

Warszawa, 30 września 2025 r.

dr hab. inż. Tomasz Godlewski, prof. ITB

Zakład Konstrukcji Budowlanych, Geotechniki i Betonu

Instytut Techniki Budowlanej

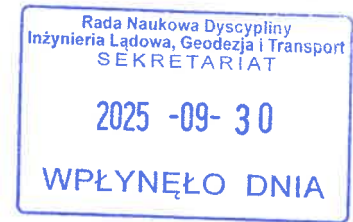
ul. Ksawerów 21,

02-656 Warszawa

Tel. (22) 56-64-163, 607-261-597

e-mail: t.godlewski@itb.pl

*Przyjmuję pod względem
formalnym 1.10.2025/180*



RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Mateusza Cezariusza Frydrycha

**pt. „ Wykorzystanie modeli numerycznych dla sprężonych ścian szczelinowych
w kontekście optymalizacji techniki, technologii i ich realizacji”**

opracowanej pod kierunkiem: Promotor - dr hab. inż. Grzegorz Kacprzak

i Promotor pomocniczy - dr inż. Paweł Nowak

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą formalną opracowania recenzji jest uchwała Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej nr 136/2025 z dn. 01.07.2025 r. (zgodnie z pismem Przewodniczącej Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport PW, dr hab. inż. Katarzyny Osińskiej-Skotak, prof. uczelni z dn. 16.07.2025 r.).

Postawę prawną recenzji pracy stanowi Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571, z późn. zm.). Zgodnie z art. 187 tej ustawy rozprawa doktorska ma prezentować ogólną wiedzę teoretyczną osoby kandydującej we wskazanej dyscyplinie naukowej, potwierdzać umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Mając to na uwadze, przy ocenie rozprawy doktorskiej mgr inż. Mateusza C. Frydrycha przyjęto następujące kryteria:

- ocena problematyki i celów pracy,
- ocena metodyki badań,
- ocena rozwiązania problemu,
- ocena struktury oraz strony formalnej pracy.

Recenzja zakończona została konkluzją.

2. Przedmiot recenzji

2.1. Układ i forma rozprawy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Mateusza C. Frydrycha pt. „Wykorzystanie modeli numerycznych dla sprężonych ścian szczelinowych w kontekście optymalizacji techniki, technologii i ich realizacji”. Recenzowana praca ma charakter teoretyczno-analityczny i dotyczy tematyki w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie naukowej: inżynieria lądowa, geodezja i transport w zakresie obejmującym specjalności dotyczące budownictwa podziemnego i geotechniki.

Rozprawę doktorską przygotowano w formie odpowiadającej monografii naukowej, napisanej w języku polskim, która składa się z 8 rozdziałów, streszczenia w języku polskim i angielskim, spisu literatury, rysunków i tablic. Bibliografia obejmuje 151 pozycji, w tym normy i wytyczne oraz zasoby internetowe. Wymienione pozycje literatury są w proporcji ok. 80/20 jeśli chodzi o publikacje angielskojęzyczne i polskojęzyczne. Tekst rozprawy w przekazanym formacie wydawniczym liczy 328 stron i zawiera 164 rysunki oraz 25 tabel.

2.2. Krótka charakterystyka pracy

Głównym przedmiotem pracy są sprężone ściany szczelinowe PDW¹ stanowiące obudowy głębokich wykopów. Praca została ukierunkowana na analizę autorskiej koncepcji rozwiązania konstrukcji ściany sprężonej i zakładanego schematu statycznego jej pracy przy wykorzystaniu zaawansowanych metod symulacji numerycznych. W rozprawie przeprowadzono analizy odnoszące się do oceny skuteczności zastosowanego rozwiązania konstrukcji ściany szczelinowej w zakresie aspektów projektowych i technologicznych.

