

Wpłynęło
do Biura Wydziału WILiS
dnia 30.12.2025
L.dz. 939 podpis *[podpis]*

dr hab. inż. Marian Łupieżowiec, prof. PŚ.
Politechnika Śląska
Wydział Budownictwa
Katedra Geotechniki i Dróg
ul. Akademicka 5
44-100 Gliwice

Gliwice, 19 grudnia 2025 r.



RECENZJA

rozprawy doktorskiej autorstwa mgr inż. Katarzyny Lisewskiej pt. „Modelowanie anizotropii właściwości mechanicznych gruntów sztywnych”

1. Podstawa opracowania recenzji

Niniejszą recenzję pracy doktorskiej mgr inż. Katarzyny Lisewskiej pt. „Modelowanie anizotropii właściwości mechanicznych gruntów sztywnych” wykonano na zlecenie Przewodniczącej Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport – Pani prof. dr hab. inż. Ewy Wojciechowskiej z dnia 23 listopada 2025 roku, działającej na podstawie Uchwały nr 86/2025 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Gdańskiej z dnia 8 października 2025 roku.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

Recenzowana rozprawa jest napisana w języku angielskim (tytuł w j. angielskim „Modelling anisotropic mechanical properties of stiff soils”) i liczy łącznie 169 stron tekstu. Spis literatury zawiera 180 pozycji, na które w całości składają się publikacje naukowe w postaci artykułów lub wydawnictw książkowych. Ujęto zarówno pozycje klasyczne, jak i najnowsze pozycje literaturowe, co pozwala na stwierdzenie, że praca autorki dotyczy aktualnego stanu wiedzy. Dobór literatury recenzent uważa za odpowiedni i wyczerpujący w stosunku do analizowanych zagadnień. Praca doktorska zawiera bardzo krótkie streszczenia w języku polskim i angielskim. Jest podzielona na 8 rozdziałów, a łatwą nawigację w ich treści ułatwia umieszczony na początku spis treści.

3. Aktualny stan wiedzy w zakresie tematyki rozprawy

Aby móc w sposób możliwie najbardziej dokładny opisać zachowanie się danego ośrodka poddanego złożonej ścieżce oddziaływania, należy zbudować adekwatny model konstytutywny, który będzie w stanie ująć te właściwości analizowanego ośrodka. Spostrzeżenie to w szczególności dotyczy gruntów, których właściwości są bardzo złożone. Dlatego też w praktyce inżynierskiej przyjmuje się często bardzo duże uproszczenia, przez co uzyskiwane wyniki często istotnie różnią się od obserwowanych w rzeczywistości. Ponadto celowe jest prowadzenie zaawansowanych analiz, które ostatecznie doprowadzą do stworzenia odpowiedniego modelu numerycznego.

Już od dawna wiadomo, że charakterystyka obciążenie – odkształcenie w przypadku ośrodka gruntowego jest nieliniowa. Obserwowane jest powstanie odkształceń nieodwracalnych (plastyczność ośrodka), osiągnięcie wytrzymałości (niekontrolowany

przyrost odkształceń przy niewielkiej zmianie stanu naprężenia), wzmocnienie ośrodka, zależność od naprężeń średnich (barotropia), zachowanie reologiczne przy długotrwałym obciążeniu, reakcja ośrodka na oddziaływania dynamiczne i wiele innych zjawisk, z których wiele prawdopodobnie jeszcze nie jest odkrytych. W szczególności w ostatnich latach powstało wiele prac (zarówno teoretycznych, jak i doświadczalnych) opisujących dużą zmienność sztywności w zakresie małych odkształceń. Uwzględnienie w modelowaniu tej właściwości gruntów pozwala na oszacowanie wiarygodnych wartości osiadań posadowianych obiektów przy różnych scenariuszach oddziaływań. W przypadku konstrukcji oporowych właściwy opis zmiany sztywności ośrodka gruntowego w czasie realizacji ścieżki obciążenia jest gwarancją uzyskania prawidłowych wartości sił wewnętrznych. Jest to w tym zakresie zagadnienie szczególnie wrażliwe, a brak przyjęcia adekwatnego modelu może skutkować popełnieniem grubych błędów.

