

Warszawa, 24.05.2022r.

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. Pauliny Kostrzewy-Demczuk

**pt. „Harmonogramowanie przedsięwzięć budowlanych metodą sprzężeń czasowych w ujęciu
probabilistycznym”**

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą formalną opracowania recenzji jest pismo Dyrektora Naukowego Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Świętokrzyskiej Pana prof. dr hab. inż. Jerzego Wawrzeńczyka z dnia 26 kwietnia 2022 r.

2. Przedmiot recenzji

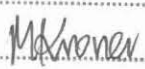
Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pani mgr. inż. Pauliny Kostrzewy-Demczuk pt. „Harmonogramowanie przedsięwzięć budowlanych metodą sprzężeń czasowych w ujęciu probabilistycznym”. Pracę przygotowano na Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej. Promotorem rozprawy jest Pani dr hab. inż. Magdalena Rogalska, prof. PL.

3. Charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska ma formę maszynopisu książki, w tym zakresie spełnia wymagania Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. Zasadnicza część pracy obejmuje 284 stron maszynopisu, łącznie z rysunkami, tablicami, spisem literatury, spisem treści i streszczeniem w języku polskim i angielskim. Uzupełnienie pracy stanowią dwa załączniki, umieszczone na płycie CD dołączonej do rozprawy. Załącznik nr 1 to aplikacja PCTM wykonana jako gotowy do pracy arkusz kalkulacyjny

wpłynęło dnia:

Data 2022 -05- 3 0

Podpis 

programu MS Excel, załącznik nr 2 plik tekstowy zawierający krótkie objaśnienie działania opracowanej aplikacji.

Rozprawa w pierwszej części obejmuje wprowadzenie do problematyki rozprawy. Określono tu cel i zakres rozprawy, postawiono także tezy pracy. W pierwszej części nakreślono także wykorzystywaną w opracowaniu metodykę badań oraz narzędzia. Drugą część pracy stanowi analiza stanu badań dotyczących metod harmonogramowania przedsięwzięć budowlanych. Rozdział został podzielony na trzy zasadnicze podrozdziały, w pierwszym opisano zagadnienie harmonizacji pracy, w drugim metody harmonogramowania przedsięwzięć budowlanych a w trzecim metody harmonogramowania dedykowane dla potokowych metod organizacji pracy. Trzeci zasadniczy rozdział również należy zaliczyć do analizy stanu badań, zostały w niej opisane metody sprzężeń czasowych wykorzystywane przy opracowywaniu organizacji prac budowlanych. Rozdział czwarty to już połączenie części studialnej z własną pracą badawczą Autorki. Opisano w nim współczynnikową metodę prognozowania czasu procesów budowlanych oraz wykonano obliczenia na potrzeby doktoratu z wykorzystaniem właśnie tej metody. Rozdział piąty zawiera opracowane dla celów doktoratu harmonogramy wykonane z wykorzystaniem metody współczynnikowej wyznaczania czasów trwania oraz metody sprzężeń czasowych. Rozdział szósty to zasadniczy rozdział rozprawy. Doktorantka opracowała w nim trzy nowe metody sprzężeń czasowych w ujęciu probabilistycznym. W rozdziale znajdują się założenia ogólne, dokładne opisy metod wraz z pełną formalizacją matematyczną, wykonane obliczenia których efektem są harmonogramy uwzględniające czynniki ryzyka oraz obliczenia walidacyjne nowopowstałych metod. Pracę w części zasadniczej wieńczy podsumowanie, w którym znalazły się podstawowe wnioski oraz kierunki dalszych badań. Kolejnymi elementami są: obszerny spis literatury zawierający 203 pozycje, spis rysunków i tabel i streszczenia w języku polskim i angielskim.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

Problematyka rozprawy dotyczy procesu wspomagania decyzji na etapie przygotowania projektu realizacji inwestycji. W szczególności Autorka skupiła się na procesie opracowywania harmonogramu robót dla przedsięwzięć organizowanych metodami potokowymi. W pracy skoncentrowano się na zastosowaniu metod sprzężeń czasowych w z uwzględnieniem czynników ryzyka. Praca dotyczy zatem opracowania metod planowania robót z wykorzystaniem metod sprzężeń czasowych w ujęciu probabilistycznym. Takie zagadnienia mieszczą się zdecydowanie w obszarze badań charakterystycznym dla inżynierii przedsięwzięć budowlanych. W pracy w sposób

właściwy przyjęto szereg ograniczeń wynikających ze stosowania metod potokowych przy organizacji robót budowlanych.

