

Kraków, 06.01.2025 r.

Dr hab. inż. Agnieszka Leśniak, prof. PK
Politechnika Krakowska
Wydział Inżynierii Lądowej
Katedra Zarządzania w Budownictwie

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Łukasza Rosickiego
pt. „*Modelowanie ruchu pracowników budowlanych w kontekście efektywności*
***realizowania zadań i bezpieczeństwa pracy*”**

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą formalną opracowania recenzji jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej, Pana prof. dr. hab. inż. Konrada Lewczuka, z dnia 06.11.2024 r.

2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Łukasza Rosickiego pt. „*Modelowanie ruchu pracowników budowlanych w kontekście efektywności realizowania zadań i bezpieczeństwa pracy*”. Pracę przygotowano na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej, pod kierunkiem Pana dr. hab. inż. Michała Krzemińskiego, prof. uczelni będącego promotorem pracy i Pana dr. inż. Piotra Leona Narlocha pełniącego funkcję promotora pomocniczego.

3. Tytuł, układ i treść rozprawy

Rozprawa doktorska ma formę książki wydanej i w tym zakresie spełnia wymagania *Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*, z późn. zm.

Zaproponowany tytuł pracy jest właściwy, informuje o podjętym problemie, celu i zakresie badań, i odpowiada treści pracy.

Rozprawa obejmuje 212 stron łącznie ze streszczeniami w języku polskim i angielskim, słownikiem zastosowanych pojęć, spisem rysunków, spisem tabel i spisem literatury.

Rozprawa została podzielona na 14 rozdziałów, które stanowią logiczny układ. Pierwszą część pracy – część literaturową stanowi zasadniczo rozdział 2. Część badawczą wraz z podsumowaniem tworzą pozostałe rozdziały. Proporcje obu części należy uznać za zgodną z zasadami pisania prac naukowych (część badawcza znacznie przekracza część literaturową).

Rozdział 1 zatytułowany „Wstęp” zawiera krótkie wprowadzenie w tematykę rozprawy dotyczącą badań nad możliwościami tworzenia zdalnych i pasywnych systemów do oceny postępu prac na budowie. W rozdziale tym, Autor uzasadnia podjęcie tematu i potrzebę poszukiwania nowych metod oceny postępu realizacji poszczególnych robót w czasie rzeczywistym. W rozdziale tym przedstawia również cel i przedmiot rozprawy, uzupełniony o ramowy plan badań i doprecyzowuje przeznaczenie proponowanej metody. Zakres rozprawy jest poprawny i stanowi jasną prezentację

kolejnych etapów realizacji pracy. Nie jestem przekonana co do umieszczenia we Wstępie podrozdziału 1.4 Badane czynniki, tym bardziej, że Autor twierdzi, że zajmować będzie się przede wszystkim efektywnością. Wydaje się, że ten podrozdział można było umieścić w rozdziale 2. Stan wiedzy.

Rozdział 2 obejmuje przegląd opracowań literaturowych dotyczących analizy ruchu i zachowań pracowników na placach budowy. W ramach tego rozdziału przedstawiono aktualny stan wiedzy w obszarze badawczym oraz zaproponowano kierunki rozwoju, szczególnie w kontekście systemów automatycznej oceny pracy robotników. W podrozdziałach 2.2 i 2.3 szczególną uwagę poświęcono analizie ruchu pracowników budowlanych, w tym głównym trendom badawczym. Zwrócono także uwagę na ideę tzw. „wąskich gardeł” w procesie produkcyjnym, która jest rzadko wykorzystywana w budownictwie. Podrozdział 2.5 koncentruje się na kwestii prędkości ruchu w miejscu pracy, podkreślając jej wpływ na bezpieczeństwo na placu budowy. Całość rozdziału kończy trafne podsumowanie, w którym Autor podkreśla zasadność prowadzenia rozważań naukowych w ramach kształtującego się nurtu badawczego obejmującego poszukiwania zależności między prędkością i charakterem ruchu a bezpieczeństwem pracowników budowlanych.

