

Prof. dr hab. inż. Marek Cała  
Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami  
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

## RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Szczepana Grosela pt.:  
**„Numeryczna identyfikacja podłoża gruntowego”**  
Rozprawa została wykonana na Politechnice Wrocławskiej  
pod kierunkiem prof. dr. hab. Dariusza Łydzby (promotor),  
dr inż. Macieja Sobótki (promotor pomocniczy) i

### 1. Wprowadzenie

Recenzję rozprawy doktorskiej magistra inżyniera Szczepana Grosela p.t.: **„Numeryczna identyfikacja podłoża gruntowego”** opracowałem na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Wrocławskiej.

Potwierdzam, że przedmiotowa rozprawa doktorska pod względem przedstawionej w niej problematyki naukowo-badawczej, mieści się w dziedzinie nauk inżynierskich i technicznych i w obszarze dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport.

Postępowanie w sprawie nadania stopnia naukowego doktora mgr inż. Szczepana Grosela jest prowadzone w oparciu o uregulowanie prawne zawarte w art. 179 ustawy z dnia 3 lipca 2018 roku „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. 2018 poz. 1668). W przypadku przedmiotowej rozprawy doktorskiej powinna ona spełniać, według powyższej ustawy, następujące warunki:

- *prezentować ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez kandydata,*
- *przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych kandydata w sferze gospodarczej lub społecznej.*

Opracowana przeze mnie recenzja zawiera analizę przedłożonej rozprawy pod kątem oryginalności problemu naukowego stanowiącego przedmiot rozprawy oraz ocenę udziału magistra inżyniera Szczepana Grosela w jego rozwiązaniu, a także ustalenie tych elementów rozprawy, które potwierdzają Jego wiedzę teoretyczną i inne istotne umiejętności wymagane przez powyższą ustawę.

## 2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa składa się z 7 rozdziałów oraz spisu literatury. Literatura obejmuje zestaw 139 pozycji w 3 językach: angielskim, polskim i niemieckim (przy czym znakomita jej większość jest w j. angielskim).

Rozdział 1 zawiera krótkie wprowadzenie do tematu oraz cel i zakres pracy, a także charakterystykę struktury rozprawy.

Rozdział 2 dotyczy identyfikacji parametrów materiałowych podłoża gruntowego jako zagadnienia optymalizacji oraz zawiera przegląd metod stosowanych w praktyce geotechnicznej. Autor przedstawia trzy podstawowe podejścia do określania parametrów podłoża: klasyczne podejście deterministyczne, podejście probabilistyczne oraz metodę obserwacyjną opartą na ciągłej kalibracji modeli numerycznych z wykorzystaniem danych monitoringowych. Szczególną uwagę poświęcono zagadnieniom odwrotnym, w których identyfikacja parametrów realizowana jest poprzez minimalizację różnicy pomiędzy wynikami modelu obliczeniowego a rzeczywistymi pomiarami. Autor omawia właściwości funkcji celu w zagadnieniach identyfikacyjnych, wskazując na ich silnie nieliniowy charakter, występowanie licznych minimów lokalnych oraz problemy złego uwarunkowania. Na podstawie analizy literatury wykazano ograniczoną skuteczność klasycznych metod lokalnej optymalizacji, takich jak metoda gradientu prostego czy metoda Nelder-Meada, w przypadku złożonych funkcji celu typowych dla geotechniki. W związku z tym uzasadniono zastosowanie globalnych metod optymalizacji, przede wszystkim algorytmów genetycznych i strategii ewolucyjnych, które lepiej radzą sobie z przeszukiwaniem wielowymiarowej przestrzeni parametrów. Istotnym elementem rozdziału jest także omówienie zagadnień optymalizacji wielokryterialnej oraz wykorzystania frontu Pareto przy jednoczesnym uwzględnianiu danych z różnych czujników monitoringu. W końcowej części rozdziału przedstawiono problem identyfikacji przestrzennego układu warstw podłoża, w tym próbę wykorzystania algorytmu genetycznego oraz diagramów Voronoia do odtwarzania struktury geologicznej na podstawie danych syntetycznych. Rozdział stanowi spójne uzasadnienie teoretyczne dla dalszych prac związanych z opracowaniem autorskiego algorytmu kalibracji modeli geotechnicznych.

