zabrakło jedynie podania czasu z którego pochodzą dane kosztowe. W pracy podano odniesienie do literatury, niemniej taki zabieg zwiększyłby czytelność opracowania. Wysoko oceniam trzeci z podrozdziałów rozdziału czwartego, Doktorantka przeprowadziła w nim obszerną analizę dokumentacji kontraktowej. Z doświadczeń Recenzenta wynika że dokładny przegląd przeszło dwustu kontraktów wymagał dużego nakładu pracy. Również wyniki tej analizy które polegają na wyselekcjonowaniu 14 czynników pogrupowanych w 3 grupy ma duży walor praktycznej użyteczności przedstawionych wyników. W czwartym podrozdziale zaprezentowano natomiast kompletną i wyczerpującą analizę zaprezentowanych we wcześniejszym rozdziale czynników. Należy zwrócić tu uwagę na fakt, że w przypadku wystąpienia przyjętego do analizy kryterium niemierzalnego opisano je dokładnie i wyczerpująco. Opis był wystarczający i w pełni uzasadniający wykonaną ocenę. W kolejnym podrozdziale przeprowadzono analizę strukturalną której zadaniem było określenie m.in. wzajemnego wpływu czynników. Analiza została wykonana w trzech etapach, w pierwszym poprawnie podzielono czynniki na grupy, w ramach drugiego przeprowadzono badanie ankietowe, w trzecim wykonano obliczenia w dedykowanym programie komputerowym. W badaniu wzięło udział 15 ekspertów. Każdy z ekspertów poproszony był o udzielenie odpowiedzi na blisko 200 pytań, zdaniem Recenzenta badanie zostało przeprowadzone w sposób właściwy. Poprawnie przeprowadzona analiza pozwoliła na podzielenie czynników na sześć grup. W szóstym podrozdziale rozdziału czwartego Autorka poprawnie opisała proces tworzenia bazy danych. Wydarzenia ostatnich lat miały duży wpływ na ceny czynników produkcji budowlanej. Proces gromadzenia danych oraz budowy bazy był pracochłonny i zajął Doktorantce dość dużo czasu, niemniej dane zostały poprawnie dostosowane poprzez zastosowanie współczynników waloryzacyjnych. Opracowaną w ramach rozdziału bazę danych uważam za opracowaną poprawnie oraz zawierającą wszystkie niezbędne elementy do przeprowadzonych badań zaprezentowanych w dalszej części rozprawy. Rozdział czwarty kończy podsumowanie. Zostało ono napisane w sposób zwięzły i w pełni opisuje wykonane w ramach rozdziału badania.

W rozdziale piątym recenzowanej rozprawy Doktorantka przeprowadziła badania własne w zakresie kosztów jakości systemów fasadowych. W pierwszym podrozdziale możemy przeczytać że Autorka posiada wieloletnie doświadczenie w pracy w dziale zajmującym się kosztami jakości systemów fasadowych. Prawdopodobnie to doświadczenie oraz wcześniejsza analiza źródeł literaturowych sprawiły że podjęła decyzję o pogrupowaniu czynników wpływających na koszty jakości zgodnie z modelem Profesora Mikołaja Czajkowskiego. Wybór modelu należy uznać za słuszny, czynniki także zostały zdaniem Recenzenta pogrupowane prawidłowo. W drugim podrozdziale rozdziału piątego na

