

Lublin, 8 marca 2025 r.

Dr hab. inż. Piotr JAŚKOWSKI  
Politechnika Lubelska  
Wydział Budownictwa i Architektury  
Katedra Inżynierii Procesów Budowlanych  
20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 40

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

**1. Podstawa formalna recenzji**

Recenzję sporządzono na prośbę Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej, Pana Profesora dr. hab. inż. Konrada Lewczuka, zawartą w piśmie z dnia 06.11.2024 r. (WTBD.521.DR.148.2024), w związku z powołaniem mnie w drodze uchwały podjętej przez Radę Dyscypliny Naukowej ILGiT Politechniki Warszawskiej w dniu 5 listopada 2024 r. na recenzenta w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora Panu mgr. inż. Łukaszowi Rosickiemu.

Podstawę prawną przygotowania recenzji stanowi Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r., poz. 1668, z późn. zm.). Zgodnie z przytoczoną ustawą rozprawa doktorska ma prezentować ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej. Ponadto, przedmiotem rozprawy doktorskiej ma być oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne. Zgodnie z wytycznymi Rady Doskonałości Naukowej pozytywna recenzja musi być wynikiem pozytywnej oceny wszystkich poruszonych zagadnień, które podlegają ocenie recenzenta.

**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 Politechnice Warszawskiej pod kierunkiem Pana dr. hab. inż. Michała Krzemińskiego, prof. uczelni, pełniącego funkcję promotora w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora, oraz Pana dr. inż. Piotra Leona Narlocha, pełniącego funkcję promotora pomocniczego. Postępowanie w sprawie nadania stopnia doktora wszczęto w Dyscyplinie Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport przynależnej do Dziedziny Nauk Inżynieryjno-Technicznych.

### **3. Charakterystyka rozprawy**

Rozprawa doktorska jest pracą pisemną, ma formę książki, w tym zakresie spełnia wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, zgodnie z którą rozprawę doktorską może stanowić praca pisemna, w tym monografia naukowa, zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, praca projektowa, konstrukcyjna, technologiczna, wdrożeniowa lub artystyczna, a także samodzielna i wyodrębniona część pracy zbiorowej.

Praca obejmuje 212 stron, łącznie ze spisem treści, słownikiem stosowanych pojęć, wykazem tabel i rysunków oraz spisem literatury. Rozprawa doktorska jest ponadto opatrzona streszczeniem w języku polskim i angielskim.

Spis bibliografii zawiera łącznie około 186 pozycji, z czego większość to opracowania anglojęzyczne. Spis literatury obejmuje głównie artykuły naukowe, monografie i akty prawne. Pozycje literatury zestawiono zgodnie z kolejnością odwoływania się do nich w rozprawie, co nieco utrudnia analizę wykorzystanych źródeł.

Rozprawa obejmuje 14 numerowanych rozdziałów.

Pierwszy rozdział pracy to wstęp, podzielony na cztery podrozdziały, w których uzasadniono podjęcie tematu i zdefiniowano problem badawczy, przedstawiono przedmiot pracy, wskazano cel i trzy tezy badawcze:

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

W rozdziale tym przedstawiono plan badań oraz scharakteryzowano zawartość poszczególnych części rozprawy.

W Rozdziale 2 dokonano analizy stanu wiedzy w zakresie przedmiotu pracy, w szczególności metod i technik monitorowania przebiegu oraz wyników pracy pracowników w budownictwie i innych działach gospodarki (m.in. badania sondażowe, analiza obrazu, analiza efektów, pomiary ciągłe). Omówiono także podstawy prawne monitorowania miejsc pracy w aspekcie ochrony prywatności pracowników, bezpieczeństwa zgromadzonych danych oraz przestrzegania zasad etycznych. W mojej opinii należałoby zmienić tytuł podrozdziału 2.2.1 – wskazano w nim bowiem głównie trudności w przeprowadzaniu badań bezpośrednio na placach budów oraz skupiono się na scharakteryzowaniu nieinwazyjnych badań sondażowych. Również podrozdział 2.2.5 zawiera informacje wykraczające poza wskazany

zakres w tytule, a dotyczące raczej uzasadnienia podjęcia tematu i roli kontroli pracy na budowie w aspekcie produktywności pracy i bezpieczeństwa.

W studium literatury analizowano również zagadnienie tzw. „wąskich gardeł”, szczególnie w kontekście teorii ograniczeń i identyfikacji najbardziej istotnych czynników wpływających na przebieg pracy.

Ostatnim rozważanym zagadnieniem była analiza stanu badań w zakresie prędkości ruchu pracowników w miejscu pracy i jej wpływu na bezpieczeństwo pracy.

Pozytywnie należy ocenić to, że poszczególne podrozdziały studium literatury kończą się podsumowaniem ze związłą analizą stanu badań oraz wskazaniem luk badawczych.

W Rozdziale 3 zaprezentowano wyniki analizy czterech wariantów systemów monitorowania aktywności pracowników, które można zastosować w badaniach na placu budowy. Ocenę i wybór najlepszego wariantu przeprowadzono na podstawie agregacji ocen cząstkowych metodą sumy ważonej. Rozważano przy tym cztery kryteria istotne z punktu widzenia kosztów badań, ich pracochłonności oraz wiarygodności uzyskiwanych wyników. Wagi poszczególnych kryteriów oceny ustalono przy zastosowaniu metod prezentowanych w literaturze oraz autorskiej metody, która pozwala na zwiększenie istotności kryteriów, dla których występują zróżnicowane oceny cząstkowe poszczególnych wariantów. W wyniku przeprowadzonych analiz dokonano wyboru systemu monitorowania ruchu pracowników na budowie z czujnikami PIR (Passive Infrared), wykorzystującymi technologię detekcji promieniowania podczerwonego. W podsumowaniu tego rozdziału zaprezentowano metodykę przeprowadzania badań z zastosowaniem wybranego systemu monitorowania.

W kolejnym Rozdziale 4 opisano konstrukcję i oprogramowanie czujników stosowanych w badaniach, a także przedstawiono wyniki pomiarów parametrów i zestawiono te wartości z parametrami deklarowanymi przez producentów. Badano m.in. dokładność pomiarów kąta detekcji i odporność czujników na zakłócenia. Po dokonaniu weryfikacji technicznej sprawności czujników i zgodności wyników pomiarów ze specyfikacją producenta zastosowano je w badaniach polowych pomiaru ruchu w budynku Wydziału Inżynierii Lądowej PW – wyniki zaprezentowano w Rozdziale 5. Niestety nie dokonano ich weryfikacji w porównaniu z wynikami uzyskiwanymi z zastosowaniem innych metod (np. obserwacji bezpośredniej, analizy obrazu itp.), lecz oceniono subiektywnie poprawność uzyskiwanych wyników pomiarów na podstawie własnych obserwacji i analiz. Pozytywna ocena jakości uzyskiwanych danych stanowiła podstawę do zastosowania opracowanej metodyki w praktyce – wyniki przeprowadzonych badań, jak również szczegóły proponowanej metodyki monitorowania ruchu pracowników i wnioskowania o postępie robót oraz możliwości wystąpienia zagrożeń bezpieczeństwa pracy, zostały zaprezentowane w kolejnych rozdziałach rozprawy doktorskiej.

Pierwszą serię badań na budowie przeprowadzono w celu budowy modelu predykcji postępu ilościowego w realizacji robót przy murowaniu ścian działowych na trzech kondygnacjach budynku wielorodzinnego. Wyniki pomiarów oraz procedurę tworzenia modelu regresji zaprezentowano w rozdziale 6. Natomiast w Rozdziale 7 podjęto próbę budowy modelu predykcyjnego w programie Statistica z wykorzystaniem sieci neuronowych, jednak ze względu głównie na ograniczoną liczbę pomiarów, nie uzyskano modelu o zadowalającej jakości.

*Man*

W Rozdziale 8 tę samą metodykę badawczą zastosowano w celu predykcji wystąpienia niebezpiecznych prędkości poruszania się pracowników przy murowaniu ścian działowych w kontekście możliwości wystąpienia sytuacji niebezpiecznych.

Podobne badania przeprowadzono dla robót instalacyjnych (instalacje elektryczne) oraz tynkarskich w celu predykcji postępu ilościowego w ich realizacji oraz detekcji niebezpiecznych prędkości poruszania się pracowników. Uzyskane wyniki analizowano w Rozdziale 9, gdzie zaprezentowano modele predykcyjne o największej wiarygodności.

W celu potencjalnego ulepszenia opracowanych modeli przeprowadzono analizę asocjacji pomiędzy liczbą przejść a postępami prac na poszczególnych kondygnacjach. Umożliwiło to wyznaczenie minimalnej liczby przejść świadczącej o realizacji robót na danej kondygnacji i w efekcie na opracowanie reguł pozwalających na zdalną identyfikację miejsca realizacji robót. Wyniki tych badań zamieszczono w Rozdziale 10.

Opracowaną metodykę badań zastosowano ponownie w Rozdziale 11 dla krótkotrwałych procesów i zadań, takich jak odbiory robót oraz drobne prace wewnętrzne i montażowe elementów wykończenia budynku.

Rozdział 12 stanowi podsumowanie otrzymanych wyników i zawiera wnioski końcowe, natomiast w Rozdziale 13 wskazano kierunki dalszych badań. W Rozdziale 14 zamieszczono tabelę z wyjaśnieniem użytych skrótów i nazw anglojęzycznych.

Wszystkie rozdziały zawierają odnośniki do literatury naukowej. Na końcu rozprawy zestawiono bibliografię. W całym opracowaniu zawarto liczne tabele i rysunki ściśle powiązane z tematyką opisywaną w kolejnych rozdziałach. Materiał ilustracyjny zamieszczony w pracy (schematy, tabele, fotografie i rysunki) uważam za celowy, stanowi ważną uzupełniającą treść rolę. Schematy prezentują omawiane zagadnienia, wskazują na zależności pomiędzy poszczególnymi etapami badań czy metod. Zawarte w dysertacji tabele stanowią podstawę do analizy, zawierają liczne wyniki badań, jednak niektóre z nich są zbyt obszerne i mogłyby być zamieszczone w załączniku do dysertacji.

Ogólnie struktura pracy jest logiczna, układ poszczególnych części jest dostosowany do przyjętej metodyki badań. Logiczny układ i uporządkowanie tekstu ułatwia zrozumienie prezentowanej wiedzy.

#### **4. Ocena merytoryczna rozprawy**

W rozprawie jest rozważany problem monitorowania prognozowania postępu ilościowego i zagrożeń bezpieczeństwa w realizacji procesów budowlanych. Zakłócenia w realizacji produkcji budowlanej, na skutek oddziaływania czynników ryzyka o charakterze losowym, mogą prowadzić do opóźnień w wykonaniu procesów oraz wydłużenia czasu realizacji całego przedsięwzięcia i dezaktualizacji wcześniej opracowanych harmonogramów. Redukcja odchyleń od planów jest głównym zadaniem zarządzania operatywnego. Zachodzi wówczas konieczność reakcji – podjęcia działań redukujących odchylenia od planu lub aktualizacji planu. Podejmowane są działania zmierzające do skrócenia czasu procesów jeszcze nie wykonanych (zmiana wariantu technologicznego wykonania procesu, zatrudnienie dodatkowych zasobów, praca w nadgodzinach lub wydłużony tydzień pracy). Projektowanie tych działań w ramach harmonogramowania reaktywnego wymaga posiadania bieżących

*Mam*

danych o postępie w wykonywaniu robót i wystąpieniu opóźnień w realizacji. Bezpośrednia kontrola ilości wykonanych robót przez kadrę kierowniczą budowy jest pracochłonna. Doktorant podjął się opracowania pasywnego systemu monitorowania ruchu pracowników na terenie budowy, który umożliwi na podstawie uzyskanych pomiarów predykcję postępu ilościowego w realizacji robót i dostarczy danych do planowania operatywnego. Biorąc pod uwagę brak uproszczonych metod oceny postępu robót nieingerujących i w ich przebieg oraz zapewniających anonimowość pracowników, należy uznać podjęty temat za istotny praktycznie i stanowiący duże wyzwanie badawcze. W praktyce istnieje również zapotrzebowanie na efektywne metody, o potwierdzonej wiarygodności, umożliwiające monitorowanie i prognozowanie wystąpienia zagrożeń bezpieczeństwa pracy i oceny ryzyka zawodowego. Stanowi to istotne uzasadnienie podjęcia tematu badań i sformułowania celu naukowego i aplikacyjnego rozprawy.

Doktorant zdecydował się na opracowanie podejścia umożliwiającego monitorowanie postępu ilościowego i zagrożeń bezpieczeństwa realizacji procesów budowlanych na podstawie pomiarów ruchu pracowników z wykorzystaniem czujników PIR (Passive Infrared).

Realizacja celu głównego rozprawy wymagała od Autora:

- przeprowadzenia analizy literatury przedmiotu, co pozwoliło m.in. na dobór metod badawczych i wskazanie ograniczeń w stosowaniu praktycznym różnych metod monitorowania pracy na budowie,
- dokonania analizy wielokryterialnej różnych systemów monitorowania ruchu pracowników na budowie,
- ustalenia istotności kryteriów oceny ww. systemów oraz zaproponowania autorskiej metody modyfikacji wag kryteriów z uwzględnieniem zróżnicowania ocen częściowych rozważanych wariantów,
- przeprowadzenia testów dokładności działania czujników ruchu oraz badań pilotażowych,
- opracowania programu i metodyki badań polowych na placu budowy,
- przeprowadzenia badań polowych na realizowanych obiektach budowlanych,
- analizy wyników pomiarów oraz budowy modeli prognostycznych,
- sformułowania wniosków, wskazania ograniczeń opracowanego podejścia oraz kierunków dalszych badań.

**Oceniam podjęty temat i ustalony cel naukowy oraz tezy, zaprezentowane w Rozdziale 1.2, jako zasadne do rozważań naukowych, a wynik badań jako niezwykle użyteczny i oczekiwany w praktyce budowlanej.**

Autor rozprawy zastosował następujące narzędzia i metody badawcze w celu osiągnięcia założonego celu i weryfikacji tez rozprawy:

- przegląd literatury do zbadania stanu dotychczasowej wiedzy dotyczącej analizowanego zagadnienia,
- analiza wariantów rozwiązań przy wielorakości atrybutów oceny,
- określanie istotności kryteriów oceny wariantów rozwiązań,
- język Micropython do programowania obsługi mikrokontrolera analizującego sygnały przesyłane z czujników ruchu,

- bezpośrednie badania pomiarowe na realizowanych obiektach budowanych,
- budowa modeli regresji,
- teoria ograniczeń i analiza „wąskich gardeł”,
- budowa modeli regresyjnych z wykorzystaniem sieci neuronowych i programu Statistica,
- analiza koszykowa.

Większość z nich jest stosowana w budownictwie od wielu lat i jest rozwijana również obecnie. Zastosowane i rozwijane metody badawcze oraz metody i algorytmy rozwiązania analizowanego problemu należy uznać za właściwe. **Mgr inż. Łukasz Rosicki wykazał się umiejętnościami praktycznymi ich stosowania, a ponadto ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport**, np. w zakresie znajomości technologii robót budowlanych, zarządzania przedsięwzięciami i kierowania operatywnego budową, organizacji placu budowy, zasad bhp przy realizacji robót budowlanych, a przede wszystkim kontroli i monitorowania postępu robót itp. oraz innych zagadnień analizowanych w studium literatury.

W wyniku realizacji celu pracy została opracowana metodyka monitorowania ruchu pracowników budowlanych oraz predykcji postępu ilościowego realizacji procesów budowlanych oraz zagrożeń bezpieczeństwa pracy, zilustrowana na schemacie na Rys. 6-1. Zastosowany system monitorowania ruchu zapewnia anonimowość pracownikom budowlanym, zapewnia poszanowanie prywatności pracowników oraz nie ingeruje w przebieg wykonania procesów budowlanych. Z drugiej strony zapewnia pozyskiwanie danych w czasie rzeczywistym oraz ogranicza zadania kadry nadzorującej budowę.

**Doktorant zidentyfikował problem o charakterze naukowym i praktycznym oraz samodzielnie rozwiązał postawione zadanie, wykazując się przy tym umiejętnością samodzielnej pracy naukowej.** Przyjęte tezy badawcze zostały udowodnione i zweryfikowane.

Do głównych osiągnięć Autora rozprawy należy zaliczyć następujące kwestie:

1. Potwierdzenie występowania zależności pomiędzy natężeniem ruchu pracowników budowlanych w wybranych lokalizacjach a postępowaniem ilościowym realizacji wybranych robót budowlanych.
2. Wykazanie, że istnieją specyficzne lokalizacje, w których natężenie ruchu jest znacząco zależne od ilości wykonywanych robót.
3. Możliwość stosowania opracowanej metodyki do identyfikacji zachowań świadczących o wystąpieniu sytuacji niebezpiecznych i zagrożenia bezpieczeństwa pracy.
4. Wykazanie, że dokładność predykcji postępu ilościowego robót wzrasta przy dłuższym czasie ich realizacji.
5. Potwierdzenie na podstawie analiz asocjacyjnych istnienia reguł umożliwiających zdalne rozpoznawanie miejsca lokalizacji robót.

Przy ogólnej pozytywnej ocenie merytorycznej rozprawy nasuwają się pewne pytania i uwagi krytyczne o różnym stopniu ich znaczenia. Mają one charakter dyskusyjny i wymagają ustosunkowania się do nich Autora rozprawy.

