

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Marty Skały-Szymańskiej

pt. „Zastosowanie metody sympleksu Neldera-Mead’a do wpasowania krzywych przy regulacji torów kolejowych”

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawą formalną opracowania recenzji stanowi Uchwała Nr 8 Rady Naukowej Dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie z dnia 30 maja 2023 roku oraz pismo WG.IGIB.6350.4.2014 Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport, Pana dr hab. inż. Jacka Rapińskiego, prof. UWM z dnia 13 czerwca 2023 roku.

2. Charakterystyka formalna rozprawy

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Marty Skały-Szymańskiej pt. „Zastosowanie metody sympleksu Neldera-Mead’a do wpasowania krzywych przy regulacji torów kolejowych” została opracowana pod kierunkiem promotora dr hab. inż. Sławomira Cellmera, prof. UWM i promotora pomocniczego dr hab. inż. Kamila Kowalczyka, prof. UWM. Dysertacja została przedstawiona w formie zwartej opracowania obejmującego 93 ponumerowanych stron. Podstawowy tekst rozprawy doktorskiej zawarty jest na 75 stronach, literatura przedmiotu na stronach 76-82, załączniki na stronach 83-88, spis rysunków na stronie 89, spis schematów i wykresów na stronie 90, spis tabel na stronie 91 i streszczenie w języku polskim i angielskim odpowiednio na stronach 92, 93. Rozprawa zawiera 24 rysunki, jeden schemat, 11 wykresów i 16 tabel. Autorka w pracy powołała się na 45 pozycji literatury dotyczącej przedmiotu badań, 16 aktów prawnych i 2 pozycje określone jako inne źródła. Z naukowego punktu widzenia tematyka dysertacji wpisuje się w dyscyplinę inżynieria lądowa, geodezja i transport.

Rozprawa doktorska rozpoczyna się „Wprowadzeniem”, w którym zwięźle omówiono problem badawczy, sformułowano główny cel rozprawy i cel dodatkowy oraz postawiono hipotezę badawczą. Dodatkowo omówiono na czym polega nowatorskość badań zaprezentowanych w dysertacji oraz ich znaczenie dla rozwoju dyscypliny naukowej.

W rozdziale pierwszym Doktorantka wskazała przepisy prawne obowiązujące w kolejnictwie w kontekście wpasowywanie krzywych.

Rozdział drugi dotyczy podstawowych definicji związanych z projektowaniem linii kolejowych.

Charakterystyka wybranych elementów z dokumentacji projektowej, krótko została przedstawiona w rozdziale trzecim.

Rozdział czwarty dotyczy wybranych zasad projektowania układów geometrycznych toru kolejowego w płaszczyźnie poziomej.

Dotychczasowe metody wpasowania krzywych stosowane podczas regulacji toru w płaszczyźnie poziomej zostały omówione w rozdziale piątym. Doktorantka wskazała, że obecnie stosowane metody są czasochłonne ze względu na nieliniowy charakter funkcji

wpasowania zespołu krzywych. Problem ten jest rozwiązywany poprzez linearyzację tych funkcji.

Rozdział szósty dotyczący wpasowania krzywych w zbiór punktów jest najobszerniejszym rozdziałem części teoretycznej pracy zawierającym się na 21 stronach. Rozdział ten został podzielony na podrozdziały od 6.1 do 6.5. Doktorantka w rozdziale tym zaprezentowała ogólną koncepcją wpasowania krzywych, takich jak łuk kołowy i łuk kołowy z niesymetrycznymi kłotoidami oraz odcinków prostych w zbiór punktów. Zaproponowała sposób określenia wartości przybliżonych parametrów dla danej krzywej oraz tworzenie równań pseudo obserwacyjnych dla zespołu krzywych łuku kołowego z niesymetrycznymi kłotoidami. Doktorantka wskazała, że w pracy zostanie przetestowana funkcja celu w postaci sumy czwartych potęg poprawek. Powołując się na badania *Cellmer S. 2015. Least fourth powers: optimisation method favouring outliers. Survey Review, 47(345), s. 411-417*, zastosowanie takiej funkcji celu w zadaniu wpasowania figur w zbiór punktów daje mniejsze wartości maksymalnych poprawek, w stosunku do funkcją celu sumy kwadratu potęg poprawek.