Rozdział 3 rozpoczyna część badawczą rozprawy. Dotyczy wyboru systemu i sposobu śledzenia ruchu. Autor przeprowadził analizę wielokryterialną mającą na celu wybór najkorzystniejszego systemu prowadzenia badań w kontekście zautomatyzowanego monitorowania postępu robót budowlanych. Zaproponował 4 systemy, a do ich oceny przyjął 5 kryteriów. Dużą uwagę poświęcił prawidłowemu wyznaczeniu wag kryteriów wykorzystując w tym celu różne metody, m.in. przeprowadził badania ankietowe, a także, co należy wyraźnie podkreślić, zaproponował autorską metodę, która uwzględnia wykorzystanie odchylenia standardowego populacji ocen dla każdego rozważanego kryterium. Wybór odchylenia standardowego ocen miał na celu podkreślenie kryteriów, dla których różnice między oceną wariantów były szczególnie duże. Ostatecznie Autor dokonał wyboru systemu z wykorzystaniem czujników PIR. W rozdziale zamieszczono podrozdział zatytułowany *Wnioski* jednak nie jest on podrozdziałem ostatnim. Autor zdecydował się na zamieszczenie jeszcze 10-tego podrozdziału: *Ideowy schemat systemu zdalnej oceny postępu robót budowlanych*, w którym zamiast wspomnianego schematu, utożsamionego np. z diagramem, przedstawił ramowy plan działania systemu w formie punktów. W mojej opinii, ten podrozdział zdecydowanie lepiej pasowałby do rozdziału 5. Nie jestem także przekonana do wprowadzenia dwóch oddzielnych podrozdziałów o podobnie brzmiących tytułach: *3.1 Autorska metoda oparta o odchylenie standardowe* (na początku rozdziału) i *3.8 Metoda autorska* (pod koniec rozdziału). Wydaje się, że treści tych podrozdziałów można było połączyć.

Rozdział 4 zawiera charakterystykę czujników wykorzystanych do badań. Autor przedstawia ich budowę i proponuje własne ich oprogramowanie. Zamieszczone w rozdziale rysunki zdecydowanie wspomagają opis, ale także obrazują działanie czujników. Co istotne, dla prowadzonych badań, Autor analizuje wyniki pomiarów czujników (kąta detekcji i zasięgu detekcji) i zestawia te wartości z parametrami deklarowanymi przez producentów. W Jego ocenie, wielkości zmierzonych parametrów czujników PIR są zbliżone do deklarowanych przez producenta, a nawet jak w przypadku zasięgu, lepsze. Przeprowadzone pomiary, pozwoliły nie tylko na zidentyfikowanie rzeczywistych parametrów czujników, ale również ułatwiły i umożliwiły Autorowi sformułowanie odpowiednich wniosków dotyczących działania czujników w trakcie badań i uzyskanych wyników pomiarów.

Rozdział 5 jest poświęcony w całości przeprowadzonym, wstępnym próbom prowadzenia badań z wykorzystaniem zaproponowanych czujników. Autor podjął próbę oceny ilościowej i jakościowej ruchu osób przemieszczających się w budynku Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej, a same badania potraktował jako wstępne próby polowe przed montażem systemu na placu budowy i przed prowadzeniem badań właściwych. W kontekście głównego tematu rozprawy, obecność tego rozdziału w pracy wydaje się nie mieć wystarczającego uzasadnienia.

Rozdział 6 dotyczy badań właściwych prowadzonych na placu budowy z wykorzystaniem zaproponowanych czujników i obejmuje analizy wyników pomiarów prowadzonych na placu budowy. W tym rozdziale opisano przyjęte lokalizacje czujników oraz sposób tworzenia modelu predykcyjnego. Przeprowadzono analizy oparte na pomiarze postępu robót dla zadania murowania ścian działowych na trzech kondygnacjach. Zaproponowano algorytm iteracyjny poszukiwania wag dla wielomianu opisującego zależność pomiędzy pomierzonymi wartościami rozważanych parametrów a postępowaniem prac. Ostatecznie zaproponowano model uniwersalny. Należy podkreślić, że Autor potrafi krytycznie odnieść się do uzyskanych wyników badań i analiz, zwracając uwagę, że model uwzględniający wszystkie parametry zweryfikowany na drugim budynku pomiarowym (budynku B) wykazuje gorsze działanie od modelu opartego na jednym parametrze – liczbie przejść. Liczne tabele i rysunki w tym rozdziale zdecydowanie poprawiają czytelność prowadzonych przez Autora rozważań i analiz.