Praca na wstępie (rozdział 1) zawiera wprowadzenie w problematykę badawczą podjętą w rozprawie. Wskazano na rosnącą potrzebę wykorzystania nowych obszarów pod zabudowę, co w sytuacji gęstej zabudowy miejskiej wiąże się z coraz powszechniejszym wykorzystywaniem przestrzeni podziemnej (tzw. *Underground Space*). Ten fragment pracy to również syntetyczna analiza źródeł literaturowych, która przedstawia zarys historyczny omawianej problematyki, stan wiedzy oraz przegląd realizacji i postępowań patentowych w zakresie sprężonych ścian szczelinowych. Na tym tle w dalszej części rozdziału 1 sformułowano cel główny oraz cele dodatkowe i zakres wykonanych badań własnych oraz strukturę niniejszej rozprawy doktorskiej. Rozdział drugi to obszerna analiza aktualnego stanu wiedzy na tle danych z literatury oraz wytycznych i norm w zakresie wymagań dla realizacji podziemnych części inwestycji w technologii ścian szczelinowych. Na podstawie przeprowadzanych studiów literatury tematu, w podsumowaniu wskazano na możliwości optymalizacji tego rodzaju konstrukcji jako główny element zaproponowany w rozprawie, warunkujący przyjęty schemat postępowania i metodykę pracy. W trzecim rozdziale przedstawiono charakterystykę technologii i zasady projektowania konstrukcji z betonu sprężonego. Szczegółowo omówiono systemy sprężania wraz z charakterystyką stosowanych w tym celu materiałów oraz normowe uwarunkowania projektowe w tym zakresie. Na tle tych rozważań Doktorant przedstawił autorską koncepcję dla systemu sprężonych ścian szczelinowych. W kolejnym czwartym rozdziale opisano podejście analityczne (met. Magnel'a) wykorzystywane do modelowania omawianych zagadnień, w tym koncepcji PDW.

Natomiast w rozdziale piątym scharakteryzowano podejście numeryczne dla prezentowanej koncepcji ścian szczelinowych. W tym rozdziale Doktorant prezentuje założenia dla przyjętego schematu analiz numerycznych, przedstawia rozwiązania zadań współpracy ściany sprężonej z podłożem w modelu płaskim i przestrzennym wraz z walidacją modeli ośrodka gruntowego. Rozdział zamykają wyniki ze zintegrowanych modeli numerycznych z wnioskami odnośnie projektowania z wykorzystaniem autorskiego algorytmu sprężeniowego do analiz PDW. W szóstym rozdziale Doktorant podaje sposób wymiarowania analizowanego układu jako wytyczne wykonawcze dla koncepcji sprężonej ściany szczelinowej na tle uzyskanych wyników wg ww. podejść. Rozdział siódmy to prezentacja studium przypadku, w którym porównano możliwości PDW z podejściem konwencjonalnym w aspekcie uwarunkowań technologicznych i ekonomicznych. Rozdział ósmy zawiera wnioski z przeprowadzonych badań i analiz. Przedstawiono w nim najważniejsze konkluzje dotyczące skuteczności dla proponowanej koncepcji. Zawarte w tym rozdziale podsumowanie jest syntetycznym opisem wyników uzyskanych z przeprowadzonych badań i analiz, w odniesieniu do przyjętego w pracy celu.

Doktorant sformułował szereg wniosków ogólnych - użytecznych i przydatnych dla dowolnych sytuacji, gdzie projektowane mogą być systemy ścian szczelinowych. Rozdział zamyka opis sformułowanych przez Doktoranta kierunków dalszych badań mających na celu optymalizację w zakresie projektowania i powszechnego stosowania w praktyce koncepcji PDW.

Szczególnie pozytywne dla odbioru pracy jest graficzne przedstawienie przeprowadzonej ścieżki postępowania, która w sposób syntetyczny, ale bardzo sugestywny obrazuje poszczególne etapy, podkreślając autorską procedurę projektową stanowiącą przedmiot badań i cel pracy. Pracę zamykają spisy: spis przywołanej literatury i innych dokumentów odniesienia, spis rysunków oraz spis tablic.

¹ - PDW – (z ang. *Presstressed Diaphragm Walls*). – termin utworzony przez Doktoranta w celu ujednolicenia znaczenia w kontekście wykorzystania międzynarodowego.

