

Dr hab. inż. Bożena Hoła, prof. uczelni  
Politechnika Wrocławska  
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław

Wrocław, dnia 20.05.2019r.

## RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgra inż. Macieja Banacha pt.: *"Interaktywna metoda planowania robót  
montażowych w budownictwie kubaturowym"*

### 1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi pismo Dziekana Wydziału Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii Politechniki Warszawskiej w Płocku, prof. dr hab. inż. Janusza Zielińskiego, z dnia 17 kwietnia 2019 roku, Ldz. PO/14/2019.

### 2. Przedmiot, zawartość i struktura rozprawy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgra inż. Macieja Banacha pt.: *„Interaktywna metoda planowania robót montażowych w budownictwie kubaturowym”*. Promotorem pracy jest dr hab. inż. Roman Marcinkowski, prof. Politechniki Warszawskiej. Rozprawa ma charakter teoretyczno-obliczeniowy i liczy 206 stron. Składa się z 8 rozdziałów, spisu literatury, tabel, rysunków i 2 załączników. Ponadto w rozprawie zamieszczono wykaz stosowanych oznaczeń oraz streszczenia w języku polskim i angielskim.

W rozdziale 1 Doktorant przedstawił problem badawczy, uzasadnił potrzebę podjęcia tematu rozprawy oraz sformułował cel i tezę rozprawy.

Rozdział 2 stanowi przegląd istniejącego stanu wiedzy w zakresie rozwiązywania problemów decyzyjnych w planowaniu robót montażowych. Omówiono w nim metody rozwiązywania problemów logistycznych w zakresie dostaw elementów prefabrykowanych, sposoby rozwiązywania zagadnień planistycznych związanych z pracą maszyn montażowych, metody usprawniania procesów harmonogramowania robót budowlanych oraz ocenę ryzyka

niedotrzymania dyrektywnego terminu zakończenia przedsięwzięcia i sposoby jego zmniejszania. Wskazano również istniejące luki w obszarze badań naukowych dotyczących podjętej tematyki.

W rozdziale 3 Doktorant przedstawił metodykę wyboru rodzaju żurawia montażowego do montażu obiektów w technologii prefabrykowanej. Omówił, zdefiniowane na podstawie badań ankietowych, kryteria decyzyjne istotne dla wyboru żurawia, metody stosowane przy ustalaniu wag poszczególnych kryteriów oraz możliwe do zastosowania w ocenie wariantów decyzyjnych, wielokryterialne metody wspomagające pojęcie decyzji.

Rozdział 4 stanowi główną teoretyczną część pracy. Opisano w nim model systemu decyzyjnego planowania robót montażowych. Przedstawiono modele matematyczne pracy środków transportowych i pracy maszyn montażowych oraz model matematyczny sprawdzenia możliwości montażu ze względu na parametry żurawia.

W rozdziale 5 przedstawiono koncepcję oprogramowania wspomagającego planowanie robót montażowych. Opisano opracowany program komputerowy i zamieszczono przykładowe widoki okien monitora.

W rozdziale 6 zamieszczono i przeanalizowano przykład zastosowania systemu do zaplanowania robót montażowych biurowego budynku prefabrykowanego zlokalizowanego we Wrocławiu przy ul. Szczytnickiej 11. Zaproponowano warianty organizacji montażu, przeprowadzono ich symulację i przeanalizowano uzyskane wyniki.

W rozdziale 7 podjęto próbę oszacowania ryzyka przyjętych rozwiązań planistycznych. Analizę ryzyka niedotrzymania terminu dyrektywnego oraz kosztów przeprowadzono przy użyciu programu RiskyProject.

Rozdział 8 zawiera podsumowanie, wnioski końcowe oraz kierunki dalszych badań.

Pracę kończy spis literatury, spis tabel i rysunków oraz 2 załączniki, w których zamieszczono ankietę badawczą oraz formularz badań chronometrażowych.