Oddzielnym problemem jest anizotropia ośrodka, która w szczególności jest obserwowana w gruntach ze względu na złożone procesy geologiczne zachodzące podczas ich formowania. Najczęściej obserwuje się inne właściwości odkształceniowe w kierunku pionowym (kierunek tworzenia utworów), a inne w kierunku poziomym. Stąd powstały modele opisujące anizotropię poprzeczną (transwersalną), w tym relatywnie prosty model Grahama-Houslbiego. Oczywiście zdecydowanie większym problemem pozostaje wykorzystanie tego rodzaju modeli w praktyce, choć w przypadku deformacji terenu nad miejscem, gdzie wydobywany jest grunt i tworzona pustka (np. przy tunelach lub głębokiej eksploatacji górniczej), założenie izotropii ośrodka prowadzi do dosyć istotnych błędów – zbyt szeroki zasięg oddziaływań i niedoszacowane wartości obniżen pod realizowanym obiektem. Brakuje też zaawansowanego modelu, który byłby w stanie realistycznie opisać zarówno anizotropię sztywności, jak i właściwości wytrzymałościowych ośrodka.

Recenzowana praca bardzo dobrze wpisuje się w zdefiniowaną powyżej lukę, stanowiąc istotny wkład w rozwój dyscypliny, w szczególności w zakresie zagadnień modelowania konstytutywnego geomateriałów.

4. Struktura i treść rozprawy doktorskiej

Pierwszy rozdział dysertacji to bardzo krótkie przedstawienie motywacji, celu i zakresu pracy. Rozdział **drugi** to zwięzłe omówienie nieliniowych właściwości ośrodka gruntowego: barotropię, hipoplastyczność, hipersprężystość oraz degradację sztywności wraz ze wzrostem odkształceń. Przedstawiono podstawowe zależności, które występują w obecnie stosowanych modelach. Rozdział **trzeci** stanowi bardzo dobre studium literaturowe w zakresie właściwości i charakterystyk ośrodka anizotropowego. Przedstawiono zarówno wyniki najważniejszych badań, jak i dotychczasowy opis tego zjawiska w obecnie wykorzystywanych modelach. Bardzo istotny dla treści pracy jest rozdział **czwarty**, który przedstawia podstawowe definicje i równania dotyczące anizotropii ośrodka wykorzystane przez autorkę do modelowania zdefiniowanego przez siebie zagadnienia. Rozdział ten jest bezpośrednio powiązany z rozdziałem **piątym**, gdzie przedstawiono zaawansowany model hipersprężysto-plastyczny uwzględniający silną zmianę sztywności w zakresie małych odkształceń. W rozdziale **szóstym** przedstawiono weryfikację zdefiniowanego modelu przy poszukiwaniu odpowiedzi ośrodka gruntowego na podstawowe ścieżki obciążenia (trójosiowe ściskanie w warunkach z odpływem i bez odpływu, realizacja ścieżek pod różnymi kątami do kierunku anizotropii) oraz zagadnień brzegowych (deformacje podłoża nad wierconym tunelem, symulacja głębokiego wykopu

szerokoprzestrzennego oraz wykopu podpartego ścianką szczelną). Na podstawie otrzymanych wyników autorka zdefiniowała i rozwiązała trójwymiarowe zagadnienia brzegowe problemu drążenia bliźniaczego tunelu w St. James Park (Londyn), dwóch fragmentów zespołu tuneli Mt. Terri Rock Laboratory (Szwajcaria) oraz wykopu otwartego w Elstow (na północ od Londynu). Gruntami, w których wykonywane były te realizacje to grunty spoiste London Clay, Opalinus Clay oraz Oxford Clay. Wyniki tych analiz przedstawiono w rozdziale **siódmym**. Rozdział **ósmym** to zwięzłe podsumowanie treści przedstawionych w rozprawie. Praca zawiera również załącznik, w którym przedstawiono podstawowe wyprowadzenia równań wykorzystanych w modelu, jak również spis literatury zawierający 180 pozycji. Warto zauważyć, że autorka analizowała zarówno pozycje klasyczne, jak i najnowsze publikacje naukowe dotyczące analizowanych zagadnień, dzięki czemu nowe aspekty są bardzo dobrze osadzone w dotychczasowej wiedzy w zakresie modelowania złożonych zagadnień zachowania się ośrodka gruntowego. Na początku dysertacji autorska zamieściła spis oznaczeń, który jest bardzo pomocny podczas lektury tekstu.

