

Poznań, 03.03.2025 r.

dr hab. inż. Anna Szymczak-Graczyk, prof. UPP

Katedra Budownictwa i Geoinżynierii

Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Macieja Miturskiego

**pt. „Charakterystyka wytrzymałościowa gruntu stabilizowanego cementem
z dodatkiem włókien polipropylenowych”**

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi Uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie z dnia 9 października 2024 roku zgodnie z którą powołano recenzentów w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora mgr. inż. Maciejowi Miturskiemu w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport oraz pismo prof. dr hab. inż. Eugeniusza Kody Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport z dnia 17.01.2025 r.

Podstawą prawną recenzji jest ustawa z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2024, poz. 1571 z późn. zm.).

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Macieja Miturskiego pt. „Charakterystyka wytrzymałościowa gruntu stabilizowanego cementem z dodatkiem włókien polipropylenowych”.

Rozprawa doktorska wykonana została pod kierunkiem:

- Promotor: dr hab. inż. Wojciech Sas, prof. SGGW, Instytut Inżynierii Lądowej SGGW,
- Promotor pomocniczy: dr inż. Andrzej Głuchowski, Instytut Inżynierii Lądowej SGGW.

Praca doktorska ma charakter teoretyczno-badawczy, składa się ze streszczenia w języku polskim i angielskim, ośmiu rozdziałów merytorycznych, spisów literatury, rysunków i tabel oraz dwóch załączników (A i B). Wykaz pozycji literaturowych obejmuje 219 pozycji, tekst rozprawy liczy 260 strony, zawiera 100 rysunków, 73 tabele i 83 wzory.

Praca rozpoczyna się spisem treści z bardzo przejrzystym formatowaniem informacji dotyczącej struktury opracowania oraz odnośnikami do stron, od których rozpoczynają się poszczególne rozdziały i podrozdziały. Kolejno następuje wykaz zastosowanych oznaczeń. Od strony 17 zaczyna się zasadnicza część pracy. Załącznik A rozpoczyna się od strony 221 a załącznik B od strony 232.

Praca doktorska Pana mgr inż. Macieja Miturskiego koncentruje się na analizie wpływu włókien polipropylenowych na wytrzymałość gruntu stabilizowanego cementem oraz opracowaniu wzoru empirycznego do przewidywania tej wytrzymałości.

W rozdziale pierwszym - wstępnym autor przedstawia historyczne i technologiczne podstawy stabilizacji gruntu, podkreślając znaczenie poprawy jego właściwości mechanicznych w inżynierii drogowej. Sformułowany został problem badawczy dotyczący wpływu włókien na parametry wytrzymałościowe i odkształceniowe cementogruntu, a także hipoteza zakładająca, że wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie gruntu stabilizowanego cementem z dodatkiem włókien polipropylenowych zależy od porowatości cementogruntu, objętości cementu i włókien, czasu utwardzania oraz odporności na działanie wody. Wskazano również główny cel pracy, którym jest analiza czynników wpływających na wytrzymałość na ściskanie gruntu stabilizowanego cementem z włóknami polipropylenowymi oraz wyznaczenie zależności pomiędzy wytrzymałością na ściskanie a parametrami takimi jak: objętość porów, objętość spoiwa, objętość włókien, objętość szkieletu gruntowego świeżej mieszanki i czasu utwardzania oraz odporności na działanie wody.

W rozdziale drugim dokonano przeglądu literatury, przedstawiając aktualne metody stabilizacji gruntów oraz wpływ różnych domieszek na ich właściwości mechaniczne. Omówiono klasyfikację technik wzmacniania podłoża oraz normy dotyczące stabilizacji cementowej, wskazując na brak jednoznacznych wytycznych dotyczących stosowania włókien polipropylenowych. Szczególną uwagę poświęcono efektom dodawania włókien do gruntów stabilizowanych, analizując ich potencjalne korzyści oraz ograniczenia.

Rozdział trzeci zawiera opis materiałów wykorzystanych w badaniach, w tym charakterystykę użytych gruntów jako gruntów bazowych, zastosowanego cementu oraz włókien polipropylenowych. Omówiono procedurę przygotowania próbek i ich zagęszczania, zapewniając powtarzalność warunków badawczych. Skład zastosowanych mieszanek został

precyzyjnie określony, a właściwości fizyczne i chemiczne materiałów przedstawiono w sposób umożliwiający ich porównanie z innymi badaniami.

