

dr hab. inż. Roman MARCINKOWSKI, prof. uczelni
Politechnika Warszawska Filia w Płocku
Wydział Budownictwa Mechaniki i Petrochemii
ul. Łukasiewicza 17
09-400 Płock

Płock, 06.05.2019 r.

RECENZJA
rozprawy doktorskiej mgr. inż. Grzegorza Jakubowskiego
pt. „Metodyka wielokryterialnej analizy i wyboru technologii i organizacji
budowy mostów składanych”

Recenzję opracowano na zlecenie Rady Wydziału Inżynierii Lądowej i Geodezji
Wojskowej Akademii Technicznej im. Generała Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie
– pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej i Geodezji
nr WYCH/N/00369/2019 z dnia 16.04.2019 r.

1. Przedmiot, cele i tezy rozprawy

Rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Grzegorza Jakubowskiego „Metodyka wielokryterialnej analizy i wyboru technologii i organizacji budowy mostów składanych” dotyczy optymalizacji planowania technologiczno-organizacyjnego budowy mostów składanych. Autor, na bazie wielu obserwacji procesów budowy mostów składanych oraz zasad i metod optymalizacji decyzji, z uwzględnieniem metod MCDA (multiple-criteria decision analysis), opracował i przedstawił w rozprawie propozycję metodyki analizy rozwiązań technologiczno-organizacyjnych w planowaniu budowy mostów składanych przy uwzględnieniu wielu kryteriów jakościowych. Istotnym osiągnięciem Autora rozprawy jest pokazanie możliwości wykorzystania znanych metod optymalizacji decyzji i metod wielokryterialnej analizy porównawczej do optymalizacji budowy mostów z konstrukcji składanych – z uwzględnieniem technicznych, technologicznych i organizacyjnych warunków realizacji takich obiektów. Autor sformułował następującą tezę „*Zastosowanie metodyki analizy i wielokryterialnego wyboru wariantu technologiczno-organizacyjnego budowy mostu składanego, pozwala wyznaczyć optymalne rozwiązanie technologiczno-organizacyjne budowy w zależności od aktualnych preferencji decydenta i warunków realizacyjnych*”. Wynika z tego, że dążeniem Autora powinno być opracowanie metodyki wyboru wariantu technologiczno-organizacyjnego budowy, metody lub metod optymalizacji takiego wyboru oraz zapewnienie elastyczności modelu decyzyjnego – celem uwzględniania różnych preferencji decydenta i różnych uwarunkowań realizacyjnych (technologicznych, zasobowych, konstrukcyjnych, itp.). Podejście takie jest stosunkowo trudne do opracowania, bowiem wymaga pełnego rozpoznania / identyfikacji tworzywa planowania (mostowych konstrukcji składanych (*mks*), procesów budowlanych, uwarunkowań technologicznych, ograniczeń organizacyjnych, dążeń w planowaniu, itd. Stąd w rozprawie przedstawiono nie tylko metodykę analizy i wyboru rozwiązania technologiczno-organizacyjnego, ale i systematykę konstrukcji *mks*, konstrukcji mostów, rozwiązań organizacyjnych – będących podbudową do formułowania standardów, które w metodyce mogły zostać opisane zmiennymi decyzyjnymi.

Rozprawa stanowi spójne kompletne opracowanie zagadnień służących do sprecyzowania przedmiotowej metodyki, z sprawdzeniem efektywności metod analizy i optymalizacji rozwiązań na realnych przykładach – oczywiście dotyczących budowy mostów składanych.

2. Treść rozprawy

Praca liczy 160 stron, zawiera siedem rozdziałów, bibliografię oraz cztery załączniki. Uzupełniają ją streszczenia w języku polskim i angielskim.