3. Ocena rozprawy

3.1. Ocena doboru tematu i postawionych celów rozprawy

Rozwój cywilizacyjny i ekspansja miast z tym związana, to między innymi konieczność realizacji obiektów budownictwa podziemnego i naziemnego z wielokondygnacyjnym zagłębieniem konstrukcji w podłożu. Bezpieczna i ekonomicznie uzasadniona realizacja tego rodzaju obiektów wymaga uwzględniania na etapie projektowania odpowiednich metod zabezpieczenia wykopu, w powiązaniu z ekonomią doboru ich stosowalności, w funkcji kosztów i czasu realizacji. Należy pamiętać, że często wymuszona rachunkiem ekonomicznym optymalizacja rozwiązań projektowych wymaga stosowania najlepszych dostępnych technologii w oparciu o najnowsze (*z uwagi na stan wiedzy i możliwości cyfrowe*) narzędzia projektowe. W tym aspekcie dobór tematu rozprawy oraz postawione cele należy ocenić jako istotne, aktualne i oczekiwane z punktu widzenia rozwoju dyscypliny. Inżynieria lądowa bowiem w dobie zrównoważonego rozwoju i „zielonej energii” nie może obejść się bez rozwiązań, które będą powiązane z ochroną zasobów i ograniczeniem wpływów na klimat. W tym kontekście Doktorant postawił w swojej dysertacji bardzo rzeczową hipotezę badawczą, której udowodnienie wymagało zrealizowania konkretnych zadań/celów naukowo-badawczych. Takie podejście, jak wykazano w odniesieniu do całego układu pracy i podjętej tematyki, było zabiegiem całkowicie uzasadnionym.

Poruszana problematyka z uwagi na złożony charakter zagadnień teoretycznych wymagających analizy (*tj. odwzorowanie sił sprzężających w modelu, dobór modeli konstytutywnych dla jakże złożonego w opisie ośrodka gruntowego*) jest zadaniem trudnym, nie tylko z uwagi na czasochłonność prac i mnogość iteracji przy poszukiwaniu rozwiązania, ale też z uwagi na ograniczoną dostępność wiarygodnych danych (*z obiektów rzeczywistych*), często obarczonych wieloma niepewnościami w zakresie poznawczym. Niemniej, jak wykazał Doktorant w swojej dysertacji, poprzez odpowiednie zaplanowanie metodyki i autorskich modeli numerycznych oraz wykorzystanie i umiejętne dobór narzędzi wspomagających proces programowania, jest to zadanie możliwe do realizacji. Opisana koncepcja i zastosowane algorytmy stanowią zbiór poprawnych rozwiązań dla tak postawionego problemu badawczego.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że podjęty przez Doktoranta temat rozprawy jest oryginalny i aktualny, a cel rozprawy zasadny i ważny tak z naukowego, jak i z praktycznego punktu widzenia. Recenzowana rozprawa jest ważnym krokiem w kierunku optymalizacji projektowania i realizacji zabezpieczenia głębokich wykopów w technologii PDW i tym samym w pełni uzasadnia zakres podjętych kompleksowych analiz przez Doktoranta, o szerszym niż tylko techniczny charakterze dociekań w tej dziedzinie.

3.2. Cel i sposób jego realizacji

Podstawowym celem pracy była identyfikacja i przegląd możliwości wykorzystania technologii sprzężenia konstrukcji w projektowaniu i realizowaniu ścian szczelinowych, w kontekście optymalizacji nakładów (kosztów i czasu) inwestycyjnych. Doktorant w pracy podjął się kompleksowego ujęcia opisywanego zagadnienia, począwszy od przygotowania procesu projektowego, projektowania ustroju, aż do zaproponowania wytycznych wykonawczych dla rozpatrywanej koncepcji PDW. Rozważania te obejmowały następujące zagadnienia poznawcze, sformułowane szczegółowo w rozprawie jako zadania (cele) naukowe:

- przygotowanie metody analitycznej pozwalającej wstępnie zweryfikować założenia prezentowanej koncepcji,
- przygotowanie modeli numerycznych pozwalających na ocenę przydatności podejścia numerycznego do projektowania sprzężonych ścian szczelinowych,
- opracowanie autorskich modeli numerycznych pozwalających na analizę i zaprojektowanie prezentowanego ustroju konstrukcyjnego,
- określenie propozycji wdrożenia koncepcji i zarządzania procesem z tym związanym dla przedsiębiorstw specjalistycznych,

- przedstawienie analiz technologiczno-ekonomicznych wykazujących korzyści płynące z zaproponowanego podejścia inżynierskiego.

Sposobem realizacji dla tak postawionych celów było opracowanie techniki (*umiejętności i metody wykonania*) i technologii (*sposobu w oparciu o wiedzę naukową*) w zakresie projektowania i realizacji PDW przy pomocy autorskiej metodologii badań naukowych i analiz. Rozprawa obejmowała zarówno aspekty teoretyczne w zakresie podejścia projektowego – opracowanie własnych algorytmów dla modeli numerycznych z walidacją rozwiązań. Jak również istotne z praktycznego punktu widzenia aspekty techniczne i technologiczne w zakresie modyfikacji znanych metod realizacji ścian szczelinowych w zakresie uwarunkowań związanych z instalacją wewnątrz przekroju ściany ciągłych sprężeniowych. Uzyskane w ten sposób wyniki miały na celu opracowanie nowego modelu obliczeniowego przenoszącego zasady sprężania konstrukcji do konstruowania i wykonywania sprężonych ścian szczelinowych.