W rozdziale czwartym przedstawiono szczegółową metodykę badań laboratoryjnych, obejmujących zarówno testy niszczące, jak i nieniszczące dla badań zasadniczych jak i kontrolnych. Opisano proces przygotowania i pielęgnacji próbek oraz zastosowaną aparaturę, w tym urządzenia do pomiarów ultradźwiękowych i testów jednoosiowego ściskania. Wyjaśniono sposób doboru parametrów badawczych oraz procedurę analizy wyników, kładąc nacisk na ich wiarygodność i powtarzalność.

Rozdział piąty zawiera prezentację wyników badań laboratoryjnych, które wykazały, że dodatek włókien polipropylenowych zwiększa wytrzymałość cementogruntu oraz poprawia jego właściwości odkształceniowe. W szczególności zauważono wzrost sztywności i redukcję deformacji w porównaniu do próbek bez zbrojenia. Przedstawiono również wyniki badań ultradźwiękowych, wskazujące na korelację między prędkością propagacji fali a wytrzymałością materiału.

W rozdziale szóstym przeprowadzono analizę wyników, wprowadzając koncepcję cementogruntu jako ośrodka pięciofazowego, uwzględniającego porowatość, objętość cementu i włókien. Na tej podstawie opracowano model empiryczny do przewidywania wytrzymałości na ściskanie, którego średni błąd oszacowano na 14,52%. Przeprowadzona analiza statystyczna potwierdziła istotność wpływu badanych czynników na wytrzymałość, jednak wskazała również na pewne ograniczenia modelu w zakresie jego dokładności i możliwości zastosowania w różnych warunkach gruntowych.

Rozdział siódmy poświęcono badaniom kontrolnym, które miały na celu weryfikację opracowanego modelu na nowym zestawie próbek. Wyniki potwierdziły ogólną poprawność modelu, lecz wykazały pewne rozbieżności między wartościami przewidywanymi a rzeczywistymi, szczególnie w przypadku różnych warunków zagęszczenia i wilgotności gruntu. Podkreślono konieczność dalszej kalibracji modelu i jego walidacji na szerszym zbiorze danych.

Ostatni rozdział stanowi podsumowanie pracy, w którym zestawiono kluczowe wnioski z badań. Potwierdzono, że włókna polipropylenowe poprawiają parametry mechaniczne cementogruntu, a opracowany model empiryczny może być użyteczny w inżynierii gruntów, choć wymaga dalszej optymalizacji. Wskazano również ograniczenia badań, takie jak brak analiz długoterminowych i konieczność rozszerzenia testów na inne rodzaje gruntów. Zarekomendowano dalsze badania nad wpływem warunków środowiskowych na stabilizację cementową oraz możliwości poprawy dokładności modelu predykcyjnego.

3. Ocena rozprawy doktorskiej

Opiniowana rozprawa dotyczy ważnych i aktualnych zagadnień z zakresu szeroko pojętego wzmocnienia gruntów, w szczególności skupia się na stabilizowaniu gruntu cementem z dodatkiem włókien polipropylenowych.

Właściwa struktura pracy umożliwia czytelnikowi na szybkie zorientowanie się w zakresie poruszanych w niej zagadnień. Przyjęty układ pracy i sposób uporządkowania treści jest logiczny, typowy dla prac o charakterze doświadczalnym. Praca jest dość obszerna, szczególnie rozdział drugi opisujący przegląd aktualnego stanu wiedzy dla omawianego zagadnienia.

Autor precyzyjnie zaplanował realizację swoich badań i analiz, co znajduje odzwierciedlenie już na etapie spisu treści. Świadczy to o dobrym przygotowaniu Doktoranta do realizacji zaawansowanych badań naukowych. W pierwszych rozdziałach Autor definiuje tezę oraz przedstawia cel i zakres pracy. Głównym celem pracy była analiza czynników wpływających na wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie oraz wyznaczenie zależności empirycznej do prognozowania tej wytrzymałości. W kolejnych rozdziałach Autor przedstawia różne techniki pomiarowe, aparaturę badawczą, wymagania poszczególnych metod, ich słabe i mocne strony oraz podstawowe równania fizyczne analizowanych zagadnień. W ramach badań zmierzono prędkości pulsów ultradźwiękowych, a następnie przeprowadzono badania jednoosiowego ściskania. Badania przeprowadzono na próbkach wykonanych na bazie piasku z iłem, cementu oraz włókien polipropylenowych. Przeprowadzone badania wykazały, że dodatek włókien przyczynił się do wzrostu wytrzymałości oraz zmniejszenia parametrów odkształceniowych. Podczas analizy wyznaczono zależność do prognozowania wytrzymałości. W tym celu posłużono się koncepcją ośrodka pięciofazowego, która bazuje na porowatości, indeksie cementowym i zbrojeniowym. Wyznaczona zależność charakteryzowała się średnim bezwzględnym błędem procentowym wynoszącym 14,52%. Następnie przeprowadzono badania kontrolne wyznaczonej zależności. W podsumowaniu pracy zestawiono wnioski z przeprowadzonych badań, przedstawiono zakres stosowania wyznaczonej zależności oraz wskazano dalsze kierunki prac badawczych.