Autorka zarówno we wstępie, jak i w analizie stanu wiedzy z zakresu, właściwie uzasadniła potrzebę prowadzenia dalszych badań w tym obszarze. We wstępie w sposób wyczerpujący opisał aktualny poziom wiedzy i umiejętności z obszaru dotyczącego harmonogramowania robót z wykorzystaniem metod sprzężeń czasowych w ujęciu deterministycznym, wskazując obszar, w których należy w dalszym ciągu prowadzić badania mające na celu ich udoskonalenie. Poprawnie przeprowadzona analiza literaturowa, również uzasadniająca podjęcie tematu, została opisana szerzej w dalszej części recenzji.

Autorka poprawnie i dokładnie określił cel rozprawy, jakim jest opracowanie probabilistycznych metod sprzężeń czasowych wykorzystywanych w organizacji robót budowlanych. Metody te umożliwiają uwzględnienie czynników ryzyka, które wpływają na czas realizacji poszczególnych robót a co za tym idzie na czas realizacji całego przedsięwzięcia. Autorka zajęła się trzema metodami sprzężeń czasowych dla których opracowała modele w ujęciu probabilistycznym. Takie podejście pozwoliło na opracowanie kompletnego zestawu metod, które umożliwiają opracowywanie harmonogramów ze względu na czas realizacji, ciągłość pracy brygad i ciągłość pracy na działkach roboczych. Autorka przyjęła słuszne założenie, że na czas trwania danej czynności ma wpływ z reguły więcej niż jeden czynnik ryzyka. Opracowana metoda pozwala na uwzględnienie wpływu wielu czynników ryzyka jednocześnie. Dodatkowo Autorka opracowała program komputerowy pozwalający na wykonanie obliczeń. Program będący nakładką na arkusz kalkulacyjny Excel sprawia, że efekty pracy mogą być wykorzystywane w praktyce. W końcowej części wprowadzenia znalazł się rysunek nr 1 na którym poprawnie pokazano metodykę badań jaka została zastosowana w rozprawie. W pracy postawiono dwie poprawnie sformułowane tezy, które zostały udowodnione.

W dzisiejszych czasach dostęp do informacji, a co zatem idzie do publikacji naukowych, można uznać za wręcz nieograniczony. Autorka w swoim opracowaniu wykonała dużą pracę z zakresu przeglądu literatury tematu. Analiza stanu badań dotyczących metod harmonogramowania przedsięwzięć budowlanych, została podzielona na trzy części i zawiera 203 pozycje literaturowe. Znalazły się tu zarówno pozycje autorów polskich jak i zagranicznych. W analizie poprawnie opisano zagadnienie harmonizacji, metody deterministyczne oraz probabilistyczne wykorzystywane w harmonogramowaniu przedsięwzięć budowlanych. Całość analizy literaturowej tematu wieńczy podsumowanie, jest ono opracowane poprawnie. Znalazły się w nim jednak pewnego rodzaju skróty myślowe z którymi nie do końca się zgadzam. Chodzi o

stwierdzenie, że klasyczna metoda CPM jest obecnie rzadziej stosowana i o drugi dotyczący tego, że analiza ryzyka jest zagadnieniem szeroko rozpatrywanym w ostatnich latach. Jeżeli chodzi o zarzut dotyczący ryzyka to jest to zagadnienie szeroko badane, ale już od około dwudziestu lat. Podsumowanie to jednak jak najbardziej wskazuje na możliwość, a nawet konieczność prowadzenia dalszych badań w tym temacie.