Strukturę i zawartość pracy doktorskiej oceniam bardzo pozytywnie. Praca tworzy logiczną całość i może być bardzo wartościowym źródłem wiedzy dla badaczy studiujących zagadnienia anizotropii w gruntach. Można jedynie zarzucić brak zdefiniowania kierunków dalszej pracy badawczej doktorantki.

5. Ocena dorobku naukowego rozprawy

W pierwszej kolejności należy podkreślić trafność wyboru tematyki rozprawy. W dzisiejszych czasach, gdy realizowanych jest wiele inwestycji polegających na budowie tuneli pod zurbanizowanymi terenami, umiejętność właściwej analizy wpływu na deformacje terenu jest kluczowy. Natomiast zagadnienia tego nie da się poprawnie rozwiązać bez uwzględnienia anizotropii. Ponadto standardem w analizach staje się uwzględnienie dużej zmiany (degradacji) sztywności w ośrodku gruntowym. Stąd budowa modelu konstytutywnego, który będzie w stanie ująć obydwie te właściwości stanowi istotny wkład w rozwój wiedzy. Przedstawione wyniki mogą mieć duże znaczenie przy modelowaniu ośrodka gruntowego.

Prezentowany w rozprawie model konstytutywny wpisuje się w zaawansowaną analizę zachowania się ośrodka gruntowego poddanego złożonej ścieżce obciążenia. W szczególności ujęto w nim anizotropię właściwości tego ośrodka, przy czym ograniczono się do anizotropii poprzecznej, jednakże o dowolnym kierunku tej anizotropii. Należy tutaj zauważyć, że powyższe ograniczenie w żadnym razie nie stanowi mankamentu pracy, gdyż prezentowane podejście jest w zupełności wystarczające do prawidłowego rozwiązania postawionych przez autorkę zagadnień. Ponadto model ujmuje zarówno anizotropię sztywności (co można uznać za zagadnienie znane w modelowaniu), jak i anizotropię właściwości wytrzymałościowych, co już jest istotną nowością. Rozważano też zarówno anizotropię inherentną (będącą skutkiem geologicznych procesów gruntotwórczych), jak i wywołaną ścieżką naprężenia w danym punkcie materialnym. Drugim istotnym aspektem jest przyjęcie modelu uwzględniającego degradację sztywności. Model ten stanowi analogię do człowieka ciągnącego cegły na sznurkach o różnej długości. Ten model znakomicie opisuje historię procesu zmiany naprężeń w gruncie, która ma ogromny wpływ na jego właściwości. Koncepcja ta naprawia duży błąd obecny w wielu modelach, który powodował przeszacowanie sztywności przy ostrej i wielokrotnej zmianie ścieżki w przestrzeni naprężeń. Warto również wspomnieć, że autorka w swoim modelu wykorzystała powierzchnię plastyczności Matsuoki-Nakai oraz

hipersprężysty potencjał zaproponowany przez Vermeera. Zdaniem recenzenta, zaproponowany model wpisuje się w aktualne światowe trendy modelowania konstytutywnego.

Szczególnie ważnym aspektem modelowania jest specyfikacja parametrów modelu. Oczywiście praca jest stricte teoretyczna, jednakże wszystkie istotne parametry zostały we właściwy sposób zdefiniowane i opisane, a także została przeprowadzona analiza wrażliwości modelu na wartości parametrów. Dotyczy to szczególnie parametrów opisujących anizotropię ośrodka. Natomiast do analiz numerycznych wykonywanych w ramach realizacji doktoratu wartości parametrów przyjęto z literatury na podstawie wykonanego szeregu odpowiednich badań terenowych i laboratoryjnych. Opublikowane badania in situ posłużyły również do weryfikacji skuteczności zaproponowanego modelu.