Praca napisana jest poprawną polszczyzną, jest bardzo starannie zredagowana i nie budzi zastrzeżeń od strony estetycznej i graficznej. Wprawdzie zauważa się drobne usterki redakcyjne, które zostały wymienione w p. 4.2 niniejszej recenzji.

Dobór literatury jest trafny, choć tematyka wielu cytowanych prac nie zawsze bezpośrednio dotyczy zakresu opracowania. Oznacza to jednak, że zainteresowania Pana mgr inż. Macieja Miturskiego znacznie wykraczają poza tematykę opisaną w pracy doktorskiej. Autor przytoczył łącznie 219 pozycji bibliograficznych. Należy zaznaczyć, że spośród cytowanych prac znajdują

się dwie prace własne Autora, wspólne z promotorem oraz promotorem pomocniczym, w których Doktorant jest pierwszym autorem.

Zaprezentowana lista bibliograficzna świadczy o dobrym rozeznaniu Autora w zakresie problemów analizowanych zarówno w rozprawie doktorskiej jaki i znacznie wybiegających, choć ciągle mieszczących się w ogólnie rozumianym zakresie wzmacniania podłoża gruntowego. Przeprowadzone studia literaturowe pozwoliły Autorowi postawić ambitne cele do rozwiązania, nie tylko na drodze badawczej, ale także na drodze rozważań teoretycznych. Świadczy to o bardzo dobrym rozpoznaniu przez Autora tematyki i o Jego dobrym przygotowaniu do samodzielnego prowadzenia eksperymentów badawczych oraz podstawowych analiz z nich wynikających.

W rozprawie Autor jasno sformułował cele, które starał się konsekwentnie realizować. Choć proporcje pomiędzy objętościami poszczególnych rozdziałów można uznać jako dyskusyjne, to jednak uważam, że założone cele Autor zrealizował bardzo skutecznie. Pragnę również dodać, że tytuł rozprawy dobrze koresponduje z zawartą w niej treścią.

Zrealizowane przez Autora badania i przeprowadzone analizy są oryginalne. Zostały one zaprogramowane właściwie z punktu widzenia założonych celów. Widoczna jest duża staranność Autora w przeprowadzaniu zaplanowanych eksperymentów i graficznym udokumentowaniu uzyskanych wyników. Analiza i interpretacja tych wyników zostały przeprowadzone prawidłowo.

4. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

4.1. Strona merytoryczna pracy

Praca stanowi niewątpliwie ciekawy i cenny wkład w pogłębianie wiedzy na temat wzmacniania podłoża gruntowego. Autor wykazał się umiejętnościami zaprojektowania i prowadzenia badań naukowych. W dobrym stopniu opanował współczesne narzędzia i techniki badawcze, rozszerzył analizy o nowe elementy, takie jak wyznaczenie empirycznej zależności do prognozowania wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie gruntu stabilizowanego cementem z dodatkiem włókien polipropylenowych.

Moim zdaniem, praca posiada pewnie ograniczenia uniwersalności przyjętego rozwiązania. Do badań użyto gruntu sklasyfikowanego jako piasek z iłem, pozostałe dwa typy tj. piasek średni i il z pyłem wykorzystano do badań kontrolnych. Zatem zastosowanie tylko jednego materiału gruntowego ogranicza uogólnienie wyników na inne typy gruntów np. gliny o wysokiej plastyczności, ily, piaski. Wyprowadzony wzór empiryczny 6.52 (błędnie przypisany numer wzoru, w uwagach redakcyjnych znajduje się wyjaśnienie) we wnioskach opisany jest jako

możliwy do stosowania przy prognozowaniu wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie cementogruntu wytworzonego na bazie gruntów spoistych i niespoistych. Uważam, że na podstawie prowadzonych badań jest to zbyt daleko idący wniosek.

Kolejna moja uwaga dotyczy empirycznej zależności 6.52 do prognozowania wytrzymałości na ściskanie, której średni błąd procentowy wynosi 14,52%, co uważam za dość duży margines błędu w inżynierskich zastosowaniach, gdzie dokładność ma kluczowe znaczenie. Ponadto zależność ta, jak wcześniej wspomniałam, opracowana została na podstawie badań przeprowadzonych na materiale badawczym jakim był piasek z iłem.