Rozdział 3 poświęcono ewolucyjnym algorytmom optymalizacyjnym, ze szczególnym uwzględnieniem algorytmów genetycznych i strategii ewolucyjnych stosowanych w zagadnieniach identyfikacji parametrów geotechnicznych. Autor przedstawia podstawowe zasady działania klasycznego algorytmu genetycznego, obejmujące proces selekcji, krzyżowania oraz mutacji osobników reprezentujących potencjalne rozwiązania problemu optymalizacyjnego. Omówiono zarówno klasyczne podejście oparte na kodowaniu binarnym, jak i bardziej efektywne w zagadnieniach inżynierskich algorytmy kodowane liczbami rzeczywistymi. Szczególną uwagę zwrócono na wpływ parametrów algorytmu, takich jak liczebność populacji, prawdopodobieństwo mutacji czy metoda selekcji, na szybkość zbieżności oraz zdolność do odnajdywania optimum globalnego. Autor przedstawia również strategie

ewolucyjne jako alternatywne podejście do optymalizacji globalnej, charakteryzujące się odmiennym sposobem generowania potomstwa i większym naciskiem na proces mutacji.

Istotnym elementem rozdziału jest omówienie algorytmów wielokryterialnych opartych na froncie Pareto, umożliwiających jednoczesną optymalizację wielu funkcji celu związanych z różnymi typami danych monitoringowych. W dalszej części rozdziału przeprowadzono porównanie skuteczności różnych wariantów algorytmów ewolucyjnych na przykładzie minimalizacji wybranych funkcji testowych o skomplikowanej strukturze i licznych minimach lokalnych. Analizy wykazały przewagę metod globalnych nad klasycznymi metodami lokalnymi w przypadku funkcji celu charakterystycznych dla zagadnień odwrotnych w geotechnice. Autor zwraca uwagę na kompromis pomiędzy eksploracją przestrzeni rozwiązań a eksploatacją najlepszego znalezionej rozwiązania, który ma kluczowe znaczenie dla skuteczności algorytmów metaheurystycznych. Rozdział stanowi solidne przygotowanie teoretyczne do opracowania autorskiego algorytmu kalibracji przedstawionego w dalszej części rozprawy oraz uzasadnia wybór algorytmów ewolucyjnych jako podstawowego narzędzia identyfikacji parametrów podłoża gruntowego.

Rozdział 4 dotyczy analizy zagadnień numerycznego modelowania stanu przemieszczenia, odkształcenia oraz rozkładu ciśnienia porowego w obiektach o zmiennej geometrii, ze szczególnym uwzględnieniem zbiorników poflotacyjnych. Autor przedstawia przegląd literatury dotyczącej modelowania numerycznego zapór i osadników odpadów wydobywczych, wskazując na znaczenie sprzężonych analiz poromechanicznych w ocenie bezpieczeństwa takich obiektów. Omówiono podstawy teoretyczne sprężysto-plastycznego opisu ośrodka gruntowego oraz zaprezentowano najważniejsze modele konstytutywne wykorzystane w pracy, w tym modele Coulomba-Mohra, Druckera-Pragera oraz model Cap. Szczególną uwagę poświęcono zagadnieniu sprzężenia przepływu wody i deformacji szkieletu gruntowego, które ma kluczowe znaczenie w analizach zapór OUOW Żelazny Most. Autor przedstawia budowę modelu numerycznego w programie ZSoil oraz proponuje autorską metodę modelowania procesu namywania osadów i etapowej rozbudowy zapór. W dalszej części rozdziału przeprowadzono analizę wpływu zagęszczenia siatki elementów skończonych oraz długości kroku czasowego na uzyskiwane wyniki obliczeń, wykazując istotny wpływ parametrów dyskretyzacji na stabilność i dokładność symulacji. Rozdział stanowi podstawę obliczeniową dla dalszych etapów pracy związanych z kalibracją modeli numerycznych i identyfikacją parametrów podłoża na podstawie danych monitoringowych.