W **rozdziale 7**, Doktorant podejmuje próbę zbudowania modelu predykcyjnego z wykorzystaniem sztucznej inteligencji, a w szczególności sztucznych sieci neuronowych. Spośród ogromnej liczby zbudowanych sieci (600), Doktorant wybiera 5 najlepiej działających sieci i dla nich prowadzi dalsze rozważania. W procesie poszukiwania najlepszego modelu zmienia liczbę zmiennych wejściowych. Pewien niedosyt w tym rozdziale stanowi brak opisu i uzasadnienia proponowanych struktur sieci (czasami bardzo złożonych np. 140 zmiennych wejściowych i 21 neuronów w warstwie ukrytej) przy bazie danych liczącej zaledwie 20 rekordów np. dla budynku A. Pozytywnie można ocenić próbę Autora zmierzającą do ograniczenia liczby parametrów sieci i poszukiwaniu modelu z 10 neuronami w warstwie wejściowej (zmienne wybrane na podstawie wartości współczynnika korelacji) dla każdej kondygnacji oddzielnie. Poszukiwanie modelu predykcyjnego dla postępu robót murowych za pomocą sieci neuronowych w oparciu o posiadane dane jest cenną inicjatywą, jednak dysponując tak małym zbiorem danych można spodziewać się słabej jakości działania. Ważnym i cennym fragmentem pracy są wnioski dotyczące zbudowanych modeli, które zostały zamieszczone w podrozdziale 7.5, co sugeruje że są one spójne z zasadniczym rozdziałem 7, tymczasem dotyczą dwóch rozdziałów 6 i 7. Wydaje się, że korzystniej byłoby je umieścić we wnioskach końcowych pracy.

Rozdział 8 poświęcono parametrowi prędkości poruszania się pracowników w trakcie realizacji zadania murowania ścian. Doktorant, na początku rozdziału, zdefiniował co rozumie pod pojęciem niebezpiecznej prędkości poruszania się robotników. Wykonane pomiary pozwoliły na zastosowanie różnych metod analizy danych na podstawie których, stwierdzono brak podstaw do wskazania miejsc, w których w sposób powtarzalny dochodzi do niebezpiecznie przyspieszonego ruchu pracowników. Ujawniono natomiast lokalizacje, w których do takich przekroczeń dochodzi stosunkowo rzadko.

W rozdziale 9 poszukiwano modeli predykcji postępu prac dla kolejnych, wybranych rodzajów robót: prac instalacyjnych i robót tynkarskich. Analogicznie, jak w przypadku rozdziału 6, Autor poszukuje modeli opartych na różnych parametrach. W wyniku prowadzonych analiz wybrano modele, które charakteryzowały się najlepszym dopasowaniem i wykazały zakładaną dokładność predykcji. Analiza ruchu umożliwiła wskazanie tzw. „wąskich gardeł”. Podobnie jak w przypadku robót murowych, Doktorant podjął próbę poszukiwania lokalizacji miejsc w budynkach, w których robotnicy osiągają niebezpieczne prędkości przy wykonywaniu analizowanych robót.

Rozdział 10 prezentuje jedną z metod z zakresu eksploracji danych: analizę koszykową, która polega na wyszukaniu w zbiorach danych tak zwanych reguł asocjacyjnych. Doktorant poszukiwał siły powiązań pomiędzy pomierzoną liczbą przejść a postępami prac na poszczególnych kondygnacjach. Przeprowadzona analiza wykazała, że poszukiwanie reguł asocjacyjnych umożliwia identyfikację istotnych zależności między liczbą pomiarów a realizacją zadań na danej kondygnacji. Reguły związane z kondygnacją +2 dominują w zebranych danych, charakteryzując się najwyższym wsparciem oraz poziomem ufności.

W rozdziale 11 analizowano zadania krótkotrwałe prowadzone na placu budowy, zazwyczaj jednodniowe takie jak np. odbiory, pojedyncze montaż, ze szczególnym uwzględnieniem prędkości ruchu i lokalizacji wąskich gardeł w procesie produkcyjnym.

Rozdział 12 stanowi podsumowanie rozprawy. Autor dokonał weryfikacji postawionych tez badawczych i przedstawił wnioski z przeprowadzonych badań i analiz. Oba podrozdziały opracowano w punktach, co w mojej opinii jest zaletą.

Warto zaznaczyć, że Autor rozprawy mimo szczegółowego podejścia do postawionego problemu naukowego dostrzega możliwości dalszych badań, co podkreślono **w rozdziale 13**.

Rozdział 14 zawiera nazwy i skróty angielskie wykorzystane w pracy wraz definicjami.

Wydaje się, że treść rozdziału 13. *Dalsze kierunki badań* można było zawrzeć w ramach rozdziału 12. *Synteza badań i analiz* jako dodatkowy podrozdział, a Rozdział 14. *Słownik pojęć* umieścić bezpośrednio po spisie treści, bez tworzenia oddzielnego rozdziału.