Następnym zagadnieniem budzącym niedosyt jest brak analizy długoterminowej. Praca nie wspomina o badaniach starzeniowych, wpływie cykli zamrażania-rozmrażania, czy długotrwałej ekspozycji na zmienne warunki atmosferyczne. Czy cementogrun z włóknami nie ulega degradacji po latach? Włókna polipropylenowe mogą starzeć się w obecności wilgoci, promieniowania UV i mrozu, a cement może zmieniać swoje właściwości w czasie.

W rzeczywistych zastosowaniach w budownictwie drogowym stabilizacja cementem musi zapewniać trwałość przez dekady.

Badania przeprowadzono na próbkach laboratoryjnych, ale nie wiadomo, czy wyniki są przenaszalne na warunki rzeczywiste (np. stabilizacja warstwy w podłożu drogowym). W rzeczywistości mogą występować inne mechanizmy niszczenia, np. nierównomierne zagęszczenie, efekty skali, wpływ warunków atmosferycznych.

Kolejna moja uwaga jest bardzo szczegółowa i dotyczy stosowania do oznaczania materiału do badań normy już wycofanej PN-88/B-04481. Zatem w pracy występuje sytuacja mieszania norm obowiązujących i wycofanych do określania parametrów wyjściowych do przeprowadzonych badań.

Następne moje szczegółowe zapytanie dotyczy przyjętego programu badań, dlaczego do badań nr 1, 2 i 3 dla etapu I (strona 91) przyjmowano różną ilość cementu. W jaki sposób porównywano zatem otrzymane wyniki?

Moim zdaniem, w pracy zabrakło porównania z innymi rodzajami zbrojenia. Praca skupia się na włóknach polipropylenowych, ale nie analizuje potencjalnych alternatyw (np. włókna szklane, bazaltowe, stalowe), które mogłyby mieć inne właściwości użytkowe. W przeglądzie literatury przywołane są inne typy włókien jednak nie ma w pracy nawet krótkiej analizy porównawczej wyników ściskania cementogrunów z innymi typami włókien na bazie, której można wnioskować, że włókna polipropylenowe są korzystniejsze lub nie od innych.

Odnosząc się do analizy statystycznej, moim zdaniem, nie wiadomo czy została uwzględniona interakcja różnych czynników, takich jak: wilgotność, porowatość, czas utwardzania.

Moje kolejne uwagi lub raczej sugestie dotyczą zagadnień aplikacyjnych. W pracy można było dodać fragment dotyczący analizy ekonomicznej. Bowiem, czy dodanie włókien polipropylenowych jest uzasadnione ekonomicznie? Czy korzyści wytrzymałościowe przewyższają koszty ich zastosowania? Praca nie podaje także żadnych wytycznych dotyczących optymalnego dozowania włókien dla różnych zastosowań inżynierskich, w zależności od agresywności środowiska, wilgotności i innych czynników.

4.2. Strona redakcyjna pracy

Praca wykonana została starannie i wnikliwie. Na szczególne podkreślenie zasługuje przeprowadzenia analizy i syntezy aktualnego stanu wiedzy w sposób odpowiadający właściwemu prowadzeniu badań naukowych oraz przedstawienie wyników w sposób przejrzysty i ilustrowany dużą liczbą rysunków i wykresów. Układ recenzowanej pracy jest poprawny, zgodny z ogólnie przyjętymi wymogami dla tego rodzaju opracowań naukowych. W trakcie opiniowania rozprawy doktorskiej zauważyłam drobne usterki redakcyjne, które przedstawiam poniżej:

- Str. 87, wiersz 4 od dołu: nazwa katedry powinna być pisana z wielkiej litery,
- Str. 131, wiersz 6 od góry: powinno być „...spowodowane” a nie „...spowodowany”,
- Str. 143, wzór opisany jako 6.25 powinien mieć numer 6.16,
- Str. 144, wzór opisany jako 6.29 powinien mieć numer 6.17,
- Str. 145, wzór opisany jako 6.33 powinien mieć numer 6.18,
- Str. 147, wzór opisany jako 6.37 powinien mieć numer 6.19,
- Str. 147, wzór opisany jako 6.38 powinien mieć numer 6.20,
- Str. 150, wzór opisany jako 6.44 powinien mieć numer 6.21,
- Str. 152, wzór opisany jako 6.45 powinien mieć numer 6.22,
- Str. 152, wzór opisany jako 6.46 powinien mieć numer 6.23,
- Str. 152, wzór opisany jako 6.47 powinien mieć numer 6.24,
- Str. 154, wzór opisany jako 6.48 powinien mieć numer 6.25,
- Str. 155, wzór opisany jako 6.49 powinien mieć numer 6.26,
- Str. 156, wzór opisany jako 6.50 powinien mieć numer 6.27,
- Str. 157, wzór opisany jako 6.51 powinien mieć numer 6.28,
- Str. 158, wzór opisany jako 6.52 powinien mieć numer 6.29,
- Str. 158, wzór opisany jako 6.53 powinien mieć numer 6.30,
- Str. 158, wzór opisany jako 6.54 powinien mieć numer 6.31,

