

Kraków, 18 grudnia 2025

dr hab. inż. Andrzej Gruchot, prof. URK

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji

Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki

al. Mickiewicza 24/28, 31-059 Kraków

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgra Tomasza Sobkowiaka

pt. „Badanie utraty stabilności budowli ziemnych linii kolejowych na wybranych przykładach rejonu północno - zachodniej Polski”

**w związku z postępowaniem o nadanie stopnia naukowego doktora
w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych,
w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka**

1. Podstawa formalna wykonania recenzji

Podstawą sporządzenia recenzji jest pismo nr IAA-511-6/2024 Przewodniczącej Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka w Politechnice Świętokrzyskiej Pani dr hab. Lidii Dąbek, prof. PŚk z dnia 20 października 2025 roku, w którym zostałem poinformowany, że Wysoka Rada powołała mnie na Recenzenta przedmiotowej rozprawy doktorskiej oraz umowa o dzieło nr IAA-3/2025. Do pisma została dołączona Uchwała nr 25/2025 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka w Politechnice Świętokrzyskiej z dnia 15 października 2025 roku w sprawie wyznaczenia recenzentów rozprawy doktorskiej mgra Tomasza Sobkowiaka.

Recenzję wykonano zgodnie z zapisami Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2024 r., poz. 1571 ze zm.).

2. Podstawowe informacje o rozprawie doktorskiej

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgra Tomasza Sobkowiaka pt. „Badanie utraty stabilności budowli ziemnych linii kolejowych na wybranych przykładach rejonu północno - zachodniej Polski” składa się z dwóch tomów. Promotorem rozprawy był prof. dr hab. inż. Maciej Kordian Kumor.

Przyjęty układ i podział treści rozprawy jest logiczny i odpowiedni dla rozpraw doktorskich w naukach inżynieryjno-technicznych. Układ rozprawy pozwolił Doktorantowi na zwięzłe zarysowanie problematyki badawczej, wskazanie założeń

przeprowadzonych obserwacji, analiz i metod ich realizacji, a także obliczeń numerycznych, a także przedstawienie najważniejszych wyników badań i wniosków.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska, w tomie 1, składa się z 7 rozdziałów głównych z licznymi podrozdziałami i obejmuje 170 stron maszynopisu zilustrowane 24 tabelami, 12 rycinami, 13 fotografiami i 19 wykresami. Część właściwą rozprawy doktorskiej poprzedza spis treści. W części właściwej znajduje się: 1). Wstęp, 2). Badanie stabilności kolejowych budowli ziemnych, 3). Analiza zbiorów czynników i procesów generujących utratę stabilności budowli ziemnych linii kolejowych, 4). Podsumowanie, 5). Wnioski. Na końcu rozprawy zamieszczono: 6). Bibliografię i 7). Słownik niektórych terminów inżynierskich, geologicznych, hydrogeologicznych i ekologicznych użytych w pracy, a także streszczenie w języku polskim i abstrakt w języku angielskim. Zgromadzone materiały źródłowe i literatura zostały dobrane i wykorzystane poprawnie. W większości są one aktualne i dotyczą tematyki poruszanej w rozprawie.

W tomie 2 rozprawy doktorskiej przedstawiono dwa załączniki. W załączniku nr 1 o objętości 111 stron maszynopisu zamieszczono „Opis analizowanych odcinków badawczych. Natomiast w załączniku nr 2 pt. „Analiza wpływu zmiany szerokości ławy torowiska na wartość współczynnika stateczności” zamieszczono wyniki obliczeń numerycznych współczynnika stateczności.

Mgr Tomasz Sobkowiak nie ubiegał się wcześniej o nadanie stopnia doktora. Zgodnie z przedłożonym życiorysem, Tomasz Sobkowiak ukończył w 1999 roku studia magisterskie na kierunku Zarządzanie i Marketing na Wydziale Prawa i Administracji Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu oraz w 2012 roku studia inżynierskie na kierunku Budownictwo Komunikacyjne na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej. Jest również absolwentem Podyplomowych Studiów Geologicznych na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu ukończonych 2014 roku.

3. Celowość podjęcia tematyki

Podjęcie tematyki rozprawy doktorskiej uważam za celowe ze względu na jej praktyczne znaczenie bezpieczeństwa infrastruktury kolejowej z punktu widzenia jej starzenia się, a także nasilające się ekstremalne czynniki klimatyczne oraz wymagania eksploatacyjne. Szacuje się, że w Polsce około 35% linii kolejowej ma około 100-150 lat i w znacznej części zostało zbudowane przed II wojną światową. Pomimo intensywnych prac modernizacyjnych ryzyko awarii kolejowego nasypu ziemnego jest duże, w szczególności w warunkach postglacjalnych. Problem ten ma charakter powszechny, analogiczne wyzwania występują w całej Europie Środkowej, a także na świecie. Szerokie podjęcie tematu uzasadnia rozwój diagnostyki predykcyjnej, której właściwe zastosowanie minimalizuje straty ekonomiczne i społeczne w infrastrukturze kolejowej.

W Polsce linie kolejowe, której długość wynosi około 18 tys. km są podatne na utratę stabilności nasypów i skarp z powodu zróżnicowania budowy podłoża gruntowego (geologicznego) – od lessów na południu, przez osady lodowcowe na północy, po Karpaty

na wschodzie. Przykłady awarii poza północno-zachodnim rejonem Polski opisanym w przedmiotowej rozprawie doktorskiej (osuwiska na linii Warszawa-Lublin, deformacje podtorza w Małopolsce) potwierdzają uniwersalność podjętego przez Doktoranta problemu. Dane prezentowane przez PKP PLK wskazują na setki interwencji rocznie związanych z występowaniem erozji i drgań. Celowość podjętej tematyki jest również istotna z punktu widzenia konieczności modernizacji linii kolejowych wynikającej między innymi z wprowadzenia Europejskiego Systemu Zarządzania Ruchem Kolejowym, zwiększenia obciążenia osiowego do 25 ton, poprawy przepustowości i prędkości pociągów. Brak kompleksowych metod oceny ryzyka może prowadzić do kosztownych remontów, a ewentualne straty wynikające z wystąpienia uszkodzeń są szacowane na bardzo wysokim poziomie.