Bibliografia zawiera 186 pozycji, co świadczy o wnikliwości Doktoranta. Szkoda, że nie wyodrębniono w oddzielnych grupach aktów prawnych i netografii, co zapewniłoby większą przejrzystość zestawienia. Wśród cytowanej literatury znajduje się jedna pozycja, której Doktorant jest współautorem.

Podsumowując tę część recenzji, poza wskazanymi wcześniej uwagami, tytuł, układ i treść rozprawy oceniam pozytywnie. Kolejność i objętość rozdziałów, z punktu widzenia tematu i celu pracy, są akceptowalne. W mojej opinii podział pracy jest jednak zbyt szczegółowy, co sprawia, że struktura pracy stała się mało czytelna. W szczególności uwaga ta dotyczy podrozdziałów, które są bardzo krótkie, często o objętości tekstu pół strony, dlatego w wielu miejscach ich liczbę można było zmniejszyć. Niektóre z rozdziałów mogły zostać pominięte (np. Rozdział 5, a jego krótki opis mógł zostać zamieszczony w Rozdziale 6) lub połączone (np. Rozdziały 12 i 13). Syntetyczne podsumowania zamieszczone na końcu niektórych rozdziałów są wartościowe, szkoda, że Autor nie stosował tej zasady konsekwentnie we wszystkich częściach pracy. Praca jest napisana w sposób przystępny, a prezentowane wyniki są poprawnie opisane. Pod względem graficznym praca jest czytelna, a zestawienia tabelaryczne i prezentowane rysunki są uzasadnione.

4. Ocena merytoryczna pracy

4.1 Ocena doboru tematu rozprawy

Problematyka pracy należy do zagadnień mieszczących się w obszarze realizacji przedsięwzięć budowlanych i dotyczy możliwości monitorowania ruchu robotników na placu budowy podczas wykonywania robót budowlanych. Prowadzenie badań naukowych w dynamicznym środowisku terenu budowy nie jest zadaniem łatwym, a dodatkowym utrudnieniem jest konieczność zapewnienia bezpieczeństwa podczas prowadzenia badań. Badania takie wymagają doskonałej organizacji, a zmieniające warunki podczas wykonywania robót wpływają znacząco na przebieg, tempo oraz dokładność prowadzonych analiz. Uzyskane dane, w naturalnym środowisku realizacji procesów budowlanych dostarczają bardzo cennych informacji, które mogą istotnie przyczynić się do rozwoju sektora budowlanego.

Współczesne przedsięwzięcia budowlane, składające się z wielu wzajemnie powiązanych etapów, wymagają precyzyjnego planowania, realizacji i monitorowania postępu robót, szczególnie w odniesieniu do zadań znajdujących się na ścieżce krytycznej. Jednym z kluczowych wyzwań w obszarze zarządzania przedsięwzięciami budowlanymi jest monitorowanie i pomiar ilości wykonanych robót w odniesieniu do założonego harmonogramu postępu prac. Pomimo rozwoju technologii współczesne systemy oceny postępu prac w dużej mierze opierają się na ręcznych obserwacjach i pomiarach, wykonywanych przy udziale kadry zarządzającej. Autor rozprawy dostrzegł potrzebę poszukiwania innowacyjnych, pasywnych systemów monitorowania, które pozwolą na zbieranie danych o aktywności robotników, na podstawie których możliwa jest ocena postępu wykonywanych przez nich robót budowlanych. Takie podejście umożliwiło nie tylko ocenę efektywności pracy, przewidywanie odchyleń od harmonogramu, ale także wdrażanie działań zapobiegawczych. Autor rozprawy zwraca uwagę, że monitorowanie ruchu pracowników budowlanych może być obciążone naruszeniem nie tylko aspektów etycznych, ale i naruszeniem prawa do poszanowania życia prywatnego dotyczącego nadmiernej ingerencji w prywatność osób zatrudnionych podczas wykonywania pracy, dlatego proponowany system musi być wystarczająco pasywny, by tej prywatności nie naruszać. Należy podkreślić, że systemy podobne do zaproponowanego w rozprawie mogą przyczynić się znacząco do poprawy bezpieczeństwa na placu budowy, dostarczając narzędzi do bardziej efektywnego zarządzania zasobami ludzkimi.

W recenzowanej rozprawie Autor podjął wysiłek badawczy zmierzający do opracowania modelu prognozy postępu realizacji zadań budowlanych poprzez wdrożenie samodzielnie opracowanego systemu monitorowania ruchu pracowników. Podjęcie badań w tym obszarze jest kluczowe z punktu widzenia przyszłości sektora budowlanego. Połączenie nowoczesnych technologii z poszanowaniem zasad etycznych i prywatności pracowników stanowi fundament dla stworzenia zrównoważonego środowiska pracy.