- Str. 160, wzór opisany jako 6.55 powinien mieć numer 6.32,
- Str. 161, wzór opisany jako 6.56 powinien mieć numer 6.33,
- Str. 161, wzór opisany jako 6.57 powinien mieć numer 6.34,
- Str. 165, wzór opisany jako 6.58 powinien mieć numer 6.35,
- Str. 165, wzór opisany jako 6.59 powinien mieć numer 6.36,
- Str. 169, wzór opisany jako 6.60 powinien mieć numer 6.37,
- Str. 170, wzór opisany jako 6.61 powinien mieć numer 6.38,
- Str. 170, wzór opisany jako 6.62 powinien mieć numer 6.39,
- Str. 170, wzór opisany jako 6.63 powinien mieć numer 6.40,
- Str. 171, wiersz 1 od dołu: powinno być”... idealny” a nie „... Idealny”,
- Str. 172, wzór opisany jako 6.64 powinien mieć numer 6.41,
- Str. 172, wzór opisany jako 6.65 powinien mieć numer 6.42,
- Str. 173, wzór opisany jako 6.66 powinien mieć numer 6.43,
- Str. 175, wzór opisany jako 6.67 powinien mieć numer 6.44,
- Str. 177, wiersz 14 od dołu: powinno być „...odstawiała” a nie „...odstawiały”,
- Str. 178, wzór opisany jako 6.68 powinien mieć numer 6.45.

Podane powyżej uwagi redakcyjne nie obniżają oceny pracy. Uwagi mają jedynie charakter porządkowy.

5. Wnioski i ocena końcowa

Opiniowana dysertacja doktorska Pana mgr inż. Macieja Miturskiego udanie rozwiązuje postawione oryginalne zadanie naukowe (o praktycznych walorach inżynierskich) dotyczące charakterystyki wytrzymałościowej gruntu stabilizowanego cementem z dodatkiem włókien polipropylenowych.

Stwierdzam, że hipoteza badawcza rozprawy doktorskiej została udowodniona a cel główny pracy oraz cele szczegółowe zostały osiągnięte. Wyciągnięte zostały też prawidłowe wnioski. Autor pracy wykazał się bardzo dobrą znajomością aktualnego stanu wiedzy w zakresie objętym tematem, umiejętnościami prowadzenia zaawansowanych badań doświadczalnych oraz umiejętnościami wyciągania konstruktywnych wniosków z badań. Otrzymał oryginalne wyniki, które przeanalizował i krytycznie ocenił. Świadczy to o predyspozycjach Autora do samodzielnego prowadzenia prac naukowo-badawczych. W trakcie opracowywania postawionego problemu naukowego Autor nie ustrzegł się jednak przed drobnymi

niedociągnięciami, które w postaci uwag krytycznych zostały przedstawione w rozdziale 4 niniejszej recenzji.

Pomimo uwag opiniowana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i wnosi istotny wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport. Oprócz znaczenia naukowego opiniowana rozprawa ma również duże znaczenie dla praktyki inżynierskiej.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, iż recenzowana rozprawa doktorska Pana mgr inż. Maciej Miturskiego pt. „Charakterystyka wytrzymałościowa gruntu stabilizowanego cementem z dodatkiem włókien polipropylenowych” spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim zawarte w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2024, poz. 1571 z późn. zm.) i stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Anna Szymczak-Graczyk

dr hab. inż. Anna Szymczak-Graczyk, prof. UPP

(00)659007734159987846

R



RPU/5768/2025 N
Data: 2025-03-10

Z.P.O

Poczta Polska
Opłata pobrana 12 zł 30 g



Szanowna Pani!

Wanda Kos

Instytut Inżynierii dźwiękowej

ul. Niekursynowska 159, bud. 33, pok.

02-776 Warszawa