Po zapoznaniu się z rozprawą stwierdzam, że jej treść jest zgodna z tytułem, struktura dysertacji jest prawidłowa, a przyjęty układ logiczny i typowy dla prac o charakterze naukowym. W rozprawie przywoływano poprawnie 148 pozycji literatury, w tym 70 pozycji w języku angielskim. Praca wykonana jest starannie zarówno pod względem edytorskim jak i językowym. Napisana jest poprawną polszczyzną, w sposób jasny, czytelny i z niezbędnymi wyjaśnieniami stosowanych pojęć i oznaczeń. Dysertacja została zilustrowana dużą liczbą rysunków i tabel. Zauważono nieliczne błędy literowe, które nie mają wpływu na jej merytoryczny i jakościowy odbiór.

### 3. Ocena doboru tematu rozprawy

Planowanie robót budowlanych jest podstawowym działaniem w obszarze zarządzania procesem inwestycyjnym w budownictwie. Końcowym wynikiem tej czynności jest uzyskanie informacji o czasie potrzebnym na wykonanie inwestycji oraz o kosztach z tym związanych. Oba te czynniki decydują o końcowym wyniku finansowym przedsięwzięcia.

Na tempo robót budowlanych, związanych ze wznoszeniem konstrukcji obiektu, istotnie wpływa prefabrykacja. W latach 80-tych XX wieku technologia ta została zaniechana wskutek rosnących kosztów oraz niskiej jakości. Obecnie, po latach stagnacji i zaniechania, wraca do łask. Uczestnicy procesu budowlanego zauważają zarówno techniczne jak i ekonomiczne jej zalety. Technologia prefabrykowana jest intensywnie rozwijana w wielu krajach. Powstają nowe produkty, udoskonalane są materiały, rozwiązania konstrukcyjne, metody projektowania, produkcji i zarządzania procesem inwestycyjnym.

Montaż elementów prefabrykowanych wraz z ich transportem z wytwórni prefabrykatów na plac budowy tworzy jeden ciąg technologiczny. Aby w przebiegu tego kompleksowego procesu zapewnić spełnienie zasad harmonizacji i efektywności ekonomicznej, należy podjąć właściwe decyzje odnośnie do wyboru: rodzajów i liczby środków transportowych oraz rodzaju, liczby i usytuowania żurawi montażowych, a także na bieżąco reagować na wszelkie zakłócenia. Dlatego też, poszukiwanie nowych technik organizatorskich pozwalających podejmować optymalne decyzje w obszarze zarządzania procesem montażu elementów prefabrykowanych jest uzasadnione i konieczne.

Przeprowadzona analiza literatury przedmiotu wykazała, że proponowane przez różnych autorów systemy wspierające podejmowanie decyzji w obszarze procesów budowlanych nie są przystosowane do specyfiki robót montażowych. Na podstawie dokonanego przeglądu literatury oraz doświadczeń własnych związanych z praktyką inżynierską, Doktorant zauważył luki w istniejących rozwiązaniach i zaproponował sposób ich wypełnienia. Dlatego też należy uznać, że podjęty przez Doktoranta kierunek badań zasługuje na pozytywną opinię, jest aktualny, wpisuje się w przedstawiony wyżej obszar badawczy, jest interesujący poznawczo i aplikacyjnie i uzasadniony zarówno z naukowego jak i inżynierskiego punktu.

### 4. Ocena postawionej tezy i osiągniętego celu

W rozprawie na stronie 26 sformułowana została teza i cel pracy. Teza pracy brzmi: *„Możliwe jest opracowanie metodyki planowania robót montażowych umożliwiającej poprawę efektywności ich wykonania w określonych warunkach budowy”*.

Celem podjętych w pracy badań i analiz jest opracowanie systemu wspomagającego planowanie robót montażowych w budownictwie kubaturowym w celu poszukiwania racjonalnych zestawów maszyn stosowanych w danej sytuacji montażowej.

