

dr hab. inż. Juliusz SOŁKOWSKI
Politechnika Krakowska,
Katedra Infrastruktury Transportu Szynowego i Lotniczego
Ul. Warszawska 24
31-155 Kraków
e-mail: jsolkow@pk.edu.pl

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Kamili SZWACZKIEWICZ

pt. „Metoda wielokryteriowej oceny przebudowy układów torowych na szlakach”

1. Uwagi formalne

Podstawą opracowania recenzji jest zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej.

Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Władysław Koc, Politechnika Gdańska.

2. Treść rozprawy doktorskiej i jej ogólna charakterystyka

Recenzowana rozprawa liczy 156 stron maszynopisu formatu A4. Rozprawa została podzielona na 8 rozdziałów oraz posiada spis literatury zawierający 136 pozycji.

Na wstępie pracy, Autorka w rozdziale zatytułowanym „**Charakterystyka problemu**” uzasadnia pojęcie tematyki optymalizacji w projektowaniu geometrii łuków na szlakach, wskazując „W aktualnie opracowywanych studiach wykonalności, przy tworzeniu wariantów największą wagę przypisuje się minimalizacji kosztów wykonania przedsięwzięcia. Jednak pominięcie bądź niewłaściwe oszacowanie wpływu pozostałych kryteriów (zapewne chodzi o utrzymanie – przyp. J.S.) może skutkować ograniczeniem potencjału modernizacyjnego linii na przyszłość”. Autorka formułuje następującą tezę pracy „*Stosowanie nowoczesnych algorytmów optymalizacyjnych stanowi efektywną metodę wspomagającą projektowanie i ocenę wariantów w procesie modernizacji linii kolejowych.*”

Układ logiczny pracy jest następujący: w **Rozdziale 1** Autorka omawia ogólnie problematykę projektowania układów geometrycznych toru na szlakach – rozdział ten stanowi charakterystykę zakresu pracy oraz porusza tematykę istniejących przepisów krajowych i europejskich. Następnie w **Rozdziale 2** Autorka przechodzi do omawiania algorytmów wykorzystywanych w obliczeniach (w tym przypadku algorytmy optymalizacyjne genetyczne) – rozdział ten dobrze charakteryzuje podejście metodologiczne Autorki i kończy się sformułowaniem funkcji celu optymalizacji. Konsekwentnie, w **Rozdziałach 3,4** oraz **Rozdziale 5** Autorka zajmuje się algorytmami cząstkowymi, które mają wejść w skład algorytmu ogólnego służącego wyznaczeniu funkcji celu. Autorka uwzględniła następujące łuki: łuk kołowy z krzywymi przejściowymi, łuk kołowy bez krzywych przejściowych, łuk paraboliczny oraz łuk koszowy. Algorytmy cząstkowe dotyczą obliczenia kosztów cyklu życia szyn w łukach (Rozdział 3), prze-

sunięć toru oraz wynikające z przesunięć – algorytmy obliczania robót ziemnych (Rozdziały 4 i 5) dla linii jednotorowych i dwutorowych. Logiczną kontynuacją pracy jest **Rozdział 6**, w którym Autorka przedstawia model obliczeniowy generowania rozwiązań, tzn. geometrii łuków oraz ich oceny z punktu widzenia przyjętej funkcji celu. W dalszym ciągu pracy, tj. w **Rozdziale 7**, Autorka opisuje oprogramowanie wykorzystane w obliczeniach (jest własny program MUGO), który jest opisany bardzo szczegółowo z punktu widzenia projektanta układów torowych. Pracę kończy **Rozdział 8**, w którym Autorka przedstawia swoją metodę i program w akcji, tzn. wykazuje poprawność przyjętej metody optymalizacji oraz sensowność stosowania wielu kryteriów w praktyce projektowania łuków na szlakach. Podanych jest pięć przykładów obliczeniowych.

Pracę wieńczy rozdział **Zakończenie**, w którym Autorka podsumowała wyniki pracy i jeszcze raz podkreśliła konieczność uwzględniania kosztów życia szyn oraz obliczeń objętości robót ziemnych w praktyce projektowej łuków. Uznała tym samym, że ogólna teza pracy o konieczności stosowania metod optymalizacyjnych, które stanowią „*efektywną metodą wspomagającą projektowanie i ocenę wariantów w procesie modernizacji linii kolejowych*” została udowodniona.