W Europie Środkowej (Niemcy, Czechy, Słowacja) istniejące historyczne kolejowe linie pruskie i austriackie wykazują podobne awarie skarp (np. osuwiska w Saksonii po powodziach 2021), a dyrektywy Parlamentu Europejskiego w sprawie interoperacyjności systemu kolei w Unii Europejskiej wymagają standaryzacji diagnostyki geotechnicznej. Problem jest też istotny z punktu widzenia światowego. Przeprowadzane kontrole podkreślają potrzebę stosowania heurystycznych modeli, w których geośrodowiskowe czynniki łączy się z monitoringiem linii. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) wskazuje na wzrost ryzyka uszkodzeń linii kolejowych o około 20 do 50% do 2050 roku w wyniku ekstremalnych opadów, co pozwala wskazać, że podjęta tematyka przez Doktoranta jest strategiczna dla zrównoważonej mobilności.

Recenzowana rozprawa wprowadza autorską metodę heurystyczną z wagami przestanków, klasyfikującą czynniki (geologiczne, hydrogeologiczne, biogeniczne, historyczne) i prognozującą stopień zagrożenia (zagrożenie awaryjne, awaria, katastrofa). Dlatego wybór problematyki dysertacji oceniam pozytywnie. Zakładając szersze jej ujęcie (nie tylko północno-zachodnia Polska), zaproponowana metoda przy jej przeskalowaniu na bazy danych GIS i dodatkowo wzmocnione symulacjami numerycznymi zintegrowanymi z normami Eurokod 7 powinna pozwolić na właściwą predykcję ewentualnych uszkodzeń linii kolejowych.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

Rozprawa doktorska pt. „Badanie utraty stabilności budowli ziemnych linii kolejowych na wybranych przykładach rejonu północno-zachodniej Polski”, tom 1, posiada logiczną strukturę rozdziałową, typową dla prac o charakterze aplikacyjnym. Każdy rozdział przedstawia kontekst teoretyczny po praktyczne wnioski, z wykorzystaniem empirycznych przykładów z 10 odcinków linii kolejowych. Rozdziały są dość dobrze osadzone w literaturze problemu, a zastosowane metody adekwatne do złożoności problemu. Całość rozprawy wnosi wysoką wartość dla diagnostyki infrastruktury krytycznej.

W rozdziale 1 pt. „Wstęp” Doktorant przedstawił przedmiot rozważań (1.1), problem stabilności i stateczności kolejowych budowli ziemnych (1.2), przegląd literatury dotyczącej przedmiotu badań (1.3) oraz zakres pracy, jej cel i tezę (1.4). W rozdziale tym

Doktorant omówił kontekst historyczny budowli ziemnych jako elementów antropogenicznych zmieniających równowagę geostatyczną podłoża gruntowego, z naciskiem na linie kolejowe jako część infrastruktury krytycznej. Doktorant wskazał, że definicja „stabilności budowli ziemnej linii kolejowej” obejmuje szerszy kontekst, ponieważ uwzględnia deformacje podtorza, erozję i awarie, niż klasyczne pojęcie „stateczność”, co jest oryginalnym wkładem teoretycznym. Rozdział ten wprowadza w problematykę bezpiecznej eksploatacji linii kolejowych poprzez wskazanie na konieczność opracowania procedur identyfikujących odcinki wrażliwe na deformacje nawierzchni i podtorza. Doktorant podkreśla brak kompleksowych metod identyfikujących w literaturze problemu, a istniejące są najczęściej skupione na analizach zaistniałych awarii. Autor łączy perspektywę geomorfologiczną, geologiczną, geotechniczną i eksploatacyjną, pokazując, że zagrożenia mają charakter złożony i długookresowy.

Zakres rozprawy obejmuje geośrodowiskową analizę podatności budowli ziemnych na destrukcję korpusu i skarp. Autor wskazuje, że wśród tych obiektów szczególną rolę odgrywają budowle komunikacyjne, zwłaszcza linie kolejowe, silnie narażone na czynniki egzogeniczne (geologiczne, geomorfologiczne, hydrogeologiczne, klimatyczne, biogeniczne i antropogeniczne). Zakres przestrzenny to rejon północno-zachodniej Polski, o złożonej budowie czwartorzędowej i młodej rzeźbie postglacjalnej, gdzie obserwuje się liczne procesy osuwiskowe oraz silny wpływ opadów atmosferycznych, przemarzania, erozji i drgań od ruchu pociągów. Zakres praktyczny obejmuje analizę 10 wybranych odcinków linii kolejowych zakwalifikowanych do trzech stopni utraty stabilności (zagrożenie, awaria, katastrofa), z opisem historii ich budowy, warunków gruntowo-wodnych i symptomów deformacji.

Główny i jedyny cel pracy Doktorant definiuje jako stworzenie parametrycznej metody prognozowania utraty stabilności budowli ziemnych linii kolejowych. Metoda ma umożliwiać wczesną identyfikację odcinków o podwyższonym ryzyku (na podstawie symptomów terenowych, historii awarii, układu geologicznego i warunków wodnych), przypisanie danego odcinka do jednego z trzech stanów (zagrożenie awaryjne, awaria, katastrofa) w sposób możliwie obiektywny, wskazanie kierunków działań technicznych (wzmocnienie, odwodnienie, monitoring). W mojej opinii cel został sformułowany jasno i jednoznacznie.