Wskazana w tezie pracy metodyka planowania robót montażowych została opracowana i przedstawiona w rozdziale 4 dysertacji. Uwzględnia ona specyfikę i ograniczenia występujące w transporcie i montażu elementów prefabrykowanych. Na podstawie tej metodyki, Doktorant opracował interaktywny system komputerowy wspomagający podejmowanie decyzji w zakresie doboru zestawów maszyn do montażu prefabrykowanych obiektów kubaturowych. Tym samym, podjęty w pracy cel został osiągnięty. Odpowiedzią na tezę są wyniki wykonanych obliczeń komputerowych. Zrealizowany zakres symulacji komputerowych dla różnych wariantów zestawów maszyn montażowych oraz analiza uzyskanych wyników, potwierdziły słuszność postawionej tezy. Korzystając z zaproponowanego systemu komputerowego możliwe jest wyłonienie, na drodze symulacji komputerowej, zestawu maszyn spełniającego wymagania i jednocześnie ograniczenia realizacyjne. Przyjęty w pracy i zrealizowany zakres analiz teoretycznych i symulacji numerycznych potwierdza prawidłowość postawionej tezy.

## **5. Ocena wartości naukowej rozprawy**

Przedmiotem rozprawy jest problematyka techniczno-organizacyjna dotycząca procesów transportu i montażu elementów prefabrykowanych dla potrzeb budownictwa kubaturowego. W tym obszarze organizacji robót, fundamentalnym zadaniem planisty jest prawidłowy dobór liczby i rodzajów maszyn wykorzystywanych w procesach pracy oraz, w przypadku żurawi montażowych, miejsc ich usytuowania. W celu osiągnięcia wymiernych korzyści ekonomicznych, istotna jest właściwa koordynacja pracy żurawi montażowych i transportu elementów z wytwórni na plac budowy uwzględniająca tempo prowadzenia robót montażowych. Koordynacja robót ma na celu likwidację przestoju w pracy brygad roboczych i maszyn budowlanych wynikających bądź to z przerw technologicznych bądź też zakłóceń w ciągłości dostaw oraz niewłaściwego planowania robót.

Zaproponowana przez Doktoranta metodyka interaktywnego planowania realizacji robót montażowych oparta jest na solidnych podstawach naukowych. Doktorant, do rozwiązania problemów, zauważonych w trakcie badań literaturowych oraz własnych doświadczeń inżynierskich, wykorzystał wiedzę ekspertów, zastosował metody matematyczne z obszaru statystyki i teorii mnogości, wielokryterialne metody wspierające podejmowanie decyzji, programowanie informatyczne oraz metodę Monte Carlo.

W planowaniu robót budowlanych podstawowym zadaniem planisty jest dobór maszyn budowlanych charakteryzujących się wymaganymi parametrami. Z licznego zbioru dostępnych na rynku urządzeń, należy wybrać te, które w określonych warunkach realizacyjnych w najwyższym stopniu spełniają wymagania decydenta. Na podstawie przeprowadzonych, w przedsiębiorstwach budowlanych, badań ankietowych, Doktorant zdefiniował kryteria wyboru maszyn montażowych i określił poziomy istotności zdefiniowanych kryteriów. Następnie, zaproponował, do oceny poszczególnych maszyn montażowych, metodę sumy ważonej SAW i jej rozmyty odpowiednik FSAW, przyjmując założenie że zaproponowana metoda, ze względu na jej aplikacyjny charakter, powinna być prosta w użyciu. Wskaźnikiem oceny maszyny montażowej była obliczona funkcja użyteczności.

W obszarze badań ankietowych doktorant nie ustosunkował się do wielkości próby badawczej, która stanowiła podstawę dokonanych obliczeń i analiz. Należy w tym miejscu podkreślić, że zadanie to jest w dysertacji zadaniem drugorzędym i nie wpływa na jakość i poprawność zaproponowanego modelu. Wspominam o tym tylko ze względu na udokumentowanie wiarygodności wyników otrzymanych na podstawie ankiet.

