

dr hab. inż. Danuta Bryja, prof. nadzw.  
Katedra Mostów i Kolei  
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego  
Politechniki Wrocławskiej

Wrocław, 17.09.2016 r.

## RECENZJA

**rozprawy doktorskiej pt. „Metoda wielokryterialnej oceny przebudowy  
układów torowych na szlakach”, autorstwa mgr inż. Kamili Szwackiewicz**

**Promotor: prof. dr hab. inż. Władysław Koc  
Promotor pomocniczy: dr inż. Zbigniew Kędra**

### 1. Uwagi formalne

Recenzję opracowałam na prośbę Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej, dra hab. inż. Ireneusza Kreji, prof. nadzw. PG – wyrażoną w piśmie z dnia 23.06.2016 r., do którego załączono egzemplarz rozprawy doktorskiej zleconej do zaopiniowania.

### 2. Układ i treść rozprawy

Treść rozprawy o łącznej objętości 159-ciu stron jest podzielona na 8 rozdziałów numerowanych i 2 rozdziały nienumerowane. Pierwszy z rozdziałów nienumerowanych nazwany „Charakterystyką problemu” jest rodzajem wstępu, który zawiera krótkie wprowadzenie do tematyki oraz sformułowanie celu i zakresu rozprawy. Drugi rozdział nienumerowany nazwany „Zakończeniem” podsumowuje treść merytoryczną. Rozdziały pracy są poprzedzone streszczeniem w języku polskim i angielskim, spisem treści oraz wykazem skrótów i oznaczeń. Na końcu rozprawy zamieszczono spis literatury nazwany „Bibliografią”, liczący 136 pozycji rzetelnie i poprawnie cytowanych. Na pierwszych ośmiu pozycjach spisu literatury umieszczono normy, rozporządzenia Ministra, dyrektywy unijne, katalog cen robót kolejowych i tramwajowych.

Tematyka rozprawy dotyczy procesu projektowania modernizacji układów geometrycznych linii kolejowych, ze szczególnym naciskiem położonym na wspomaganie komputerowe. Główny cel pracy Autorka sformułowała jasno i zwięźle na str. 13 jako: „*opracowanie wielokryterialnej metody projektowania i oceny wariantów układów geometrycznych w procesie modernizacji linii kolejowych*”. Tak postawiony cel główny został osiągnięty w dalszych rozdziałach rozprawy.

Za tezę pracy Autorka przyjęła stwierdzenie, że: „*stosowanie nowoczesnych algorytmów optymalizacyjnych stanowi efektywną metodę wspomagającą projektowanie i ocenę wariantów*”

w procesie modernizacji linii kolejowych”. Tę tezę Autorka udowodniła z powodzeniem w ósmym rozdziale rozprawy, na przykładzie działania własnego algorytmu optymalizacyjnego wykorzystującego ideę algorytmów genetycznych.

Pierwszy rozdział rozprawy zawiera podstawowe informacje niezbędne do projektowania układów geometrycznych linii kolejowych, wynikające z literatury podręcznikowej i stosownych przepisów, w tym dyrektyw unijnych. Tam też Czytelnik znajduje interpretację i umocowanie w przepisach określenia „modernizacja linii kolejowej”, z uwzględnieniem znaczenia przebudowy układów geometrycznych w osiągnięciu zamierzonych efektów modernizacji.

Rozdział drugi jest poświęcony algorytmom optymalizacyjnym. Przedstawiono chronologiczny przegląd metod metaheurystycznych stosowanych w zadaniach optymalizacyjnych. Następnie opisano ogólnie ideę działania algorytmów genetycznych, jako że tę metodę wybrano w rozprawie do przeszukiwania i oceny rozwiązań w postaci wariantów przebudowy układu geometrycznego torów kolejowych. Wymieniono kryteria, które mają wpływ na wybór wariantu przebudowy i spośród nich wybrano trzy, zdaniem Autorki najważniejsze, które uwzględniono w rozważanym zagadnieniu optymalizacyjnym. W podrozdziałach 2.4 do 2.6 podano główne założenia metody optymalizacyjnej opracowanej przez Autorkę. Zestawiono parametry opisujące wyjściowy, istniejący układ geometryczny, będący elementem łukowym trasy z krzywymi przejściowymi. Ustalono trzy parametry opisujące warianty przebudowy łuku, przyjmując, że łuk nowo projektowany jest łukiem kołowym o jednakowych długościach krzywych przejściowych (str. 43). Są to: promień łuku, długość krzywych przejściowych i przechyłka. Dalej opisano sposób kodowania osobników populacji (wariantów rozwiązań) i zdefiniowano funkcję celu. Przyjęta funkcja, pełniąca rolę funkcji oceniającej osobniki populacji jest zależna od trzech wcześniej wybranych kryteriów, tj. kosztu cyklu życia szyn kolejowych, objętości robót ziemnych i maksymalnej prędkości pojazdów szynowych na łuku.