Hipoteza badawcza wskazuje na empiryczną możliwość sklasyfikowania czynników egzogenicznych destabilizujących konstrukcje oraz nadania im wag istotności do oceny prawdopodobieństwa awarii. Hipoteza opiera się na 20-letnim doświadczeniu autora w badaniach geotechnicznych i naprawach. W praktyce tak przyjęta hipoteza oznacza, że złożona, wieloczynnikowa natura zjawisk (opady, filtracja, erozja, przemarzanie, drgania, budowa geologiczna, historia eksploatacji, czynniki biogeniczne itd.) może zostać sprowadzona do skończonego, uporządkowanego zbioru przesłanek diagnostycznych. W konsekwencji tego, ten sumaryczny efekt przesłanek można ocenić w kategoriach prawdopodobieństwa lub stopnia zagrożenia, bez konieczności budowy

pełnego, ścisłego modelu mechaniki ośrodka (co obecnie jest praktycznie niewykonalne dla rzeczywistych zboczy i nasypów).

W mojej opinii tak postawiona hipoteza ma charakter aplikacyjny. Wskazuje, że jeżeli poprawnie dobierzemy i ocenimy wagi poszczególnych czynników (geomorfologicznych, geologiczno-inżynierskich, hydrogeologicznych, klimatycznych, eksploatacyjnych, antropogenicznych), to możliwe będzie wiarygodne prognozowanie, gdzie i kiedy może dojść do awarii lub katastrofy budowli ziemnej linii kolejowej.

W rozdziale 1, Doktorant dostarcza szerokiego uzasadnienia przyjętej hipotezy, pokazując zarówno niedostatki czysto obliczeniowych metod stateczności, jak i możliwości stosowania obserwacyjnych wskaźników zagrożenia.

Pewne moje wątpliwości budzi układ zaprezentowany w podrozdziale 1.4. Doktorant najpierw podaje zakres pracy, następnie jej cel i na końcu hipotezę. W mojej opinii zakres pracy powinien być omówiony po przedstawieniu celu pracy i postawieniu hipotezy badawczej. Z drugiej strony, można przyjąć, że czytelnik najpierw poznaje, „co” i „gdzie” jest badane (zakres), potem „po co” (cel), a na końcu „jakie założenie” będzie weryfikowane (hipoteza).

W rozdziale 2 pt. „Badanie stabilności kolejowych budowli ziemnych”, Doktorat dokonał charakterystyki badań (2.1), przedstawił ograniczenia właściwości geotechnicznych ośrodka gruntowego (2.2), kryteria oceny przyczyn stabilności (2.3), wybrał metody analityczne (2.4), scharakteryzował 10 odcinków badawczych o różnej lokalizacji w północno-zachodniej Polsce i długości (2.5) oraz omówił czynniki determinujące utratę stabilności (2.6). Doktorant wyjaśnił podstawowe aspekty przyjętej metodyki, w tym analizę geośrodowiskową rejonu badań z naciskiem na warunki glacialne, morfologiczne i hydrogeologiczne. Przedstawił ograniczenia właściwości geotechnicznych gruntu jako nieciągłego i heterogenicznego, poddając krytyce uproszczenia hipotez ciągłości i modeli mechaniki gruntów, gdzie stosowanie prawo Hooke'a może być realizowane jedynie lokalnie. Trudności w ocenie stanu początkowego podłoża przed obciążeniem podkreślają potrzebę analizy struktury wewnętrznej, zwłaszcza gruntów organicznych, różniących się od mineralnych. Zmiany parametrów geotechnicznych są skokowe pod wpływem czynników egzogenicznych, wymagając oceny lokalnych obszarów zmian.

Doktorant dokonał charakterystyki 10 odcinków badawczych zlokalizowanych na linii kolejowej nr 401, 202, 273, 405, 203, 351, 3 o różnej długości (jej uzupełnienie znajduje się w załączniku 1, w tomie 2). Wytypowane odcinki wynikają z podobieństwo warunków budowy podłoża, rodzaju konstrukcji (nasyp/przekop) i udziału Autora w badaniach. W rozdziale Autor dokonał charakterystyki zróżnicowanej rzeźbą terenu wynikającą z procesów glacialnych (wysoczyzny morenowe, drumliny, rynny glacialne, równiny sandrowe i pradoliny) regionu północno-zachodniej Polski, obejmującej Pobrzeże Południowobałtyckie (podprowincja 313) i Pojezierze Południowobałtyckie (podprowincja 314-315). Warunki geologiczno-inżynierskie wykazują w tym obszarze

silne zaburzenia glacictektoniczne, nieciągłe warstwy gruntów o zmiennej miąższości i granulacji, co wpływa na stabilność podłoża.