Główna część pracy poświęcona jest metodyce doboru rodzaju i parametrów technicznych jednostek transportowych oraz żurawi montażowych. W przypadku żurawi montażowych, istotnym analizowanym w dysertacji zagadnieniem jest również wyznaczenie miejsca lokalizacji tych urządzeń na budowie. Doktorant opracował podstawy teoretyczne systemu wspomagającego podejmowanie decyzji w obszarze planowania robót montażowych przedstawiając model i zasady działania podsystemu transportowego oraz model i zasady działania maszyn montażowych. Istotnym elementem w doborze żurawi jest model sprawdzenia możliwości montażu ze względu na konstrukcję żurawia, jego parametry i działające obciążenie, oraz miejsce usytuowania. W przypadku sprawdzania niezbędnego udźwigu żurawia, wprowadzono współczynnik rekompensujący oddziaływanie dodatkowych obciążeń takich jak siły bezwładności i parcie wiatru, równy  $\gamma = 1,5$ . Wiadomym jest, że dodatkowe oddziaływania mają duży wpływ na stateczność maszyny montażowej. Proszę o wyjaśnienie, jakie są podstawy przyjęcia takiej wartości tego współczynnika? Ponadto znane są przypadki utraty stateczności przez żuraw budowlany spowodowane działaniem jeszcze innych nie wymienionych w dysertacji czynników, np. źle wyprofilowanego i niezagęszczonego podłoża gruntowego.

Podsystem transportu elementów prefabrykowanych jak i podsystem ich montażu pracują w systemie cyklicznym. Punktem wspólnym tych dwóch podsystemów jest miejsce

rozładunku/montażu elementów prefabrykowanych. Jest to słaby punkt dla ciągłości i płynności pracy całego procesu, ponieważ zakłócenia w dostawach elementów, spowodowane różnymi czynnikami, mają bezpośredni wpływ na tempo i zakłócenia w procesie montażu. Doktorant bardzo zręcznie ominął to zagadnienie przyjmując założenie, że transport odbywać się będzie w systemie „Just in Time”. Jest to założenie słuszne biorąc pod uwagę aktywną rolę planisty w sterowaniu procesem. Jednak proszę o informację: co spowodowało, że w opracowanym modelu symulacyjnym, model pracy środków transportowych, któremu poświęcono w dysertacji dużo uwagi, nie został zaimplementowany. W punkcie 5 dysertacji znajduje się tylko lakoniczna informacja cyt.: „Zrezygnowano z zaimplementowania modelu pracy środków transportowych, w aspekcie tezy niniejszej rozprawy”.

Przedmiotowy problem analizowano w ujęciu deterministycznym. Na przebieg procesów budowlanych ma wpływ wiele czynników, które powodują, że czasy wykonania czynności roboczych mają charakter losowy. Zjawisko to może wpłynąć na ryzyko niedotrzymania dyrektywnego terminu zakończenia robót budowlanych. Zagadnienie ryzyka związanego z przyjętymi rozwiązaniami planistycznymi zostało omówione w rozdziale 7 dysertacji. Analiza ryzyka została przeprowadzona niezależnie, poza zbudowanym modelem symulacyjnym. W tym obszarze badań i analiz Doktorant skorzystał z dostępnych narzędzi wspomagających analizę ryzyka, a mianowicie programów komputerowych MS Project oraz Riskyproject. Czy widzi Doktorant możliwość zaimplementowania do modelu dodatkowych aplikacji pozwalających na analizę ryzyka z uwzględnieniem losowego charakteru czasu wykonania operacji roboczych?

Przyjęty w rozprawie model interaktywnego systemu wspomagania planowania robót montażowych odzwierciedla analizowany proces i jest poprawny strukturalnie. Korzystną cechą jest to, że jest to narzędzie pozwalające na bieżąco reagować na zauważone zakłócenia w przebiegu procesu poprzez bieżące wprowadzanie korekt do obliczeń. Dzięki temu jest on elastyczny, a ostateczna ocena rozwiązań organizacyjnych pozostawiona jest planiście.

Podsumowując ten fragment recenzji, stwierdzam, że Doktorant wykazał się dużą wiedzą dotyczącą metod analizy złożonych zagadnień naukowych, technik modelowania procesów budowlanych oraz dociekliwością i solidnością badawczą. Opracowany model matematyczno-informatyczny, który jest celem sformułowanym w dysertacji został zbudowany na solidnych podstawach naukowych. W mojej ocenie, łatwość w obsłudze modelu, poprzez stworzenie przejrzystego interfejsu, jest ważnym jego atutem i stwarza możliwość praktycznego wykorzystania w praktyce inżynierskiej.