Najistotniejsza część teoretyczna pracy dotycząca metody Sympleksu Neldera-Mead'a (SNM) została zawarta w rozdziale siódmym. W rozdziale tym wyodrębniono jeden podrozdział „7.1. Dostosowanie algorytmu optymalizacji metodą sympleksu Neldera-Mead'a (SNM) do przypadku wpasowania krzywych”. Uważam, że niezasadne jest wprowadzenie numeracji tylko jednego podrozdziału, liczba podrozdziałów powinna być większa lub równa dwa. Doktorantka zwięźle scharakteryzowała metodę SNM. Główną zaletą tej metody jest to, że w algorytmach nie wykorzystuje się pochodnych do obliczania wartości funkcji celu. Dlatego też, bardzo dobrze współpracuje z funkcjami nieliniowymi, a którymi mamy do czynienia podczas wpasowania krzywych w zbiór punktów stosowanych w kolejnictwie i drogownictwie. W rozdziale tym teoretycznie zostało omówione w jaki sposób dostosowano metodę SNM do opracowania matematycznego modelu wpasowania odcinków krzywoliniowych w zbiór punktów.

Główną i najistotniejszą częścią recenzowanej dysertacji jest rozdział 8 i 9. W rozdziale ósmym doktorantka zaprezentowała wyniki przeprowadzonego eksperymentu i analizy wypracowanej koncepcji na danych symulowanych. Rozdział ten został podzielony na dwa podrozdziały „8.1. Przygotowanie danych do eksperymentu” i „8.2. Eksperymenty i testy”. Podrozdział 8.2 został dodatkowo podzielony na pięć podpunktów. Badania eksperymentalne głównie dotyczyły wpasowania łuku kołowego oraz łuku kołowego z niesymetrycznymi kłotoidami w zbiór punktów przy wykorzystaniu metody SNM. Przeanalizowano wpływ wielkości sympleksu początkowego na rozmiar obszaru poszukiwań rozwiązania. Dokonano analizy uzyskanych wyników wielkości poprawek dla kryterium sumy kwadratów poprawek ($\sum v^2$) oraz kryterium sumy czwartych potęg poprawek ($\sum v^4$). Badania eksperymentalne zakończono porównaniem wyników wpasowania łuku kołowego z niesymetrycznymi kłotoidami z użyciem opracowanego w ramach rozprawy algorytmu z wynikami wpasowania za pomocą oprogramowania Bentley Open Rail. Wszystkie wyniki badań zostały zestawione w tabelach i na wykresach. Podsumowanie i wnioski zostały zawarte w rozdziale dziewiątym.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

3.1. Cel pracy i hipoteza badawcza

Regulacja torów kolejowych jest zagadnieniem bardzo istotnym z praktycznego punktu widzenia. Ciągłe trwają prace nad modernizacją i dostosowaniem do nowych standardów istniejących tras kolejowych, które finalnie pozwolą na zwiększanie prędkości przejazdu pociągu. Rektyfikacja tras kolejowych w znacznej mierze sprowadza się do wpasowania funkcji matematycznej w zbiór punktów pomierzonych technikami geodezyjnymi. W kolejnictwie

