



Prof. dr hab. inż. Zbigniew Lechowicz
Katedra Geotechniki
Instytut Inżynierii Lądowej
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
w Warszawie

Warszawa, 25.04.2022 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej

pt. „*Określenie wartości modułu ściśliwości konsolidowanego gruntu organicznego na podstawie badań terenowych*” autorstwa mgr inż. Magdaleny Olszewskiej, opracowana na podstawie umowy o dzieło zgodnie z uchwałą nr 25 Senatu Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie z dnia 28.02.2022 r., w oparciu o otrzymany egzemplarz ww. rozprawy doktorskiej. Promotorem rozprawy doktorskiej jest prof. dr hab. inż. Zygmunt Meyer.

1. Tematyka rozprawy

Budownictwo w Polsce, szczególnie w ostatnich piętnastu latach, przeżywa intensywny rozwój przede wszystkim w zakresie budowy i modernizacji obiektów w aglomeracjach miejskich oraz rozbudowy infrastruktury drogowej, kolejowej, sanitarnej i energetycznej. Konieczność wejścia na tereny o niekorzystnych warunkach geotechnicznych wymusza wprowadzanie udoskonalonych metod projektowania, nowych technologii wzmocnienia podłoża gruntowego oraz nowych technologii budowy i monitorowania obiektów. Realizacja obiektów w systemie „projektuj i buduj” umożliwia wykorzystanie metody obserwacyjnej projektowania, szczególnie ważnej przy posadowieniu nasypów w złożonych warunkach geotechnicznych. Jednym z podłoży gruntowych zaliczanych do warunków geotechnicznych o dużej złożoności jest podłoże organiczne. Złożoność zachowania się podłoża organicznych pod obciążeniem wynika przede wszystkim z dużej odkształcalności z wyraźną tendencją do pelzania, małej początkowej wytrzymałości na ścinanie w warunkach bez odpływu, znacznej zmiany przepuszczalności wraz ze zmianą porowatości, wyraźnej nieliniowej zmienności charakterystyk materiałowych oraz znacznej przestrzennej zmienności właściwości.

Rozprawa doktorska mgr inż. Magdaleny Olszewskiej rozszerza obszar badań nad ściśliwością gruntów organicznych obciążonych nasypem, co ma duże znaczenie poznawcze i praktyczne w budownictwie. Doktorantka podjęła trudną tematykę prognozy osiadań słabonośnych gruntów organicznych stanowiących podłoże nasypów z wykorzystaniem badań terenowych. Jako cel rozprawy przyjęła ocenę możliwości określenia modułu ściśliwości konsolidowanego gruntu organicznego na podstawie badań terenowych prowadzonych we wstępnej fazie realizacji obiektu.

2. Charakterystyka rozprawy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Magdaleny Olszewskiej składa się z siedmiu rozdziałów, streszczenia w języku polskim i angielskim, wykazu symboli i oznaczeń, spisu literatury o 96 pozycjach literatury, w tym 30 angielskojęzycznych, spisu

rysunków i tabel oraz 15 załączników. Całkowita objętość pracy wynosi 454 strony, w tym bez załącznika 125 stron. Praca poza tekstem drukowanym zawiera 9 tabel i 58 rysunków. Rozprawa charakteryzuje się przejrzystym i dobrze skonstruowanym układem rozdziałów. Tematyka podrozdziałów odpowiada strukturze i potrzebom pracy.

Rozdział 1. stanowi wstęp, który zawiera kluczowe stwierdzenie o potrzebie poprawy prognozy osiadania gruntów organicznych pod wpływem działającego obciążenia wywołanego nasypem. Doktorantka zwróciła uwagę na złożoną budowę gruntów organicznych warunkującą odkształceniowe ich zachowanie się pod obciążeniem. Doktorantka przedstawiając koncepcję proponowanego sposobu określenia modułu ściśliwości konsolidowanego gruntu organicznego na podstawie badań terenowych stwierdziła, że *„Rozkład naprężeń analizowany w pracy może posłużyć także dla celów określenia stanu granicznego nośności”*, co jednakże wymaga dodatkowego komentarza. Zdaniem Doktorantki zastosowanie proponowanego sposobu określenia modułu ściśliwości może znacznie zmniejszyć różnice między osiadaniami obliczonymi metodami analitycznymi, a osiadaniami pomierzonymi w terenie.