W kolejnych trzech rozdziałach omówiono kolejno:

- w rozdziale trzecim – problem kosztu cyklu życia szyn kolejowych na łukach, z odniesieniem do przyczyn ich degradacji połączonym z obszerną analizą ruchu pojazdu po łuku, z objaśnieniem pojęcia LCC (*life cycle cost*) w tym ujęcia normowego, z przedstawieniem uproszczonych metod wyznaczania trwałości szyn i prezentacją przyjętej w rozprawie koncepcji obliczania wskaźnika LCC;
- w rozdziale czwartym – algorytmy obliczania przesunięć osi toru nowo projektowanego względem istniejącego, bazujące na pracach Pani prof. Marii Bałuch, obejmujące różne typy łuków istniejących i projektowanych;
- w rozdziale piątym – przyjętą metodę obliczania zakresu robót ziemnych projektowanej modernizacji, z podziałem na różne przypadki ukształtowania terenu w przekrojach poprzecznych i w profilu podłużnym, z rozróżnieniem na linie jednotorowe i dwutorowe, z uwzględnieniem dwóch sytuacji obliczeniowych zależnych od wielkości przesunięcia osi toru (tj. rozbudowa istniejącego podtorza budowli ziemnej bądź budowa podtorza nowego).

Rozdział szósty jest kluczowy z punktu widzenia realizacji celu rozprawy. Przedstawiono w nim zasady działania opracowanego algorytmu genetycznego, umożliwiającego tworzenie i wybór wariantów projektowych przebudowy układu geometrycznego odcinka łukowego linii kolejowej. Sprecyzowano kolejne etapy działania algorytmu GA, tzn. sposób tworzenia populacji dopuszczalnych rozwiązań projektowych, ustalania listy rangowej osobników populacji, wyznaczania populacji potomnej i zakończenia obliczeń. W szczególności uściślono postać funkcji celu poprzez wprowadzenie szczegółowych definicji współczynników wagowych przypisanych trzem kryteriom, które przyjęto za parametry funkcji. Zaproponowany algorytm wykorzystuje opisane w poprzednich rozdziałach ogólne zasady projektowania, warunki graniczne określone w przepisach i autorskie koncepcje obliczeniowe. Połączone w ten sposób fragmenty rozprawy dają w efekcie spójną *metodę projektowania i oceny wariantów układów geometrycznych w procesie modernizacji linii kolejowych*, co stanowi o realizacji założonego celu pracy doktorskiej.

W rozdziale siódmym Autorka opisała program komputerowy o nazwie MUGO, który przygotowała w środowisku programistycznym .NET.4.0 na podstawie algorytmu genetycznego przedstawionego w rozprawie. Program MUGO spełnia dwie podstawowe funkcje:

- funkcję narzędzia optymalizacyjnego służącego do tworzenia i oceny wariantów modernizacji istniejącego układu geometrycznego linii kolejowej,
- funkcję zaawansowanego narzędzia obliczeniowego do wyznaczania przesunięć osi toru i oceny zakresu robót ziemnych, wspomagającego projektowanie przebudowy odcinków łukowych linii kolejowej.

Opis programu zawiera między innymi skróconą instrukcję obsługi, ilustrowaną przykładami okien dialogowych, które świadczą o zaawansowanym poziomie programistycznym.