Kolejnym elementem rozprawy są zamieszczone w rozdziale trzecim opisy klasycznych metod sprzężeń czasowych. Decyzję autorki o wyborze tego zagadnienia uważam za słuszną i ciekawą z punktu widzenia prowadzenia badań w zakresie inżynierii przedsięwzięć budowlanych. W rozdziale opisano trzy podstawowe metody sprzężeń czasowych. Opisy są poprawne pod względem metodycznym, są pełne i wyczerpujące. Niemniej dla osób posługujących się na co dzień metodami sieciowymi są dość wymagające. Natomiast zawarte w podrozdziale 3.5. przykładowe cyklogramy bardzo dobrze przedstawiają zagadnienie. W ocenie recenzenta jak najbardziej można się nimi posługiwać podczas prezentacji zagadnienia również kadrze inżynierskiej a nie tylko naukowej.

Następny rozdział rozprawy dotyczy opisu metody wieloczynnikowego prognozowania czasu procesów budowlanych. Autorka we wstępie stwierdza, że wyznaczanie czasów trwania czynności w oparciu o katalogi nakładów rzeczowych może okazać się niewystarczające. Jako przyczynę tego stanu rzeczy podaje, że KNR-y podają czasy średnie i że nie były aktualizowane. Recenzent w pełni zgadza się, że opieranie się jedynie o czasy średnie może być błędne, niemniej zauważa, że w przypadku aktualności katalogów należałoby zrobić rozróżnienie na te klasyczne typu 2-01, 2-02 i na te nowe opracowane cały czas przez różne firmy dostarczające materiały i rozwiązania techniczne. W podrozdziale 4.1. znalazł się pełny i poprawnie wykonany opis modelu prognostycznego wraz z metodyką obliczeń. Duży wkład własny pracy Doktorantki można zauważyć w podrozdziale 4.2 w którym przedstawiono przykład zastosowania opisanej wcześniej metody. Wkład pracy autorki w tej części nad badaniami typu wdrożeniowego dla nowej metody pokazują dane zebrane w podrozdziale 4.2.8 w którym porównano dane wyznaczone z zastosowaniem omawianej metody z danymi zgromadzonymi podczas obserwacji prowadzonych na budowie. Wyniki porównania różnych metod wypadają korzystnie dla metody współczynnikowej, wydaje się jednak, że rozbieżność/zaniżenie dwukrotne czasów z wykorzystaniem KNR jest nietypowe, rozwój technologii sprawia raczej, że KNR-y zawyżają normy czasu a nie zaniżają. Taki stan rzeczy możliwe, że jest powodowany faktem, że elewacja była malowana na dwa kolory w „pasy”. Niemniej zarówno tabele w których zestawiono wyniki jak i

podsumowanie rozdziału 4 zostały wykonane przejrzysto i świadczą o bardzo dobrym opanowaniu przez Autorkę metody wieloczynnikowego prognozowania czasów trwania.

Kolejnym rozdziałem rozprawy było wykonanie harmonogramów z wykorzystaniem metod sprzężeń czasowych z zastosowaniem metody wieloczynnikowej modelowania czasów trwania. Autorka w tym zakresie wykonała harmonogramy trzema metodami TCM I, TCM II i TCM III. Harmonogramy te zostały opracowane w kolejnych rozdziałach od 5.1 do 5.3. Na koniec każdego z podrozdziałów opracowano tabelę pokazującą wyniki obliczeń skonfrontowane z wynikami obserwacji. W podsumowaniu rozdziału 5.4 pokazano zbiorczą tabelę zawierającą wszystkie wyniki zebrane w całość. Był to zabieg bardzo ważny zdaniem recenzenta, ponieważ pokazuje bardzo jasno, że w tym sposobie harmonogramowania który nie jest obecnie szczególnie popularny drzemie duży potencjał aplikacyjny.