Spis literatury zawierający 136 pozycji, to głównie publikacje angielskojęzyczne. Grupę publikacji krajowych reprezentują w dużej części prace pochodzące z Politechniki Gdańskiej, ale Autorka sięga także po znaczące doświadczenia badawcze innych polskich ośrodków akademickich i naukowych (np. Instytut Kolejnictwa). Na wstępie **Bibliografii** Autorka podaje listę obowiązujących przepisów krajowych i europejskich. Cytowane publikacje są w większości wydane po roku 2000 i dotyczą aktualnego stanu wiedzy w zakresie obliczania układów geometrycznych łuków, problematyki zużycia szyn oraz istniejących metod optymalizacyjnych w projektowaniu układów torowych. Dużą uwagę poświęciła Autorka na analizę literatury związanej z metodologią znajdowania rozwiązań optymalnych.

Publikacje wykorzystano głównie w części dotyczącej formułowania problemów badawczych oraz wyboru metody analizy ich wyników. Jedynie w ograniczonym zakresie wykorzystano dane z literatury do interpretacji i weryfikacji wyników własnych analiz.

3. Ogólna ocena rozprawy

Przedmiot rozprawy i jej zakres

Podjęta w rozprawie problematyka projektowania geometrycznego łuków z uwzględnieniem zużycia szyn w trakcie eksploatacji łuków wraz z uwzględnieniem kosztów przesunięć porzecznych w kontekście uzyskiwania jak największych prędkości wpisuje się bardzo dobrze w potrzeby modernizacyjne polskich linii kolejowych.

Optymalizacja układów krzywoliniowych jest zarówno ważnym zagadnieniem naukowym, które doczekało się już znaczącej literatury, jak i zadaniem praktycznym, gdyż wpływa na podejmowanie decyzji w trakcie wyboru wariantów modernizacyjnych. Każda decyzja, dotycząca wyboru wariantu geometrii układu torowego wiąże się z kosztami – nie tylko na etapie przebudowy lub budowy, ale także w trakcie eksploatacji. Stworzenie metody optymalizacji

oraz napisanie stosownego oprogramowania do projektowania układów geometrycznych łuków jest zadaniem nie łatwym, wymagającym kompleksowego podejścia do problemu. Można je scharakteryzować jako połączenie tradycyjnie rozumianego projektowania układu geometrycznego z kinematyką ruchu pojazdu w łuku z uwzględnieniem parametrów materiałowych nawierzchni i podtorza oraz z praktyką budowlaną wykonywania przesunięć poprzecznych toru. Jest to zadanie bardzo kompleksowe, z którego złożoności Autorka dobrze zdaje sobie sprawę.

We wstępnym rozdziale (Rozdział 1) autorka opisała tradycyjną metodę projektowania łuków wraz z wyliczeniem warunków ograniczających. Odniosła się bardzo szczegółowo do istniejących przepisów krajowych i europejskich. Jest to część analityczna pracy, najmniej oryginalna z oczywistych względów. Od rozdziału 2 rozpoczyna się właściwa część pracy. Autorka bardzo dużo miejsca poświęca na omówienie algorytmów genetycznych, co jest wartością samą w sobie, jednakże w mniejszym stopniu odnosi się do meritum pracy – czyli do konkretnych, zoptymalizowanych układów geometrycznych toru, które mają być zaprojektowane.

W praktycznej realizacji pracy Autorka wybrała trzy kryteria optymalizacyjne: 1) koszt inwestycji i utrzymania (koszt cyklu życia szyn tzw. LCC (Life Cycle Cost), 2) objętość robót ziemnych (wraz z lokalizacją istniejących elementów infrastruktury), 3) prędkość maksymalną uzyskiwaną dla projektowanego układu. Podejście takie jest jak najbardziej uzasadnione. Daje ono możliwość uzyskania rozwiązania optymalnego.

Rozdział 2 poświęcony jest przeglądowi literatury w zakresie algorytmów genetycznych. Wykonany jest bardzo pieczołowicie, podano liczne pozycje literaturowe – w tym także własne Autorki – jednakże nie wiadomo dokładnie jakie algorytmy zostały wybrane i zrealizowane w programie autorskim MUGO.