Podjęte przez Doktoranta zagadnienie doskonalenia metod oceny postępu robót budowlanych bez wątpienia, mieści się w przedmiocie badań w ramach specjalności Inżynieria Przedsięwzięć Budowlanych, w dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport. Uzyskane rezultaty poszerzają wiedzę dotyczącą organizacji robót budowlanych, w szczególności metod i sposobów ilościowej oceny wykonanych prac.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że podjęty w pracy doktorskiej temat jest aktualny i ważny, a sformułowany przez Autora problem badawczy jest oryginalny. Wybór problematyki dotyczącej możliwości oceny postępu robót budowlanych z wykorzystaniem pasywnego systemu monitorowania ruchu pracowników budowlanych podczas wykonywania wybranych robót przy jednoczesnym, ograniczonym udziale kadry kierowniczej jest trafny zarówno z naukowego, jak i praktycznego punktu widzenia. Doktorant wskazał zagadnienie, które nie zostało jeszcze dogłębnie zbadane, zaproponował autorskie podejście i opracował model prognozy postępu wybranych robót budowlanych z wykorzystaniem czujników monitorowania aktywności pracowników produkcyjnych na budowie. Podjęty w pracy doktorskiej temat oceniam jako trafny do rozważań naukowych.

4.2 Ocena celu, tezy rozprawy i metody rozwiązania postawionego problemu

Na podstawie przeglądu literatury, własnych badań i analiz Doktorant sformułował następujący cel i trzy tezy badawcze rozprawy:

„Celem niniejszej pracy jest stworzenie metodologii dla systemu czujników, które będą monitorowały ruch pracowników budowlanych umożliwiającą w sposób pośredni ocenę postępu prac prowadzonych na budowie.”

Tezy pracy brzmią:

- *„Istnieje korelacja pomiędzy charakterem poruszania się pracowników budowlanych, a tempem realizacji zadań;*
- *Istnieją tzw.: „wąskie gardła” w procesie produkcji budowlanej, możliwe do pośredniej identyfikacji w czasie analizy ruchu pracowników;*
- *Tempo i charakter ruchu pracowników na budowie, a w związku z tym, ryzyko wypadków ulega regularnym, mierzalnym zmianom.”*

Cel pracy został poprawnie sformułowany, jednak w mojej opinii można było skorzystać z właściwszych pojęć, np. opracowanie zamiast stworzenie. Można także zadać pytanie, czy celem pracy jest stworzenie metodologii czy jednak budowa modelu, jak zapisano w ramowym planie badań na Rys. 1.1, i o którym wielokrotnie wspomina Doktorant w treści rozprawy.

Można mieć pewne wątpliwości co do sformułowania pierwszej i trzeciej tezy. Szczególnie do użytych w nich pojęć: *charakter poruszania się i charakter ruchu*. Szkoda, że w pracy jasno nie zdefiniowano co pod tymi pojęciami należy rozumieć.

Założony **cel rozprawy został osiągnięty**. Doktorant opracował metodę pozwalającą na wykorzystanie systemu czujników do pomiarów ruchu pracowników budowlanych przy wykonywaniu wybranych zadań i umożliwiającą budowę modelu predykcyjnego postępu robót na budowie.

Należy także stwierdzić, że postawione dwie pierwsze **tezy zostały udowodnione** przeprowadzonymi przez Doktoranta badaniami i wykonanymi analizami. Doktorant wykazał, że:

- pomiędzy częstością ruchu w wybranych punktach pomiarowych a postępowaniem robót zaobserwowano korelację, której siła została oceniona przez Doktoranta jako zadowalająca,
- w produkcji budowlanej, dla analizowanych rodzajów robót zidentyfikowano tzw. „wąskie gardła”, rozumiane jako niewykorzystywanie w pełni przepustowości części ścieżek ruchu robotników. Dla różnych realizowanych robót, lokalizacja tych punktów jest różna.

Co do potwierdzenia lub uzasadnienia tezy trzeciej można mieć pewne wątpliwości. Doktorant wykazał, że dla wybranych prac zauważalne jest znacznie częstsze osiąganie wysokich prędkości w ruchu pieszym i dotyczy to przede wszystkim robót prowadzonych na wyższych kondygnacjach. Brakuje jednak odniesienia do ryzyka wypadków, co zapewne sam Doktorant dostrzeżę, wskazując, że teza trzecia została „częściowo potwierdzona”. Do tej kwestii odniosę się szczegółowo w części dotyczącej uwag merytorycznych.