Jeśli chodzi o efekty tych prac to podstawowym, własnym wkładem Doktoranta są rozdziały piąty – przedstawiający założenia dla prowadzonych analiz numerycznych i proponowanej koncepcji oraz rozdział szósty, w którym prezentowane są wytyczne w zakresie wymiarowania proponowanego układu. Rezultaty i dyskusję wyników podane w rozdziale ósmym potwierdzając możliwość zastosowania metod numerycznych i analitycznych dla optymalnego projektowania ściany szczelinowej w układzie PDW. Na tej podstawie w przeprowadzonym studium przypadku (rozdz. siódmy), w rozprawie wykazano, że wykorzystanie sprężonych ścian szczelinowych redukuje koszty realizacji inwestycji przy jednoczesnym zachowaniu tego samego poziomu bezpieczeństwa, jak w przypadku rozwiązania niesprężonego. Doktorant potwierdził, że zastosowanie konstrukcji sprężonej pozytywnie wpływa na optymalizację wykonania obudowy głębokiego wykopu, zgodnie z zakładaną na wstępie tezą rozprawy, tym samym cel rozprawy został osiągnięty.

3.3. Ocena naukowej wartości rozprawy

Za najważniejsze **oryginalne osiągnięcia naukowe** Doktoranta uznaje:

- opracowanie autorskiej koncepcji sprężonej ściany szczelinowej jako elementu konstrukcyjnego o zwiększonej nośności, co stanowi nowatorskie rozszerzenie dostępnych rozwiązań w zakresie zabezpieczenia głębokich wykopów;
- opracowanie założeń i stworzenie algorytmów dla oceny funkcjonalności zaproponowanej koncepcji przy użyciu metod modelowania numerycznego (MES), z uwzględnieniem nieliniowych modeli konstytutywnych podłoża, w celu weryfikacji współpracy pomiędzy ścianą szczelinową, a gruntem;
- weryfikację parametrów sprężenia pod kątem oceny efektywności zaproponowanej konstrukcji ściany szczelinowej – wpływ wprowadzenia sił sprężających w stosunku do uzyskiwanych korzyści w zakresie redukcji przemieszczeń poziomych, minimalizacji zarysowań oraz optymalizacji grubości i zbrojenia ściany;
- opracowanie autorskich rekomendacji dotyczących technologii wykonywania ścian szczelinowych w koncepcji PDW, ze szczególnym uwzględnieniem doboru materiałów oraz techniki realizacji z wykorzystaniem innowacyjnych układów sprężających.

Jako istotne **spostrzeżenia o walorze poznawczym**, wskazujące na dalsze kierunki badań można uznać:

- zidentyfikowanie obszarów optymalizacyjnych w obrębie technologii wykonywania ścian szczelinowych;
- możliwość opracowania i rozwijania hybrydowych modeli numeryczno-analitycznych w projektowaniu systemów PDW uwzględniających efekty długoterminowe w interakcji konstrukcja – ośrodek gruntowo-wodny;
- możliwość weryfikacji przyjętych założeń w modelowaniu w odniesieniu do obiektów rzeczywistych poprzez wdrożenie monitoringu konstrukcji i otoczenia;

- integrację założeń konstrukcyjnych i uwarunkowań środowiskowych w procesie realizacji PDW poprzez zastosowanie optymalizacji wielokryterialnej w aspekcie ekonomicznym.

Dysertacje naukowe w naukach technicznych często zmierzają do udowodnienia tezy przez doświadczalne potwierdzenie oczekiwanych wyników. W opracowaniach naukowych często równie trudne jest precyzyjnie sformułowanie zagadnienia, jak i opracowanie kompletnego modelu, który mógłby zostać w całości weryfikowany doświadczalnie. Uważam, że Doktorantowi udało się bardzo dobrze wykonać oba te zadania. Doświadczenia innych Autorów (*w tym postępowania patentowe*) oraz własne, na których oparto analizę, a także sformułowanie autorskiego podejścia dla koncepcji projektowania sprężonych ścian szczelinowych, stanowią przekonującą podstawę do opracowania końcowych wniosków przedstawionych w niniejszej pracy.

