Poznań, dnia 08.09.2009 r.

Prof. zw. dr hab. inż. Zbigniew Młynarek
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
Katedra Geotechniki
ul. Piątkowska 94
61-691 Poznań

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA w Gliwicach

Ocena

rozprawy doktorskiej mgr inż. Magdaleny Kowalskiej pt. „ Identyfikacja parametryczna modeli gruntów w zagadnieniach geotechniki"

1. Podstawa opracowania oceny

Zlecenie prof. dr hab. inż. J. Sękowskiego Dziekana Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach z dnia 12 czerwca 2009 r.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

2.1. Aktualność tematyki badawczej

Rozprawa doktorska przygotowana przez mgr inż. Magdalenę Kowalską, pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Macieja Gryczmańskiego, w całości poświęcona jest nowoczesnej koncepcji opisu i wyznaczania parametrów geotechnicznych podłoża gruntowego. Punktem wyjścia dla oceny rangi i aktualności tej problematyki badawczej mogą być dane literaturowe odnośnie przyczyn awarii budowlanych. Brandl (Ethical and philosophical thoughts. Challenges and Recommendations. The Deep Foundations Institute, Hauthorne, 2004) na podstawie analiz katastrof budowlanych w Europie stwierdził, że od 80 do 90% katastrof lub awarii związanych było z podłożem budowlanym. Van Staveren (Innovation with risk management International Seminar 40 yeras of A.P. van den Berg Company, International Seminar, 2008), analizując opublikowane materiały z awarii budowlanych w Holandii sformułował opinię, że aż 80% katastrof związanych było z błędnym wyznaczeniem

parametrów mechanicznych podłoża i brakiem profesjonalnej wiedzy geotechnicznej, Młynarek (Podłoże gruntowe, a awaria budowlana, XXIV Konferencja Naukowo – Techniczna Awarie Budowlane, Szczecin – Międzyzdroje, 2009) cytując wyniki badań Sowersa stwierdził, że w Stanach Zjednoczonych 500 katastrof budowlanych było spowodowanych wadliwym projektem geotechnicznym. W każdym projekcie, parametry geotechniczne stanowią wiodący element w globalnym ryzyku inwestycyjnym. Parametrom wytrzymałościowym i odkształceniowym gruntu, szczególnie w ostatnim dziesięcioleciu, poświęca się wyjątkowo dużo uwagi, ponieważ zaangażowano do ich wyznaczenia nowoczesne i zaawansowane interpretacyjne badania in-situ. Sukcesy metod CPTU, SCPTU, DMT i SDMT spowodowały konieczność innego spojrzenia na parametry, które podane są w normie PN-81/B-03020 Grunty budowlane, a przede wszystkim spowodowały konieczność szukania ich „prawdziwej" definicji. Tym wszystkim oczekiwaniom wychodzi naprzeciw dysertacja mgr inż. Magdaleny Kowalskiej. Z pełnym uznaniem należy więc przyjąć podjęcie tego tematu przez Doktorantkę, a koncepcja podejścia do rozwiązania przedstawionego problemu jest bardzo oryginalna i odpowiada koncepcjom zamieszczonym w literaturze światowej. Za niezwykle ważny element rozprawy uważam sformułowanie przez Doktorantkę zapisu definicji parametru geotechnicznego, co moim zdaniem ma niezwykle cenny wymiar akademicki. Trafność podjęcia się tego typu tematu rozprawy doktorskiej została prawdopodobnie spowodowana kilkoma czynnikami, a mianowicie;

- Doktorantka rozpoczęła swoją działalność naukową w zespole kierowanym przez prof. Gryczmańskiego. Osiągnięcia tego zespołu w zakresie konstruowania i opisu modeli gruntów są znaczące i zauważalne w literaturze światowej,
- odbycie staży i konsultacje na temat przedłożonej dysertacji z wybitnymi specjalistami z zagadnień modelowania gruntów, do których zalicza się dr D. Muir Wood, a także z wybitnym specjalistą z badań podłoża metodą in-situ prof. D. de Grotem. Konsultacje te z pewnością przyczyniły się do wyjątkowo dobrze zdefiniowanego celu rozprawy,
- możliwość przeprowadzenia doświadczeń na nowoczesnej aparaturze do badań wytrzymałościowych, która nie jest dostępna w kraju,

- udział w międzynarodowych seminariach organizowanych przez Katedrę Geotechniki w Poznaniu na temat badań in-situ. Osobiście sądzę, że czynny udział w tych seminariach oraz możliwość kontaktu z tak wybitnymi specjalistami z badań penetracyjnych jak dr T. Lunne, dr J. Powell, Prof. D. de Groot, dr Y. Tanaka, prof. Marchetti, prof. F. Schnaid, dr R. Masarch, prof. Danziger pozwoliła mgr Kowalskiej zaakcentować w definicji parametrów geotechnicznych, spójność tych parametrów z wyjściowym geostatycznym stanem naprężenia w podłożu.

Tak jak wcześniej wspomniałem, cel rozprawy jest wysoce zgodny z treścią rozprawy i sformułowanymi wnioskami.