Rozdział 5 stanowi kluczową część rozprawy i poświęcony został opracowaniu autorskiego algorytmu identyfikacji parametrów podłoża OUOW Żelazny Most z wykorzystaniem algorytmów genetycznych. Autor przedstawia podstawowe założenia procedury kalibracji modelu numerycznego, której celem jest uzyskanie zgodności pomiędzy wynikami symulacji a danymi pochodzącymi z monitoringu geotechnicznego. Szczególną uwagę poświęcono konstrukcji funkcji celu, definiowanej jako miara różnicy pomiędzy odpowiedzią modelu a rzeczywistymi pomiarami. Zaproponowano kilka autorskich wariantów funkcji celu umożliwiających wykorzystanie różnych typów danych monitoringowych, w tym pomiarów geodezyjnych, inklinometrycznych oraz piezometrycznych. Autor analizuje wpływ sposobu

formułowania funkcji celu na stabilność procesu optymalizacji i jakość identyfikacji parametrów.

W rozdziale szczegółowo opisano sposób kodowania osobników reprezentujących zestawy parametrów materiałowych oraz zastosowane operatory selekcji, krzyżowania i mutacji wykorzystywane w algorytmie genetycznym. Istotnym elementem pracy jest przeprowadzenie testów algorytmu z wykorzystaniem syntetycznie wygenerowanych danych obserwacyjnych, co umożliwiło ocenę zdolności algorytmu do odtwarzania znanych parametrów modelu numerycznego. Analizy wykazały, że algorytm pozwala uzyskać wysoką zgodność wyników modelu z danymi wejściowymi, choć stopień poprawności identyfikacji zależy od postaci funkcji celu oraz rodzaju wykorzystywanych czujników. Autor bada również wpływ jakości dopasowania modelu do pomiarów na poprawność wyznaczania wskaźnika stateczności i jakości prognozowania dalszego zachowania obiektu.

Ważnym osiągnięciem rozdziału jest wykazanie, że wykorzystanie wielu rodzajów danych monitoringowych poprawia stabilność procesu identyfikacji i ogranicza ryzyko uzyskania rozwiązań pozornie poprawnych matematycznie, lecz nieodpowiadających rzeczywistym właściwościom podłoża. Rozdział zawiera również propozycję sposobu wyznaczania wskaźnika stateczności na podstawie skalibrowanego modelu numerycznego. Uzyskane wyniki potwierdzają możliwość praktycznego wykorzystania opracowanego algorytmu do kalibracji modeli geotechnicznych dużych obiektów hydrotechnicznych. Rozdział stanowi spójne połączenie zagadnień optymalizacji heurystycznej, modelowania numerycznego oraz monitoringu geotechnicznego i jest zasadniczym wkładem autorskim rozprawy.

Rozdział 6 poświęcono praktycznej implementacji opracowanego algorytmu identyfikacji parametrów na przykładzie rzeczywistego modelu OUOW Żelazny Most oraz analizie wyników kalibracji modeli numerycznych. Autor przedstawia budowę obliczeniowego modelu zapory i podłoża, uwzględniającego rzeczywistą geometrię obiektu, etapowy proces rozbudowy oraz sprzężone zagadnienia filtracji i deformacji gruntu. Szczegółowo opisano wykorzystane dane monitoringowe, obejmujące pomiary geodezyjne, inklinometryczne oraz piezometryczne, które stanowiły podstawę procesu identyfikacji parametrów materiałowych. W rozdziale przeanalizowano przebieg procesu optymalizacji dla różnych wariantów funkcji celu oraz różnych konfiguracji algorytmu genetycznego.

Autor wykazał, że zastosowanie danych z wielu typów czujników poprawia stabilność procesu kalibracji oraz ogranicza możliwość uzyskania rozwiązań lokalnie optymalnych, lecz niezgodnych z rzeczywistą pracą obiektu. Przedstawiono porównanie wyników uzyskanych dla różnych wariantów funkcji celu, wskazując na znaczący wpływ doboru danych wejściowych na identyfikowane parametry materiałowe oraz wartości wskaźnika stateczności. Istotnym elementem rozdziału jest analiza zależności pomiędzy jakością dopasowania modelu do monitoringu a zdolnością modelu do prognozowania dalszego zachowania zapory. Autor pokazuje, że poprawnie skalibrowany model umożliwia nie tylko odwzorowanie aktualnego stanu deformacji, lecz również bardziej wiarygodną ocenę bezpieczeństwa obiektu i prognozowanie przyszłych przemieszczeń.