Rozdział ósmy zawiera 5 wybranych przykładów obliczeniowych dotyczących przebudowy odcinka łukowego trasy kolejowej, w postaci łuku kołowego z dwiema przylegającymi krzywymi przejściowymi tej samej długości. Przykłady są mocno zróżnicowane, zarówno pod względem sytuacji terenowej jak i geometrii układu istniejącego. Wybrane przykłady pokazują „*korzyści z zastosowania technik wspomagania komputerowego*”, jak trafnie napisała Autorka na stronie 15. Chybiony wydaje się tytuł tego rozdziału: „*Określenie korzyści z projektowanej przebudowy układu – weryfikacja metody na wybranych przykładach*”. Rozdział 8 nie odnosi się bowiem do ogólnie rozumianych korzyści z projektowanej przebudowy układu a przedstawione porównania wariantów przebudowy trudno uznać za weryfikację opracowanej wielokryterialnej metody optymalizacji, jeśli nie określono kryteriów tej weryfikacji. Porównania wariantów projektowych, wyznaczonych jedną z klasycznych metod (nazwaną w pracy mylnie *metodą weryfikacji*), z wariantami wygenerowanymi programem MUGO pokazały natomiast, że zaproponowana metoda wielokryterialnej optymalizacji:

- umożliwia wygenerowanie i wstępną ocenę wielu wariantów przebudowy spełniających założone kryteria a wśród wygenerowanych wariantów można często znaleźć rozwiązania lepsze od znalezionych metodą klasyczną,

- może być przydatna przy wyborze rozwiązania projektowego przebudowy układu geometrycznego linii kolejowej.

Bezspornie zatem, pokazane przykłady obliczeniowe i ich analiza potwierdziły założoną tezę rozprawy. Podobne wnioski Autorka sformułowała w podsumowującym podrozdziale 8.8, zatytułowanym moim zdaniem niefortunnie „Podsumowanie weryfikacji”.

Ostatni rozdział rozprawy „Zakończenie” jest celnie skondensowanym streszczeniem pracy, poprzedzonym krótkim uzasadnieniem istotności podjętej tematyki i zakończonym dobrze wyważonymi wnioskami głównymi świadczącymi o zasadności tezy rozprawy.

### 3. Uwagi o rozprawie

Po wnikliwym przeczytaniu rozprawy nie mam zasadniczych zastrzeżeń merytorycznych. Moje drobne uwagi są następujące:

1. Nie podoba mi się podział treści rozprawy na str. 14, na dwie części – o charakterze „studialnym” i „projektowym”. Taki podział treści cechuje pracę dyplomową magisterską a nie rozprawę doktorską, która jest dysertacją naukową cechującą się inną strukturą. Oczekuję, że w trakcie publicznej obrony Doktorantka przedstawi rzeczywisty podział treści swojej rozprawy, tzn. zgodny ze stanem faktycznym, który jest właściwy.
2. Rozdział pierwszy rozprawy, punkt 1.4 zyskałby moim zdaniem na wartości, gdyby Doktorantka zestawiała w tabeli graniczne wartości parametrów technicznych (np. niezrównoważone przyspieszenie, prędkość podnoszenia koła, przechyłka, itp.), podane w różnych przepisach, z zaznaczeniem hierarchii tych przepisów.
3. Rozprawa byłaby lepiej czytelna, gdyby rozdział drugi zawierał konsekwentnie tylko przegląd algorytmów optymalizacyjnych, jako odniesienie do aktualnego stanu wiedzy. Podrozdziały 2.4 i 2.5 dotyczące szczegółowych założeń algorytmu autorskiego powinny być umieszczone raczej w rozdziale szóstym. Natomiast podrozdział 2.6 zawierający definicję funkcji celu powinien być moim zdaniem potraktowany jako wprowadzenie do algorytmu autorskiego, m.in. uzasadniające pojawienie się kolejnych trzech rozdziałów jako odnoszących się do parametrów funkcji celu.
4. W przeglądzie stanu wiedzy na temat algorytmów optymalizacyjnych (rozd.2) brakuje bardziej szczegółowego opisu przykładów zastosowań algorytmów genetycznych do optymalizacji zagadnień inżynierskich. Problem ten został w rozprawie „skwitowany” tylko dwoma zdaniem na str. 36, z przywołaniem trzech pozycji literaturowych [46], [64], [87] dotyczących transportu szynowego. Szczególnie pożądanym byłoby odniesienie się do rozprawy doktorskiej [87] powstałej na Politechnice Gdańskiej w 2002 roku.
5. Mam wątpliwości co do sposobu wyznaczania zakresu robót ziemnych. Doktorantka zastosowała w rozprawie podejście klasyczne, bilansujące objętości mas ziemnych z przekopów i nasypów na długości analizowanego odcinka trasy kolejowej, z uwzględnieniem przesunięć osi toru. W tym podejściu roboty ziemne związane z niwelacją starego podtorza, np. z usunięciem starego nasypu