Bardzo wysoko również oceniam dobór przykładów obliczeniowych, które pokazują możliwości zastosowania modelu w praktyce. W przypadku problemu deformacji podłoża ponad drążonymi tunelami uwzględnienie anizotropii jest kluczowe przy uzyskiwaniu prawidłowych wyników – zgodnych z wynikami monitoringu osiadań. Nie bez znaczenia jest też przebieg złożonej ścieżki naprężenia w poszczególnych obszarach ponad i wokół tunelu, co bezpośrednio przekłada się na zmianę sztywności ośrodka gruntowego, a to z kolei na uzyskiwane wartości odkształceń i przemieszczeń. Bez zastosowania modelu ujmującego te wszystkie złożone właściwości ośrodka uzyskiwane wyniki zwykle są obciążone dużymi błędami. Również inne zagadnienie wybrane przez doktorantkę do analizy – symulacja głębokiego wykopu szerokoprzestrzennego, wymaga wykorzystania zaawansowanego modelu. W tym przypadku szczególnie trudnym do opisanie jest kształt dna oraz skarpy przy dnie po odprężeniu ośrodka spowodowanego wykopem. Aby tak postawione zagadnienie móc prawidłowo rozwiązać konieczne jest właściwe ujęcie zmiany sztywności w trakcie złożonej ścieżki naprężenia realizowanej w danym punkcie. Oczywiście prawidłowe rozwiązanie tego typu zagadnień wymaga przyjęcia właściwych wartości parametrów, co autorka wykonała bez zarzutu mając do dyspozycji opublikowane wyniki odpowiednich badań. Ta część dysertacji z całą pewnością jest oryginalnym rozwiązaniem trudnego problemu badawczego.

W pracy należy również dostrzec bardzo dobre studium literaturowe w zakresie analizowanych zagadnień. Cytowane są wszystkie istotne pozycje mające istotny wkład w zaawansowane modelowanie zjawiska anizotropii. Może to być bardzo cenny materiał do analizy zagadnienia przez innych badaczy. Ponadto autorka oparła swoje analizy numeryczne, w tym weryfikację uzyskanych wyników, na wiarygodnych i bardzo wartościowych danych literaturowych.

Całość przedstawionej do recenzji pracy pod względem merytorycznym oceniam bardzo wysoko. Doktorantka wykazała dużą skuteczność i możliwość zastosowania w praktyce przedmiotowego modelu konstytutywnego. Na uwagę zasługuje sposób analizy uzyskiwanych wyników oraz trafne wnioski. Przy okazji należy też docenić bardzo duże umiejętności warsztatowe realizacji analiz numerycznych. Można sądzić, że doktorantka będzie w stanie wykonać wiele złożonych analiz różnych zjawisk zachodzących w ośrodku gruntowym, za każdym razem dobierając adekwatny model konstytutywny, jak również przyjmując realistyczne wartości parametrów. Jak już wspomniano, przygotowana dysertacja stanowi istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej.

6. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Nie umniejszając bardzo wysokiej ocenie całości pracy, można w jej treści wskazać kilka drobnych uwag. W zdecydowanej większości są one dyskusyjne lub wskazujące możliwość wykonania dalszych analiz.

W pierwszej kolejności można by się zapytać, czy w oparciu o przedstawiony dyskretny model degradacji sztywności (autorka założyła istnienie dokładnie 10 sznurków o różnych długościach do ciągnięcia cegieł) można by sformułować model ciągły? Niezależnie od tego należałoby zapytać o przyjęcie powyższej liczby 10: czy autorka wykonywała stosowne analizy lub też studiowała przyjęcie innej liczby sznurków?

Drugim pytaniem, na które odpowiedź byłaby uogólnieniem wykonanych dociekań naukowych, byłaby pełna anizotropia. Czy zdaniem doktorantki jest sens rozważań pełnej anizotropii w ośrodku gruntowym (ewentualnie w innych), czy też proponowana anizotropia poprzeczna stanowi znakomity kompromis pomiędzy relatywnie prostym opisem modelu i możliwością realistycznego przyjęcia wartości parametrów do analiz.

Wreszcie interesującym byłoby się dowiedzieć, jak anizotropia wpływa na stateczność skarp głębokiego wykopu. Kiedy w przypadku obiektów liniowych (np. drogi) zagadnienie można by uprościć do dwuwymiarowego (jak podchodzą do tego projektanci), natomiast kiedy należałoby rozwiązać pełne zagadnienie trójwymiarowe.