4. Wartość merytoryczna rozprawy

Praca zwraca uwagę zarówno ze względu na zakres jak i na staranność wykonanych kodów (*choć z uwagi na ochronę patentową nie wszystkie mogły być zaprezentowane w sposób jawny*), algorytmów, iteracji i opracowanych na tej podstawie poprawnych (*w zakresie rezultatów*) modeli komputerowych. Dotyczy to zarówno rozważań teoretycznych, podejść analitycznych jak i numerycznych. Dysertacja w tym zakresie posiada bardzo dobry poziom naukowy, dlatego wysoko oceniam wartość merytoryczną rozprawy. Trudność badawcza w opisanych zagadnieniach polega na opracowaniu aplikacyjnego narzędzia umożliwiającego przeprowadzenie obliczeń z możliwością śledzenia i weryfikacji procesu projektowego PDW dla zadanych sytuacji, w niejednorodnym zazwyczaj środowisku geotechnicznym. Zadanie to jest wymagające, ponieważ aktualne rozpoznanie literatury naukowej nie przedstawia metod projektowych dla tego rodzaju zagadnień, jak również żadne z komercyjnie dostępnych aplikacji komputerowych przeznaczonych do analiz takich konstrukcji, nie są przygotowane (*brak komponentów*) do analiz dla tak nieszablonowych rozwiązań, jak sprężone ściany szczelinowe. W związku z powyższym, autor postawił sobie za zadanie przeprowadzenie badań tego rodzaju ustroju w sposób manualny, korzystając z otwartego środowiska programistycznego i dostępnej wiedzy z zakresu inżynierii geotechnicznej. Te czasochłonne analizy danych wejściowych, ich weryfikacja i selekcja pod kątem rozpatrywanych zjawisk stanowi główny element pracy, w której Doktorant mógł zaprezentować swój warsztat badawczy.

W rozdziale 8 rozprawy zaprezentowano wszystkie wyniki i ustalenia, dokonano krytycznej oceny uzyskanych efektów pod kątem predykcji i generalizacji wyznaczanych parametrów, co pozwoliło na ustalenie ich zakresu i wartości do wykorzystania w praktyce projektowej. Na tym polu Doktorant wykazał się umiejętnością poprawnego zdefiniowania problemu, samodzielnego przeprowadzenia dyskursu naukowo-poznawczego i rozwiązania podjętego problemu badawczego poprzez sformułowane wnioski i autorskie rekomendacje. Badania i analizy przeprowadzone zgodnie z przyjętą metodologią pozwoliły w pełni zrealizować założone cele pracy oraz udowodnić hipotezę. Wskazania te mają charakter autorski, uzyskany na podstawie analiz własnych, które mogą być bezpośrednio zaimplementowane w praktyce.

Należy też odnotować świadomość pewnych ograniczeń w niektórych spostrzeżeniach, które są przez Doktoranta wskazywane w pracy (*np. lokalność i uproszczenia dla analizowanego przypadku, ograniczona ilość analizowanych wariantów, czy brak danych z obserwacji do walidacji uzyskanych wyników z obiektem rzeczywistym*). Wątpliwości takie (*nawet jeśli niekiedy dyskusyjne*) są punktem wyjścia do prowadzenia dalszych badań, doskonalenia metod i ich rozwoju (*co wskazano w kierunkach dalszych prac*). Jednocześnie ostrożność w formułowaniu niektórych wniosków na tej podstawie świadczy o dużej dojrzałości naukowej Doktoranta, który nie unika też takiego dyskursu w pracy. Wnioski z niniejszej pracy mają charakter aplikacyjny (*co jest istotne w przypadku dysertacji w naukach technicznych*), choć wymagają jeszcze potwierdzenia lub udoskonalenia w skali eksperymentalnej lub na obiekcie rzeczywistym. Niemniej podane w rozprawie rekomendacje oraz wytyczne do projektowania systemów PDW mogą być bezpośrednio wykorzystane w praktyce.