Zasadniczą treść rozprawy stanowią:

- **wprowadzenie (rozdział 1), w którym Autor wstępnie charakteryzuje mostowe konstrukcje składane i proces budowy mostów z tych konstrukcji, formułując na bazie tego opisu cel i zakres rozprawy wraz z uzasadnieniem potrzeby podjęcia badań w sformułowanym zakresie;**
- **charakterystyka mostowych konstrukcji składanych (rozdział 2) – zawierający opis historii i systematykę mostowych konstrukcji składanych – ich rodzajów, układów konstrukcyjnych, charakterystyk eksploatacyjnych;**
- **systematyka rozwiązań technologiczno-organizacyjnych stosowanych w budowie mostów składanych (rozdział 3), z identyfikacją uwarunkowań technologiczno-organizacyjnych i przestrzennych w miejscu budowy mostu składanego oraz sposobów (standardów) wykonywania procesów budowlanych i zasadniczych czynności technologicznych;**
- **wstęp do metod optymalizacji wielokryterialnej (MCDA) (rozdział 4), zawierający wykład na temat zasad formułowania modeli optymalizacyjnych, uogólnioną formę modelu problemu optymalnego wyboru, charakterystykę metod MCDA – istoty podejścia do modelowania problemów i do analiz wielokryterialnych**
- **opis i model zaproponowanej metodyki wielokryterialnej analizy i wyboru wariantu technologiczno-organizacyjnego budowy mostu składanego (rozdział 5);**
- **obliczeniowa weryfikacja metodyki na przykładzie budowy mostu DMS-65 (rozdział 6), z wykorzystaniem indywidualnych (opracowanych przez Autora rozprawy) i ogólnodostępnych narzędzi analitycznych;**
- **wnioski i kierunki dalszych badań.**

W załącznikach przedstawiono poglądowe rysunki rozwoju mostowych konstrukcji składanych i fotografie z realizacji budowy obiektów mostowych oraz informacje techniczne dotyczące dwóch konstrukcji mostowych DMS-65 i MS-54.

W rozprawie można wyróżnić dwie części. W części pierwszej – informacyjnej, przedstawione zostały znane (może nie powszechnie) wiadomości o mostowych konstrukcjach składanych, o rozwiązaniach technologiczno-organizacyjnych budowy mostów z konstrukcji składanych oraz wykład o metodach i technikach optymalizacji i wielokryterialnej analizie decyzji. Druga część - preparacyjna, zawiera metodyki wielokryterialnej analizy i wyboru rozwiązania technologiczno-organizacyjnego budowy mostu z konstrukcji składanych. Części te nie są ściśle ze sobą związane, chociaż uważam, że są potrzebne w pełnym zakresie do opisu propozycji metodycznych optymalizacji technologii i organizacji budowy mostów składanych. Brakuje jednak w rozprawie konkluzji po rozdziałach 2 i 3, (dotyczących budownictwa mostowego z konstrukcji składanych) określających sposób formułowania wariantów technologiczno-organizacyjnych; i podsumowania rozdziału 4, identyfikującego wykorzystane w rozprawie teorie optymalizacji decyzji. Z części pierwszej powinny wypływać wnioski do budowy modeli,

baz wiedzy, formuł algorytmicznych, bowiem docelowo potrzebne jest uogólnienie proponowanej metodyki na wszystkie warianty budowy mostów z konstrukcji składanych, a nie tylko te, które były przedmiotem obliczeniowej weryfikacji metodyki.

W dysertacji wykorzystano 98 pozycji literatury ściśle związanych z treścią rozprawy, co podkreślam in plus z uwagi na niewłaściwą praktykę wielu naukowców wskazywania pozycji literatury które nie mają znaczenia dla rozwiązywanych problemów.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Optymalizacja rozwiązań technologiczno-organizacyjnych budowy jest stosunkowo złożonym i trudnym zagadnieniem. Wiąże się bowiem z obiektem budowlanym, zaproponowanymi rozwiązaniami projektowymi, wymaganiami technologicznymi budowy, warunkami w miejscu budowy, dostępnymi zasobami, uwarunkowaniami realizatorów robót, różnymi dążeniami uczestników / kontrahentów realizujących procesy budowlane. Różnorodność możliwych cech każdej budowy, skłania naukowców do ich zawężania w modelach problemów optymalizacji planów (najczęściej harmonogramów budowlanych), co wpływa na ograniczoną ich użyteczność. Poza tym, cele planistów są bardzo różne i często na tyle niejasne, że trudno je skwantyfikować w formułowanych modelach optymalizacyjnych. Mimo więc wielu prac naukowych dotyczących optymalizacji harmonogramów, proponowane w tych pracach metody nie „przebijają” się do praktyki budowlanej.