Samo zadanie optymalizacyjne zostało sformułowane w postaci tzw. funkcji celu podanej w rozdziale 2.6. Postawione zadanie Autorka realizowała logicznie w następnych rozdziałach, w których określiła argumenty funkcji celu – tj. poruszyła problem kinematyki pojazdu w łuku, wykonywanie przesunięć oraz projektowanie układów krzywoliniowych. Każdy dalszy rozdział pracy poświęcony był analizie argumentów funkcji celu oraz w pewnym sensie określeniu ich dziedziny, jednakże bez podawania dokładnych ich zakresów.

W rozdziale 3 dotyczącym obliczeń długości cyklu życia szyn wykorzystane zostały modele degradacji szyn z projektu INNOTRACK. Założono, że do funkcji celu do obliczeń przyjmuje się trzydziestoletni okres życia. W analizach zużycia szyn wzięto pod uwagę cykliczne szlifowanie szyn, które stanowi jedyny składnik kosztu utrzymania. Pominięto koszty napawania szyn. Łączny koszt utrzymania składa się zatem z kosztów szlifowań oraz wymian. Takie podejście na tym etapie jest uzasadnione.

Najbardziej rozbudowanym rozdziałem ściśle wiążącym się z analizą geometrii jest Rozdział 4, w którym Autorka – wzorując się na pracach prof. Marii Bałuch – wyprowadziła algorytmy obliczania przesunięć poprzecznych toru z szeregiem założeń upraszczających, takich jak brak zmian kąta zwrotu czy uproszczony sposób wyznaczania długości krzywej przejściowej.

Założenia te nie rzutują negatywnie na uzyskiwane wyniki. Co warte podkreślenia, wyprowadzone modele zostały zaimplementowane w autorskim programie komputerowym. W zakresie analizowanej geometrii wykorzystano właściwie wszystkie możliwe przypadki występowania łuku w układzie krzywoliniowym. Jednakże nie podano czy wszystkie zostały zaimplementowane w programie komputerowym (ściślej w modelu genetycznym).

Równie rozbudowanym rozdział pracy jest Rozdział 5, w którym Autorka analizowała drugie kryterium optymalizacyjne – przesunięcia poprzeczne toru i związane z nimi objętości robót ziemnych. Zagadnienie to nie jest nowe i zostało przedstawione w wielu opracowaniach. Jednakże dla potrzeb niniejszej pracy Autorka wprowadziła swoją własną metodę i co warte podkreślić – zaimplementowała ją w autorskim programie obliczeniowym. Omawiany w pracy algorytm pozwala na obliczanie zakresu prac ziemnych dla dowolnie przyjętej długości toru, także z uwzględnieniem pochyleń podłużnych niwelety. Wyniki tego rozdziału zostały zilustrowane licznymi wykresami cząstkowymi.

Bardzo konsekwentnie Autorka przeszła do modelu łącznego - tzn. uwzględniającego wybrane wcześniej kryteria funkcji celu. Mianowicie w rozdziale 6 wyprowadziła model genetyczny. Przy czym, Autorka wykazała się dobrą znajomością tematyki i wprowadziła własny model, co znalazło swoje odzwierciedlenie we wspomnianym programie komputerowym. Co warte podkreślenia w tym miejscu to fakt, że wprowadzone zostały dodatkowe parametry sterujące (θ), które w przypadku przyjęcia wartości „jeden” są traktowane jako „neutralne”. Zależą one jedynie od prowadzącego obliczenia projektanta i są wprowadzane z poziomu pulpitu sterującego. Projektant może wpływać na wagi dotyczące poszczególnych kryteriów optymalizacyjnych. Jest to o tyle istotne, że nie musi on wnikać w same wagi, ma natomiast możliwość zróżnicowania kryteriów optymalizacyjnych, co może mieć duże znaczenia praktyczne, gdyż zadania projektowe mogą mieć różne priorytety, które są narzucone odgórnie. Ponadto, zawsze istnieje możliwość sprawdzenia wpływu tych dodatkowych parametrów sterujących (czyli priorytetów) na ostateczne rozwiązanie w postaci układu torowego. Autorka nie przedstawiła jednak żadnych obliczeń porównawczych z różnymi parametrami sterującymi, co niewątpliwie jeszcze bardziej podniosłoby wartość tego rozdziału.

W celu uwypuklenia walorów praktycznych, Autorka podjęła się wykonania oprogramowania proponowanej metody optymalizacyjnej. Opis programu znajduje się w Rozdziale 7. Co jest warte podkreślenia to fakt, że rozpatrywane zagadnienie nie zostało jeszcze zaimplementowane w znanych programach wspomagających projektowanie. Rozdział 7 świadczy o dobrej znajomości praktyki projektowej przez Autorkę oraz o świadomości czego projektant może potrzebować.