Doktorant zaproponował autorską klasyfikację czynników generujących utratę stabilności, podzielonych na grupy: geologiczne (GL: potencjalne powierzchnie poślizgu, budowa geologiczna podłoża, jakość pokrywy zwietrzelinowej), geologiczno-inżynierskie (GI: wysoczyzny morenowe, równiny zastoiskowe, terasy, równiny bagienno-torfowe), morfometryczne (GM: nachylenie terenu), hydrogeologiczne i hydrograficzne (HG: rozmycie, wypór wody, sufozja, wysadziny i inne), klimatyczne (KL: wietrzenie, czynniki i procesy egzogeniczne, opady, pora roku), biogeniczne w tym fitogeniczne (FG: stopień i rodzaj pokrycia skarp) chemiczne (CH: działanie substancji organicznych, wietrzenie chemiczne), zoogeniczne (ZG: bakterie tlenowe i beztlenowe, bobry, nory zwierząt rozdeptywanie skarp), historyczne (H: czas eksploatacji, przebudowa i modernizacja linii, elektryfikacja, wysokość skarpy, jakość użytego materiału i inne) i eksploatacyjne (EK: wzrost obciążenia, drgania, niewłaściwy projekt nachylenia skarp, zmiana geometrii, przebudowa linii i inne). Czynniki działające w procesie „zboczowym” (raczej osuwiskowym) zostały podzielone na mierzone sterowalne (U: np. wymiary i kształt geometryczny skarpy), mierzone niezależne (V: np. czynniki klimatyczne, atmosferyczne wytrzymałość gruntu) i niemierzalne i trudne do rozpoznania (Z). Doktorat omówił w stopniu wystarczającym czynniki determinujące utratę stabilności. W rozdziale zostały omówione wybrane przez Doktoranta metoda heurystyczna i rozmyta (analiza 0/1 – funkcje przynależności zbiorów rozmytych) do oceny nieprecyzyjnych kryteriów, z indeksowaniem wag istotności. Autor zapowiada wielostopniową analizę stanowisk dla prognozowania ryzyka, która była inspirowana praktyką diagnostyczną.

W mojej opinii Autor trafnie kładzie nacisk na różnice osuwisk „sztucznych” powstających w wyniku zaistnienia czynników antropogenicznych od naturalnych, z solidną wiedzą popartą 20-letnim doświadczeniem Autora w badaniach tego typu odcinków linii kolejowych i w realizacji prac tak projektowych jak i naprawczych. Kryteria oceny zostały dobrze zróżnicowane, ale odsyłanie szczegółów do załącznika zmniejsza czytelność, brak jest również ilościowych parametrów geotechnicznych (np. kąta tarcia wewnętrznego i spójności) co osłabia precyzję opisu.

W rozdziale 3 pt. „Analiza zbiorów czynników i procesów generujących utratę stabilności budowli ziemnych linii kolejowych” Doktorant przedstawił wyniki analizy skupień – metoda zbioru 0/1 (3.1), kryteria indeksowania czynników (3.2), wyniki analiz metodą zbioru zindeksowanego (3.3), analizę wpływu zmiany geometrii w przekroju poprzecznym nasypu kolejowego będącej przykładem wpływu skomplikowania czynników i procesów destrukcyjnych (3.4), a także algorytm postępowania przy analizie utraty stabilności budowli ziemnej linii kolejowej (3.5). Na podstawie kryteriów omówionych w rozdziale 2 przeprowadził ocenę 10 odcinków badawczych, tworząc zbiory rozmyte i indeksowane dla obliczenia stopni zagrożenia.

Stosując metodę zbioru 0/1 oraz zbioru zindeksowanego, zastosowanych do 10 odcinków badawczych Autor sklasyfikował według stopni utraty stabilności

zagrożenie awaryjne dla odcinków linii kolejowych nr 1, 2 i 7, awarii budowlanej dla odcinków nr 4, 8 i 9 oraz katastrofę budowlaną dla odcinków nr 3, 5, 6, 10 (numeracja zgodna z Doktoratem – strona 93). Przeprowadzona analiza obejmuje analizę skupień, tablice binarne (0/1) z 94 zmiennymi destrukcyjnymi (geologiczne, hydrogeologiczne, klimatyczne itp.) oraz statystykę częstości ich występowania.

W metodzie 0/1 odcinki badawcze, zgodnie z Metodą Najbliższego Sąsiedztwa, pogrupowano w dwa skupienia – skupienie 1 – odcinki nr 1, 2, 7, 8, 9 oraz skupienie 2 – odcinki nr 3, 4, 5, 6, 10 (strona 94) według założonej liczby czynników i procesów destrukcyjnych. Następnie w drugim kroku Doktorant dla poszczególnych odcinków i dla 94 zmiennych przypisał występowanie danego czynnika destrukcyjnego (liczba 1) lub jego brak (liczba 0). Na podstawie metody 0/1, Doktorant opierając się na metodzie heurystycznej zaproponował ocenę istotności czynników i procesów decydujących o utracie stabilności linii kolejowej, przyjmując podział czynników w i procesów destrukcyjnych na 5 klas – decydująca, pierwszorzędna, drugorzędna, trzeciorzędna, nieistotna. Na podstawie przeprowadzonych analiz Doktorant stwierdził występowała wyraźna granica pomiędzy zagrożeniem awaryjnym i awarią budowlaną. Natomiast stan graniczny między awarią budowlaną a katastrofą budowlaną był niejednoznaczny wskazując na brak buforu czasu przy awarii.

Analiza skupień i test t-Studenta (tab. 3.4, 3.5, 3.9, 3.10) prawidłowo weryfikują różnice między stopniami utraty stabilności, potwierdzając istotną granicę między zagrożeniem awaryjnym (niska suma pkt) a awarią lub katastrofą budowlaną. Heurystyczne indeksowanie (wagi od 0 do 5), które częściowo opiera się na literaturze i znacznym stopniu na doświadczeniu autora, są uzasadnione do stosowania w fazie eksploatacji. Jednak przedziały ufności wskazują na małą próbę statystyczną. Podział na klasy czynników zgadza się z geotechniczną wiedzą o wpływie poszczególnych czynników na stateczność skarp.