Podsumowując recenzję rozprawy doktorskiej mgr inż. Mateusza C. Frydrycha stwierdzam, że jest ona opracowaniem naukowym, o znacznych walorach zarówno poznawczych jak i utylitarnych, przedstawiającym wyniki badań dotyczących aktualnej problematyki związanej z optymalnym projektowaniem systemów obudów głębokich wykopów i stanowi przyczynek do ograniczenia ryzyk w tym zakresie. Problematyka, którą Autor rozwija jako temat rozprawy doktorskiej, jest relatywnie nowa, a ponadto w swoich badaniach Doktorant uwzględnia nowe (autorskie) rozwiązania technologiczne. Recenzowana praca będzie zatem kolejnym wkładem polskich inżynierów do rozwijanych w świecie technologii możliwych do stosowania na obiektach rzeczywistych.

4.1. Poprawność redakcyjna rozprawy

Układ recenzowanej pracy jest poprawny, zgodny z ogólnie przyjętymi wymogami dla tego rodzaju opracowań naukowych. Generalnie Doktorant starał się zachować balans pomiędzy opisami wiedzy dostępnej i opisem badań własnych, aczkolwiek niektóre opisy np. dotyczące wymagań normowych dla realizacji ścian szczelinowych, mogłyby być nieco bardziej syntetyczne.

Prezentowany styl i język jest na dobrym poziomie, praca jest napisana w sposób przystępny (*choć miejscami zbyt obszerny*), a prezentowane wyniki badań własnych są klarownie i wyczerpująco opisane (*może poza zakresem programowania z uwagi na ochronę patentową trwającego postępowania*). Szata graficzna nie budzi generalnie zastrzeżeń, zestawienia tabelaryczne i prezentowane grafiki są czytelne. Należy w tym miejscu wyróżnić dobrą kompozycję i układ pracy, a liczne kolorowe schematy i ilustracje bardzo pozytywnie wpływają na obiór rozprawy. Jedyne czego w ocenie Recenzenta może brakować to zestawienia na początku pracy stosowanych skrótów i symboli.

5. Uwagi krytyczne i głosy w dyskusji

Jak każda praca, tak i recenzowana rozprawa nie jest wolna od drobnych omyłek, niedopowiedzeń czy niedociągnięć. Uwagi do pracy Recenzent podzielił na ogólne (*dotyczące ogólnych spraw edycyjnych i formy samej rozprawy - do ewentualnego uwzględnienia lub zmiany w niezbędnym zakresie*), uwagi do wyników pracy (*w formie pytań otwartych do skomentowania i wyjaśnienia podczas obrony*) oraz na uwagi szczegółowe o charakterze technicznym i semantycznym (*wymagające jedynie drobnych korekt lub uzupełnień w tekście*).

5.1. Uwagi ogólne:

- 1) W zakresie edycyjnym praca może być jeszcze ulepszona, dotyczy to zarówno brakującego spisu używanych skrótów i symboli jak również niejednorodnych stylów dla opisu cytowanych prac.
- 2) Możliwe jest też skuteczne ograniczenie objętości rozprawy w ewentualnych reedycjach poprzez bardziej syntetyczne ujęcie zagadnień o charakterze przeglądowym (*np. rozdz. 2*).
- 3) Można też wskazać (*choć nieliczne*) uchybienia o charakterze edytorskim (*np. str. 15*) lub kilka omyłek językowych (*np. str. 62, 199, 276, 287*).

5.2. Uwagi dotyczące uzyskanych wyników

- 4) W tezie pomocniczej wskazano kierunek dalszych analiz dla typowej sytuacji dwóch kondygnacji podziemnych. Założenie to jest rzeczywiście najczęściej spotykanym przypadkiem w zabudowie miast. Niemniej należałoby zadać otwarte pytanie, czy przy realizacji głębszych wykopów dla trzech czy czterech kondygnacji podziemnych wykorzystanie ścian sprężonych o wspornikowym schemacie statycznym jest nadal możliwe i korzystne z punktu widzenia analizowanych w pracy aspektów?
- 5) Efektywność analizowanego rozwiązania jest oceniana na dwóch płaszczyznach ekonomicznej i technicznej (*konstrukcyjnej*). Z punktu widzenia redukcji nakładów, mamy oszczędności na materiałach (*np. ilość zbrojenia, rezygnacja z kotew*) i czasie realizacji (*np. poprawa warunków prowadzenia robót ziemnych, rezygnacja z rozpór*). W zakresie analizy konstrukcji możemy ograniczyć zarysowania, siły przekrojowe i przemieszczenia dzięki sprężaniu. W tej ocenie brakuje

jeszcze kryterium zakresu oddziaływania na otoczenie w funkcji warunków gruntowych. Czy można wskazać na tym etapie prac jak zmieniają się zasięgi oddziaływania za taką ścianą, w odniesieniu do zaleceń podanych w Instrukcji ITB z 2020 r. (*Ochrona zabudowy w sąsiedztwie głębokich wykopów*)?