wstępie znajduje się opis dotyczący prowadzenia i analizy wyników badań ankietowych. Opis wykonany jest poprawnie, niemniej mógłby on się znaleźć we wstępie do podrozdziału 4.5, dotyczącym analizy strukturalnej kosztów, w którym po raz pierwszy pokazano przeprowadzone w ramach prac Doktorantki nad rozprawą wyniki badań ankietowych. W podrozdziale pokazano wyniki przeszło 40 ankiet w którym każdy z respondentów musiał odpowiedzieć na przeszło 70 pytań merytorycznych. Należy zauważyć że Doktorantce udało się przeprowadzić badania w grupie doświadczonych pracowników, przeszło połowa z nich posiadała doświadczenie większe niż 10 lat. Przeprowadzona analiza wyników pozwoliła doktorantce na opracowanie szeregu zestawień pokazujących czy wybrane przez nią czynniki mają wpływ na koszt jakości fasad aluminiowych oraz jaki jest ten wpływ w przypadku poszczególnych czynników. W rozdziale znajdują się czytelne zestawienia które w pełni pokazują duży nakład pracy jaki został wykonany przez Doktorantkę oraz to że Doktorantka posiada dużą biegłość w analizie wyników badań ankietowych. Zaprezentowane wyniki badań ankietowych pokazały że największy wpływ mają błędy montażowe oraz projektowe. Autorka te dwa zagadnienia opisała dokładniej opisując jakie konkretnie błędy generują najwyższe koszty. Tego typu zestawienia są niezwykle istotne ponieważ już na tym etapie pracy znajdujemy konkretne wyniki pracy naukowej które mają charakter aplikacyjny. W trzecim podrozdziale rozdziału trzeciego przeprowadzono bardzo istotną ze względu na uwiarygodnienie wyników badań ankietowych ocenę otrzymanych wyników badań ankietowych. Doktorantka posłużyła się w tym celu współczynnikiem zgodności Kendalla-Smitha. Wybór metody uważam za dobry. Wyniki oceny także pokazały że przeprowadzone badania ankietowe były wykonane na dobrej grupie a zadane pytania były sformułowane w sposób poprawny. W czwartym podrozdziale opisano natomiast dodatek za podwyższoną jakość. Dodatek ten został opracowany na podstawie obserwacji własnej Doktorantki jak również na podstawie przeprowadzonych badań ankietowych. Należy zauważyć że chęć dotrzymania zakładanej jakości zawsze wiąże się z poniesieniem nakładów. W opinii Recenzenta wprowadzenie takiego dodatku należy uznać za zasadne. Budowa, a na niej właśnie wykonywane są prace związane z wykonaniem elewacji budynku ma zawsze charakter jednostkowy. Trudno zatem o dopracowanie procesu tak jak ma się to w przypadku linii produkcyjnej. Zabezpieczenie środków celem utrzymania zakładanej jakości wydaje się zasadne. Rozdział piąty kończy również poprawnie opracowane podsumowanie w którym tak jak w przypadku podsumowania rozdziału czwartego zwrócono uwagę na najistotniejsze rzeczy.

W rozdziale szóstym Autorka przedstawiała opracowane przez siebie modele których zadaniem jest predykcja kosztów systemów fasadowych. Doktorantka we wstępie prawidłowo opisała zakres zmiennych niezbędnych do budowy modelu. Opisała także jakie będą następne kroki związane z budową modeli. W drugim podrozdziale rozdziału szóstego Autorka zajęła się zagadnieniem korelacji zmiennych, poprawnie do oceny tej korelacji zaproponowała metodę analizy związków korelacyjnych Spearmana. Przeprowadzona analiza wykonana została poprawnie. W pracy zaprezentowano ją w