## 5. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Podczas czytania rozprawy nasunęły mi się pewne pytania, uwagi krytyczne i dyskusyjne oraz zauważyłam drobne błędy edytorskie. Poniżej wymieniam te, które uznałam za najważniejsze:

1. Prefabrykowany obiekt budowlany składa się z elementów o różnych parametrach i wymaganiach technologicznych dotyczących połączeń między nimi. Czy i w jaki sposób, zostały uwzględnione w modelu różnice w połączeniach między elementami różnych rodzajów? Czy istnieje możliwość modelowania przerw technologicznych związanych z twardnieniem betonu w połączeniach między elementami?
2. Każdy model tylko w ograniczonym stopniu odzwierciedla rzeczywistość. Sposób i dokładność uwzględnienia specyfiki badanego procesu w modelu może mieć wpływ na ograniczenia w jego stosowaniu. Proszę o informacje, czy są i jakie są ograniczenia w możliwości stosowania modelu?
3. Założono system logistyczny dostaw prefabrykatów na budowę „*Just in time*”. Czy w modelu informatycznym istnieje punkt sprzężenia między transportem elementów i ich montażem?
4. Czy zastanawiał się Pan nad możliwością i potrzebą, wynikającą np. z praktyki inżynierskiej, zbudowania interaktywnego modelu symulującego współpracę podsystemu transportu z podsystemem montażu.
5. Jak należy rozumieć pojęcie „*współczynnik kształtu*”? W jaki sposób współczynnik ten jest szacowany?

Poniżej zamieszczam kilka uwag dotyczących strony edytorskiej tekstu:

6. Str. 31: czcionka na rys. 2.2 jest bardzo mała, przez co tekst nie jest czytelny. Uwaga dotycząca czytelności dotyczy również rysunków 6.5 i 6.6.
7. Str. 42: niewłaściwie użyto słowo „*sprzęt*”. W omawianej sytuacji właściwym byłoby użycie słowa „*urządzenia budowlane*”.
8. Str. 53: cyt.: „*Planowanie wiąże się z ustaleniem terminowości wykonania poszczególnych robót*”. Powinno być: „*Planowanie wiąże się z ustaleniem terminów wykonania poszczególnych robót*”.
9. Str. 63: cyt.: „*efektywne wykorzystanie posiadanego potencjału produkcyjnego – sprzętu budowlanego*” raczej powinno być „*urządzeń budowlanych*”.
10. Na wykresach 3.3 i 3.7 brakuje jednostek na osiach pionowych.
11. Str. 111: cyt.: „*drogie koszty*” raczej należało napisać „*wysokie koszty*”

## 6. Wnioski końcowe

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Macieja Banacha pt.: „*Interaktywna metoda planowania robót montażowych w budownictwie kubaturowym*” stanowi dobre rozwiązanie postawionego zadania naukowego. Sformułowany w rozprawie cel i teza są zasadne z naukowego i inżynierskiego punktu. Cel został osiągnięty a teza udowodniona. Doktorant wykazał się wiedzą i umiejętnością w zakresie metodyki prowadzenia badań naukowych oraz umiejętnością aplikacji istniejących metod i dostępnych narzędzi informatycznych do rozwiązania postawionego zadania. Przeprowadzone eksperymenty obliczeniowe potwierdziły, że praktyczna implementacja modelu do planowania robót montażowych przyczyni się do zwiększenia efektywności tych robót. Zrealizowane eksperymenty obliczeniowe oraz przeprowadzone analizy wyników są w pełni oryginalne. Analizowane zagadnienie jest bardzo obszerne i zawiera wiele wątków badawczych, które mogą być rozwinięte w dalszych pracach naukowych. Uwagi dyskusyjne i krytyczne zawarte w punkcie 4 i 5 recenzji nie obniżają wartości merytorycznej i ogólnej pozytywnej oceny rozprawy. Stwierdzam, że recenzowana rozprawa wnosi istotny twórczy wkład w przedmiotowym temacie, ma znaczenie naukowe i aplikacyjne.

**Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, iż recenzowana rozprawa spełnia wymogi odnośnie do prac doktorskich zawarte w Ustawie o tytule i stopniach naukowych i tytule w zakresie sztuki z dnia 14.03.2003r. (Dz.U. nr 65, poz. 595, z późn. zm.) i stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