- 6) Opisany na str. 228 problem optymalizacji zagęszczania siatki w modelu jest rozwiązany w oprogramowaniu komercyjnym, gdzie istnieją narzędzia wspomagające dyskretyzację modelu. Czy w prowadzonych analizach był stosowany jakiś dodatkowy autorski algorytm w tym zakresie, czy te działania były wykonywane ręcznie, czy Doktorant widzi tu jakieś możliwości wydajniejszej automatyzacji mając na uwadze opisane w tekście uwarunkowania w tym zakresie?
- 7) W rozdz. 5.4.3 przeprowadzono walidację modeli ośrodka gruntowego na podstawie wyników uzyskanych z analiz numerycznych przeprowadzonych programem Sofistik i Plaxis. Jako dowód przedstawiono porównanie wyników przemieszczeń dla wskazanych punktów w różnych fazach (tab. 5.1 i 5.2). Brakuje szerszego komentarza odnośnie przyjętych kryteriów, których spełnienie wskazałoby wprost na poprawność walidacji. Proszę o wyjaśnienie tej kwestii oraz rozwinięcie podczas obrony, na ile zmiana ośrodka gruntowego (np. piaski, podłoże uwarstwione) mogłaby wpłynąć na podane ustalenia?

5.3. Uwagi szczegółowe

Uwagi szczegółowe (*techniczne*) dotyczą głównie znalezionych przez Recenzenta w tekście pewnych kontrowersyjnych lub niepełnych zapisów. Recenzent nie ma uwag do wyglądu i układu pracy, którą ocenia generalnie jako poprawny. Poniżej podano miejsca znalezionych pomyłek lub braków w kolejności ich występowania:

- w streszczeniu występują powtórzenia, należy też unikać skrótów i nazw handlowych w słowach kluczowych;
- w pracach naukowych należy unikać neologizmów i zapożyczeń językowych (np. „*modeler*” str. 14, „*działalność brandowana*” str. 18), skrótów myślowych czy sformułowań nieprecyzyjnych niekiedy wręcz kolokwialnych lub dyskusyjnych (np. „*niezagęszczone torfy*” str. 52, „*niestabilne grunty*” str. 78, „*gruntów bardzo miękkich*” str. 82, „*zagadnienie nietrywialne*” str. 186, „*parametrami nieodwodnionymi*” str. 202, „*kiepskie warunki gruntowe*”? str. 296);
- w wielu miejscach stosowane są skróty i symbole nie objaśnione, w nazwach własnych kodów, programów czy metod brakuje odwołania do źródła (np. *ESG* str. 15, *PRINCE2* str. 15, *AQUA*, *ASE* str. 16);
- w wielu miejscach (a dotyczy to szczególnie rozdziałów opisowych tj. 2.2, 2.3 czy 2.4) brakuje odwołań do źródeł, z których te opisy zaczerpnięto lub są one zbyt rzadkie w tekście, często ograniczone do rysunków lub tablic;
- na str. 177 wskazano na moduł wtórny E_{v2} wyznaczany z badań płytą statyczną – po pierwsze to określenie jest raczej przypisane modułowi z badań edometrycznych, a po drugie należy wyraźnie zaznaczyć, że badanie płytą statyczną jest badaniem odbiorowym dla warstw nasypowych, o ograniczonym zasięgu ($\sim 0,5 - 1$ m) w zależności od średnicy płyty, z przypisanym symbolem (E_2) w normach „drogowych”;
- na str. 177 – określenie „przeładowaniu” jest niepoprawne, chodzi o moduł w pętli obciążenie – odciążenie, ewentualnie można mówić o „przeciążeniu”;
- na str. 178 podano sformułowanie „obciążenia nośne”? chyba chodziło o nośność, wymaga to doprecyzowania;
- na str. 188 pierwsze zdanie w akapicie przed rysunkiem jest niejasne i może wzbudzać kontrowersje – wymaga przeredagowania;
- rys. 5.13 na str. 221 – jest nieczytelny, a jego forma niezrozumiała, z punktu widzenia odbiorcy należy przerysować podany schemat ideowy i go objaśnić;

- na str. 247 rys. 5.44 i 5.45 pokazują model odwzorowany w PSO, z czego wynikała konieczność rozszerzenia modelu w pionie (głębokość)? oraz co oznaczają widoczne pasy w podłożu skoro gruntu jest jednorodny? Brakuje takich wyjaśnień.