Realizacja celu i udowodnienie tez wymagały od Autora przeprowadzenia studiów literaturowych, wykazania się wiedzą z obszaru budownictwa, znajomością specyfiki realizacji robót budowlanych, zarządzania budową, metod analiz wielokryterialnych, posiadaniem umiejętności posługiwania się metodami badawczymi i narzędziami matematycznymi w tym: metodą optymalizacji, eksploracji danych i sztucznej inteligencji. Co istotne, Doktorant zaprezentował również wiedzę oraz umiejętności praktyczne w zakresie wdrażania systemu czujników ruchu na placu budowy – technologii, która integruje elementy fizyki, elektroniki, inżynierii oraz systemów automatyki.

Wybrane i zastosowane metody do rozwiązania postawionego problemu badawczego są trafne. Na uwagę zasługuje próba wykorzystania metod inteligencji obliczeniowej, w tym metody uczenia maszynowego, które są obecnie coraz powszechniej rozwijane, a ich zastosowanie w dyscyplinie naukowej, jaką jest inżynieria lądowa, geodezja i transport ma coraz bardziej użyteczny charakter i wymiar praktyczny.

Zastosowana w recenzowanej rozprawie metodyka badań obejmowała następujące etapy:

1. Identyfikację i zdefiniowanie problemu badawczego. Przeprowadzone studia literatury wykazały, że zasadne jest poszukiwanie metody wykorzystującej zdalny system monitorowania ilościowego postępu robót budowlanych, bez fizycznego udziału personelu technicznego.
2. Wybór systemu rejestrowania ruchu pracowników budowy z wykorzystaniem metod analizy wielokryterialnej.
3. Zaproponowanie konstrukcji czujników wraz z własnym oprogramowaniem.
4. Badania wstępne z wykorzystaniem zaproponowanych czujników.
5. Badania właściwe na terenie budowy z wykorzystaniem opracowanego systemu: wybór obiektu prowadzenia badań, wybór lokalizacji czujników, wykonywanie pomiarów.
6. Poszukiwanie modelu prognozy w postaci funkcji wielomianowej z wykorzystaniem algorytmu nieliniowej regresji.
7. Poszukiwanie modelu prognozy z wykorzystaniem metod uczenia maszynowego, w postaci sztucznych sieci neuronowych.
8. Analizę występowania zdefiniowanej w pracy tzw. prędkości niebezpiecznej poruszania się pracowników.
9. Budowę modeli predykcyjnych dla innych - wybranych rodzajów robót.
10. Zastosowanie metody eksploracji danych (tu: analizy asocjacji) dla poszukiwania reguł pomiędzy liczbą pomiarów a wykonywaniem zadań na danej kondygnacji.
11. Badania i analizy ruchu pracowników podczas realizacji zadań krótkoterminowych, trwających maksymalnie jeden dzień.

4.3. Ocena naukowej wartości rozprawy

Mgr inż. Łukasz Rosicki sformułował problem naukowy, wykazał zasadność zbudowania modelu umożliwiającego zdatną, ilościową ocenę postępu robót budowlanych przy minimalnym zaangażowaniu kadry kierowniczej. Proponowane rozwiązanie opiera się na wykorzystaniu systemu czujników monitorujących ruch pracowników budowlanych, co podkreśla potencjał jego praktycznego zastosowania. Należy zauważyć, że opracowana metoda, ma na celu umożliwienie monitorowania realizacji zadań o drugorzędym znaczeniu dla bezpieczeństwa konstrukcji, takich jak np. prace wykończeniowe.

Doktorant opracował autorską metodykę badań i konsekwentnie ją realizował, by osiągnąć zdefiniowany cel pracy.