podobnie jak w drogownictwie do modelowania osi trasy w opisie krzywych stosuje się funkcje nieliniowe. W opracowaniach numerycznych zazwyczaj stosuje się metodę najmniejszych kwadratów, która wymaga linearyzacji funkcji nieliniowej. W recenzowanej rozprawie doktorskiej zaproponowano metodę sympleksu Nelder-Mead'a do wpasowania krzywych w zbiór punktów. Metoda ta w założeniach matematycznych nie wykorzystuje pochodnych i w związku z tym może być z korzyścią stosowana w funkcjach nieliniowych. Należy zaznaczyć, że zastosowanie metody sympleksu Nelder-Mead'a do wpasowania krzywych w zbiór punktów w zadaniu regulacji torów kolejowych jest podejściem jak do tej pory nie stosowanym. W związku z tym, wnosi wkład w rozwój dyscypliny ILGiT. Można stwierdzić, że temat badawczy, który został podjęty przez Doktorantkę jest nowatorski, ciekawy i aktualny z punktu widzenia naukowego jak i praktycznego.

Doktorantka sformułowała główny cel pracy: „Głównym celem rozprawy jest opracowanie matematycznych podstaw nowej metody wpasowania określonych zespołów krzywych w zbiór punktów, a w szczególności sformułowanie matematycznego modelu będącego podstawą proponowanej metody.” Cel pracy jest sformułowany poprawnie, chociaż w mojej ocenie jest za mało szczegółowy. Sam zwrot „nowej metody” nie przekazuje żadnej istotnej informacji, należało by wskazać na czym ta nowość polega np. ... nowej metody wpasowania określonych zespołów krzywych w zbiór punktów przy zastosowaniu sympleksu Nelder-Mead'a

Poza tym Doktorantka określiła dodatkowy cel pracy: „Dodatkowym celem pracy jest opracowanie algorytmu obliczeniowego prowadzącego do poprawnego rozwiązania”. W recenzowanej dysertacji nie załączono kodu źródłowego opracowanego algorytmu i w związku z tym trudno jest jednoznacznie stwierdzić poprawność rozwiązania. Zasada działania algorytmu została omówiona teoretycznie w poszczególnych krokach, a podsumowaniem był schemat blokowy umieszczony na stronie 44. Recenzent zakłada, że Doktorantka uznała taką prezentację algorytmu za wystarczającą.

W pracy postawiono następującą hipotezę badawczą: „zastosowanie metody sympleksu Nelder-Mead'a, jako alternatywnego podejścia w stosunku do dotychczas stosowanych metod może w znaczącym stopniu podnieść efektywność procesu wpasowania krzywych w zbiór pomierzonych punktów”. W wyniku zrealizowanego planu badawczego, a w szczególności eksperymentu numerycznego można stwierdzić, że hipoteza została potwierdzona przez Doktorantkę. Chociaż w rozdziale podsumowanie i wnioski brakuje jednoznacznego odniesienia się wprost do zdefiniowanej hipotezy badawczej tzn. jej potwierdzenie lub obalenie. Poza tym, hipoteza badawcza odnosi się do zbioru pomierzonych punktów, a badania są realizowane na danych symulowanych.

3.2. Analiza i ocena przebiegu badań oraz uzyskanych wyników

Testy numeryczne opracowanego algorytmu metody sympleksu Nelder-Mead'a zostały zrealizowane na danych symulowanych, które zostały zaburzone szumem o rozkładzie normalnym $N [0;0.01]$. W ramach eksperymentu wygenerowano zbiór punktów, który posłużył do wpasowywania łuku kołowego i zespołu krzywych składającego się z łuku kołowego z kłotoidami niesymetrycznymi. W pierwszym etapie badań szczegółowej analizie i interpretacji graficznej poddano poprawki v_x , v_y i v_i . W drugim etapie badań przeprowadzono testy wpływu sympleksu początkowego na proces optymalizacji rozwiązania. Testom podano 10 różnych wielkości sympleksu inicjującego dla łuku kołowego i łuku kołowego z kłotoidami niesymetrycznymi. W kolejnym etapie badań poddano analizie wyniki uzyskanych wielkości poprawek w oparciu o kryterium sumy kwadratów poprawek ($\sum v^2$) oraz kryterium sumy czwartych potęg poprawek ($\sum v^4$). Ostatnim etapem badań było porównanie wyników

wpasowania łuku kołowego z niesymetrycznymi kłoidami z użyciem opracowanego algorytmu z wynikami wpasowania za pomocą oprogramowania Bentley Open Rail. Zrealizowany schemat badań należy uznać za wystarczający w celu potwierdzenia hipotezy badawczej. Uzyskane wyniki zostały prawidłowo zinterpretowane, wykazując poprawność działania algorytmu opartego na metodzie sympleksu Nelder-Mead'a.