6. Wnioski i ocena końcowa

Podjęty przez mgr inż. Mateusza C. Frydrycha temat ma zarówno praktyczne zastosowanie w pracach projektowych, jak i należy do zagadnień kreujących dalsze kierunki rozwoju dyscypliny naukowej *inżynieria lądowa, geodezja i transport*. Doktorant wykazuje bardzo dobrą znajomość tematu na poziomie studium literaturowego, w tym publikacji naukowych, postępowań patentowych i norm oraz potrafi samodzielnie prowadzić prace modelowe (*analityczne i numeryczne*) z wykorzystaniem umiejętności w zakresie programowania i tworzenia autorskich algorytmów – na bardzo wysokim poziomie prowadzenia tych analiz oraz wyciągać konstruktywne wnioski.

Zaproponowana koncepcja wypełnia lukę w ogólnodostępnych wytycznych, oferując nowatorskie podejście do alternatywnego projektowania i stosowania zabezpieczenia głębokich wykopów w technologii sprężonych ścian szczelinowych. To rozwiązanie, jak wykazał w swojej rozprawie Doktorant, posiada dodatkowy walor związany z ideą zrównoważonego rozwoju w budownictwie. W tym aspekcie mając na uwadze ochronę środowiska i zasobów naturalnych oraz ograniczenia śladu węglowego i emisji gazów cieplarnianych, wskazał na technologię i materiały, które takie cele spełniają. Realizacja przyjętych w pracy celów wykazała, że połączenie wymagań konstrukcyjnych i technicznych w aspekcie innowacyjnych metod realizacji, w modelowaniu komputerowym zjawiska w ujęciu inżynierskim, jest możliwe. Ujęcie holistyczne aspektów technologicznych, środowiskowych i ekonomicznych pozwoliło na udowodnienie postawionej tezy.

Stwierdzam, że główny cel rozprawy doktorskiej został osiągnięty. Doktorant wykazał się bardzo dobrą znajomością aktualnego stanu wiedzy w zakresie objętym tematem oraz umiejętnościami rozwiązywania problemów teoretycznych. Zaproponował autorską koncepcję projektową dla rozwiązań konstrukcji sprężonych w elementach pionowych jakim są ściany szczelinowe w gruncie, a przy wykorzystaniu własnych algorytmów oraz obliczeń przeprowadził jej walidację. Uzyskał oryginalne wyniki i wykazał, że potrafi analizować i krytycznie oceniać uzyskane rezultaty oraz formułować poprawne wnioski poznawcze. Widzi również kierunki dalszych badań w kontekście stwierdzonych ograniczeń. Świadczy to o Jego odpowiednim przygotowaniu i predyspozycjach do samodzielnego prowadzenia prac naukowo-badawczych. Uwagi krytyczne wymienione w punkcie 5. recenzji nie obniżają bardzo dobrego, moim zdaniem, poziomu merytorycznego i ogólnie pozytywnej oceny całej dysertacji. Uwagi mają charakter porządkowy lub dyskusyjny i mam nadzieję, że przynajmniej w części będą pomocne Doktorantowi w dalszej pracy naukowej i w przygotowaniu artykułów do czasopism naukowych.

Oceniam, że rozprawa stanowi rozwiązanie oryginalnego zagadnienia naukowego oraz potwierdzam, że Doktorant dysponuje bardzo dobrze rozwiniętym warsztatem badawczym i obliczeniowym w zakresie prowadzonych analiz, posiada ogólną wiedzę teoretyczną i umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Rozprawa jest opracowana na relatywnie wysokim poziomie naukowym i redakcyjnym oraz wnosi istotny wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie *inżynieria lądowa, geodezja i transport*.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że recenzowana **rozprawa doktorska** autorstwa mgr inż. **Mateusza Cezariusza Frydrycha** pt. „Wykorzystanie modeli numerycznych dla sprężonych ścian szczelinowych w kontekście optymalizacji techniki, technologii i ich realizacji” **spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim** określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571, z późn. zm.). Moja ocena jest **pozytywna**, w związku z tym stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy i wnoszę do Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej o jej dopuszczenie do publicznej obrony i dalsze procedowanie.

.....*Goduli*.....
Podpis