

# Recenzja opartej wyznosi formalnie

dr hab. inż. Monika Mitew-Czajewska  
Instytut Dróg i Mostów  
Wydział Inżynierii Lądowej  
Politechnika Warszawska  
Email: [monika.mitew@pw.edu.pl](mailto:monika.mitew@pw.edu.pl)

Przewodniczący Rady Dyscypliny  
Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport  
Politechniki Śląskiej

Warszawa, 12.11.2024 r

dr hab. inż. Piotr Folegą, prof. PŚ

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Żyrka  
pt. „Weryfikacja metod obliczania  
poziomych przemieszczeń stalowych ścianek szczelnych”

(„Verification of methods for calculating horizontal displacements of steel sheet pile walls”)

### 1. Podstawy opracowania recenzji

Formalną podstawę do opracowania niniejszej recenzji stanowi Uchwała nr 103/2024 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej z dnia 24 października 2024, podpisana przez dr hab. inż. Piotra Folegę, prof. PŚ, powołująca mnie na recenzenta w przewodzie doktorskim mgr inż. Tomasza Żyrka.

Merytoryczną podstawę opracowania opinii stanowi załączony do zlecenia tekst rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Żyrka pod tytułem „Weryfikacja metod obliczania poziomych przemieszczeń stalowych ścianek szczelnych”.

Podstawę prawną wykonania recenzji stanowią Ustawa o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14.03.2003 r. oraz akty normatywne wykonawcze wydane na jej podstawie.

### 2. Przedmiot i zawartość rozprawy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Tomasza Żyrka pt. „Weryfikacja metod obliczania poziomych przemieszczeń stalowych ścianek szczelnych” opracowana pod opieką promotora dr hab. inż. Mariana Łupieżowca, prof. Politechniki Śląskiej.

Tekst rozprawy zawarty jest w 8 rozdziałach (z włączeniem Bibliografii). Łącznie rozprawa doktorska wraz z rysunkami, tablicami oraz spisem bibliografii liczy 188 stron. Bibliografia uszeregowana została według alfabety - z uwzględnieniem norm, katalogów i stron internetowych obejmuje łącznie 169 pozycji. Rozprawa ma charakter eksperymentalno-studialny.

Rozprawę doktorską mgr inż. Tomasza Żyrka rozpoczynają streszczenia w języku polskim i angielskim, a następnie obszerny rozdział 1. wprowadzający do tematyki pracy. W rozdziale tym ujęto szczegółowy opis technologii ścianek szczelnych, tj. ścian z grodzic (stalowych, winylowych czy drewnianych), przykłady jej zastosowania zarówno jako obudowy tymczasowej wykopów jak i trwałej konstrukcji oporowej (np. ściany przyczółków, obudowy tuneli i parkingów podziemnych czy różnorodne konstrukcje hydrotechniczne). Omówiono także materiały, z jakich te konstrukcje są wykonywane, sposoby ich pograżania oraz metody

POLITECHNIKA ŚLĄSKA  
Rada Dyscypliny Inżynieria Lądowa,  
Geodezja i Transport

wpłynęło dnia 14.11.2024

nr 247 zał. —

1  
Wpłynęło dnia 14.11.2024 r.

zapewnienia stateczności ścian wykopów w obudowie z grodziec. Analizy zawarte w pracy doktorskiej ograniczono do konstrukcji ścian z grodziec stalowych.

Rozdział 2. opisuje cel, zakres i tezę rozprawy oraz opisuje jej układ. Podano również zakres badań oraz wymieniono zastosowane metody badawcze.

Treść obszernego rozdziału 3. stanowi opis stanu wiedzy dotyczącej metod analizy statyczno-wytrzymałościowej oraz wyznaczania przemieszczeń konstrukcji ścian z grodziec stalowych. Zgodnie z powszechnie przyjętymi i stosowanymi w literaturze zasadami klasyfikacji metod obliczeniowych konstrukcji głębokich wykopów wydzielono, szczegółowo opisano, a następnie poddano wstępnej ocenie przydatności do analiz takich konstrukcji, metody: klasyczną, parę zależnych oraz Metodę Elementów Skończonych (MES). W pierwszej kolejności omówiono wyczerpująco metodę klasyczną, inaczej nazywaną metodą równowagi granicznej, jednocześnie podając jej ograniczenia, które decydują o jej znikomej przydatności do wyznaczania przemieszczeń ścian wykopów, zwłaszcza głębokich, w analizie których powinno być uwzględniane fazowanie budowy. Więcej uwagi poświęcono metodzie parę zależnych, w której uwzględniana jest współpraca ściany z gruntem, w postaci wzajemnej zależności pomiędzy parciem na konstrukcję a jej przemieszczeniem. Zależność ta jest liniowa i definiuje ją moduł reakcji podłoża  $k_h$ . Zdefiniowanie parametru  $k_h$ , który w rzeczywistości nie jest wielkością fizyczną charakteryzującą grunt, lecz parametrem obliczeniowym, zależnym od sztywności ściany (EI), geometrii układu (głębokość wykopu w stosunku do zagłębienia ściany poniżej jego dna), warunków gruntowych i rozmiarów powierzchni nacisku na grunt, jest zagadnieniem złożonym. W pracy opisano 5 najczęściej wykorzystywanych metod określania wartości modułu  $k_h$  (Terzaghi'ego, Chadeissona i Monneta, Menarda i Bourdona, Schmitta oraz CUR166). Metoda parę zależnych, szeroko stosowana w praktyce inżynierskiej, ma jednak pewne ograniczenia, które autor wskazuje w podsumowaniu rozdziału. Znaczną część rozdziału 3. stanowi opis modeli konstytutywnych masywu gruntowego stosowanych w metodzie elementów skończonych. W tej części wymienione i opisane zostały modele powszechnie wykorzystywane w analizach numerycznych głębokich wykopów za pomocą MES: modele sprężysto-idealnie plastyczne Coulomba-Mohra i Drukera-Pragera, model CAP oraz wielopowierzchniowy model sprężysto-plastyczny o wzmocnieniu izotropowym Hardening Soil (HS) wraz z jego odmianami (HS-standard, HS-small i HS-Brick). Najwięcej uwagi poświęcono modelom HS, ze względu na ich przydatność do odwzorowania zależności sztywności od stanu naprężeń efektywnych, zwłaszcza w zakresie małych odkształceń, w których pracują ściany głębokich wykopów. Model „HS-standard” zakłada w pełni liniowe zachowanie ośrodka gruntowego podczas odciążenia i ponownego obciążania, jednak zakres odkształceń, w którym można uznać, że grunt zachowuje się liniowo, jest bardzo mały. Ze wzrostem odkształcenia sztywność gruntu maleje nieliniowo. Modele „HS-small” oraz „HS-Brick” uwzględniają zwiększoną sztywność gruntów przy małych odkształceniach, z tego względu poświęcono im w pracy najwięcej uwagi. Mając na uwadze stwierdzone wady modelu HS-small mogące prowadzić do niedoszacowania przemieszczeń, postawiono w pracy tezę, że model HS-Brick będzie właściwym modelem konstytutywnym w modelowaniu ścian wykopów wykonanych z grodziec stalowych.

Rozdział 4 stanowi opis badań własnych Autora. W pierwszej kolejności przedstawiono szczegółowo metodykę wykonywania pomiarów poziomych przemieszczeń stalowych ścianek szczelnych, w tym sprzęt, jego montaż, sposób zapewnienia jakości pomiarów oraz interpretacji wyników. Następnie opisano przebieg badań własnych na czterech poletkach badawczych realizowanych na budowach. W opisie każdego z poletek przedstawiono dane geometryczne i parametry analizowanych ścianek szczelnych, układ warstw podłoża gruntowego

wyodrębniony na podstawie dokumentacji z badań podłoża oraz opis realizacji i wyniki badań własnych w postaci wykresów przemieszczeń poziomych ścian w kolejnych fazach budowy. Pierwsze poletko zlokalizowane było na budowie w Krakowie. Badania prowadzono podczas głębiania wykopu garażu podziemnego zabezpieczonego ścianką szczelną pracującą wspornikowo. Na tym poletku przeprowadzono pomiary geodezyjne przemieszczeń poziomych szczytu ściany. Drugie poletko, zlokalizowane było w Jastrzębiu Zdroju na budowie trwałej ściany oporowej z grodziec stalowych, kotwionej w jednym poziomie. Na tym poletku wykonano inklinometryczne pomiary przemieszczeń ściany na własnym stanowisku badawczym oraz weryfikujące pomiary geodezyjne przemieszczeń poziomych górnej krawędzi ścianki szczelnej. Poletko trzecie położone na budowie ściany oporowej realizowanej w technologii ścianki z grodziec stalowych w południowej Polsce obejmowało dwa własne stanowiska badawcze 3A i 3B różniące się głębokością wykopu i liczbą poziomów kotwienia ściany. Na poletku 3A ściana kotwiona była w dwóch poziomach, a na poletku 3B w trzech poziomach. Badania własne, pomiary przemieszczeń poziomych ściany, przeprowadzono w obydwu lokalizacjach za pomocą inklinometrów. Pomiary te uzupełniono pomiarami geodezyjnymi przemieszczeń szczytu ściany. Poletko 4 zrealizowane zostało na budowie wykopu pod przyczółek wiaduktu drogowego w Gliwicach, w tym przypadku - wykopu rozpieranego dwoma rzędami rozpór stalowych. Na tym poletku także zrealizowano dwa stanowiska badawcze, na których mierzono przemieszczenia poziome ściany za pomocą inklinometrów oraz uzupełniających pomiarów geodezyjnych.

W rozdziale piątym zawarto zestawienie metod wybranych do analiz zagadnienia oraz opis przeprowadzonych analiz obliczeniowych, w tym w szczególności poczynionych założeń modelowych, tj.:

- wybranych modeli konstytutywnych do modelowania masywu gruntowego,
- sposobu modelowania elementów konstrukcyjnych (ścianek i elementów zapewniających ich stateczność – kotew gruntowych, oczepów i rozpór stalowych),
- sposobu modelowania elementów kontaktowych na styku konstrukcji z gruntem,
- przyjętych faz obliczeniowych zgodnych z fazowaniem prac budowlanych w poszczególnych schematach (wspornik, jednokrotne, dwukrotne i trzykrotne kotwienie oraz wykop dwukrotnie rozpierany).

Ponadto, w rozdziale tym zawarto informacje na temat metod wyznaczania parametrów geotechnicznych warstw wydzielonych do analiz obliczeniowych. Parametry ustalano zarówno na podstawie badań laboratoryjnych (trójosiowego ściskania i edometrycznych), jak i na podstawie interpretacji wyników badań polowych (sondowań CPTU). Bardzo dużo uwagi poświęcono określaniu parametrów modeli HSs i HS-Brick (w szczególności na podstawie wyników sondowań CPTU), które zwykle nie są podawane w dokumentacjach geologiczno-inżynierskich wykonywanych na potrzeby inwestycji.

Rozdział 6 jest najobszerniejszym rozdziałem, zawierającym porównanie wyników analiz obliczeniowych z wynikami pomiarów prowadzonych na poletkach badawczych, przedstawione w kolejności takiej, jak zostały omówione w rozdziale 4 dotyczącym badań własnych. Zestawienia wyników analiz i pomiarów w postaci wartości przemieszczeń poziomych ściany w fazach budowy przedstawiano na wykresach oraz tabelarycznie. W analizach wykonywanych dla poletka nr 1 wykazano, że zastosowanie metody klasycznej prowadzi do ponad dwukrotnego przeszacowania wartości przemieszczeń, metody parć zależnych - w zależności od zastosowanej metody określania modułu reakcji - przeszacowania wartości przemieszczeń od 33 do 66%. Analizy MES z wykorzystaniem modelu Coulomba-Mohra prowadzą do uzyskania niedoszacowanych wartości przemieszczeń (33%), natomiast wartości przemieszczeń uzyskanych w obliczeniach przy zastosowaniu modelu HS-Brick są

zbliżone do wartości pomierzonych geodezyjnie (niedoszacownie około 6%). W analizach wykonywanych dla poletka nr 2 wykazano, że w przypadku analiz schematu wspornikowego konstrukcji („schematu pośredniego”) za pomocą wszystkich metod i wariantów obliczeniowych uzyskano dużą rozbieżność wartości przemieszczeń teoretycznych i pomierzonych. Autor znalazł jednak i opisał wytłumaczenie tej rozbieżności. W schemacie docelowym pracy konstrukcji zastosowanie metody klasycznej prowadzi do uzyskania nieznacznie mniejszych wartości przemieszczeń niż rzeczywiste, metody parę zależnych w zależności od zastosowanej metody określania modułu reakcji przeszacowania lub niedoszacowania wartości przemieszczeń. Analizy MES z wykorzystaniem modelu Coulomba-Mohra prowadzą do znacznego przeszacowania wartości przemieszczeń (180%), natomiast wartości przemieszczeń uzyskanych w obliczeniach przy zastosowaniu modelu HS-Brick są zbliżone do wartości pomierzonych geodezyjnie (niedoszacownie około 10%). Autor jednak słusznie zauważa, że wartości pomiarowe są na tyle niewielkie i wykazane różnice także, że nie należy formułować ogólnych wniosków co do słuszności zastosowania konkretnych metod do analizy ścian szczelnych w tym schemacie. W analizach wykonywanych dla poletka nr 3 wykazano, że w przypadku analiz wszystkich schematów wartości przemieszczeń uzyskanych w obliczeniach MES przy zastosowaniu modelu HS-Brick są zbliżone do wartości pomierzonych geodezyjnie. Ponadto zbliżoną wartość maksymalnego przemieszczenia poziomego uzyskano z zastosowaniem metody klasycznej, natomiast nie odwzorowuje ona właściwie linii ugięcia ścianki. Uzyskano również zadowalającą z inżynierskiego punktu widzenia zgodność wartości maksymalnych przemieszczeń w niektórych schematach z zastosowaniem metody parę zależnych, wariant z modułem reakcji według CUR166 i MES model Coulomba-Mohra, jednak podobnie jak w przypadku metody klasycznej linia ugięcia nie jest odwzorowana prawidłowo (zawyżone wartości przemieszczeń korony ściany). W analizach wykonywanych dla poletka nr 4 porównując kształty linii ugięcia ścianki oraz wartości zmierzonych przemieszczeń poziomych, w odniesieniu do wyników obliczeń stwierdzono, że w żadnym z przypadków obliczeniowych nie uzyskano właściwego odwzorowania pracy konstrukcji. Rozbieżność (wartości przemieszczeń oraz linii ugięcia) wynika z braku symetrii parcia gruntu na przeciwległe ścianki szczelne w analizowanym przekroju. Autor podjął, wobec tego, słuszną decyzję o uzupełnieniu rozważań o modelowanie MES w przestrzeni 3D stosując do tego program Plaxis 3D. W wyniku przeprowadzonej analizy uzyskano zgodność maksymalnych teoretycznych wartości przemieszczeń poziomych ścianki z pomierzonymi w obydwu przekrojach pomiarowych. Linia ugięcia ściany została odwzorowana prawidłowo w jednym z przekrojów. Na podstawie tej analizy pokazano także wpływ odległości analizowanych przekrojów od naroża ściany na wartości przemieszczeń i linię ugięcia. W analizie 2D takiej zależności nie można zauważyć. Autor podkreśla zasadność stosowania analiz w przestrzeni 3D w przypadku znacznego zróżnicowania obciążeń za ścianą (np. zróżnicowanych poziomów terenu) oraz wykopów o nieregularnych kształtach rzutu.

W rozdziale 7. Autor przeprowadził podsumowanie i ocenę uzyskanych wyników. Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz przedstawił wnioski dotyczące przydatności wybranych metod analizy zagadnienia do prognozowania przemieszczeń stalowych ścianek szczelnych. W podsumowaniu zawarto także stwierdzenie o udowodnieniu postawionej na wstępie tezy.

Wykaz bibliografii, jest obszerny, zawiera większość pozycji z ostatnich lat związanych zarówno z tematyką technologii zabezpieczeń głębokich wykopów (w tym w szczególności ścianek szczelnych), metod ich projektowania i prognozowania przemieszczeń, ale także sposobów określania parametrów modeli konstytutywnych gruntów w modelowaniu numerycznym i innych zagadnień teoretycznych podejmowanych w rozprawie.

### 3. Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

#### 3.1 Ocena doboru tematu i postawionych celów rozprawy.

Doktorant sformułował cel pracy jakim była weryfikacja metod obliczeniowych stosowanych do prognozowania poziomych przemieszczeń stalowych ścianek szczelnych, stanowiących konstrukcje ścian oporowych zabezpieczających głębokie wykoppy oraz dostarczenie praktycznych wniosków do zastosowania w projektowaniu tych konstrukcji. Postawił także tezę, w której stwierdza, że zaawansowany model HS-Brick jest w stanie dobrze opisać kształt odkształceń ścianki szczelnej zabezpieczającej wykop oraz realistycznie oszacować wartości sił wewnętrznych pozwalających na zaprojektowanie elementów obudowy.

Rosnące zaludnienie dużych miast, a wraz z tym konieczność wykorzystania przestrzeni podziemnej, np. na parkingi, ciągi komunikacji pieszej, ale też rosnące zapotrzebowanie na rozwój komunikacji podziemnej – metro, tunele drogowe, tramwajowe i kolejowe, wszystkie te elementy powodują konieczność realizacji głębokich wykopów w gęstej zabudowie miejskiej. Są to bardzo często wykoppy w obudowie ze ścian szczelinowych czy palisad, ale coraz częściej także stosuje się stalowe ścianki szczelne. Projektanci radzą sobie z projektowaniem tych konstrukcji coraz lepiej, jednak wymagania stawiane obudowom wykopów są także coraz wyższe. Przede wszystkim istotne jest ograniczenie przemieszczeń obiektów sąsiadujących z wykopem i zapewnienie ich bezpieczeństwa. W celu minimalizacji przemieszczeń otoczenia konieczna jest precyzyjna analiza przemieszczeń obudowy wykopu. Powszechnie stosowane w praktyce projektowej proste metody empiryczne, nie są precyzyjne, zwłaszcza w złożonych warunkach geotechnicznych. Z drugiej strony analizy MES są dokładniejsze, ale znacznie bardziej czasochłonne i wymagające szerokiego doświadczenia w doborze modeli konstytutywnych masywu gruntowego do lokalnych warunków geotechnicznych. W tym kontekście podjęcie tematu weryfikacji metod obliczeniowych stosowanych do prognozowania poziomych przemieszczeń ścianek szczelnych uznają za słuszne, a wnioski z przeprowadzonych badań i analiz będą miały szerokie zastosowanie praktyczne.

Podsumowując tę część recenzji uważam, że podjęty przez mgr inż. Tomasza Żyrka temat rozprawy i jej cele zasługują na pozytywną ocenę. Widzę bardzo duży walor aplikacyjny pracy, w zastosowaniu do projektowania geotechnicznego metod analizy wskazanych przez Autora jako przydatne w projektowaniu ścianek szczelnych stanowiących zabezpieczenie głębokich wykopów.

#### 3.2 Ocena wartości naukowej pracy

Część studialna pracy w zakresie informacji dotyczących analizowanej technologii ścianek szczelnych, metod analizy ich przemieszczeń oraz w zakresie wyznaczania parametrów modeli konstytutywnych wykorzystywanych w analizach jest opracowana z należytą starannością i szczegółowo.

Przyjęta przez Doktoranta własna ścieżka badawcza, na którą składały się obszernie badania własne na 4. poletkach badawczych oraz różnorodne analizy obliczeniowe, jest dobrze przemyślana i poprawna. Doktorant sformułował problem badawczy polegający na weryfikacji metod obliczeniowych stosowanych do prognozowania poziomych przemieszczeń stalowych ścianek szczelnych. Sformułował również tezę, w której stwierdza, że zaawansowany model HS-Brick jest w stanie dobrze opisać kształt odkształceń ścianki szczelnej zabezpieczającej

wykop oraz realistycznie oszacować wartości sił wewnętrznych pozwalających na zaprojektowanie elementów obudowy. W celu rozwiązania postawionego problemu badawczego i udowodnienia postawionej tezy Doktorant zaproponował własny program badań realizowany na obiektach rzeczywistych, na budowach. Przeprowadził pomiary przemieszczeń poziomych ścianek szczelnych w 6. samodzielnie zaprojektowanych pionach pomiarowych (stanowiskach badawczych) zlokalizowanych na 4. budowach. Aparatura pomiarowa i metodyka zrealizowanych badań zostały wyczerpująco opisane i nie budzą zastrzeżeń. Drugą część pracy stanowią obszerne analizy obliczeniowe z zastosowaniem wykorzystywanych powszechnie w praktyce projektowej metod analizy zagadnienia wyczerpująco opisanych w rozdziale 3. rozprawy (metoda klasyczna, parę zależnych oraz MES, z wariantami dotyczącymi metod wyznaczania parametrów wiodących i modeli materiałowych) i adekwatnych narzędzi. Najważniejszą, według Autora, część pracy stanowi zestawienie i porównanie wartości poziomych przemieszczeń teoretycznych analizowanych konstrukcji wyznaczonych różnymi metodami i wartości przemieszczeń rzeczywistych pomierzonych na stanowiskach badawczych. Uzyskane zestawienia Doktorant przedstawił w sposób czytelny w formie tabelarycznej i graficznej dla każdego stanowiska i każdego schematu obliczeniowego osobno, opisując również w każdym przypadku wnioski z tych porównań. Należy także podkreślić biegłość Doktoranta w posługiwaniu się zaawansowanymi narzędziami obliczeniowymi (GGU Retain, GEO5 Ściana analiza, ZSWalls, PLAXIS 3D).

Podsumowując ocenę merytoryczną rozprawy, za najważniejsze oryginalne osiągnięcia naukowe Doktoranta można uznać co następuje:

- zaplanowanie i przeprowadzenie obszernego, własnego programu badawczego obejmującego pomiary przemieszczeń poziomych stalowych ścianek szczelnych w 6. pionach pomiarowych realizowane na 4. budowach,
- zaplanowanie i wykonanie szerokiego zakresu analiz obliczeniowych odwzorowujących pracę konstrukcji w przekrojach charakterystycznych przy pionach pomiarowych,
- porównanie wyników pomiarów i analiz obliczeniowych we wszystkich przekrojach obliczeniowych/pionach pomiarowych z uwzględnieniem różnych schematów pracy konstrukcji oraz opracowanie wniosków,
- osiągnięcie celów pracy, tj. weryfikacja analizowanych metod obliczeniowych i sformułowanie praktycznych wskazówek odnośnie do stosowania ich w praktyce projektowej. W tym także zalecenia dotyczące wskazań do stosowania modelowania przestrzennego w praktyce projektowej. Należy podkreślić, że realizacja tych celów stanowi potwierdzenie aplikacyjności pracy.
- wykazanie, na podstawie przeprowadzonych badań i analiz, tezy pracy, w której stwierdza się, że zaawansowany model HS-Brick jest w stanie dobrze opisać kształt odkształceń ścianki szczelnej zabezpieczającej wykop.

### 3.3 Uwagi i komentarze

Przedstawione poniżej uwagi, pytania i komentarze dotyczące recenzowanej pracy doktorskiej nie obniżają jej pozytywnej oceny.

Uwagi merytoryczne:

- W sformułowaniu tezy pracy, cytując: „Zaawansowany model HS-Brick jest w stanie dobrze opisać kształt odkształceń ścianki szczelnej zabezpieczającej wykop oraz realistycznie oszacować wartości sił wewnętrznych pozwalających na zaprojektowanie

elementów obudowy” pominęłabym fragment dotyczący szacowania sił wewnętrznych – nie można, na podstawie przeprowadzonych badań i analiz udowodnić zasadności tego stwierdzenia. Natomiast dodałabym: „oraz realistycznie oszacować ich wartości”. Teza mogłaby brzmieć następująco: „Zaawansowany model HS-Brick jest w stanie dobrze opisać kształt odkształceń ścianki szczelnej zabezpieczającej wykop oraz realistycznie oszacować ich wartości”.

- W pracy omówiono metodę parę zależnych i wybrane metody określania jej parametru wiodącego, tj. modułu reakcji podłoża  $k_h$  (met. Terzaghi’ego, Chadeissona, Menarda i Bourdona, Schmitta i CUR166). Do analiz obliczeniowych wybrane zostały metody Chadeissona, Schmitta i CUR166. Proszę o odpowiedź, dlaczego nie wybrano do analiz metody Menarda i Bourdona, która wykorzystuje pomiary presjometryczne do wyznaczenia modułu  $k_h$  (zalecane do stosowania w przypadku wyznaczania parametrów masywu gruntowego do analizy konstrukcji oporowych ze względu na możliwość bezpośredniego określenia modułu presjometrycznego  $E_m$ , który charakteryzuje sztywność poziomą gruntu – kierunku, w którym pracują konstrukcje oporowe/obudowy wykopów). Istnieją prace, które wykazują zasadność stosowania tej metody do wyznaczania przemieszczeń ścian szczelinowych stanowiących obudowy głębokich wykopów. Być może metoda Menarda i Bourdona sprawdziłaby się także w analizie przemieszczeń ścianek szczelnych. Przy okazji zwracam też uwagę na zasadę pisowni odmiany nazwisk – prawidłowo jest: Terzaghi’ego, Chadeissona, Schmitta, a nie jak zapisano w pracy: Terzaghi’ego, Chadeisson’a, Schmitt’a; oraz analogicznie: Coulomba-Mohra i Drukera-Pragera, a nie: Coulomb’a-Mohr’a i Druker’a-Prager’a. Ten sam błąd popełniłam w mojej pracy doktorskiej.
- W rozdziale 3. dotyczącym opisu stanu wiedzy na temat metod analizy przemieszczeń ścian głębokich wykopów zawarto szczegółowe opisy metody klasycznej i metody parę zależnych. Zawarto także obszerny opis modeli materiałowych gruntów stosowanych w analizach za pomocą metody elementów skończonych. Uważam, że brakuje choćby krótkiego zarysowania podstaw teoretycznych metody elementów skończonych.
- Czy badania opisane w rozdziale 5.3.1 Wyznaczanie parametrów modeli HSs i HS-Brick były wykonywane przez Autora w celu określenia parametrów do modelowania któregoś z przypadków czy stanowią jedynie prezentację stanu wiedzy?

Uwagi szczegółowe:

- str. 13 - PN-EN 12063:2001 norma zastąpiona przez PN-EN 12063:2024-10 (w języku angielskim) Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych - Ścianki szczelne, ścianki zespolone, ścianki o dużej sztywności,
- str. 58 – wzór 3.37 – błąd redakcyjny, w mianowniku ucięte jest „ $\sin\phi$ ”
- str. 76 – rysunek 4.10 jest niewyraźny, legenda nieczytelna
- na rysunkach 4.10, 4.11 i 4.16 można by było dodać wartości przemieszczeń wyznaczone za pomocą pomiarów geodezyjnych,
- str. 77 – błąd redakcyjny: „w rozdziale poświęconym omówieniu obliczeniom statycznym”,
- Autor nadużywa w rozprawie rusycyzmu „dla czegoś”, np. „parametry geotechniczne dla warstw podłoża”, „stanowisko badawcze dla pomiarów inklinometrycznych...” czy „założenia dla fazowania prac” (poprawnie: „parametry geotechniczne warstw podłoża”, „stanowisko badawcze do pomiarów inklinometrycznych” i „założenia dotyczące fazowania prac”), itp.

#### 4. Ocena rozprawy i wniosek końcowy

Rozprawa doktorska mgr inż. Tomasza Żyrka pod tytułem „Weryfikacja metod obliczania poziomych przemieszczeń stalowych ścianek szczelnych” dotyczy istotnego zagadnienia związanego z metodami analizy stalowych ścianek szczelnych. Mgr inż. Tomasz Żyrek skoncentrował się w swojej pracy na weryfikacji i ocenie przydatności do stosowania w projektowaniu tych konstrukcji dostępnych metod obliczeniowych: klasycznych, metody parę zależnych oraz analiz numerycznych MES. Uzyskane wyniki obszernych badań własnych przeprowadzonych na 4. poletkach badawczych oraz analiz teoretycznych potwierdzają osiągnięcie zamierzonych celów oraz wykazanie tezy pracy. Praca stanowi zatem oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Pomimo wcześniejszych uwag krytycznych moja końcowa opinia dotycząca rozprawy jest pozytywna. Recenzowana praca pokazała, że Pan mgr inż. Tomasz Żyrek potrafi samodzielnie sformułować problem badawczy, przedstawić kluczowe informacje o stanie wiedzy dotyczącej podjętego zagadnienia, a następnie opracować procedurę badawczą (zaprojektować i przeprowadzić badania doświadczalne i analizy obliczeniowe) oraz poddać analizie otrzymane wyniki wyciągając właściwe wnioski.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Tomasza Żyrka pod tytułem „Weryfikacja metod obliczania poziomych przemieszczeń stalowych ścianek szczelnych” zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim sformułowane w Ustawie o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14.03.2003 r. oraz aktach normatywnych wykonawczych wydanych na jej podstawie. Wnioskuję o przyjęcie rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Żyrka i dopuszczenie jej do publicznej obrony oraz do ubiegania się o uzyskanie stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport.



dr hab. inż. Monika Mitew-Czajewska, prof. PW