W rozdziale 3.4. Doktorant dokonał analizy obliczeń współczynnika stateczności, które zostały przeprowadzone dla trzech teoretycznych nasypów zbudowanych z gruntów piaszczystych (2 modele) o różnym stopniu zagęszczenia i gruntu spoistego (model 3) o różnym stopniu plastyczności. Obliczenia obejmowały 704 przypadki o różnej geometrii nasypu, a więc o różnym kącie nachylenia skarp, wysokości nasypu, a w szczególności szerokość ławy torowiska. Obliczenia wykonane metodami równowagi granicznej (Bishopa i Felleniusa) wskazują na istotny wpływ czynników geometrycznych nasypu, a także stanu gruntów w nich występujących. Doktorant przedstawiając założenia i analizę przeprowadzonych obliczeń nie wskazał na jakim podłożu zostały posadowione nasypy, a także jakim oprogramowaniem posłużył się w obliczeniach. Autor wskazuje także, że różnice zmienności oceniane na poziomie inżynierskim są bardziej podobne i wynoszą około 20% (strona 129) – proszę o wyjaśnienie tego stwierdzenia.

W rozdziale 3.5. Doktorant zaproponował algorytm analizy utraty stabilności budowli ziemnej linii kolejowej (ryc. 33). Zaproponowany algorytm omówiony został

poprzez analizę odcinka badawczego nr 8. Zaproponowany algorytm jest prosty w zastosowaniu, jednak w mojej opinii niesie ryzyko znacznego, subiektywnego podejścia w przeprowadzonych analizach.

W rozdział 4 pt. „Podsumowanie” Doktorant syntetyzuje wyniki empirycznej analizy z rozdziału 3, interpretując obliczone stopnie zagrożenia utraty stabilności budowli ziemnych linii kolejowych dla 10 odcinków badawczych z północno-zachodniej Polski. Dokonuje oceny skuteczności metodyki obserwacyjno-wskaźnikowej, weryfikację hipotezy oraz wstępne rekomendacje diagnostyczne dla PKP PLK S.A. Jednak w mojej opinii rozdział ten jest „mieszkanką” podsumowania i wniosków, przy czym dominują w nim wnioski naukowe i praktyczne. Autor przedstawia zakres wykonanych badań (liczba otworów, sondowań, prób, pomiary geodezyjne), a także wskazuje na ograniczenia badań (10 odcinków, rejon północno-zachodniej Polski), co jest typowe dla podsumowania. Jednak tekst zawiera interpretację wyników i propozycje praktyczne, co stanowi już wnioski naukowe i aplikacyjne np.: „Metoda zbioru 0/1 oparta na okazała się odcinkach badawczych okazała się przydatna...”, „Analiza potwierdza nadrzędność metody zbioru zindeksowanego...”, „Z opracowanych materiałów, można zaproponować następujące kryteria: do 90 pkt zagrożenie awaryjne, 90–110 awaria budowlana, powyżej 110 katastrofa budowlana.”, „Stwierdzono niewielką różnicę punktową między awarią budowlaną, a katastrofą budowlaną.”. Można to również potraktować jako rekomendacje dotyczące dalszych badań oraz znaczenia dla praktyki inżynierskiej. Proponuję przed ewentualną publikacją dysertacji skrócić część interpretacyjną i przenieść ją do rozdziału „Wnioski”.

W rozdziale 5 Doktorant przedstawił wnioski z przeprowadzonych wieloletnich badań i analiz. Autor potwierdza, że przyjęte założenia i hipotezy zostały zweryfikowane pozytywnie, a teza rozprawy została potwierdzona. Opracowana metoda, oparta na analizie czynników geośrodowiskowych i ich indeksowaniu, umożliwia parametryczne prognozowanie utraty stabilności budowli ziemnych linii kolejowych. W rozdziale podkreślono, że uwzględniono 94 czynniki wpływające na stabilność, a ich znaczenie zostało ocenione poprzez przypisanie wartości punktowych, co pozwoliło na wyodrębnienie trzech stanów: zagrożenia awaryjnego, awarii budowlanej i katastrofy budowlanej. Zidentyfikowano czynniki o największym wpływie, takie jak warunki hydrogeologiczne, długi czas eksploatacji oraz obecność obszarów torfowych. Autor wskazuje, że metoda indeksowania jest bardziej efektywna niż prosta metoda 0/1 i daje szersze możliwości praktycznej diagnostyki.

Wskazane wnioski podkreślają, że utrata stabilności jest wynikiem współwystępowania wielu czynników, a ich wzajemna zależność decyduje o stanie technicznym budowli. Zwrócono uwagę na niewielką różnicę punktową między awarią a katastrofą, co oznacza, że opóźnianie napraw znacząco zwiększa ryzyko poważnych zdarzeń. Autor rekomenduje kontynuację badań, rozszerzenie ich na inne rejony oraz współpracę z PKP PLK w celu regionalizacji metody. Wskazuje również na potrzebę opracowania szczegółowej instrukcji diagnostycznej dla oceny stabilności podtorza

w skali kraju. Całość rozdziału ma charakter wniosków naukowych i aplikacyjnych, podkreślając zarówno potwierdzenie hipotezy, jak i praktyczne znaczenie opracowanej metody oraz kierunki jej dalszego rozwoju.

Bibliografia została podzielona na 4 podrozdziały, w których zamieszczono spis książek i publikacji – 111 pozycji (w tym 25 anglojęzycznych) z lat 1954 do 2024, spis badań geotechnicznych, dokumentacji geologiczno-inżynierskich, ekspertyz i projektów – 30 pozycji (w tym 26 pozycji, w których Doktorant jest współautorem), a także spis polskich instrukcji, norm, rozporządzeń, ustaw i wytycznych – w sumie 31 pozycji oraz spis netografii - 13 stron i serwisów internetowych.