Podsumowując ocenę merytoryczną rozprawy, do największych osiągnięć naukowych Doktoranta zaliczam:

1. Dobór kryteriów oceny i wybór systemu rejestrowania ruchu pracowników budowlanych z wykorzystaniem metod wielokryterialnych, w tym autorskiej metody opartej na odchyleniu standardowym ocen kryteriów.
2. Zaproponowanie systemu czujników wraz z własnym, autorskim oprogramowaniem.
3. Opracowanie schematu rozmieszczenia czujników oraz trajektorii ruchu pracowników na terenie budowy.
4. Budowę i ocenę dokładności modelu prognozy w postaci funkcji wielomianowej z wykorzystaniem algorytmu nieliniowej regresji.
5. Budowę i ocenę dokładności modelu prognozy w postaci sztucznej sieci neuronowej.
6. Poszukiwanie modeli predykcji dla innych – wybranych robót budowlanych i dla różnych zmiennych opisujących.
7. Zdefiniowanie tzw. prędkości niebezpiecznej ruchu pracowników i analiza jej występowania w poszczególnych punktach pomiaru w czasie realizacji analizowanych robót budowlanych.
8. Wykonanie analizy asocjacji (tzw. analizy koszykowej) w celu poszukiwania zależności między liczbą detekcji a kondygnacją, na której realizowane są roboty budowlane.

5. Uwagi krytyczne.

Przy ogólnej pozytywnej ocenie rozprawy nasuwają się uwagi krytyczne. Mają one charakter dyskusyjny, nie obniżają walorów naukowych, warsztatowych i poznawczych zawartych w treści pracy, jednakże wymagają ustosunkowania się do nich Autora rozprawy.

5.1 Uwagi dotyczące kwestii merytorycznych

1. Proszę odnieść się do sformułowanej tezy: *Tempo i charakter ruchu pracowników na budowie, a w związku z tym, ryzyko wypadków ulega regularnym, mierzalnym zmianom*. Jak sam Doktorant stwierdził została ona jedynie częściowo udowodniona. W mojej opinii, w pracy (z wyjątkiem części literaturowej) nie poruszono zagadnienia ryzyka wypadków w budownictwie. Czego, zdaniem Doktoranta, zabrakło w pracy, aby można było tę tezę dowieść.
2. Proszę Doktoranta o zdefiniowanie użytych w tezach pojęć: *charakter ruchu* i *charakter poruszania się*.

3. Czym kierował się Doktorant identyfikując/ przyjmując w rozdziale 3.2 pięć kryteriów służących do oceny systemów rejestrowania ruchu pracowników na budowie.
4. Na podstawie jakich informacji Doktorant przyjął, że maksymalny dopuszczalny błąd wyrażony w procentach między rzeczywistą wartością, a wartością uzyskaną z modelu na poziomie 20% należy uznać za akceptowalny.
5. Wydaje się, że zdanie: „*Perceptron wielowarstwowy (ang. Multilayer Perceptron, MLP) został wybrany jako typ sztucznej sieci neuronowej z min. liczbą ukrytych warstw ustawioną na 7 a maksymalną 28*” nie jest poprawne. Wymienione liczby 7 i 28, w mojej opinii, oznaczają liczbę neuronów w jednej warstwie ukrytej, co zresztą Doktorant zapisał w zdaniu: „*W niniejszej analizie stworzono jednak jednowarstwowe sieci neuronowe*”. Jednowarstwowe, to sieci z jedną warstwą ukrytą. Proszę o wyjaśnienie jaka była struktura zbudowanych sieci. Proszę także wyjaśnić sposób projektowania struktury sieci neuronowej, a w szczególności wybór i interpretację liczby neuronów w poszczególnych warstwach.
6. W rozdziale 10 Doktorant przeprowadził analizę koszykową (tzw. analizę asocjacji) służącą do powiązań, skojarzeń pomiędzy konkretnymi wartościami zmiennych. Podstawowe i najważniejsze współczynniki wyznaczone w analizie koszykowej to wsparcie reguły, zaufanie oraz przyrost a także jako dodatkowy parametr - korelacja. Proszę o wyjaśnienie dlaczego, w ramach przeprowadzonej analizy, z grupy czterech parametrów Doktorant zrezygnował z wyznaczenia jednego z podstawowych parametrów - miary przyrostu?
7. W pracy Doktorant zwraca uwagę, że analiza ruchu pracownika budowlanego może obejmować różne aspekty, takie jak efektywność pracy, bezpieczeństwo, zarządzanie czasem i zarządzanie zasobami ludzkimi. W ramach rozprawy uwagę skupiono na efektywności. Czy w związku z przeprowadzonymi badaniami dostrzega Doktorant możliwość ich kontynuacji i wykorzystania uzyskanych wyników do analizy pozostałych parametrów?