W pracy przeprowadzono także analizę wpływu wybranych parametrów materiałowych na wyniki obliczeń oraz ocenę wrażliwości procesu identyfikacji. Szczególną uwagę zwrócono na trudności związane z dużą liczbą parametrów optymalizacyjnych oraz wysoką złożonością

obliczeniową modeli sprzężonych. Wyniki przedstawione w rozdziale potwierdzają możliwość praktycznego zastosowania opracowanej procedury do kalibracji wielkoskalowych modeli geotechnicznych na podstawie danych monitoringowych. Rozdział stanowi najważniejszą część aplikacyjną rozprawy, w której autor wykazuje skuteczność opracowanego podejścia na rzeczywistym obiekcie geotechnicznym o bardzo dużym stopniu złożoności.

Rozdział 7 to podsumowanie pracy. Niestety w mojej ocenie jest nieco rozczarowujący. Oczekiwałem solidnego podsumowania w punktach odnoszących się do najważniejszych zagadnień poruszonych w pracy oraz uwypuklenia oryginalnego wkładu Autora w poruszane w pracy zagadnienia. Ten rozdział powinien zostać solidnie przedregowany.

### 3. Merytoryczna ocena pracy

#### 3.1 Ocena celu pracy

Celem pracy było opracowanie metody numerycznej identyfikacji parametrów podłoża gruntowego umożliwiającej kalibrację modeli numerycznych zbiorników wydobywczych na podstawie danych monitoringowych, co należy uznać za problem aktualny, istotny naukowo oraz bardzo ważny z punktu widzenia praktyki geotechnicznej. Autor trafnie zidentyfikował kluczowy problem współczesnych analiz stateczności wielkoskalowych obiektów geotechnicznych, jakim jest niejednoznaczność doboru parametrów materiałowych i trudność odwzorowania rzeczywistej pracy obiektu w modelach numerycznych. Na szczególne podkreślenie zasługuje wykorzystanie rzeczywistych danych z monitoringu OUOW Żelazny Most oraz powiązanie zagadnienia identyfikacji z analizą bezpieczeństwa zapór. Cel pracy został w znaczącym stopniu osiągnięty, ponieważ autor opracował i zweryfikował działanie autorskiego algorytmu kalibracji wykorzystującego metaheurystyczne algorytmy ewolucyjne oraz różne typy danych pomiarowych. Pozytywnie należy ocenić również próbę połączenia identyfikacji parametrów materiałowych z zagadnieniem odwzorowania przestrzennego układu warstw podłoża, co stanowi ambitne rozszerzenie klasycznych procedur kalibracyjnych.

Jednocześnie należy zauważyć, że cel pracy został sformułowany bardzo szeroko, obejmując zarówno identyfikację parametrów materiałowych, analizę funkcji celu, optymalizację wielokryterialną, modelowanie procesu budowy zbiornika, jak i możliwość zastosowania algorytmu do zagadnień trójwymiarowych. Powoduje to częściowe rozproszenie głównego problemu badawczego i utrudnia jednoznaczne wskazanie najważniejszego oryginalnego osiągnięcia naukowego rozprawy. Praca ma w dużym stopniu charakter metodyczno-aplikacyjny, natomiast słabiej wyeksponowano formalną hipotezę naukową podlegającą weryfikacji. Pewien niedosyt budzi również fakt, że mimo deklarowanego ukierunkowania na zagadnienia trójwymiarowe większość analiz wykonano dla modeli dwuwymiarowych, co ogranicza pełną weryfikację skuteczności proponowanego podejścia w docelowych zastosowaniach wielkoskalowych.

Pewne wątpliwości może budzić także przyjęte założenie, że zgodność przemieszczeń modelu z monitoringiem jest wystarczająca do poprawnej oceny bezpieczeństwa obiektu, ponieważ zgodność kinematyczna nie zawsze gwarantuje poprawne odwzorowanie stanu naprężenia i mechanizmów zniszczenia.

Mimo tych uwag należy stwierdzić, że rozprawa stanowi wartościowe i dojrzałe opracowanie naukowe, podejmujące bardzo trudny problem praktyczny i obliczeniowy. Opracowana metoda posiada wyraźny potencjał dalszego rozwoju oraz możliwość zastosowania w analizach innych obiektów geotechnicznych wymagających ciągłej kalibracji modeli numerycznych na podstawie danych monitoringowych.