Podsumowując, przeprowadzone w ramach rozprawy badania w ogólnych założeniach wykazały skuteczność stosowania metody sympleksu Nelder-Mead'a do wpasowania krzywych przy regulacji torów kolejowych, co było celem niniejszej dysertacji. Jednak zakres badań w ocenie recenzenta jak i samej Doktorantki jest niewystarczający, aby można było wyciągnąć ostateczne wnioski i już wdrożyć proponowaną metodę/algorytm w regulacji torów kolejowych. Dalsze badania w tym zakresie mogą być prowadzone w przyszłej karierze zawodowej przez Panią mgr inż. Martę Skąłę-Szymańską.

3.3. Ocena wartości naukowej

W recenzowanej rozprawie doktorskiej za główne oryginalne osiągnięcie naukowe Pani mgr inż. Marty Skąły-Szymańskiej można uznać zastosowanie metody sympleksu Nelder-Mead'a do wpasowania łuku kołowego i łuku kołowego z kłoidami niesymetrycznymi przy regulacji torów kolejowych. Metoda ta posiada możliwość wdrożeniową nie tylko w kolejnictwie, ale również w innych zadaniach optymalizacyjnych z zakresu geodezji inżynierskiej dotyczących wpasowania funkcji nieliniowej w zbiór punktów. Dodatkowo Doktorantka opracowała koncepcję algorytmu metody SNM realizującego wpasowania krzywych przy regulacji torów kolejowych oraz zaplanowała i przeprowadziła badania empiryczne na danych w celu potwierdzenia hipotezy badawczej.

4. Uwagi i pytania do rozprawy doktorskiej

4.1. Uwagi merytoryczne

- str. 24 – „W pracy przyjęto założenie, że danymi wejściowymi są tylko współrzędne punktów do wpasowania. Nie ma żadnych wstępnych informacji na temat wartości parametrów, a ich przybliżone wartości określa się na podstawie danych wejściowych w postaci współrzędnych pomierzonych punktów. Do określenia przybliżonej wartości promienia R wykorzystano zależność pomiędzy odcinkiem WS , a promieniem R . Z trójkąta OWK przedstawionego na poniższym rysunku 6.5 wynika zależność 6.10:”

W zapisie tym jest pewna nieścisłość, najpierw autorka informuje, że do wyznaczenia wartości przybliżonej promienia R są wykorzystywane tylko pomierzone współrzędne. W dalszej części jednak wykorzystuje kąt γ i odcinek WS do wyznaczenia promienia R . Co prawda, kąt γ wyznaczany jest na podstawie przecięcia się prostych, które uprzednio również są wyznaczone ze współrzędnych. Czy Doktorantka nie rozważyła możliwości wyznaczenia przybliżonej wartości promienia R na podstawie tylko współrzędnych na łuku wykorzystując funkcję równania okręgu?

- W schemacie blokowym na str. 44 w mojej ocenie brakuje informacji wprowadzenia danych i wprowadzenia wyniku.
- Badania eksperymentalne zostały przeprowadzone na podstawie danych symulowanych, które zostały zaburzone szumem o rozkładzie normalny. Nasuwa się pytanie dlaczego zdecydowano się na dane symulowane, a nie z pomiaru rzeczywistego, który jest bardziej wiarygodny?