Optymalizacja jest wyborem najlepszego rozwiązania z wielu możliwych – dopuszczalnych. Problemem samym w sobie jest określenie właśnie zbioru rozwiązań dopuszczalnych. Wspomniane uwarunkowania sytuacji planistycznej implikują ogrom pracy w dążeniu do ustalenia kompletnego zbioru dopuszczalnych harmonogramów. A ponadto, sytuacje decyzyjne w budownictwie są tak złożone i tak zmienne w toku realizacji budowy, że wykonawcy niechętnie sięgają po zaawansowane techniki planowania, pozostając na stosowaniu komputerowej techniki harmonogramowania przedsięwzięć (z wykorzystaniem modelowania sieciowego) – umożliwiającej dokonywanie ciągłych korekt harmonogramu, eksperymentowania na sekwencjach działań, doskonalenia planu realizacji zadań. Nie jest to jednak optymalizacja planu. Nie można bowiem uznać metod sieciowych planowania jako metod optymalizacji harmonogramów.

Rozprawa dotyczy istotnego problemu – optymalizacji rozwiązania technologiczno-organizacyjnego budowy. Autor rozprawy słusznie wskazał na potrzebę wielokryterialnej analizy w poszukiwaniu najlepszego wariantu technologiczno-organizacyjnego budowy. Zwrócił też uwagę na różnorodność rozwiązań możliwych, złożoność zadania optymalizacji, wynikającą z zależności pomiędzy zmiennymi decyzyjnymi w przestrzeni czasowej harmonogramu przedsięwzięcia. Zdając sobie sprawę z istotnych ograniczeń w harmonogramowaniu przedsięwzięcia (SPP, technologia budowania zapisana MSP, sposoby wykonania zadań, dostępność zasobów), zaproponował sekwencyjne podejście do optymalizacji planu. Polega ono na wyłonieniu z pierwotnie ustalonej listy możliwych wariantów technologiczno-organizacyjnych – wariantów do dalszej analizy - racjonalnych (zredukowanego zbioru wariantów technologiczno-organizacyjnych). Warianty te określają strukturę zadaniową (SPP), technologię budowy (ale nie technologię realizacji zadań), możliwe warianty realizacji zadań i ich koszty. Nie jest to więc lista już opracowanych harmonogramów, a raczej warianty struktur modelowych planowanego przedsięwzięcia. Poprzez analizę tych struktur w toku optymalizacji wyznaczane są warianty technologiczno-organizacyjne o zdefiniowanych technologiach realizacji zadań i ustalonych terminach ich rozpoczynania i kończenia.

Warianty analizowane/racjonalne wprowadza się do analizy proponowaną metodyką optymalizacji. Optymalizacja jest prowadzona dwuetapowo. W pierwszym kolejności optymalizowane są warianty racjonalne przez pryzmat pojedynczych kryteriów – ustalane są najlepsze rozwiązania harmonogramowe (technologie wykonania zadań, a z nimi związane przydziały zasobów oraz koszty) pod względem poszczególnych kryteriów. W drugiej kolejności prowadzona jest analiza wielokryterialna zbioru rozwiązań harmonogramów ustalonych w analizie optymalizacji jednokryterialnej. Można więc stwierdzić, że zbiór dopuszczalnych harmonogramów tworzony jest z najlepszych harmonogramów pod względem rozpatrywanych kryteriów (w rozprawie sformułowano cztery kryteria: czasu realizacji budowy, kosztu realizacji budowy, nakładów pracy żurawia, nakładów robocizny). Przy czterech analizowanych wariantach i czterech kryteriach optymalizacji, zbiór harmonogramów poddanych wielokryterialnej analizie porównawczej wyniósł 16.