Rozdział końcowy pracy – Rozdział 8 – jest w zasadzie demonstracją działania wprowadzonej metody. Nazwany jest weryfikacją metody, przy czym w zasadzie tzw. „weryfikacja” polega na porównaniu wyników (czyli układu geometrycznego) uzyskanych metodami tzw. klasycznymi (bez optymalizacji) oraz z wykorzystaniem optymalizacji. Wskazano, że możliwe jest osiągnięcie większej prędkości lub mniejszych przesunięć poprzecznych. Nie podano jednakże żadnych „miar korzyści”.

Zakończenie pracy wydaje się zbyt skromne w stosunku do wykonanych zadań cząstkowych oraz nie podano w nim kierunków dalszej pracy, która wydaje się nieodzowna gdyż niektóre wątki zostały jedynie zasygnalizowane w treści pracy.

W nawiązaniu do podanych powyżej uwag dotyczących znaczenia przedmiotu rozprawy i jej zakresu, można stwierdzić, że sformułowane przez Autorkę podstawowa teza rozprawy cechuje aktualność oraz, że wnosi one nowe elementy wiedzy do analiz optymalizacji geometrii układu torowego na szlaku.

Generalnie, uzyskane wyniki analiz można uznać za wystarczające do wykazania słuszności postawionej tezie pracy.

W podsumowaniu uwag o przedmiocie rozprawy i jej zakresie stwierdzam, że dotyczy ona istotnego problemu naukowego o cechach oryginalności, a zakres rozprawy oraz jej układ logiczny zostały dobrane właściwie do osiągnięcia wyznaczonych celów naukowych i praktycznych.

Oryginalne i wartościowe elementy w rozprawie

Tematyka rozprawy, sformułowanie tez oraz sposób przeprowadzenia ich dowodu zawierają w mojej opinii następujące, oryginalne i wartościowe elementy:

- przedstawienie problemu budowy modeli optymalizacyjnych do projektowania układów geometrycznych torów na szlaku;
- wykazanie słuszności tezy o celowości wprowadzania optymalizacji do analiz modernizacyjnych;
- zbudowanie modeli oraz napisanie oprogramowania do wykorzystania w praktyce projektowej;

Studia literatury

Przeprowadzone przez Autorkę studia literatury oceniam pozytywnie. Ich zakres oraz dobór publikacji odpowiadają nakreślonym, podstawowym celom pracy. Autorka w poprawny sposób wykorzystwała dotychczasowe doświadczenia z różnych prac do wyboru właściwych narzędzi modelowania oraz tworzenia algorytmów genetycznych. Zastrzeżenie budzi jedynie niewielkie wykorzystanie wyników prac innych badaczy do porównań oraz weryfikacji rezultatów własnych badań.

Redakcja rozprawy

Redakcyjny układ rozprawy – w sensie układu logicznego – jest bardzo dobry. Przyjęte przez Autorkę cele i zadania cząstkowe zostały przedstawione na ogół w jasny sposób, choć nie zawsze wiadomo „na co się Autorka zdecydowała” przy wyborze parametrów sterujących, elementów dotyczących typu nawierzchni szynowych (np. ich sztywności). Generalnie przykłady obliczeniowe są dobrze dobrane, choć znowu można mieć pewne zastrzeżenia co do jasności w zestawianiu danych (jakie wybrano?) oraz nie do końca jasno przyjęta dziedziną funkcji celu (zakres kryteriów optymalizacyjnych).

4. Uwagi krytyczne

Przy ogólnie pozytywnej ocenie rozprawy, należy równocześnie wymienić te jej elementy, które są dyskusyjne lub zawierają usterki. Ważniejsze z krytycznych uwag można sformułować następująco (wymienione w kolejności występowania w tekście):