- W tabeli 8.2 Doktorantka podaje wartość wyrównaną promienia $R=509,953$ m i wartość przybliżoną $R=528,541$ m, różnica między nimi $-18,588$ m. Nasuwają się dwa pytania: 1. Dlaczego wartość przybliżona promienia tak znacząco odbiega od wartości wyrównanej? 2. Dlaczego wartość przybliżona promienia podawana jest z dokładnością do mm? Podobna sytuacja występuje w tabeli 8.4.
- W rozdziale 8.2.5 porównano wyniki wpasowania łuku kołowego z niesymetrycznymi kłoidami z użyciem opracowanego w ramach rozprawy algorytmu z wynikami wpasowania za pomocą oprogramowania Bentley Open Rail. Dlaczego w analizach tych skupiono się tylko nad wartościami poprawek v_i , pomijając wyniki uzyskanych parametrów krzywych tj. R, a_1, a_2, L_1, L_2 ?
- W rozdziale 8.2.3 zostały przedstawione testy wpływu wielkości sympleksu inicjującego na proces optymalizacji rozwiązania zadania wpasowania łuku kołowego oraz łuku kołowego z niesymetrycznymi kłoidami. Badania zostały przeprowadzone dla konkretnych przypadków. Czy można na podstawie przeprowadzonego eksperymentu wyciągnąć ogóle wnioski, które pozwolą na określenie tzw. sympleksu inicjującego dla innych przykładów (innych danych)?
- W ocenie recenzenta zawarte wnioski w rozdziale 9 mają charakter ogólny, brak wniosków szczegółowych np. doboru sympleksu inicjującego w procesie optymalizacji dla wybranych krzywych.

4.2. Uwagi związane redakcją dysertacji

Rozprawa doktorska jest napisana na dobrym poziomie językowym i edytorskim, z właściwym podziałem na rozdziały, rysunki i wykresy są czytelne, wzory są właściwie ponumerowane. Poniżej przedstawiam kilka uwag:

- str. 4 – „Potrzeba zwiększenia prędkości pojazdu nakłada na projektantów i wykonawców dostosowanie się do wyśrubowanych parametrów technicznych.” Zwrot „wyśrubowanych” jest określeniem nie formalnym.
- str. 5 – „Dlatego w rozprawie doktorskiej jako tło wpasowania zespołu krzywych wykorzystano potrzebę optymalnej geometrii toru kolejowego.” Nasuwa się pytanie co autorka ma na myśli używając zwrot „optymalnej geometrii toru kolejowego”.
- W rozprawie doktorskiej często we wzorach pojawiają się oznaczenia, które nie zostały wyjaśnione. Zwyczajowo jest przyjęte, aby nowo pojawiające się oznaczenie było zawsze wyjaśnione. Należy zaznaczyć, że używane oznaczenia są ogólnie stosowane i zrozumiałe, ale można było np. umieścić na początku rozprawy spis zastosowanych oznaczeń.

5. Wnioski końcowe

Zdaniem recenzenta, recenzowana rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w dyscyplinie ILGiT. Autorka rozprawy wykazała się dobrą znajomością aktualnego stanu wiedzy w zakresie tematu pracy, dobrą umiejętnością planowania badań w celu rozwiązywania problemów naukowych, empiryczną analizą danych oraz logicznym rozumowaniem. Uwagi krytyczne zawarte w recenzji nie mają tak istotnego wpływu na ocenę rozprawy doktorskiej i często mają charakter dyskusyjny.

Podsumowując, doktorantka posiada ogólną wiedzę teoretyczną i umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Uważam, że praca spełnia warunki rozprawy doktorskiej określone w ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789).

Zgodnie z powyższym, wnoszę do Rady Naukowej dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie o przyjęcie rozprawy pt. „Zastosowanie metody sympleksu Nelder-Mead’a do wpasowania krzywych przy regulacji torów kolejowych” i dopuszczenie Pani mgr inż. Marty Skąty-Szymańskiej do publicznej obrony.