Streszczenie i abstract zostały pod względem merytorycznym dobrze napisane i w sposób zwięzły przedstawiają założenia rozprawy doktorskiej w tym problem badawczy, tezę pracy, zakres badań i metodykę ich analiz, a także wyniki i wnioski. Jednak w mojej opinii, aby streszczenie było kompletne i zgodne z typowymi wymaganiami dla rozpraw doktorskich powinno zawierać cel, rozszerzenie opisu zakresu badań o materiał badawczy, a także o metody badawcze i narzędzia, jak również najważniejsze wyniki. W streszczeniu pominięto słowa kluczowe.

W załączniku 1 pt. „Opis analizowanych odcinków badawczych”, znajdującym się w tomie 2 rozprawy doktorskiej na 111 stronach maszynopisu zamieszczono obszerny opis 10 odcinków badawczych, które posłużyły do opracowania recenzowanej rozprawy doktorskiej. Opis ten został zilustrowany 44 rycinami i 29 fotografiami. W mojej opinii załącznik ten jest częścią szeregu dokumentacji inżynierskiej, które powstały na potrzeby modernizacji wskazanych w rozprawie odcinków badawczych linii kolejowych w północno-zachodniej Polsce. Charakterystyka obejmuje lokalizację odcinka, krótki rys historyczny budowy linii kolejowej, na które znajduje się badany odcinek, opis budowy geologicznej, morfologii terenu oraz warunków hydrogeologicznych. Do każdego odcinka przedstawiono opis mechanizmu rozwojów procesów destrukcyjnych z uwzględnieniem „stanu istniejącego – przyczyn niestabilności”, opis prawdopodobnego mechanizmu deformacji skarpy. Przedstawiono również zaproponowane i wykonane roboty naprawcze. Dla każdego odcinka przedstawiono dokumentację fotograficzną przedstawiającą zaistniałe deformacje, a także stan po przeprowadzeniu robót naprawczych. W załączniku znajdują się również rysunki przedstawiające profil geotechniczny w przekroju poprzecznym nasypu kolejowego przedmiotowego odcinka, a także przekroje z dokumentacji powykonawczej po wykonaniu stabilizacji odcinka nasypu kolejowego. Załącznik jest obszerny i może dlatego Autor podał jedynie zakres badań geotechnicznych, który wielokrotnie był znaczący, nie pokazując właściwości geotechnicznych gruntów stwierdzonych w nasypie linii kolejowej i w ich podłożu gruntowym, w poszczególnych przekrojach.

Natomiast w załączniku nr 2 pt. „Analiza wpływu zmiany szerokości ławy torowiska na wartość współczynnika stateczności”. W załączniku znajduje się 81 rycin (w tym rycina przedstawiająca poglądowy przekrój modelowego nasypu) i 96 tabel z uzyskanymi wynikami obliczeń numerycznych stateczności nasypu kolejowego przy zmiennych

parametrach geometrycznych ze szczególnym naciskiem na zmianę szerokości ławy torowiska od 0,0 do 1,0 m. Wyniki dotyczą obliczeń przeprowadzonych metodą Bishopa i Felleniusa zgodnie założeniami Eurokodu 7. Doktorant zamieścił również graficzne zestawienie wyników obliczeń, w którym przedstawił zależność szerokości ławy torowiska (oś pionowa) od współczynnika stateczności nasypu (oś pozioma). W mojej opinii powinna to być zależność odwrotna, a więc współczynnika stateczności od szerokości ławy torowiska. Analiza danych zawartych w załączniku pozwala stwierdzić, że różnica w uzyskanych wartościach współczynnika stateczności dla poszczególnych modeli obliczowych przy skoku szerokości ławy torowiska wynoszącym 0,1 m były rzędu 0,01 lub 0,02 co dla przyjętych metod obliczeń stateczności w mojej opinii było wartością niewielką. W załączniku znajduje się również zestawienie zbiorcze wyników obliczeń dla poszczególnych modeli z podaniem równania linii trendu, współczynnik dopasowania R^2 , wariancji i średniej. Wyniki tych zestawień nie zostały omówione w treści rozprawy doktorskiej.

5. Uwagi merytoryczne i dyskusyjne

Pewną część uwag w odniesieniu do recenzowanej rozprawy doktorskiej przedstawiłem we wcześniejszym rozdziale mojej recenzji. Poniżej przedstawiam uwagi, do których Doktorant powinien się odnieść w trakcie obrony. Zagadnienia te są związane ściśle z zakresem zrealizowanych badań i analiz.

Recenzowaną rozprawę doktorską wyróżnia logiczna konstrukcja rozdziałowa, zaczynając od szerokiego opisu antropogenicznych budowli ziemnych (nasypy, skarpy, wały), przechodzącą przez przegląd procesów egzogenicznych (erozja, osuwiska według klasyfikacji Varnes'a i Wysokińskiego) i kończącą się autorską metodą heurystyczną. Merytoryczną zaletą jest oryginalna definicja „stabilności budowli ziemnej linii kolejowej” jako cechy bezawaryjnej eksploatacji, obejmującej nie tylko stateczność skarp, ale także deformacje podtorza, erozję odwodnienia i biogeniczne czynniki (nory zwierząt, kwasy humusowe), co wypełnia lukę między klasyczną mechaniką gruntów a praktyką PKP PLK. Stosunkowo szeroki przegląd literatury trafnie adaptuje geomorfologię dynamiczną do specyfiki kolejowej, z uwzględnieniem obciążeń eksploatacyjnych. Dobór 10 odcinków badawczych jest reprezentatywny dla terenów o zbliżonej budowie geologicznej, wsparty wizjami lokalnymi, zdjęciami deformacji i badaniami geotechnicznymi właściwości fizycznych i mechanicznych potwierdza empiryczną użyteczność metody wag przesłanek dla identyfikacji ryzyka.