Zasadniczą część rozprawy doktorskiej Autorka zawarła w rozdziale szóstym. To właśnie tutaj znalazł się opis nowo opracowanych przez nią probabilistycznych modeli sprzężeń czasowych. Rozdział rozpoczyna się krótkim opisem probabilistycznych technik planowania sieciowego. Doktorantka w sposób bardzo przejrzysty przedstawiła trzy najpopularniejsze metody planowania sieciowego, metodę łańcuch krytycznego, metodę harmonogramowania predyktywnego i metodę PERT. Taki opis pokazuje dobrą znajomość tematyki. Następnie w rozdziale 6.1 przedstawiono podstawy i założenia jakie zastosowano i przyjęto podczas tworzenia nowej metody. We wzorze na sumę odchyłeń standardowych wkładła się oczywista omyłka, mianowicie po lewej stronie lepiej byłoby wpisać np. sigmę tau. Naturalnie takich omyłek nie znajdziemy już w trzech najważniejszych zdaniem recenzenta podrozdziałach od 6.2 do 6.4 gdzie znajdują się pełne opisy zawierające poprawną formalizację matematyczną trzech opracowanych metod. Opisy są czytelne a nowo opracowane metody zostały skonstruowane w sposób jak najbardziej logiczny. Opracowane metody są dużym dodatkiem do tradycyjnych metod sprzężeń czasowych, ponieważ sprawiają, że stają się one pełnoprawnym narzędziem do wykonywania harmonogramów budowlanych w ujęciu probabilistycznym. Autorka w dalszej części rozdziału pokazała przykład zastosowania, który jest kontynuacją przykładu prezentowanego wcześniej. Takie podejście do pracy czyni ją bardzo przejrzystą i przyjemną w odbiorze. Następnie zostały przeprowadzone badania walidacyjne dla nowo opracowanej metody, wyniki tych badań pokazały, że nie ma w niej błędów logicznych jak również uzyskiwane wyniki są zbieżne z wynikami uzyskiwanymi innymi klasycznymi metodami. Doktorantka w ramach swojej pracy napisała również program komputerowy działający w środowisku MS Excel. Program tego typu jest bardzo

istotnym elementem opracowania, ponieważ umożliwia on implementację opracowanych algorytmów do rzeczywistego zastosowania w warunkach budowlanych.

Pracę kończy ostatni rozdział, podsumowanie i wnioski. Wnioski z pracy zostały opisane właściwie, Autorka skupiła się zdecydowanie na najważniejszych aspektach swojej pracy. Podane w tym rozdziale kierunki badań także wydają się jak najbardziej słuszne.

Mgr inż. Paulina Kostrzewa-Demczuk 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 sformułowanych tez pracy. Do szczególnie istotnych osiągnięć naukowych doktorantki zaliczam:

- Opracowanie trzech nowych metod sprzężeń czasowych w ujęciu probabilistycznym. Opracowane metody posiadają kompletną formalizację matematyczną oraz oprogramowanie umożliwiające implementację do rzeczywistych warunków budowlanych.
- Rozwinięcie nauki o harmonogramowaniu robót budowlanych w zakresie wykorzystania metod sprzężeń czasowych poprzez uzupełnienie ich o część odpowiadającą za ujęcie probabilistyczne.
- Przeprowadzenie pełnego przykładu zastosowania metody wraz z walidacją wyników. Wykonanie tego typu zadania jest czasochłonne i wymaga dużego nakładu pracy na badania terenowe.

Oceniając pracę nasunęły mi się również uwagi krytyczne. Chciałbym jednak zwrócić uwagę, że nie umniejszają one osiągnięć Autorki. W niektórych przypadkach chciałbym je jedynie zasygnalizować, w niektórych prosiłbym Autorkę o ustosunkowanie się do nich:

1. Na stronie 107 pracy Autorka napisała, że w związku z wysoką korelacją pomiędzy zmiennymi „Powierzchnia otworów okiennych i drzwiowych” i „Liczebność brygady roboczej” należy jedną z tych zmiennych usunąć. Jak wybrać którą? Jakim przesłankami należy się kierować?
2. W szeroko przeprowadzonych obliczeniach związanych z prognozowaniem czasów różnymi metodami regresji zastosowano opis zmiennych w postaci v1-v8, nie jest to czytelny sposób, lepiej pracuje się na opracowaniach, gdzie występują zmienne opisane słownie a nie symbolami.