1. Str. 25 – podano, że $R_{\min}=150\text{m}$ powoduje ograniczenie prędkości do 80km/h ? Jest to możliwe? Możliwa pomyłka edycyjna.
2. Str. 25 – wzór 1.28, podano C_h współczynnik wynoszący $C = 11,8 \text{ mm} \cdot \text{m} \cdot \text{h} / \text{km}^2$? Możliwa pomyłka edycyjna.
3. Str. 26 – E_{\lim} – co to za wielkość?
4. Str. 31 – „można oznaczana jako $L_{kw} \geq 20 \text{ m}$ ” – czy jest to błąd edycyjny?
5. Str. 38 – wzór 2.2 jest jakby niedokończony, brak poza tym oznaczeń, co to jest „i” oraz „j”, samo „i” w liczniku? W innym znaczeniu „i” jest pochyleniem poprzecznym terenu
6. Str. 44 – wzór 2.11 – funkcja celu FF – dlaczego prędkość jest w kwadracie? Stanowi to jakby dodatkową wagę. Ponadto, napisano, że wartość funkcji celu jest maksymalizowana. Ponadto nie określono wyraźnie dziedziny tej funkcji, co jest ważne, gdyż w przypadku nieuwzględnienia LCC szyn albo/i kosztów przesunięć porzecznych (co jest możliwe, gdy projektant przyjmie małe wartości parametrów sterujących θ) funkcja ta – jak się wydaje – mogłaby przyjmować wartości ujemne.
7. Str. 48 – siła F jest wzdłużna (kontakt koło-szyna). Dlaczego podaje się zatem kąt θ nachylenia toru do poziomu skoro siła F jest wzdłużna (rys. 3.1)?
8. Str. 49 – wzór 3.4 – dlaczego mnożone jest przyspieszenie ziemskie przez siłę F oraz $\sin \varphi$?, powtarza się we wzorze 3.5 – pomyłka w druku siła F powinna być masą m ? Generalnie ten wzór wymaga wyjaśnienia w kontekście rys. 3.1.
9. Str. 54 – wzór 3.13 – wartość trwałości szyn w jednostce czasu T , czy na sieci brana jest długość toru z rozjazdami? Jaka długość powinna być brana pod uwagę w danym zadaniu projektowym? Ponadto, możliwa kolizja oznaczeń (km). Opis pod wzorem (3.13) wydaje się wskazywać na kolizję jednostek [km]
10. Str. 55 – wzory 3.15, 3.16, 3.17 – po wstawieniu $R=1000\text{m}$ otrzymuje się wartości różne od 1 (np. dla $R=3000\text{m}$, $\lambda=0.3$), czy należy je przyjąć jako równe 1?
11. Str. 55 – wzór 3.19 – jakie są jednostki k oraz U ? Jaka jest fizyczna interpretacja tych wielkości? Czy funkcja c_z ma jednostki?
12. Str. 58 – koszty cyklu życia szyn – uwzględniono szlifowanie i wymiany. Dlaczego szlifowanie? Jaki rodzaj uszkodzenia powierzchni tocznej brany jest pod uwagę? Jaki jest związek krzywizny na łuku z szybkością zużycia i w związku z tym częstotliwością wymian? Jaki jest udział wymian szyny w koszcie utrzymania odcinka toru? Czy zawsze ma on istotny udział?
13. Str. 59 – wzory 3.32 oraz 3.33 dotyczą jedynie zużycia bocznego do 45 stopni. Brak funkcji zużycia dla innych kątów – tzn. takich kątów które mogą powstać w trakcie eksploatacji. Zużycie maksymalne byłoby niebezpieczne dla ruchu. Jakie jest graniczne zużycie bezpieczne dla założonej prędkości na linii?
14. Ponadto byłoby celowe w tym miejscu uwzględnić problem optymalizacji przechyłki dla założonej struktury ruchy, tym bardziej, że istnieje bogata literatura w tym zakresie oraz nawet sama Autorka posiada publikację z zakresu optymalizacji przechyłki.
15. Str. 59 – jak wykorzystano wprowadzone miary zużycia w obliczeniach optymalizacyjnych? Czy przykłady obliczeń w rozdziale 8 to uwzględniają? Jeśli uwzględniają, to nie jest to jasno