Można postawić pytanie, czy taka metodyka prowadzi do wyznaczenia najlepszego rozwiązania z możliwych? Odpowiedź nie może być jednoznaczna. Znane jest bowiem twierdzenie, że optymalizacja lokalna nie prowadzi do rozwiązań optymalnych w wymiarze globalnym. W zaproponowanej metodyce, w etapie optymalizacji jednokryterialnej są wyznaczane harmonogramy stanowiące zbiór rozwiązań najlepszych pod względem określonych kryteriów. Z tego zbioru wskazywane jest rozwiązanie nieprzewyższone w analizie wielokryterialnej. Nie jest to więc prowadzenie optymalizacji lokalnej i globalnej. Trzeba jednak zdawać sobie sprawę, że najlepsze rozwiązania jednokryterialne nie wyczerpują możliwości tworzenia rozwiązań pośrednich np. kompromisowych, a takie rozwiązania, takie harmonogramy, nie są brane pod uwagę w zaproponowanej analizie wielokryterialnej.

Zaproponowana metodyka wielokryterialnej analizy i wyboru technologii i organizacji budowy mostów składanych stanowi potwierdzenie tezy rozprawy. Zawiera się w dwóch etapach. Została w rozprawie przedstawiona na modelu i na realnym przykładzie, przy wykorzystaniu programowania liniowego mieszanego (zmienne binarne i ciągłe) oraz trzech metod wielokryterialnej analizy porównawczej – z zastosowaniem opracowanych indywidualnie i dostępnych powszechnie analitycznych narzędzi komputerowych.

Podsumowując stwierdzam, że Doktorant wykazał się dojrzałą wiedzą dotyczącą harmonogramowania przedsięwzięć budowlanych, metod optymalizacji decyzji i harmonogramów. Zdając sobie sprawę ze złożoności zagadnienia optymalizacji rozwiązań technologiczno-organizacyjnych w budownictwie, wykazał inwencję w opracowaniu tematu (metodyki). Wykazał że ma bardzo dobrze opanowane ww. zagadnienia, tak pod względem przedstawienia istoty, umiejętności modelowania, rozwiązywania i analizy wyników. Świadczą o tym treści rozprawy sformułowane bardzo starannie i kompletnie, w sposób usystematyzowany z niezbędnymi uzasadnieniami. Nie bez znaczenia dla przedstawionej problematyki rozprawy są też w niej zamieszczone wiadomości dotyczące mostowych konstrukcji składanych i metod teorii decyzji.

4. Uwagi i pytania problemowe

Oprócz już sformułowanej uwagi do treści rozprawy że zawiera ona dwie części: część pierwszą – informacyjną i część drugą preparacyjną, nie powiązane ze sobą związkami przyczynowo-skutkowymi – jak to się stosuje w rozprawach naukowych, formułuję kilka pytań i uwag natury ogólnej do propozycji zawartych w rozprawie. Sądzę, że będą one impulsem i kanwą do dyskusji w czasie publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

1. Przedstawiona w rozprawie metodyka optymalizacji rozwiązań technologiczno-organizacyjnych, ma aspekty praktycznego stosowania. Implikuje jednak konieczność wykonania dużej pracy nad

ustaleniem zbiorów wariantów technologiczno-organizacyjnych. W jaki sposób można wspomagać ten proces komputerem, bowiem bez takiej możliwości metodyka nie uzyska zainteresowania wśród praktyków budownictwa.