W *rozdziale 2.* Doktorantka przedstawiła cel i zakres pracy oraz tezę badawczą. Przyjęła tezę, że *„Istnieje możliwość określenia wartości modułu ściśliwości gruntu organicznego dla celów obliczeń inżynierskich na podstawie badań eksperymentalnych w terenie”*. W drugim zdaniu Doktorantka stwierdza, że *„Analizując model matematyczny zjawiska możliwe jest określenie zmian wartości modułu ściśliwości przekładających się na nośność podłoża”*, co, jak już wyżej podano wymaga dodatkowego komentarza. Celem przeprowadzonych badań było określenie wartości modułu ściśliwości gruntów organicznych w warunkach naturalnych na podstawie analizy osiadania nasypu doświadczalnego. Zakres pracy obejmuje przegląd literatury, sformułowanie opisu matematycznego zjawiska, weryfikację modelu matematycznego na podstawie badań eksperymentalnych oraz wnioski i program dalszych badań.

W przeglądzie literatury (*rozdział 3.*) Doktorantka przedstawiła ogólną charakterystykę gruntów organicznych oraz dotychczasowy stan wiedzy na temat ściśliwości gruntów organicznych i osiadania gruntów organicznych obciążonych nasypem oraz modeli matematycznych podłoża słabonośnego. Szczególną uwagę zwróciła na rozpoznane właściwości torfów w zakresie składu i struktury szkieletu gruntowego warunkujące ich ściśliwość. Przytoczono charakterystyczne wartości modułów ściśliwości wyznaczonych w badaniach edometrycznych torfów i gytyi pochodzących z różnych rejonów Polski. Zwrócono uwagę na złożony charakter ściśliwości gruntów organicznych obejmujący natychmiastowe, konsolidacyjne i wtórne osiadania. Przeanalizowano metody służące określeniu osiadań gruntów organicznych obciążonych nasypem oraz jednowymiarowe modele matematyczne podłoża słabonośnego. W ramach analizy empirycznych metod przedstawiono graficzną metodę Asaoki (1978) służącą określeniu końcowych osiadań na podstawie początkowych pomiarów osiadań podłoża pod nasypem. Na zakończenie przeglądu literatury podano podsumowanie i program badań. W podsumowaniu rozdziału stwierdzono, że w praktyce inżynierskiej podstawowym zadaniem jest poprawna prognoza osiadań

całkowitych gruntów organicznych obciążonych nasypem z wykorzystaniem modułów ściśliwości reprezentujących ich zachowanie się w warunkach naturalnych.

Rozdział 4. zawiera własną propozycję Autorki opisu matematycznego analizowanego zjawiska osiadań gruntów organicznych obciążonych nasypem. Na początku przeanalizowano stan naprężenia i odkształcenia zwracając szczególną uwagę na jednowymiarowy stan odkształcenia. W modelu fizycznym zjawiska osiadania podłoża przyjęto założenie upraszczające, w którym obciążenie nasypem odwzorowano w postaci równomiernego obciążenia prostokątnego bez uwzględnienia w obliczeniach skarp nasypu zamiast trapezowego obciążenia. Obciążony obszar podłoża podzielono na kolumny obliczeniowe przyjmując kolejne założenia upraszczające w zaproponowanych przez Autorkę czterech modelach. W pierwszym modelu przyjęto założenie stałej wartości naprężenia i modułu ściśliwości w całym podłożu bez uwzględnienia wpływu obciążenia z innych obszarów obliczeniowych. W drugim modelu przyjęto założenie stałej wartości modułu ściśliwości w całym podłożu przy uwzględnieniu zmiany wartości naprężenia z uwzględnieniem wpływu obciążenia z innych obszarów obliczeniowych. W trzecim modelu, oprócz uwzględnienia zmiany wartości naprężenia jak w modelu drugim, w wyznaczeniu stałej wartości modułu ściśliwości w całym podłożu wykorzystano propozycję Meyera w postaci potęgowej funkcji opisującej zależność modułu ściśliwości od osiadania. W czwartym modelu dodatkowo uwzględniono w wyznaczeniu średniej wartości modułu ściśliwości w całym podłożu zmianę jego wartości w poszczególnych warstwach obliczeniowych.

W celu przeanalizowania wpływu poszczególnych założeń na uzyskane wartości osiadań i modułów ściśliwości przeprowadzono obliczenia z wykorzystaniem czterech proponowanych modeli dla podłoża organicznego pod nasypem w postaci równomiernego obciążenia prostokątnego. Szerokość obciążenia $B = 5$ m do miąższości podłoża $H = 8$ m wskazuje na stosunek $H/B = 1,6$, co świadczy o istotnym zmniejszeniu składowej pionowej naprężenia całkowitego wraz z głębokością. Przy braku drenażu pionowego długość drogi filtracji przy obustronnym drenażu $h = 4$ m powoduje również niejednorodny rozkład składowej pionowej naprężenia efektywnego. Zatem analizowany przypadek należy rozpatrywać jako posadowienie nasypu na głębokim podłożu organicznym. Wyniki przeprowadzonych obliczeń wskazują na duże wartości modułów ściśliwości $M1$ uzyskane z modelu 1. Wartości te są znacznie większe niż wartości modułów ściśliwości $M2$, $M3$ i $M4$ uzyskane z modeli 2, 3 i 4, których wartości są zbliżone. We wszystkich analizowanych modelach obserwuje się znaczne zaburzenie uzyskanych wartości osiadań i modułów ściśliwości na brzegach, a szczególnie w narożach równomiernego obciążenia prostokątnego. Biorąc pod uwagę przyjęte założenia, Autorka w dalszej części rozprawy doktorskiej wykorzystwała model 4.

W *rozdziale 5.* przedstawiono analizę wyników badań terenowych przeprowadzonych na dwóch poletkach doświadczalnych zlokalizowanych na nasypach posadowionych na torfach na Ostrowie Brdowskim w Szczecinie. Poletka doświadczalne zostały wyposażone w sieć reperów talerzowych (21 reperów – nasyp 1; 17 reperów – nasyp 2) umożliwiającą pomiary osiadań. W celu przyspieszenia procesu osiadania słabonośnego podłoża zainstalowano

prefabrykowane dreny pionowe skracając długość drogi drenażu z 4,5 m do połowy rozstawy między drenami. W przypadku pierwszego nasypu szerokość nasypu B wynosząca ok. 104,8 m do miąższości torfu $H = 9$ m wskazuje na stosunek $H/B = 0,09$. W przypadku drugiego nasypu szerokość nasypu B wynosząca ok. 63,6 m do miąższości torfu $H = 9$ m wskazuje na stosunek $H/B = 0,14$. Uzyskane wartości stosunku H/B świadczą o niewielkim zmniejszeniu składowej pionowej naprężenia całkowitego wraz z głębokością. Zainstalowanie prefabrykowanych drenów pionowych spowodowało również zmniejszenie zróżnicowania rozkładu składowej pionowej naprężenia efektywnego wraz z głębokością. Z pomiarów osiadań wynika, że w przypadku pierwszego nasypu reper A1-P06 wykazał osiadania 0,586 m, natomiast w przypadku drugiego nasypu repery A2-P10 i A2-P11 wykazały osiadania 1,175 m i 1,12 m, które istotnie różnią się od pozostałych pomierzonych wartości osiadań, co wymaga komentarza.

Terenowe pomiary osiadań przeprowadzone na dwóch poletkach doświadczalnych wykorzystano w obliczeniach służących określeniu modułu ściśliwości na podstawie pomiarów osiadań z wykorzystaniem modelu 4. Oprócz wyznaczenia modułów ściśliwości w poszczególnych punktach pomiarowych wyznaczono uśrednioną wartość modułu ściśliwości, która zalecana jest w obliczeniach inżynierskich. W obu analizowanych przypadkach obserwuje się znaczne zaburzenie uzyskanych wartości modułów ściśliwości na brzegach, a szczególnie w narożach równomiernego obciążenia prostokątnego.

W rozdziale 6. przedstawiono wykorzystanie proponowanej metody wyznaczenia modułu ściśliwości na podstawie pomiarów terenowych osiadań na przykładzie dwóch nasypów doświadczalnych posadowionych na torfowo-gytiowym i torfowym podłożu organicznym bez drenażu pionowego zlokalizowanych na poligonie badawczym w dolinie rzeki Noteć w Białośliwiu. W przypadku nasypu na torfowo-gytiowym podłożu szerokość korony nasypu B wynosząca 10 m do miąższości podłoża organicznego $H = 4$ m wskazuje na stosunek $H/B = 0,4$. W przypadku nasypu na torfowym podłożu szerokość korony nasypu B wynosząca 11 m do miąższości podłoża organicznego $H = 4$ m wskazuje na stosunek $H/B = 0,36$. Uzyskane wartości stosunku H/B świadczą o niewielkim zmniejszeniu składowej pionowej naprężenia całkowitego wraz z głębokością. Długość drogi filtracji przy obustronnym drenażu podłoży organicznych wynosząca $h = 2$ m powoduje również w miarę jednorodny rozkład składowej pionowej naprężenia efektywnego. Zatem analizowane przypadki należy rozpatrywać jako posadowienie nasypów na płytkim podłożu organicznym.

Terenowe pomiary osiadań przeprowadzone na dwóch nasypach doświadczalnych wykorzystano w obliczeniach służących określeniu modułu ściśliwości na podstawie pomiarów osiadań z wykorzystaniem czterech modeli. W przypadku nasypów posadowionych na płytkim podłożu organicznym wyjątkowo dobrą zgodność wyznaczonych modułów ściśliwości na podstawie pomiarów osiadań z modułami ściśliwości otrzymanymi z badań edometrycznych uzyskano z wykorzystaniem modelu 1. Jednakże również w tym przypadku obserwuje się znaczne zaburzenie uzyskanych wartości modułów ściśliwości na brzegach, a szczególnie w narożach równomiernego obciążenia prostokątnego.

W rozdziale 7. podano wnioski z uzyskanych przez Doktorantkę wyników badań i analiz oraz program dalszych badań.

3. Uwagi ogólne i szczegółowe

Analiza rozprawy doktorskiej nasunęła mi następujące uwagi krytyczne i dyskusyjne, które powinny być wyjaśnione lub skomentowane podczas publicznej obrony pracy:

- Jakie stany naprężenia i odkształcenia wywoływane są podczas budowy nasypów na podłożu słabonośnym i jaki mają charakter oraz co decyduje o jego bezpieczeństwie? W której fazie realizacji posadowienia nasypu na podłożu słabonośnym znaczącą rolę odgrywają odkształcenia objętościowe i postaciowe oraz odkształcenia pionowe i poziome?
- W pracy zamieszczono stwierdzenia, że „Rozkład naprężeń analizowany w pracy może posłużyć także dla celów określenia stanu granicznego nośności” oraz „Analizując model matematyczny zjawiska możliwe jest określenie zmian wartości modułu ściśliwości przekładających się na nośność podłoża” co wymaga dodatkowego komentarza.
- Czy przeprowadzono ocenę osiadań końcowych z wykorzystaniem metody Asaoki (1978)?
- Pomiary osiadań wskazują, że w przypadku pierwszego nasypu osiadania reperu A1-P06 wynoszą 0,586 m, natomiast w przypadku drugiego nasypu osiadania reperów A2-P10 i A2-P11 wynoszą 1,175 m i 1,12 m, które istotnie różnią się od pozostałych pomierzonych wartości osiadań, co wymaga komentarza. Jaki był rozstaw prefabrykowanych drenów pionowych?
- Ze względu na obserwowane znaczne zaburzenie uzyskanych wartości modułów ściśliwości na brzegach i w narożach równomiernego obciążenia prostokątnego należy podać dla którego obszaru obowiązują wyznaczone moduły ściśliwości? W jaki sposób zmniejszyć te zaburzenia w rejonie krawędzi korony nasypu w przypadku rozpatrywania nasypu ze skarpami?
- Objaśnienia przedstawione na Rys. 33, 43 i 49 wymagają dodatkowego komentarza.

Pragnę podkreślić, że powyższe uwagi krytyczne i dyskusyjne nie pomniejszają przedstawionych w recenzji własnych i oryginalnych osiągnięć Doktorantki.

Drobne poprawki w tekście i na rysunkach zostały zaznaczone w recenzowanym egzemplarzu i zestawione w załączonej tabeli oraz przekazane Doktorantce w celu umożliwienia dokonania niezbędnych korekt przed przekazaniem części pracy do druku.

4. Ocena osiągnięć zawartych w rozprawie

Rozprawa ma charakter doświadczalno-analityczny. Mgr inż. Magdalena Olszewska podjęła się zbadania i oceny możliwości określenia modułu ściśliwości konsolidowanego gruntu organicznego na podstawie badań terenowych prowadzonych we wstępnej fazie

realizacji obiektu. Dla zrealizowania założonego celu rozprawy Doktorantka wykonała obszernie i bardzo dobrze udokumentowane badania terenowe i laboratoryjne oraz analizy numeryczne. Bogaty materiał doświadczalny umożliwił Doktorantce wykazanie, że opracowana metoda określenia modułu ścisłości gruntów organicznych na podstawie badań terenowych może być wykorzystana w prognozie osiadań nasypów metodą obserwacyjną. Opracowana metoda jest bardzo cenna w projektowaniu nasypów na podłożach słabonośnych realizowanych w trybie „projektuj i buduj”.

Za najważniejsze elementy oryginalne, stanowiące własny dorobek naukowy Doktorantki należy uznać:

- opracowanie czterech modeli umożliwiających określenie modułu ścisłości gruntów organicznych na podstawie badań terenowych z uwzględnieniem zmiany naprężenia i modułu ścisłości wraz z głębokością,
- przeprowadzenie obliczeń z wykorzystaniem czterech proponowanych modeli dla głębokiego podłoża organicznego pod nasypem w postaci równomiernego obciążenia prostokątnego w celu przeanalizowania wpływu poszczególnych założeń na uzyskane wartości osiadań i modułów ścisłości,
- przeprowadzenie badań terenowych na dwóch poletkach doświadczalnych zlokalizowanych na nasypach posadowionych na torfach i analiza wyników pomiarów osiadań sieci reperów pod kątem możliwości określenia modułu ścisłości gruntów organicznych na podstawie badań terenowych,
- weryfikacja proponowanej metody określenia modułu ścisłości gruntów organicznych na podstawie badań terenowych na dwóch nasypach doświadczalnych posadowionych na torfowo-gytiowym i torfowym podłożu organicznym.

Należy podkreślić, że założony przez Doktorantkę naukowy cel pracy został osiągnięty, a postawiona teza udowodniona. Przedstawione w pracy wnioski końcowe są w pełni udokumentowane i stanowią własny i oryginalny wkład Doktorantki w zakresie określenia modułu ścisłości gruntów organicznych na podstawie badań terenowych w prognozie osiadań nasypów metodą obserwacyjną.

5. Wniosek końcowy

Mgr inż. Magdalena Olszewska przedłożyła do oceny rozprawę doktorską zawierającą wyniki bardzo dobrze zaprogramowanych i obszernych badań terenowych i laboratoryjnych oraz analiz numerycznych służących ocenie możliwości określenia modułu ścisłości gruntów organicznych na podstawie badań terenowych. Recenzowana praca wniosła oryginalne elementy poznawcze w dyscyplinie „budownictwo” wskazane w recenzji rozprawy, zatem spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim określone w odpowiednich przepisach. Zawarte w pracy sformułowania i rozwiązanie problemu badawczego potwierdzają, że Doktorantka sprostала wymaganiom stawianym kandydatom do stopnia naukowego doktora. Wniosuję zatem o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr inż.

Magdaleny Olszewskiej pt. „*Określenie wartości modułu ściśliwości konsolidowanego gruntu organicznego na podstawie badań terenowych*” do publicznej obrony.



Prof. dr hab. inż. Zbigniew Lechowicz

Uwagi redakcyjne

do rozprawy doktorskiej mgr inż. Magdaleny Olszewskiej pt.
„Określenie wartości modułu ściśliwości konsolidowanego gruntu organicznego na podstawie badań terenowych”

Strona	Jest	Powinno być
str. 9	.. was Described... Subsoil subsidence... ...subsidence... ...organic substrate... ...preload embankment	...was described... Subsoil settlement... ...settlement... ...organic subsoil... ...preloaded embankment
str. 11	c_v Współczynnik konsolidacji	Jest wymieniony dwa razy
str. 14	Δu Nadwyżka ciśnienia porowego ϵ_h Odkształcenie poziome kolumny gruntu σ'_p Naprężenia prekonsolidacyjne	Δu Nadwyżka ciśnienia wody w porach ϵ_h Odkształcenie poziome kolumny gruntu σ'_p Naprężenie prekonsolidacji
str. 18	Zgodnie z obowiązująca norma...	Zgodnie z obowiązującą normą...
str. 28	Można rozróżnić krzywą ściśliwości pierwotnej, wtórnej oraz odprężenia (rys. 1).	Można rozróżnić krzywą ściśliwości pierwotnej, odprężenia oraz przy powtórny obciążeniu (rys. 1).
str. 29	Rys. 1.... 3 - krzywa ściśliwości wtórnej	Rys. 1.... 3 - krzywa ściśliwości przy powtórny obciążeniu
str. 32	...duża część...	...duża część...
str. 37	...od położenia drenażu...	...od warunków drenażu...
str. 49	$\sigma_x = \sigma_y = K_0 \sigma_z$	$\sigma'_x = \sigma'_y = K_0 \sigma'_z$
str. 54	...uwzględniającego...	...uwzględniającego...
str. 97	Graficzna komparacja dostępna jest...	Graficzne porównanie przedstawiono...

Michał