W recenzowanej rozprawie doktorskiej, Doktorant zaproponował praktyczną metodykę parametrycznej oceny stopnia utraty stabilności budowli ziemnych linii kolejowych. Metoda obejmuje katalog 94 czynników mogących wpływać na stabilność nasypu kolejowego i dwustopniową ich analizę z wykorzystaniem analizy skupień (pogrupowanie odcinków badawczych na zasadzie podobieństw) oraz analizy heurystycznej opartą o przypisanie wag poszczególnym czynnikom. Przygotowane w ten założenia proponowanej metody prawidłowo odpowiadają celowi pracy i postawionej

hipotezie badawczej dotyczącej możliwości prognozowania stanów „Zagrożenie awaryjne” – „Awaria budowlana” – „Katastrofa budowlana”. Zakres pracy został ograniczony do 10 odcinków linii kolejowych zlokalizowanych w północno-zachodniej Polsce. Zakres ten jest uzasadniony dostępnością danych terenowych i doświadczeniem Doktoranta, który brał czynny udział w opracowaniu ekspertyz technicznych dotyczących tych odcinków, lecz stanowi pewną słabość rozprawy. Brak szerszego uogólnienia na inne regiony (np. południową Polskę z dominacją osuwisk zboczowych) lub typy linii kolejowych (magistralne, boczne). Proszę o komentarz.

Analiza metodą skupień (10 odcinków po 94 zmienne) trafnie identyfikuje różnice w liczbie czynników między stanami, ale jej dyskusyjna wartość jest ograniczona przez brak wag. Odcinki o podobnej sumie „1” (np. awaria budowlana w stosunku do katastrofy budowlanej) nie są wystarczająco zróżnicowane. Test t-Studenta potwierdza istotną różnicę między „zagrożeniem awaryjnym” a „awarią budowlaną” lub „katastrofą budowlaną”, lecz nie między „awarią budowlaną” a „katastrofą budowlaną”, co Autor interpretuje jako minimalny bufor czasowy. Wskazanie tego typu jest cenne diagnostycznie, ale wymaga weryfikacji na większej próbie, ponieważ rozrzut w grupie „Zagrożenie awaryjne” sugeruje inherentną zmienność niektórych stadiów. Metoda jest prosta i szybka, lecz pomija interakcje czynników (np. synergia czynników hydrogeologicznych i hydrograficznych HG z eksploatacyjnymi EK), co czyni ją wstępną, nie w pełni predykcyjną. Proszę o komentarz.

Wykorzystanie zbioru zindeksowanego przez zastosowanie metody heurystycznej o wagach czynników od 0 do 5 znacząco poprawia rozdzielczość wyników analizy. Wprowadzone progi punktowe (do 90 „zagrożenie awaryjne”, 90-110 „awaria budowlana”, powyżej 110 „katastrofa budowlana”) lepiej korelują ze stanem faktycznym, a analiza procentowa grup czynników podkreśla dominację HG, H i EK. Test t-Studenta na sumach ważonych wzmacnia wnioski z analizy 0/1, z wyraźniejszymi różnicami między seriami i węższymi przedziałami ufności, choć Doktorant wskazuje potrzebę symulacji liczności prób (min. 5–9 odcinków/grupę). Największą kontrowersją jest subiektywizm metody heurystycznej. Doktorant oparł analizę heurystyczną w głównym stopniu na swoim doświadczeniu, a po części uzasadnił ją literaturą. Jednak wagi przesłanek nie zostały zweryfikowane innymi testami np. inter-rater reliability (porównanie ocen niezależnych ekspertów, w tym przypadku geotechników) ani analizą wrażliwości (np. jak zmiana danej wagi o $\pm 10\%$ wpływa na klasyfikację konkretnego odcinka), co kwestionuje powtarzalność i obiektywizm. Niestety jest to typowy problem metod jakościowych w inżynierii, gdzie jednak preferowane są podejścia probabilistyczne (np. metoda Monte Carlo). W mojej opinii alternatywą dla przywołanej metody mogłyby być metody AHP (Analytic Hierarchy Process, jedna z popularniejszych metod wspomagania decyzji wielokryterialnych) lub Random Forest z wykorzystaniem machine learning do obiektywizacji, zwłaszcza przy małej próbie, która w tym przypadku wynosiła $n = 10$. Proszę o komentarz.

Dyskusyjna jest również skala próby, 10 odcinków z północno-zachodniej Polski, gdzie występują postglacjalne osady nie będzie miało przełożenia na problemy całej sieci np. występowania lessów czy terenów predysponowanych osuwiskowo. Wskazana byłaby walidacja zewnętrzna w oparciu o niezależne przypadki. Proszę o komentarz.

Obliczenia numeryczne współczynnika stateczności dla idealizowanych nasypów o zmiennej wysokości i szerokości ławy torowiska są potrzebne i dobrze uzasadnione. Obserwowana empirycznie zmiana szerokości ławy torowiska koreluje ze zmniejszeniem współczynnika stateczności o około 10 do 30%, co może stanowić wyjaśnienie mechanizmu inicjacji procesu utraty stateczności skarp i integruje zaproponowaną metodykę z normami PN-EN. Dlatego pomimo tak dużej liczby analiz numerycznych (704 przypadki) mam ich niedosyt. Warto byłoby się skupić na jednym odcinku i wskazać, jak zmienia się współczynnik stateczności dla jednej zmiennej, którą byłaby właśnie szerokość ławy torowiska dla faktycznych warunków geotechnicznych występujących w nasypie i w podłożu. Warunki te są dobrze opisane w załączniku nr 1, a więc właściwości geotechniczne gruntów musiały być ustalone. Obliczenia numeryczne mogą posłużyć do kalibracji progów ryzyka, ale ich uproszczony model (jednorodna budowa podłoża gruntowego, brak zmienności właściwości geotechnicznych gruntów) pomija złożoność budowy rzeczywistych odcinków. Dodatkowo wykorzystanie metody elementów skończonych (MES) wzmocniłoby wiarygodność wykonywanych obliczeń, a także zakres przeprowadzanych analiz. Proszę o komentarz.