lub jego fragmentu zostały całkowicie pominięte. Być może należałoby je uwzględnić przynajmniej częściowo lub opcjonalnie, ponieważ ich koszt w całej inwestycji przebudowy może być znaczący. Ponadto, obecnie odchodzi się od założenia, że miejscowe grunty odzyskane z przekopów są bezwzględnie stosowane do budowy korpusu nasypów, ponieważ wymagają często kosztownego uzdatnienia. Dotyczy to szczególnie modernizacji mającej na celu podwyższenie parametrów eksploatacyjnych linii. Może należałoby zatem rozważyć problem robót ziemnych w sposób mniej konwencjonalny.

6. Sposób obliczania wag parametrów funkcji celu, opisany w podrozdziale 6.2 nie jest klarowny, co jest niepokojące, bo wagi te mają duży wpływ na wartość funkcji oceniającej. Na przykład:

- Doktorantka pisze na str. 121: „*W omawianym algorytmie wielokryterialnym zastosowano cztery różne współczynniki wag*”. Czytelnik nie może wiedzieć w tym momencie, jakie cztery współczynniki Autorka ma tu na myśli, tym bardziej, że wprowadzono tylko trzy wagi. Można się jedynie domyślać na podstawie dalszego tekstu, że chodzi tu o współczynniki funkcji (6.7).

- Dalej czytamy: „*Wartości liczbowe przeliczników, związanych między innymi z ujednoczeniem jednostek, zostały zaimplementowane wewnątrz algorytmu w taki sposób, aby można było w przejrzysty sposób nadawać znaczenie wybranym parametrom*”. Dalsza treść niewiele wyjaśnia. Chodzi tu prawdopodobnie o wielkości  $w_j$  we wzorze (6.9), ale nie wiadomo dokładnie w jakich jednostkach są one mierzone i jak się te wielkości wyznacza/dobiera.

- W kolejnym akapicie czytamy: „*Po wielokrotnym przetestowaniu algorytmu optymalizacyjnego zaobserwowano zakresy współczynników, dla których wyniki obliczeń były wystarczająco dobre*”. Co oznacza określenie „dobre”, jakie jest kryterium oceny?

- Czy ostatecznie trzy składniki sumy w funkcji celu (6.10) są wyrażone w jednakowych czy różnych jednostkach wymiarowych? A może funkcja celu jest/powinna być sprowadzona poprzez wagi do postaci bezwymiarowej?

7. Proponuję w przyszłości unikać nadużywanego w tekstach technicznych przyimka „*dla*”, który w poprawnej polszczyźnie powinien łączyć się raczej z istotami żywymi – np. „film dla młodzieży”. Proponuję też przestrzegać zasady, że rysunki i tabele umieszcza się między kolejnymi akapitami tekstu a nie w zdaniu jak wzory matematyczne.

### Ocena rozprawy

Na początku pragnę podkreślić, że rozprawa doktorska Pani Kamili Szwaczkiewicz jest bardzo starannie zredagowana. Jest napisana w zdecydowanej większości poprawnym językiem, ze słownictwem fachowym na bardzo dobrym poziomie. Wyjątkowa dbałość Autorki o formę rozprawy sprawiła, że zdecydowałam się podkreślić ten fakt w pierwszym akapicie oceny pracy.

Rozprawa dotyczy ważnego i złożonego problemu jakim jest wybór optymalnego wariantu modernizacji układów torowych w aspekcie ukształtowania ich geometrii. Doktorantka podjęła się trudnego zadania, którego zasadniczym celem było opracowanie narzędzia optymalizacyjnego wspomagającego pracę projektantów przy tworzeniu wariantów przebudowy istniejącego układu

geometrycznego torów i wspomagającego zarządców infrastruktury w procesie decyzyjnym w zakresie inwestycji mających na celu poprawę parametrów eksploatacyjnych linii kolejowych. Tematyka rozprawy jest obecnie szczególnie aktualna ze względu na prowadzone i planowane modernizacje polskiej sieci kolejowej. Inwestycje modernizacyjne na polskich kolejach są niezbędne zarówno z powodu złego stanu technicznego wielu odcinków linii kolejowych jak i rosnących wymagań pasażerów, organizatorów przewozów i przewoźników. Zasadnicze znaczenie ma tu podwyższenie prędkości eksploatacyjnych, umożliwiające skrócenie czasu przewozów. W tym kontekście należy uznać za nadzwyczaj celowe przyjęcie przez Doktorantkę kryterium prędkości maksymalnej, możliwej do uzyskania w danym wariancie układu geometrycznego torów – jako jednego z parametrów funkcji celu w zaproponowanej metodzie wielokryterialnej optymalizacji.