5.2 Uwagi dotyczące edycji pracy i poprawności językowej.

1. Przydatne i wartościowe dla zrozumienia pracy są rysunki, szczególnie te zawierające schematy i algorytmy jak np. Rys. 1.1, Rys. 6.2 czy Rys. 6.3.
2. W pracy można odnaleźć można nieliczne, drobne błędy językowe, tzw. literówki np.: str. 86 zamiast „*Punktem wyjścia do opracowania metody oceny wag dla poszczególnych średnich dziennych była liczb przejść ...*” powinno być: „*Punktem wyjścia do opracowania metody oceny wag dla poszczególnych średnich dziennych była liczba przejść ...*”.
3. W pracy regularnie (także w tytułach podrozdziałów) Doktorant stosuje pojęcie: „*oparta / oparte o ...*” np. tytuł podrozdziału. 2.2.2. „*Badania oparte o analizę obrazu*”; tytuł podrozdziału 3.1 „*Autorska metoda oparta o odchylenie standardowe*”, na str. 50 „*Systemy oparte o aparaturę GPS ...*”; lub na str. 51 „*...kolejność alternatyw oparta o badania ankietyzacyjne*”. W tych kontekstach forma „*oparta o*” jest niezgodna z normami języka polskiego. Poprawne użycie wyrażenia to „*oparta na*”, które wskazuje na to, co stanowi podstawę danej metody, działania. Przykład poprawnego użycia to „*Metoda oparta na odchyleniu standardowym*”. Forma „*oparta o*” byłaby poprawna wyłącznie w znaczeniu dosłownym, np. „*drabina oparta o ścianę*”, gdzie odnosi się do fizycznego oparcia.

4. W pracy o charakterze naukowym nie należy stosować formy osobowej, którą Doktorant używa w rozprawie np. na str. 21 „Poniżej przedstawiam podstawowe...”; na str. 45 „Kiedy analizujemy zbiór zdarzeń...” lub „Entropia statystyczna pomaga nam określić..”.
5. Stosowane w pracy pojęcie *alternatywy* jest używane niepoprawnie. Autor odnosi to pojęcie do 4 możliwych wariantów systemów (str. 46). Tymczasem alternatywa to jedna z dwóch możliwości, a zatem wybór spośród dwóch a nie czterech rozwiązań.
6. Dostrzega się w pracy brak konwencji pojęciowej. Szczególnie dotyczy to celu rozprawy. Na str. 15 Doktorant wspomina o metodologii „*Celem niniejszej pracy jest stworzenie metodologii...*” innym razem o modelu np. na rys. 1.1. Ramowy plan badań zapisano: „*Proponowany model*”, a jeszcze w innym miejscu np. na str. 180 we wnioskach wspomina o metodzie: „*Proponowana metoda wykazuje bardzo niską zdolność ...*”
7. Mam wątpliwość co do poprawności tytułu rozdziału 3. *Analiza wielokryterialna rejestrowania zachowań pracowników budowy*. Powinno być raczej: *Analiza wielokryterialna systemów rejestrowania zachowań pracowników budowy*.
8. Na stronie 54 zapisano: *Alternatywy z najwyższym wynikiem dla poszczególnych metod oznaczono pogrubieniem w Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania..* W tabeli 3-12 pogrubienia wyników nie wykonano.

6. Wniosek końcowy

Pomimo sformułowanych wcześniej uwag krytycznych, recenzowaną rozprawę uważam za wartościową i oryginalną. Obok znaczenia naukowego i poznawczego praca ma bez wątpienia charakter użytkowy. Na szczególną uwagę zasługuje potencjał wdrożeniowy wypracowanych rozwiązań zamieszczonych w rozprawie, które wskazują na możliwości praktycznego zastosowania, w tym zaproponowanego systemu oceny postępu robót budowlanych, który może przynieść wymierne korzyści w obszarze budownictwa. W tym przypadku, opracowany przez Doktoranta system składający się z zestawu czujników i autorskiego oprogramowania umożliwił pomiar ruchu pracowników budowlanych przy wykonywaniu wybranych zadań, a uzyskane wyniki posłużyły do budowy modelu predykcyjnego postępu robót na budowie.

Recenzowana rozprawa doktorska mgr. inż. Łukasza Rosickiego:

- **stanowi oryginalne rozwiązanie postawionego problemu naukowego**, zawiera elementy nowości i wnosi wkład w rozwój dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport;
- **prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w wymienionej dyscyplinie naukowej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktoranta z wykorzystaniem odpowiednich metod i technik badawczych.**

W związku z powyższym uważam, że przedłożona przez Pana mgr. inż. Łukasza Rosickiego **rozprawa** pt. „*Modelowanie ruchu pracowników budowlanych w kontekście efektywności realizowania zadań i bezpieczeństwa pracy*” **spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim** określone w *Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*, z późn. zm. **i stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

Agnieszka Leśniak