sposób czytelny i nie budzący wątpliwości. Doktorantka poprawnie podsumowała wyniki przeprowadzonej analizy. W trzecim podrozdziale rozdziału szóstego Autorka zdecydowała się na zastosowanie regresji wielorakiej celem zbadania związku pomiędzy zmiennymi niezależnymi. Model regresji został poprawnie zbudowany z wykorzystaniem pakietu oprogramowania STATISTICA. Otrzymane wyniki pokazały że model został opracowany poprawnie. W podrozdziale pokazany został również fragment wyników związanych z rzeczywistym kosztem systemów fasadowych, z kosztem pochodzącym z predykcji oraz z błędem względnym. Podano wyniki dla wszystkich 209 obiektów. Wyniki miały dość duży rozstrzał błędu od 0 do 96 procent. W podrozdziale czwartym Autorka opisała budowę modelu regresji krokowej postępującej. W tym przypadku zdaniem Recenzenta można stwierdzić że zarówno budowa modelu jak i prezentacja wyników zostały wykonane poprawnie. Następnie w podrozdziale piątym opisano zastosowanie drzew regresyjnych. Opracowany opis tworzenia drzew regresyjnych został wykonany poprawnie, jest jak najbardziej czytelny. Również w tym przypadku do budowy modelu drzewa regresyjnego zostało zastosowane oprogramowanie z pakietu STATISTICA. Zaprezentowano w pracy poprawnie utworzony model drzewa regresyjnego. Podano wyniki dla wszystkich 209 obiektów. Wyniki również miały duży rozstrzał błędu od 0 do 97 procent. W kolejnym podrozdziale Doktorantka zaprezentowała model do prognozowania kosztów budowy fasad z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych. W pierwszej części poprawnie scharakteryzowano zarówno rys historyczny jak i najczęściej wykorzystywane do obliczeń rodzaje sieci neuronowych. Kolejnym elementem rozprawy jest opis sieci MLP (perceptor wielowarstwowy). Doktorantka dokładnie i wyczerpująco opisała proces tworzenia modelu sieci. Również i w tym przypadku w pracy znalazła się informacja o różnicy wyników pomiędzy kosztem prognozowanym a rzeczywistym. W tym przypadku różnice okazały się znacznie mniejsze, największy błąd wyniósł 43 procent. W kolejnym podrozdziale Autorka wykonała porównanie zaproponowanych modeli. Oceny dokonano na podstawie miar, które mierzą różnicę między zmienną zależną rzeczywistą, a zmienną przewidywaną. Wykonana ocena potwierdziła zasadność opracowane w ramach rozprawy sztucznej sieci neuronowej MLP. W podsumowaniu znalazły się także wyniki bardzo istotne ze względów aplikacyjnych, mianowicie w przypadku SSN w prawie 95 procentach przypadków błąd oszacowania wynosił poniżej 30%. W rozdziale szóstym wykonano ponadto również analizę wrażliwości zmiennych będących zmiennymi wejściowymi do modelu SSN. Poprawnie przeprowadzono tu selekcję zmiennych wejściowych modelu sieci neuronowych, pokazano na wartość błędu uczenia się w zależności od liczby zmiennych. Przeprowadzone symulacje potwierdziły, że model został poprawnie zbudowany, a mianowicie prawidłowo reaguje na zmiany poszczególnych zmiennych wejściowych. Doktorantka opracowała również program komputerowy, który w znaczny sposób zwiększa możliwości praktycznej aplikacyjności zaproponowanego w rozprawie modelu SSN wykorzystywanego do celów prognozowania kosztów związanych z wykonywaniem systemów fasadowych. Rozdział szósty tak samo

jak trzy poprzednie kończy jego podsumowanie. W tym podsumowaniu możemy znaleźć wszystkie istotne informacje, zostało ono tak jak poprzednie opracowane poprawnie.

Całość pracy kończy rozdział siódmy będący podsumowaniem rozprawy. Doktorantka podzieliła go na trzy zasadnicze części. W pierwszej części syntetycznie opisała co w pracy zostało wykonane. W drugiej części pokazany został wkład własny Doktorantki, ta część pracy pokazała jakie elementy stanowią o oryginalności pracy a jakie mają walor praktyczności zastosowania. Ostatnim elementem było wskazanie kierunków dalszych badań. Tak wykonane podsumowanie uważam za czytelne i poprawnie opracowane.

Mgr inż. Monika Górka-Stańczyk przedstawiła oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i wykazał się przy tym umiejętnością samodzielnej pracy naukowej, opracowując metodykę badań i konsekwentnie je realizując a także prezentując ich wyniki w kolejnych rozdziałach rozprawy. Należy stwierdzić, że cel rozprawy został osiągnięty oraz że potwierdzono słuszność sformułowanej tezy pracy. Do szczególnie istotnych osiągnięć naukowych doktorantki zaliczam:

- Zastosowanie rozwiniętych metod analizy piśmiennictwa które pozwoliły na opracowanie informacji potrzebnych do utworzenia bazy danych do budowy modeli predykcyjnych.
- Przeprowadzenie rozbudowanych badań ankietowych, opartych na wcześniejszej analizie a wykorzystanych do finalnego utworzenia niezbędnej bazy danych.
- Opracowanie czterech kompletnych modeli predykcji kosztów związanych z wykonaniem elementów fasadowych
- Wybór najlepszego modelu oraz przeprowadzenie kompletnej analizy wrażliwości dla tego modelu. Opracowano tu również oprogramowanie komputerowe usprawniające korzystanie z modelu.