Doktorantka powinna też skomentować fakt uzyskania w wynikach analiz zagadnienia deformacji głębokiego wykopu podniesienia się terenu ponad pierwotny poziom przy brzegu modelu numerycznego przy wysokiej wartości współczynnika anizotropii α_G (rys. 6.28 i 6.31). Zdaniem recenzenta wystąpił w tym przypadku jakiś błąd, natomiast wyjaśnienia na str. 108 są zbyt ogólne. Natomiast drobne wątpliwości można mieć do modelu pracy ścianki podpierającej wykop (rys. 6.34) – zbudowany model wydaje się być zbyt „długi” i za mało „głęboki”. Dodatkowego wyjaśnienia wymaga też fragment na str. 123, w którym stwierdzono, że model AHEBrick został stworzony do symulacji anizotropowych gruntów prekonsolidowanych i nie jest w stanie dobrze symulować zachowania się gruntów normalnie skonsolidowanych. Jeżeli by tak było w rzeczywistości, to oznaczałoby dosyć poważne ograniczenie możliwości stosowania modelu. Być może tutaj zastosowano jakiś skrót myślowy, który wymaga dodatkowego wyjaśnienia.

Ponadto recenzent byłby zainteresowany kierunkiem dalszej działalności naukowej doktorantki, gdyż tego aspektu nie ujęto w treści ocenianej dysertacji.

Z drobnych omyłek zauważonych w treści, można by wskazać używanie terminu „stała” dla wartości parametrów modelu. O ile takie sformułowanie czasami pojawia się w teorii sprężystości, to jednak w przypadku zaawansowanego modelowania takiego terminu nie powinno się używać (jest to po prostu parametr modelu). Podobnie błędne jest wyrażenie „naprężenia konstytutywne” (str. 76). Użyte na str. 84 oznaczenie $\varepsilon_v = \varepsilon_{22}$ może być mylące (z jednej strony ε_v może oznaczać odkształcenie objętościowe, natomiast w niektórych stanach odkształcenia ε_{22} może być odkształceniem postaciowym). Dlaczego też na str. 138 przy obliczeniach mikrotunelu HG-A przyjęto wartość współczynnika Poissona $\nu = 0.0$ – czy to omyłka pisarska?

Należy jednak podkreślić dużą dbałość autorki o końcowy wygląd pracy, co manifestuje się małą liczbą drobnych przekłamań w porównaniu do innych tego typu prac. Oczywiście

wskazane drobne błędy w żadnym razie nie obniżają wartości pracy, która z całą pewnością jest bardzo wysoka.

7. Podsumowanie i wniosek końcowy

W ocenianej rozprawie doktorskiej autorka przedstawiła oryginalne rozwiązanie wybranego przez siebie bardzo ważnego w geotechnice i ambitnego zagadnienia anizotropii ośrodka gruntowego. Wykazała, że posiada bardzo wysokie kompetencje w zakresie realizacji pracy naukowej dotyczącej modelowania gruntów. Ponadto doktorantka wykazuje się bardzo dużą wiedzą i doświadczeniem w zakresie omawianych w dysertacji zagadnień. Można oczekiwać, że w przyszłości będzie autorką wielu cennych publikacji, które będą stanowiły istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej.

Reasumując, stwierdzam, że praca doktorska Pani mgr inż. Katarzyny Lisewskiej pt. „Modelowanie anizotropii właściwości mechanicznych gruntów sztywnych” (tytuł oryginału: „Modelling anisotropic mechanical properties of stiff soils”) spełnia wszystkie warunki i wymagania określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2024 r., poz. 1571 z późn. zmianami).

Biorąc powyższe pod uwagę oraz moją pozytywną ocenę rozprawy doktorskiej, wnioskuję o przyjęcie rozprawy doktorskiej przez Radę Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Gdańskiej oraz o dopuszczenie Pani mgr inż. Katarzyny Lisewskiej do publicznej obrony rozprawy doktorskiej. Dodatkowo, z uwagi na bardzo wysoki poziom naukowy dysertacji oraz bardzo duży wkład w rozwój dyscypliny naukowej, jak również wysoki potencjał dalszego publikowania, wnoszę o przyznanie wyróżnienia.