2. Jakie są szanse na „przełożenie” opracowanej metodyki na wybór wariantów technologiczno-organizacyjnych budowy innych obiektów budowlanych? Proszę podać bariery, możliwości i szanse uogólnienia metodyki na różne przedsięwzięcia budowlane.
3. Zaproponowana metodyka nie uwzględnia rozwiązań kompromisowych w ostatecznym wyborze najlepszego rozwiązania technologiczno-organizacyjnego budowy. Czy można ten mankament usunąć?
4. W rozprawie niezbyt jasno przedstawiono technikę weryfikacji możliwych wariantów technologiczno-organizacyjnych w celu ustalenia wariantów analizowanych (poprzez założenia redukujące wyjściowy zbiór wariantów). Sądzę, że jest to wybór indywidualny planującego. Jeżeli tak nie jest proszę o wyjaśnienie tej kwestii.
5. W analizie wielokryterialnej istotne są wagi kryteriów. Co było podstawą do określenia wag kryteriów zawartych w tabeli 6.28. i jaki wpływ mają wagi na wyniki analizy wielokryterialnej?
6. Po co Autor stosował dwa narzędzia do obliczeń – arkusz kalkulacyjny EXCEL i program Visual PROMETHEE/GALA?

Uwagi szczegółowe:

- na stronie 9 zapisano „Przedstawione w pracy zagadnienia wyjaśniające stanowią krytyczną analizę badań naukowych w zakresie budowy mostów składanych”. Rozumiem, że „zagadnienia wyjaśniające” są zawarte w rozdziałach 2 i 3, w których jednak takiej analizy nie identyfikuję;
- na stronie 11. Autor pisze, że zastosowanie autorskiej metodyki... umożliwia i wspomaga wyznaczenie rozwiązania optymalnego – czy rzeczywiście wspomaga?;
- co to są „prowizoryczne rozwiązania technologiczno-organizacyjne” – str. 11.;
- na str. 36 przywołuje się załącznik nr 3.1. – nie ma takiego załącznika w rozprawie;
- wyszczególnione na str. 53 i 54 kryteria optymalizacji są niedookreślone;
- str. 48 1w. od dołu: jest „...postępowanie...”, powinno być: „...postępowanie...”;
- operatory w wyrażeniach matematycznych nie powinny być pochylane – dotyczy operatorów „P”, „I”, „N”. (str. 69, 72).

5. Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy istotnego problemu, optymalizacji wykonawstwa obiektów budowlanych. Ujmuje nowe podejście do wyboru rozwiązań technologiczno-organizacyjnych budowy. Pan mgr inż. Grzegorz Jakubowski wykazał się dużą wiedzą zarówno w zakresie inżynierii przedsięwzięć budowlanych, jak i w zakresie technik badań operacyjnych. Wykonał przy tym rozległe analizy z wykorzystaniem dostępnych i własnych autorskich narzędzi obliczeniowych. Opracował i przedstawił kompletną metodykę, którą zweryfikował na konkretnym rzeczywistym przykładzie. Budownictwo mostowe z konstrukcji składanych jest pasją Doktoranta. Wykazał się w tym zakresie również dogłębną wiedzą i kompetencjami związanymi z planowaniem organizacji budowy.

Wyszczególnione w recenzji uwagi o charakterze ogólnym i merytorycznym (w większości dyskusyjne) nie umniejszają wartości rozprawy, nie podważają jej ogólnej pozytywnej oceny. Cel pracy został osiągnięty, a teza udowodniona. Tematyka rozprawy zawiera się w dyscyplinie *budownictwo* (w nowym wykazie dyscyplin naukowych – w dyscyplinie *inżynieria lądowa*

i transport). Szczegółowe rozwiązania mieszczą się w specjalności inżynieria przedsięwzięć budowlanych.

Uważam, że przedłożona przez Pana mgr. inż. Grzegorza Jakubowskiego rozprawa doktorska pt. „Metodyka wielokryterialnej analizy i wyboru technologii budowy mostów składowych” stanowi oryginalne rozwiązanie praktycznego problemu przy wykorzystaniu narzędzi naukowych i spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez Ustawę z dnia 14 marca 2003 r. *o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.*

Wnioskuje o dopuszczenie opiniowanej rozprawy do publicznej obrony.



Roman Marcinkowski