W świetle całej pracy, nie ma jednakże najmniejszych wątpliwości, że jej cel został w przeważającej mierze osiągnięty.

Podrozdział 1.5 w sposób klarowny i logiczny przedstawia układ rozprawy oraz wzajemne relacje pomiędzy rozdziałami. Struktura pracy jest zgodna z klasycznym schematem rozprawy doktorskiej i umożliwia płynne przejście od przeglądu literatury do badań własnych i analiz numerycznych. Opis struktury ma jednak charakter wyłącznie informacyjny i nie wskazuje hierarchii ważności poszczególnych części rozprawy.

Podrozdział mógłby zostać wzmocniony przez krótkie wskazanie, które rozdziały stanowią główny wkład oryginalny autora.

### 3.2 Oryginalność naukowa rozprawy doktorskiej

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Szczepana Grosela jest oryginalnym i wartościowym pod względem naukowym opracowaniem szeregu zagadnień, które mogą mieć praktyczne zastosowania.

Do oryginalnych osiągnięć zawartych w pracy zaliczyć należy:

- opracowanie autorskiej metody numerycznej identyfikacji parametrów podłoża gruntowego na podstawie danych pochodzących z systemu monitoringu geotechnicznego, przeznaczonej do kalibracji modeli numerycznych zbiorników wydobywczych;
- stworzenie autorskiego algorytmu kalibracji opartego na metaheurystycznych algorytmach ewolucyjnych, umożliwiającego automatyzację procesu doboru parametrów materiałowych modeli geotechnicznych;
- opracowanie własnych wariantów funkcji celu pozwalających jednocześnie wykorzystywać różne typy danych monitoringowych, w tym:
  - przemieszczenia geodezyjne,
  - dane inklinometryczne,
  - pomiary piezometryczne,
- przeprowadzenie analizy wpływu postaci funkcji celu na skuteczność identyfikacji parametrów, w tym wykazanie występowania licznych minimów lokalnych i złego uwarunkowania zagadnienia odwrotnego.
- wykazanie przydatności algorytmów globalnej optymalizacji (algorytmów genetycznych i strategii ewolucyjnych) w zagadnieniach identyfikacji parametrów geotechnicznych w porównaniu do metod lokalnych;

- Opracowanie autorskiej procedury modelowania procesu namywania osadów w analizach numerycznych zbiorników poflotacyjnych;
- Przeprowadzenie analizy wpływu gęstości siatki MES i długości kroku czasowego na wyniki sprzężonych analiz poromechanicznych zbiornika.
- Weryfikacja opracowanego algorytmu na danych syntetycznych, obejmująca:
  - odtwarzanie parametrów materiałowych,
  - analizę jakości predykcji,
  - ocenę wpływu dopasowania modelu na wyznaczone wskaźniki stateczności.
- Zastosowanie opracowanej metody do rzeczywistych danych monitoringowych OUOW Żelazny Most, co stanowi praktyczną walidację zaproponowanego podejścia.
- Podjęcie próby identyfikacji przestrzennego układu warstw podłoża przy wykorzystaniu algorytmów genetycznych oraz diagramów Voronoia, co stanowi nowatorskie rozszerzenie klasycznej identyfikacji parametrów materiałowych.
- Integracja zagadnień monitoringu geotechnicznego, modelowania numerycznego oraz optymalizacji heurystycznej w jednolitą procedurę wspomagającą ocenę bezpieczeństwa wielkoskalowych obiektów hydrotechnicznych.
- Wykorzystanie wielkoskalowych modeli numerycznych zapór OUOW Żelazny Most, uwzględniających rzeczywisty układ warstw podłoża i sprzężenie poromechaniczne, co stanowi zaawansowane osiągnięcie aplikacyjne w geotechnice obliczeniowej.

Uważam, że przedstawione powyżej zagadnienia w pełni potwierdzają naukową oryginalność recenzowanej rozprawy doktorskiej i wskazują na istotny udział doktoranta Szczepana Grosela w jej powstaniu.

Oceniam zatem pozytywnie i wysoko osiągnięcia Doktoranta w tym zakresie.

#### 4. Uwagi krytyczne

Uwagi krytyczne podzieliłem na dwie części – uwagi o charakterze pytań i wątpliwości oraz uwagi problemowe.