Oceniając pracę nasunęły mi się również pytania i uwagi krytyczne. Chciałbym jednak zwrócić uwagę, że nie umniejszają one osiągnięć Autorki. Uwagi krytyczne i pytania do Doktorantki Recenzent zdecydował się sformułować w odniesieniu do poszczególnych rozdziałów pracy:

- Do podrozdziału 4.4. Czy celowym było wykonanie własnej klasyfikacji budynków pod względem wysokości. Jest ona dość spójna, niemniej różni się od tej znajdującej się w warunkach technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Prosiłbym o komentarz w tej kwestii uzasadniający podjętą decyzję.

- Do podrozdziału 4.6. Czy w zbudowanej bazie/oprogramowaniu jest możliwość na wprowadzenie współczynnika waloryzacyjnego? W celu utrzymania aktualności oprogramowania.
- Do rozdziału 5.1. W podrozdziale nie znalazłem uzasadnienia przypisania trzech czynników do grupy czynników kosztów ukrytych. Prosiłbym o uzasadnienie dlaczego akurat te trzy (awarie i przestoje, nadgodziny i dodatkowe dostawy) zostały tam przypisane?
- Do podrozdziału 5.4. Cemu dodatek został opisano jako dodatek za podwyższoną jakość a nie dodatek za utrzymanie zakładanego poziomu jakości? Taki dodatek też byłby zasadny. Dodatkowo prosiłbym o komentarz czemu zdecydowano się na 2% a nie na np. 1,5%? W pracy podano że respondenci wskazywali 1 lub 2%.
- Do podrozdziału 6.2. W wyniku analizy korelacji wykluczono cztery zmienne. Zbiór miał 28 zmiennych, więc można przyjąć że nie został uszczuplony zanadto. Niemniej dwie z wykluczonych miały związek z odpornością ogniową fasad. Czy takie wykluczenie nie zmniejszy bezpieczeństwa pożarowego wybieranych w przyszłości rozwiązań?
- Do podrozdziałów 6.3. – 6.5. W przypadku zaobserwowanych błędów maksymalnych dla modeli regresji wielorakiej, regresji krokowej postępującej i drzewa regresyjnego wyniosły one ponad 95%. W jak wielu przypadkach takie błędy wystąpiły? Czy były to pojedyncze modele czy raczej większa ich liczba? Czy błędy występowały dla tych samych obiektów?
- Do podrozdziału 6.6 Błąd maksymalny w tym przypadku był o przeszło połowę mniejszy niż w przypadku poprzednich trzech modeli. Pytanie jest takie czy błędy maksymalne w modelu SSN dotyczyły tych samych obiektów co błędy w modelach regresji i drzewa regresyjnego?
- Do podrozdziału 6.8. Czym powodowany był wzrost wartości błędu uczenia się który obserwujemy podczas zwiększania ilości zmiennych w przedziale od 16 do 21 zmiennych?

5. Podsumowanie i wnioski

Pomimo sformułowanych wcześniej uwag krytycznych, uważam recenzowaną rozprawę za bardzo cenną i oryginalną, wnoszącą wkład w rozwój dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport. Wniesione uwagi merytoryczne należy traktować jako dyskusyjne i służące do ewentualnego uwzględnienia w dalszych pracach badawczych Autorki.

Doktorantka wykazała się ogólną wiedzą teoretyczną w danej dyscyplinie naukowej, umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej i wykorzystania odpowiednich metod naukowych i technik badawczych.

W związku z powyższym uważam, że przedłożona przez Panią mgr. inż. Monikę Górkę-Stańczyk rozprawa doktorska pt. „Modelowanie kosztów wykonania systemów fasadowych budynków użyteczności publicznej” spełnia wymagania Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. i stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Ponadto, biorąc pod uwagę elementy nowości naukowej rozprawy, stanowiące oryginalne osiągnięcia Autorki, będące znaczącym wkładem w rozwój zastosowania metod modelowania kosztowego z zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Krakowskiej o wyróżnienie niniejszej rozprawy.

Mieczysław Kruczyński