Poczynione przez Doktorantkę uproszczenia algorytmu optymalizacyjnego, wśród których uproszczeniem zasadniczym jest przyjęcie tylko trzech parametrów funkcji celu, są uzasadnione ze względu na złożoność problemu i wielość czynników, które mają wpływ na jakość wariantu przebudowy. Uzasadnione jest też ograniczenie analizy tylko do łuków kołowych trasy, ponieważ należy uznać, że algorytm optymalizacyjny nie jest zamknięty i może być w przyszłości rozbudowany.

Wykorzystanie algorytmów genetycznych jako merytorycznej podstawy metody optymalizacji jest nie tylko trafne ale i nowatorskie w przyjętym obszarze zastosowań. Należy jednak zauważyć, że idea ta aczkolwiek nowatorska nie jest nowa, jako że badania w tym kierunku są prowadzone od kilkunastu lat w ośrodku gdańskim pod kierunkiem Profesora Władysława Koca, promotora rozprawy.

Rozprawa doktorska Pani Kamili Szwackiewicz zawiera oprócz wysoce wartościowego wątku głównego szereg wątków pobocznych, które mogą być przydatne w projektowaniu układów geometrycznych modernizowanych linii kolejowych. W tym kontekście, do oryginalnych elementów rozprawy zaliczam:

- a) ogólną metodę wielokryterialnej analizy wariantów geometrii łuków linii kolejowych na potrzeby inwestycji modernizacyjnych,
- b) koncepcję dostosowania ogólnej procedury algorytmu genetycznego do realizacji zadania optymalizacyjnego rozważanego w rozprawie,
- c) metodę obliczania kosztu cyklu życia szyn kolejowych, z uwzględnieniem zużycia bocznego występującego na łukach kołowych,
- d) dostosowanie klasycznej metody obliczania objętości robót ziemnych do założeń opracowanej metody analizy układów geometrycznych występujących na łukach linii kolejowych,
- e) profesjonalnie opracowany program komputerowy zawierający moduł optymalizacyjny dotyczący wariantów przebudowy łuków kołowych trasy kolejowej i moduł służący do wyznaczania przesunięć osi toru i zakresu robót ziemnych, obsługujący różne typy odcinków łukowych, zarówno wyjściowych (istniejących) jak i projektowanych,
- f) dobór, rozwiązanie i analizę przykładów obliczeniowych.

### **Wniosek końcowy**

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pani mgr inż. Katarzyny Szwackiewicz stanowi moim zdaniem mocną merytoryczną podstawę do ubiegania się o stopień naukowy doktora nauk technicznych, w dyscyplinie budownictwo. Jest bez wątpienia wartościowym opracowaniem wnoszącym istotny wkład w nauki inżynierskie, w zakresie infrastruktury transportu kolejowego. Autorka jasno określiła problem naukowy, jednoznacznie formułując cel i tezę pracy z poprawnym ich uzasadnieniem. Samodzielnie rozwiązała problem metodami naukowymi wykazując się obszerną wiedzą w zakresie przepisów, wymagań i zasad projektowania układów geometrycznych toru – z uwzględnieniem specyfiki projektowania modernizacji linii kolejowych. Wykazała się też wiedzą na temat metaheurystycznych metod przeszukiwania rozwiązań, umiejętnością tworzenia algorytmów obliczeniowych i ich oprogramowania a także umiejętnością trafnego wnioskowania.

Rozprawa spełnia bez wątpienia wymagania nałożone Ustawą „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” z 14 marca 2003 roku, z późniejszymi zmianami. Wnoszę o przyjęcie rozprawy przez Radę Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej i dopuszczenie Pani mgr inż. Katarzyny Szwackiewicz do publicznej obrony. Ponadto, biorąc pod uwagę wysoki poziom rozprawy, stawiam wniosek o jej wyróżnienie.

*Dariusz Bryja*