Zacznę jednakże od jednej uwagi o charakterze historycznym. Metoda redukcji wytrzymałości na ścinanie nie pochodzi (jak pisze Autor na stronie 8) z lat 90. XX wieku. Jej koncepcję sformułowano w pracy Zienkiewicza<sup>1</sup> et al. (1975). Jej autorzy określają tam procedurę jako: „*reducing simultaneously  $c$  and  $\tan \varphi$  in the same proportion*” i wykorzystują ją do analizy stateczności jednorodnego nasypu uzyskując dobrą zgodność wyników z metodami równowagi granicznej.

---

<sup>1</sup> Zienkiewicz O.C., Humpheson C., Lewis R.W. (1975), Associated and non-associated visco-plasticity and plasticity in soil mechanics. *Geotechnique*. Vol. 25 (4), s. 671-689.

2. Skąd biorą się różnice w parametrach  $c'$  i  $\phi'$  w Tabelach 6.1 i 6.3 dla utworów 9n, 13n i 16n?
3. Czy uproszczenia budowy geologicznej rzeczywiście nie wpływają na wyniki symulacji? Czy upraszczano tylko według parametrów wytrzymałościowych (o czym mowa na stronie 99) czy także odkształceniowych?
4. Jaka jest lokalizacja piezometrów, których wyniki pomiarów przedstawiono na rys. 6.4 i 6.5?
5. Jakie były przesłanki decyzji o wyborze modelu M1 jako ostatecznego modelu obliczeniowego? Dlaczego nie M3?
6. Na stronie 107 autor wspomina o pominięciu w obliczeniach wpływów parasejsmicznych. Czy oszacowano jaki to mogłoby mieć wpływ na wyniki obliczeń?

Poniżej, sformułowano kilka uwag krytycznych o charakterze problemowym. Chciałbym, aby doktorant odniósł się do nich podczas obrony pracy.

1. Niejednoznaczność rozwiązania zagadnienia odwrotnego oraz fizyczna interpretowalność parametrów.  
Rozprawa poprawnie wskazuje, że identyfikacja parametrów podłoża stanowi źle uwarunkowane zagadnienie odwrotne, jednak niewystarczająco omówiono problem niejednoznaczności otrzymywanych rozwiązań. W pracy wykazano możliwość uzyskania podobnego dopasowania modelu do danych monitoringowych dla różnych zestawów parametrów materiałowych, lecz nie przeprowadzono pogłębionej analizy identyfikowalności parametrów ani oceny ich fizycznej unikalności. Powstaje zatem pytanie, czy uzyskane parametry rzeczywiście reprezentują właściwości geotechniczne podłoża, czy jedynie zapewniają matematyczne dopasowanie odpowiedzi modelu do pomiarów.
2. Ograniczona weryfikacja skuteczności algorytmu dla modeli trójwymiarowych  
Autor wielokrotnie podkreśla możliwość zastosowania opracowanej metody do zagadnień trójwymiarowych, co stanowi jeden z istotnych aspektów motywacji pracy. Jednocześnie zasadnicza część analiz i weryfikacji algorytmu została przeprowadzona dla modeli dwuwymiarowych. W konsekwencji nie wykazano w pełni wpływu wymiarowości modelu, znacznie większej liczby stopni swobody oraz czasu obliczeń na stabilność i efektywność procesu identyfikacji w rzeczywistych modelach 3D.
3. Wpływ przyjętego modelu konstytutywnego na wyniki identyfikacji.  
W pracy wykorzystano głównie model Coulomba-Mohra, mimo że sam autor wskazuje na jego ograniczenia w odwzorowaniu złożonych zjawisk zachodzących w gruntach spoistych i osadach poflotacyjnych. Nie przeprowadzono jednak szerszej analizy wpływu wyboru modelu konstytutywnego na wyniki identyfikacji parametrów i ocenę stateczności. Powstaje istotne pytanie, czy niedopasowanie modelu do rzeczywistego zachowania ośrodka nie jest kompensowane przez sztuczną modyfikację identyfikowanych parametrów materiałowych.
4. Brak pełnej analizy wrażliwości i odporności algorytmu na błędy danych monitoringowych.