Podsumowanie trafnie akcentuje wkład praktyczny (algorytm diagnostyczny dla PKP) i ograniczenia (regionalność, mała próba), lecz nieco dyskusyjnie niedoszacowuje potencjału skalowania. Wyprowadzone wnioski o uniwersalności tezy są zbyt optymistyczne bez walidacji zewnętrznej. Mocne strony wnioskowania to 94 czynniki i heurystyczne indeksowanie, ale wnioski pomijają rekomendacje dla dalszych prac (np. integracja z GIS, wykorzystanie danych z monitoringu geotechnicznego czy też okresowych inspekcji, testy na większej liczbie odcinków). W podsumowanie byłoby można szerzej powiązać wyniki z instrukcjami PKP (np. Id-3, „Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego”). Praca posiada istotny potencjał aplikacyjny, jednak dla pełnego wykorzystania wyników wskazane jest rozszerzenie opisu badań i analiz empirycznych

6. Uwagi redakcyjne

Uważam redakcję rozprawy doktorskiej za zadowalającą. Wszystkie uwagi natury redakcyjnej zaznaczone zostały w recenzowanym egzemplarzu pracy i powinny być one usunięte na etapie przygotowywania pracy do druku. Należy wskazać, że publikacja rozprawy doktorskiej po uwzględnieniu uwag, jest według mnie bardzo wskazana – w formie monografii, bądź cyklu artykułów, do czego gorąco zachęcam. Wyniki badań mgra Tomasza Sobkowiaka stanowią cenne źródło specjalistycznych informacji.

Język rozprawy jest poprawny, wymaga jednak dokładnej analizy przed ewentualną publikacją dysertacji. W pracy zdarzają się drobne błędy stylistyczne,

interpunkcyjne i literówki. Autor w tekście rozprawy powołuje się jedynie na część rysunków i tabel. Oczywiście umiejscowienie rysunków i tabel jest prawidłowe, co można wywnioskować w układzie rozprawy. Pojedyncze rysunki i lub tabele nie posiadają numeracji i tytułu (np. na stronie 136. Autor niepotrzebnie różnicuje grafiki na „ryc.”, „fot.” i „wykres” Na „wykresach” niepotrzebnie powtarza ich tytuł.

Zbyt duża objętość przeglądu literatury w stosunku do części badawczej. Rozprawa praca sprawia wrażenie bardziej teoretycznej niż empirycznej. Znaczna część bibliografii opiera się na źródłach polskich sprzed około 10 - 15 lat i klasycznych pozycjach dotyczących problematyki osuwisk. Autor cytuje nowsze publikacje z lat 2023 – 2024, lecz ich udział jest niewielki względem całości. W mojej opinii warto byłoby pogłębić odniesienia do badań zagranicznych dotyczących stabilności nasypów kolejowych, które uwzględniają np. metody GIS, monitoring InSAR, a także modelowanie numeryczne.

7. Podsumowanie i wniosek końcowy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska stanowi oryginalne i samodzielne rozwiązanie problemu badawczego. Na uwagę zasługuje potencjał aplikacyjny pracy, który wzbogaca i uzupełnia już istniejący stan wiedzy z zakresu problemów związanych ze stabilnością ziemnych budowli kolejowych. Treść przedstawionej rozprawy doktorskiej jest zgodna z tytułem i odpowiada postawionemu jej celowi. Na podstawie przedstawionego w dysertacji materiału stwierdzam, że postawione tezy badawcze zostały zweryfikowane, a nakreślony problem badawczy rozwiązany.

Mimo zawartych w recenzji uwag krytycznych, stwierdzam, że nie obniżają one istotnie wartości rozprawy doktorskiej, a mogą stanowić przyczynek do dyskusji naukowej na publicznej obronie rozprawy doktorskiej. Rozprawa doktorska mgra Tomasza Sobkowiaka stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i wykazuje, że jej Autor ma wystarczający zasób wiedzy teoretycznej i specjalistycznej z zakresu dyscypliny naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka oraz umiejętność samodzielnego planowania i prowadzenia badań naukowych. Recenzowana rozprawa doktorska stanowi wartościową podstawę do dalszego rozwoju badań dotyczących problemów związanych ze stabilnością kolejowych budowli ziemnych oraz praktycznego wykorzystania uzyskanych rezultatów.

Biorąc pod uwagę walory naukowe, poznawcze i aplikacyjne przedłożonej do recenzji rozprawy doktorskiej mgra Tomasza Sobkowiaka pt. „Badanie utraty stabilności budowli ziemnych linii kolejowych na wybranych przykładach rejonu północno-zachodniej Polski”, którą **oceniam pozytywnie**, wnoszę do Rady Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka w Politechnice Świętokrzyskiej o dopuszczenie mgra Tomasza Sobkowiaka do publicznej obrony i wnioskuję o dalsze przeprowadzenie czynności przewodu doktorskiego. Rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo

o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2024 r. poz.1571 z późn. zm.) dotyczące ubiegania się o stopień naukowy doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.



dr hab. inż. Andrzej Gruchot, prof. URK
Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie