

Wrocław, dn. 27.01.2025

Prof. dr hab. inż. Zdzisław Hejducki

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej

Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Łukasza Rosickiego pt.:

„Modelowanie ruchu pracowników budowlanych w kontekście efektywności realizowanych zadań i bezpieczeństwa pracy”

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzję opracowano w związku z uchwałą Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Warszawskiej z dnia 5 listopada 2024 roku.

2. Przedmiot i zakres opracowania

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Łukasza Rosickiego pt.: „Modelowanie ruchu pracowników budowlanych w kontekście efektywności realizowanych zadań i bezpieczeństwa pracy” Promotorem pracy był dr hab. inż. Michał Krzemiński, profesor Politechniki Warszawskiej, Promotorem pomocniczym dr inż. Piotr Leon Narloch.. Przedstawiona rozprawa doktorska obejmuje 212 stron z uwzględnieniem spisu pozycji literaturowych. Podzielona jest na 14 rozdziałów.

Pierwszy rozdział zawiera podstawowe informacje dotyczące uzasadnienia podjęcia przedmiotu badań, celu pracy, tez. Rozdział drugi zawiera szczegółową analizę wiedzy technicznej dotyczącej prezentowanej problematyki. W wyniku przeglądu publikacji znaleziono szereg nierozwiązanych problemów związanych z monitorowaniem pracy pracowników. Wytypowano nierozwiązane zagadnienia i określono obszary badań. W rozdziale trzecim omówiono znane metody wielokryterialnego podejmowania decyzji i zaproponowano autorską metodę bazującą na odchyleniu standardowym prób badawczych. Czwarty rozdział zawiera informacje o zastosowanych czujnikach do badań ruchu

pracowników na placu budowy. W rozdziale piątym opisano wstępne badania testujące z użyciem czujników ruchu w budynku Wydziału, przed ich zastosowaniem na placu budowy. W rozdziale szóstym przedstawiono opis badań i wyniki uzyskane na podstawie obserwacji z zastosowaniem monitoringu. Rozdział siódmy zawiera analizę możliwości zastosowania sieci neuronowych do budowy modelu postępu robót murowych w budynku. Wykorzystano program Statistica. Ósmy rozdział pracy zawiera dane i analizę prędkości poruszania się pracowników na placu budowy jako czynnik zagrażający bezpieczeństwu. W dziewiątym rozdziale przedstawiono wyniki obserwacji postępu robót instalacyjnych i tynkarskich na podstawie liczby przejść pracowników. Rozdział dziesiąty zawiera analizę danych w celu znalezienia reguł umożliwiającą zdalną lokalizację miejsca prowadzenia robót. W rozdziale jedenastym przeprowadzono analizę w celu określenia wąskich gardeł w procesach roboczych. W dwóch ostatnich rozdziałach przeprowadzono analizę i syntezę prezentowanych osiągnięć potwierdzając osiągnięty cel pracy oraz sformułowane na wstępie pracy tezy. Przedstawiono kierunki dalszych badań.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Przedstawiona rozprawa doktorska dotyczy aktualnych zagadnień technologicznych procesów budowlanych, w szczególności badania i ich wyniki służą do budowy modelu oceny postępu robót budowlanych. Praca swoją problematyką wpisuje się w nurt zagadnień prezentowanych w aktualnej literaturze światowej i uwzględnia szczególną specyfikę budownictwa, tj. ograniczenia i zależności technologiczno-organizacyjne występujące w procesie realizacji robót budowlanych. Stanowi ona rozwiązanie zadania naukowego polegającego na opracowaniu modelu obliczeniowego, przeprowadzeniu badań modelowych z zastosowaniem metod analizy danych uzyskanych z pomiarów ruchu pracowników. analizą wyników, oraz ich weryfikacją na podstawie danych rzeczywistych. Dysertacja, stanowiąca spójną, logiczną całość, zawiera analizę porównawczą zastosowanych metod dotyczących ich wyboru do rozwiązania zagadnienia. Określa ich preferencje w odniesieniu do przedstawionego problemu technicznego. Opracowując autorską metodę oceny określono zależności przyczynowo-skutkowe na podstawie danych z czujników śledzenia ruchu pracowników na budowie. Na podstawie zaobserwowanych problemów inżynierskich Autor rozprawy określił cel pracy, uszczegóławiając go sformułowanymi trzema tezami. Celem pracy było określenie metodologii badań ruchu pracowników z zastosowaniem czujników do oceny postępu robót na budowie.

Osiągnięcie postawionego celu i udowodnienie sformułowanych tez wymagało zebrania i analizy oraz standaryzowania informacji. Opracowano własną metodologię badań z zastosowaniem czujników PIR ze schematem sekwencji metod i narzędzi obliczeniowych niezbędnych do realizacji postawionego celu pracy, rys.6.1. Zdefiniowanie problemu inżynierskiego i naukowego pozwoliło na sformułowanie wniosków. W pracy doktorskiej, w sposób właściwy, wykorzystano metodę naukową (analizę i syntezę) do osiągnięcia celu pracy i udowodnienia sformułowanych tez.

Praca wpisuje się w nurt nowego kierunku tj. wnioskowania przyczynowego. Jest to istotne w eksperckich działaniach inżynierskich dotyczących np.: przewidywanych postępów robót.

Według teorii wnioskowania przyczynowego (J. Pearl, D. Mackenzie), istota jej polega na wprowadzeniu rachunku przyczynowości składającego się z dwóch języków. Pierwszy, w postaci diagramów przyczynowych, rys 6.2 i 6.3. służących do określenia tego co wiemy i języka symbolicznego , przypominającego algebrę, do wyrażenia tego co chcemy wiedzieć. Czyli na transformacji danych uzyskanych z czujników PIR w ilość ukończonych robót budowlanych. Służy temu operator, który pozwala na zadanie właściwego pytania, co ma miejsce w rozważaniach Doktoranta. W rozprawie zastosowano sieci neuronowe typu MLP do porównań z rzeczywistym rozwojem frontów robót. Istnieje wiele rodzajów sieci neuronowych różniących się strukturą i zasadami działania. Najpopularniejsza architektura systemu komputerowego sieci to wielowarstwowy perceptron MLP. W wielowarstwowym perceptronie w każdym z neuronów realizuje się pewna transformacja liniowa wejściowego wektora. Neurony te wyznaczają ważoną sumę wartości wejściowych, a następnie odejmują od tej sumy wartość progową. Wynik jest poddawany działaniu nieliniowej funkcji aktywacji, najczęściej sigmoidalnej. Prowadząc obliczenia z zastosowaniem automatycznych sieci neuronowych można wygenerować jako wynik obliczeń tabele z zestawieniem aktywnych sieci neuronowych oraz ich parametrów (np. w programie STATISTICA jak u Autora rozprawy). Zwykle, jako wynik obliczeń wybiera się pięć sieci o najmniejszych błędach uczenia, testowania i walidacji. Dobre wyniki uzyskuje się dla ponad 100 przypadków dla każdej zmiennej. Warunek ten w rozprawie nie jest spełniony. Jednakże uzyskanie błędu MAPE poniżej 3%, co jest sprawdzianem skuteczności modelu, wymaga jakości uczenia bliskiej jedności. Na podstawie danych z literatury przedmiotu, już MAPE w przedziale 10%-15%, wskazuje na prognozy mało dokładne, na granicy odrzucenia. Stąd pojawiają się wątpliwości o efektywności zastosowania SSN i potrzeby porównania z innymi metodami prognostycznymi. Zapewniłoby to pełniejsze uzasadnienie lub nawet zaprzeczenie przyjętej tezy, co było by, moim zdaniem, znaczną wartością poznawczą pracy.

Metoda ma jednak ograniczenie uniwersalności - nie uzyskuje się wyników w postaci wzoru regresyjnego. W odróżnieniu od klasycznej statystyki podsumowującej dane, wnioskowanie przyczynowe posługuje się wyrażeniem kontrafaktycznym, służącym do ustalania przyczyn drogą algorytmizacji. W swojej pracy Doktorant zbudował modele przyczynowe ustalające wpływ ruchu pracowników na postępy robót w procesie budowy. Wydaje się jednak, że pomimo określenia danych z czujników PIR zakres obliczeń jest niepełny do ich weryfikacji. Można je traktować jako badania wstępne, pilotażowe.

Rozprawa doktorska poszerza obszar badawczy i implementacyjny o nowe ujęcie umożliwiające uwzględnienie czynników automatyzujących proces budowy i podnoszący bezpieczeństwo pracowników.

Zagadnienie jest bardzo trudne z uwagi na sposób i liczbę uzyskiwania danych wejściowych, niezbędnych do oszacowania postępu robót. Podjęto próbę opracowania algorytmu obliczeniowego pozwalającego zdalnie szacować postępy robót w odcinkach czasowych. Rozprawa doktorska podaje sposób rozwiązania problemu poprzez zastosowanie nieliniowej regresji i iteracyjne poprawki. Należy jednakże pamiętać, że istnieją również inne sprawdzone metody obliczeń.

Ważność i aktualność tych zagadnień potwierdzana jest licznymi publikacjami, konferencjami, które odbywają się w różnych miastach akademickich na świecie. Zagadnienia badań operacyjnych, w obszarze których znajdują się problemy są aktualnym i ważnym obszarem badań interdyscyplinarnych z udziałem matematyków, informatyków i inżynierów.

Istotnym osiągnięciem pracy jest nie tylko opracowanie autorskiej metody ale również jej walidacja i weryfikacja wyników testowych w warunkach rzeczywistych na placu budowy.

4. Ocena metodyczna

Podjęta tematyka należy niewątpliwie do podstawowych zagadnień modelowania procesów realizacji obiektów budowlanych. W szczególności dotyczy automatyzacji procesów budowlanych, zdalnego szacowania postępów robót. Ma istotne znaczenie poznawcze i praktyczne. Wymaga umiejętności twórczego łączenia wiedzy empirycznej, doświadczenia

zawodowego w określeniu praktycznych zagadnień badawczych jak i stosowanych metod obliczeniowych oraz zastosowań informatycznych.

Udowodnienie tez i osiągnięcie sformułowanego celu rozprawy wymagało opracowania odpowiedniego aparatu badawczego, zebrania i analizy oraz syntezy informacji naukowej i technicznej, tworzącej bazę danych. Posłużyły one do identyfikacji szczegółowych problemów, budowy modeli i ich weryfikacji, oraz interpretacji rezultatów obliczeń. W pracy doktorskiej, wykorzystano metodę naukową do udowodnienia sformułowanych tez tworząc schemat metodologiczny porządkujący proces analizy, wydzielając zagadnienia cząstkowe do uzasadnienia poprawności opracowanej metody szacowania postępów robót na podstawie danych uzyskanych z czujników ruchu.

Zaproponowana metodologia badań posłużyła do osiągnięcia założonego celu rozprawy

Z uwagi na podjęty temat pracy o charakterze technologiczno-inżynierskim z zastosowaniem poprawnych narzędzi obliczeniowych, praca jest aktualna, zarówno poznawczo jak i aplikacyjnie. .

Cel pracy jak i udowodnienie sformułowanych tez zostało przeprowadzone metoda naukową: analizy syntezy i oceny. Ocena metodyczna rozprawy wskazuje, że treść pracy jest w zgodna z jej tytułem. Tytuły rozdziałów i podrozdziałów dają syntetyczny pogląd na zawartą w nich treść, są spójne i w logiczny sposób prezentują wywody Autora. Liczny spis literatury świadczy o rozeznaniu Doktoranta w szerokiej problematyce. Metoda rozwiązania zagadnienia naukowego jest poprawnie uzasadniona metodologicznie ze względu na sformułowany cel i zakres badań. Opracowana autorska metoda wraz z jej weryfikacją i walidacją są potwierdzeniem sformułowanych tez pracy. Temat pracy został określony i uzasadniony w sposób jednoznaczny, wyznaczając nowy obszar pod względem treści, a założenia mieszczą się w zakresie obecnego stanu wiedzy. Rozprawa rozszerza obszar wiedzy interdyscyplinarnej w budownictwie. Umożliwia, przez wykorzystanie modelowania procesów opracowanie autorskich aplikacji komputerowych, formuł matematycznych, algorytmów obliczeniowych, rozwiązanie szeregu zagadnień inżynierskich. Ważnym elementem w pracy doktorskiej jest przegląd literatury z analizą i uporządkowaniem wiedzy. Zapewniło to uzasadnienie sposobu rozwiązania przedstawionego problemu oraz opracowanie metodologii badań.

Uwagi.

Dysertacja została przygotowana bardzo lakonicznie, syntetycznie. Brakuje ścieżek myślowych łączących wyniki obserwacji czujnikami PIR z wynikami zamieszczonymi w tabelach, nawet dla pojedynczego przykładu zastosowania. Dla jasności przekazu niezbędne jest przedstawienie

kroków przekształceń liczbowych, choćby przykładowych, zgodnie z rys 6.1. W tabelach zamieszczono liczby bezwymiarowo, jako znormalizowane. Jak zostały wyliczone? Należy to wyjaśnić.

5. Podsumowanie

Rozprawa zawiera wartości poznawcze, metodyczne i użytkowe wnoszące wkład w badania nad doskonaleniem automatyzacji procesów budowlanych, w szczególności zdalnym szacowaniem postępu robót. Jest ona oryginalnym dorobkiem naukowym jej Autora. Gromadzi istotny zasób wiedzy uporządkowanej i syntetycznie dobranej. Rozprawa potwierdza umiejętność Doktoranta w analizie i krytycznej ocenie wiedzy w obranej problematyce, zdolności koncepcyjne i umiejętność doboru metod rozwiązywania problemów. Można stwierdzić, że postawione w pracy tezy zostały udowodnione, a główny cel został osiągnięty.

Recenzowana rozprawa doktorska spełnia więc wymogi Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym, (ze zmianami). Składam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Łukasza Rosickiego do publicznej obrony.

Hydela