Rozprawa opiera się na wykorzystaniu rzeczywistych danych z monitoringu geotechnicznego, jednak ograniczono analizę wpływu niepewności pomiarowej, błędów czujników oraz braków danych na stabilność procesu identyfikacji. W praktyce inżynierskiej monitoring obiektów wielkoskalowych obarczony jest znaczną zmiennością jakości danych, dlatego wskazane byłoby przeprowadzenie bardziej rozbudowanej analizy odporności opracowanej metody na zakłócenia pomiarowe.

5. Relacja pomiędzy dopasowaniem modelu a rzeczywistą oceną bezpieczeństwa obiektu. Autor przyjmuje, że uzyskanie zgodności pomiędzy wynikami modelu numerycznego a pomiarami przemieszczeń zwiększa wiarygodność prognoz stateczności. Założenie to jest intuicyjnie uzasadnione, jednak w pracy nie wykazano jednoznacznie, w jakim stopniu poprawa jakości kalibracji przekłada się na rzeczywistą poprawę trafności prognoz mechanizmów zniszczenia oraz wartości wskaźnika stateczności. W szczególności nie przeanalizowano sytuacji, w których poprawne odwzorowanie pola przemieszczeń mogłoby współistnieć z błędnym odwzorowaniem stanu naprężeń i warunków granicznych zniszczenia.

#### 4.2 Uwagi edytorskie

W całej pracy rekomendowana jest korekta interpunkcji, co może być łatwo wykonane w procesie wydawniczym. Autor pracy nie stosuje także jednolitego systemu cytowania, co również wymaga uporządkowania.

W poniższej tabeli zebrano fragmenty tekstu wymagające korekty edytorskiej;

Lokalizacja	Jest	Powinno być
Strona 4	pozwalających na kontrolę	pozwalający na kontrolę
Strona 34	wartość wylosowana	wartość wylosowaną
Strona 45	Norweskiego Instytutu Geotechnicznego	Norweskiego Instytutu Geotechnicznego
Strona 50	wartość prędkość	wartość prędkości
Strona 60	metoda <i>upstream</i>	metodą <i>upstream</i>
Strona 61	pionowych krawędzie obszaru	pionowych krawędzi obszaru
Strona 62	zmianę warunku brzegowe	zmianę warunku brzegowego
Strona 70	skrócenie kroku czasowe	skrócenie kroku czasowego
Strona 82	dobrego dopasowanie	dobrego dopasowania
Strona 90	Na Rys. 5.11Rys. 5.11	Na Rys. 5.11

## 5. Wniosek końcowy

Po dokonanej ocenie rozprawy doktorskiej mgr inż. Szczepana Grosela, p.t.: „Numeryczna identyfikacja podłoża gruntowego”, stwierdzam, że przedstawia ona oryginalne rozwiązanie problemu posiadające cechy naukowe, które mieści się w obszarze nauk inżynierskich i technicznych. Problem ten posiada zarówno wartość poznawczą, jak i wyraźne znaczenie użyteczne dla jego wdrożenia w sferze gospodarczej. Moja recenzja w tym zakresie jest pozytywna.

Ponadto Doktorant, w trakcie realizacji badań wykazał się szeroką wiedzą w zakresie tematyki związanej z rozprawą doktorską oraz poprawnie opracował odpowiednią metodykę badań, które umożliwiły skuteczne rozwiązanie złożonego problemu naukowego, potwierdzając tym samym jego umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowo-badawczej.

Warto także podkreślić, że po rozwiązaniu szeregu problemów Doktorant nie kończy swoich rozważań, ale umiejętnie i celnie wskazuje kolejne zagadnienia, które wymagają poszukiwania rozwiązań i odpowiedzi. To bardzo ważna i przydatna cecha każdego badacza.

Na tej podstawie stwierdzam, że zostały spełnione wymagania formalne stawiane pracom doktorskim znajdujące się w obowiązującym akcie prawnym i wnoszę do Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Wrocławskiej o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie mgr inż. Szczepana Grosela do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora.

Podjęcie w dysertacji rozwiązania niezwykle trudnego zagadnienia badawczego, zastosowanie systematycznego, eksperymentalnego, specjalistycznego i oryginalnego podejścia badawczego, uzyskanie oryginalnych wyników poznawczo-naukowych oraz dokonanie analizy uzyskanych wyników pozycjonują ocenianą pracę, w opinii recenzenta, jako wyróżniającą. Stawiam wniosek o wyróżnienie dysertacji.



prof. dr hab. inż. Marek Cała