3. W nagłówku tabeli 15 zabrakło jednostek oraz można było dodać tablicę przywoływanego w tabeli KNR-u. Chcąc jednak dopytać pragnę się upewnić czy przyjęta w tabeli liczba robotników była tożsama z liczbą robotników pracujących na badanej budowie?
4. Jak były gromadzone dane i na ile pracochłonny był to proces? Jak można by ten proces usprawnić tak aby nie generował on znaczących kosztów?
5. Czy Pani zdaniem zebrane informacje dla danego wykonawcy będą użyteczne jedynie pod warunkiem pracy na podobnych obiektach tym samym zespołem ludzi czy może są to dane bardziej uniwersalne, np zależne jedynie od rejonu kraju i/lub struktury organizacyjnej firmy wykonawczej?
6. Na stronie 222 pod tabelą znajduje się podsumowanie uzyskanych wyników. Jakie jest Pani zdanie aby zasugerować, że właśnie bazując na obszernej analizie zebranych danych statystycznych, w których jako najbardziej prawdopodobny czas PTCM przypisywany jest czas z MMSM TCM powinno się dla podniesienia konkurencyjności wybierać harmonogram zbudowany w oparciu o czasy najbardziej optymistyczne?
7. Jak dokładnie zamodelowano wykorzystane w ocenie rozkłady w programie RiskProjectProfesional, prosiłbym o pokazanie wybranego rozkładu wraz z omówieniem jego wartości.
8. W jaki sposób wyznaczono wartości ostatniej kolumny w tabelach znajdujących się na stronach 227, 232 i 237?
9. W odczuciu recenzenta w rozdziale 6.6.3 dobrym sposobem pokazania poprawności modelu byłoby wpisanie czasów dla procesów jednorodnych oraz porównanie wyników z tymi uzyskiwanymi przy zastosowaniu reguł SPT i LPT.
10. W metodach potokowych kiedy uzmienniamy czasy trwania możliwe jest to że będą one wpływały na kolejność realizowanych działek roboczych. Czy w Pani metodzie również obserwuje Pani to zjawisko?

Uwagi do programu komputerowego:

1. Powinno być opcja gromadzenia danych do wyznaczania odchyleń standardowych
2. Zabrakło mi tabelki którą stosunkowo łatwo wygenerować czyli Nazwy czynności z poprzednikami i czasami trwania – taka tabelka byłaby dobra dla potrzeb „kopiowania” wyników do programu typu MS Project.
3. Można pomyśleć o dodaniu większej liczby sektorów/działek roboczych.

Uwagi edytorskie, na wstępie pragnę zaznaczyć że znalazłem ich naprawdę niewiele, uważam, że praca została wykonana starannie. Jedyną, na którą rzeczywiście chciałbym zwrócić uwagę, dotyczy braku podpisu pod rysunkami dotyczącego ich źródła. Naturalnie po zapoznaniu się z pracą zdaję sobie sprawę że znaczna większość została opracowana przez Autorkę.

5. Podsumowanie i wnioski

Pomimo sformułowanych wcześniej uwag krytycznych, uważam recenzowaną rozprawę za bardzo cenną i oryginalną, wnoszącą wkład w rozwój dyscypliny inżynieria lądowa 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. Paulinę Kostrzewę-Demczuk rozprawa doktorska pt. „Harmonogramowanie przedsięwzięć budowlanych metodą sprzężeń czasowych w ujęciu probabilistycznym” 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 sprzężeń czasowych harmonogramowaniu przedsięwzięć budowlanych wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Świętokrzyskiej o wyróżnienie niniejszej rozprawy.



Michał Krzemiński