- podane. Ponadto jeśli uwzględniają to jaka jest przechyłka po optymalizacji – czy różni się od wyznaczonej w sposób klasyczny?
16. Str. 60 – tabela 3.2 – w ostatniej kolumnie podano LCC łuków w zakresie od 200m do 500m – jak widać różnice są nieznaczne (1.4%) . Zatem wydaje się, że funkcja celu nie będzie „wrażliwa” na projektowanie łuków o takich promieniach. Wydaje się, że koszt ten będzie pewną stałą. Czy istotny jest kąt zwrotu łuku? Przecież od wartość kąta zwrotu wpływa na długość łuku, czyli wpływa ona na koszt wymiany. Ponadto, należałoby wykonać taką analizę dla promieni, które faktycznie mogą się pojawić podczas projektowania – np. do 4000m. Jak czuła byłaby wtedy funkcja celu?
 17. Str. 61 – algorytmy przesunięć osi toru – nie jest jasne czy uwzględniono także przypadek łuku kołowego bez krzywych przejściowych. Jest podany przypadek łuku koszowego bez krzywych przejściowych, czy można złożyć istnienie łuku pojedynczego bez krzywych przejściowych?
 18. Str. 120 - Rys. 6.1 – jest to współczynnik do wagi prędkości, a nie waga prędkości. Cała waga (wzór 6.6) zależy od decyzji projektanta (θ). Powstaje pytanie – co jest wagą? Skoro projektant dobiera współczynnik θ . Zatem, czy w_{pred} jest głównym parametrem sterującym? Przecież może zostać „wygaszony” przez projektanta.
 19. Nie jest jasne jak zachowa się funkcja celu w przypadku takiego „wygaszenia” wagi przez projektanta.
 20. Str. 132 – metoda weryfikacji – jest określona jako porównanie wyników uzyskanych metodą optymalizacji do obliczeń wykonanych metodami klasycznymi, projektowymi. Należy zwrócić uwagę, że weryfikacja tak definiowana dotyczy jedynie pewnego aspektu projektowanego łuku. Tzn. nie uwzględnia się wpływu zużycia oraz przesunięć, ponieważ te efekty nie występują w tzw. metodzie klasycznej. Porównuje się jedynie kształt geometrii łuku obliczonego z wykorzystaniem w/w metody oraz obliczoną klasycznie. Ponadto, wskazane byłoby wprowadzenie pewnej miary odległości geometrii łuków obliczonych przy pomocy proponowanej metody od geometrii łuków wyznaczonych w sposób tzw. klasyczny.
 21. Str. – 133 – wszystkie przykłady obliczeniowe (6 przykładów) są w zasadzie identyczne – dotyczą pojedynczych łuków kołowych z symetrycznymi krzywymi przejściowymi. Interesującym przykładem byłoby rozważenie łuku koszowego. Ten typ łuku jest dość powszechny na starszych liniach kolejowych, które są modernizowane. Nie jest jasne czy zaimplementowano algorytm genetyczny dla takiego przypadku.
 22. Str. – 133 – W wagach pojawiają się współczynniki przyjmowane przez projektantów (θ) o wartościach bliskich jedności. To projektant przypisuje tym współczynnikom znaczenie. Jeżeli wybierze wartość jeden to uznaje, że dany czynnik (np. LCC szyn) jest „neutralny”, jeżeli przyjmie wartość większą od jeden to uznaje, że czynnik ten jest ważniejszy od pozostałych. Wydaje się, że współczynniki te są ustawiane niezależnie od siebie (w tym sensie, że ich suma nie musi wynosić 100%). Nie podano jak jaka jest dziedzina funkcji celu z uwzględnieniem tych parametrów – tj. (θ).

5. Wniosek końcowy

Podane w opinii uwagi krytyczne nie zmieniają ogólnie pozytywnej oceny rozprawy, pozwalającej na sformułowanie następujących wniosków końcowych:

- Autorka rozprawy podjęła złożoną problematykę optymalizacji układów krzywoliniowych toru szlakowego. W tym celu umiejętnie wykorzystwała istniejące algorytmy obliczeniowe oraz wprowadziła własne, które zaimplementowała w programie do wspomagania projektowania.
- Autorka sformułowała ogólną tezę o konieczności optymalizacji układów krzywoliniowych na etapie projektowania (względnie studiów wykonalności), którą wykazała na szeregu przykładach.
- Rozprawa wykazała bardzo dobrą orientację Autorki w dziedzinie tworzenia algorytmów genetycznych i projektowania układów krzywoliniowych torów.

Uwzględniając podane wcześniej zalety, stwierdzam, że mimo niektórych kwestii niejasnych oraz szeregu pomyłek edytorskich, opiniowana rozprawa doktorska **mgr inż. Kamili SZWACZKIEWICZ** pt. „Metoda wielokryteriovej oceny przebudowy układów torowych na szlakach” spełnia wymagania określone przez ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym. Przedkładam wniosek o przyjęcie pracy jako rozprawy doktorskiej w dyscyplinie budownictwo oraz o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Kraków 2.01.2017 r.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'K. Szwaczkiwicz', written on a light blue background.