Zasadnicze uwagi recenzenta dotyczą następujących kwestii merytorycznych czy formalnych, w wielu przypadkach niezbyt dokładnie wyjaśnionych w rozprawie:

*Mum*

1. Z tytułu pracy można wnioskować, że opracowane modele uwzględniające charakter ruchu pracowników będą analizowane w kontekście efektywności pracy. W jaki sposób Doktorant rozumie to pojęcie? Z Rys. 1-2 wynika, że ocena efektywności pracy jest związana relacją z monitorowaniem czasu pracy oraz wydajności pracowników.
2. Przyjęto tezę, że tempo i charakter ruchu pracowników na budowie, a w związku z tym, ryzyko wypadków ulega regularnym, mierzalnym zmianom. Jakie jest znaczenie poznawcze i praktyczne tego zjawiska? Na jakiej podstawie założono poziom prędkości w ruchu pracowników, który może stwarzać zagrożenie bezpieczeństwa pracy? Czy w trakcie badań wystąpiły sytuacje niebezpieczne?
3. Na jakiej wysokości umieszczano czujniki ruchu? W pracy podawane są różne wartości, np. 1,0–1,2 m na str. 56, 90 cm na str. 68, 0,9–1,3 m na str. 85. Czy wysokość tak ma wpływ na wyniki pomiarów?
4. Zależność przedstawiona wzorem 6-4 ma charakter liniowy,. Dlaczego zatem dalej na str. 89 jest mowa o algorytmie regresji nieliniowej? Czy Autor mógłby zamiast zaprezentowanego kodu programu w języku VBA przedstawić algorytm ustalania wag w formie graficznej?
5. Dokładność metod prognostycznych jest zwykle oceniana za pomocą różnych wskaźników błędów, np. błąd bezwzględny, względny, średni względny, błąd średniokwadratowy)? Które z nich były stosowane do oceny jakości dopasowania w algorytmie opisanym na str. 89?
6. Czy przyjęta dopuszczalna wartość błędu prognozy na poziomie 20 % była wcześniej stosowana w innych badaniach prezentowanych w literaturze? Jest to kryterium oceny modelu przy prognozowaniu dziennej ilości wykonanych robót. Czy procedura iteracyjna poszukiwania wartości wag opisana na str. 91 wpływała na zmianę wartości wskaźników błędów stosowanych w algorytmie opisanym na str. 89?
7. Opracowana metodyka zakłada konieczność przeprowadzania badań na identycznych obiektach, w pierwszej kolejności na jednym, w celu pozyskania danych do budowy modelu regresji. Doktorant nie zaprezentował rzutu analizowanych budynków. W jakim stopniu modyfikacja rzutu drugiego budynku może wpływać na dokładność predykcji? Czy biorąc pod uwagę powtarzalność układów funkcjonalnych budynków jest możliwe stworzenie modelu o małej wrażliwości na zmiany wymiarów rzutu?

Druga grupa uwag dotyczy stosowanej terminologii oraz usterek językowych i edycyjnych (wybrane):

- str. 14 – w budownictwie pojęcie projektu jest raczej zarezerwowane dla dokumentacji projektowej, natomiast powszechnie używa się pojęcia „przedsięwzięcie”;
- str. 15 – zdanie „Celem pracy jest stworzenie metodologii dla systemu czujników ...” wymaga korekty; metodologia to raczej nauka o metodach badań naukowych; podobnie na str. 45;
- str. 38 – powinno być „oczywiście” a nie „oczywiści”;
- str. 38 – brak przecinka przed „a których”;
- str. 59 – powinno być „zdjęcie połączonego zestawu” a nie „zdjęcie połączonego zestaw”;
- str. 82 – korekty wymaga sformułowanie „szkieletowy przebieg badania”;

*Mam*

- str. 83 – w budownictwie zatrudnia się zespoły robocze i brygady a nie „ekipy”;
- str. 83 – tytuł podrozdziału 6.1 „Lokalizacja czujników w kontekście budynku” wymaga korekty.

Tych uwag jest niewiele. Praca jest napisana poprawnie pod względem językowym. Edycja pracy jest staranna.

## **5. Podsumowanie i wnioski**

Pomimo sformułowanych wcześniej kilku uwag krytycznych, uważam recenzowaną rozprawę za bardzo cenną i oryginalną, wnoszącą wkład w rozwój dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport. Wniesione drobne uwagi merytoryczne należy traktować jako dyskusyjne i służące do ewentualnego uwzględnienia w dalszych pracach badawczych i publikacjach.

Przedmiotem pracy jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Rozprawa prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Spełnione są zatem warunki określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

**Stawiam wniosek o dopuszczenie Pana mgr. inż. Łukasza Rosickiego do publicznej obrony przedstawionej rozprawy doktorskiej.**