2.2. Struktura rozprawy i przygotowanie redakcyjne

Rozprawa została zamknięta na 202 stronach maszynopisu. Część redakcyjna rozprawy uzupełniona jest załącznikami, które zawierają bardzo ważne informacje uzupełniające do rozprawy. Załączniki od 2.1. do 2.4. podają zapisy równań konstytutywnych dla analizowanych modeli. W załączniku 2.4. skomentowano konstrukcje aparatów, które zastosowano badaniach z kontrolą ścieżki obciążenia. Załączniki 5.1., 5.2., i 5.3. podają kod programu MALAB dla wyznaczenia ścieżki obciążeń. W załączniku 6.1. zamieszczono metodykę i wyniki wstępnego oznaczania parametrów. Załączniki 7.1. i 7.2. zawierają informacje o aparatach trójosiowego ściskania, które wykorzystano w badaniach w University of Bristol oraz University of Massachusets. Informacje o czujnikach przemieszczania zamieszczono w załączniku 7.3., natomiast załącznik 7.4. przedstawia koncepcję wyznaczenia naprężenia prekonsolidacyjnego w badaniu edometrycznym według Cassagrande. Załącznik 7.5. podaje charakterystyki techniczne kaolinu, natomiast załączniki 7.6., 7.7., 7.8. i 7.9. zawierają informację o konsolidometrach i technice wykonania badań trójosiowych. Część rozprawy, którą stanowią załączniki zamyka kod programu MALAB z algorytmem genetycznym i algorytm optymalizacji parametrów modelu NAHOS. Jednoznacznie należy stwierdzić, że bardzo starannie przygotowane załączniki ułatwiają studiowanie rozprawy.

Ocenę struktury rozprawy należy poprzedzić stwierdzeniem, że praca napisana jest niezwykle starannie, wyjątkowo poprawnie stylistycznie i dosłownie z nielicznymi niedomaganiami w interpretacji i składni. Praca jest także bardzo dobrze ilustrowana

graficznie. Za niezwykle cenny element pracy uważam przyporządkowanie każdemu z rozdziałów pracy, łącznie z przeglądem literatury, własnego komentarza. Niektóre z poglądów, a właściwe sformułowań są dyskusyjne, ale fakt osobistego poglądu na rozstrzygane przez Doktorantkę kwestie badawcze dowodzi o bardzo dobrym przygotowaniu się do zrealizowania celu badawczego, który w rozprawie został czytelnie sformułowany.

Struktura pracy została przez Doktorantkę przedstawiona w rozdziale 1.4. pt. Układ pracy. Jest to bardzo przejrzyste wprowadzenie do studiowania rozprawy. Dla przygotowania oceny, rozprawę można pogrupować w 4 główne działy, a mianowicie:

- Wstęp z przedmiotem rozważań, aktualnym stanem badań oraz z przeglądem literatury, celem i zakresem pracy oraz z pełnym przeglądem i oceną modeli konstytutywnych. Ta grupa problemów pozwoliła Doktorantce dokonać wyboru modeli, który miał być weryfikowany i przygotować program badań. Jest to rozdział 5.
- Drugą grupę problematyczną stanowią zagadnienia przedstawione w rozdziale 3. Podstawy parametryczne identyfikacji oraz rozdział 4 - Metoda ścieżek obciążenia. Rozdział ten doskonale wprowadza do przyjętej koncepcji przeprowadzenia badań, która jest przedstawiona w rozdziale 7 - Doświadczalne ścieżki odpowiedzi. Za bardzo trafny należy uznać dobór modeli fundamentów, które będą symulowały ścieżki obciążenia, a mianowicie ściany oporowej, która reprezentuje zadanie płaskie i fundamentu stopowego, który może być modelowany jako zadanie trójwymiarowe. Przyjęcie tego typu fundamentów znalazło szczególne uzasadnienie w modelu CM.
- Trzecią grupę problemów stanowią kwestie badawcze, które przedstawiono w rozdziale 7 – Doświadczalne ścieżki odpowiedzi i rozdziale 8 - Identyfikacja parametryczna. W rozdziałach tych znajdują się ważne informacje związane z przyjętym materiałem do badań, a przede wszystkim metodyka przeprowadzania doświadczeń w aparatach trójosiowego ściskania i konsolidometrze.
- Czwartą grupę problematyczną rozprawy stanowią rozdziały; 5 i 6. Rozdziały te, wraz z rozdziałem - Podsumowanie zawierają własne sformułowania osiągnięć rozprawy i perspektywicznego, dalszego rozwoju tematyki badań, którą zainicjowano w rozprawie.

W kontekście wyżej przedstawionej argumentacji, strukturę i układ pracy należy uznać za wzorową i nowoczesną.

Aplikacyjność wyników badań, moim zdaniem, przesuwa się na drugi plan, że względu na identyfikację ścieżek odpowiedzi na homogenizowanych próbkach kaolinu. Uzasadnienie tej kwestii podaję w punkcie 3.

Dwa fragmenty rozprawy, które być może Autorka rozprawy uznała za drugorzędne, osobiście uważam za niezwykle ważne, bowiem dotyczą systematyki pojęć i opisu modeli współpracy układu fundament – podłoże. Jak wcześniej zaznaczyłem, uważam te zagadnienia za oryginalne osiągnięcia Autorki i namawiam do ich odrębnego opublikowania. Do tych i innych osiągnięć rozprawy chciałbym zaliczyć:

- opracowanie systematyki dla pojęcia parametru geotechnicznego. Wydaje mi się, że jest to pierwsza w polskiej geotechnice systematyka, która w świadomy sposób akcentuje stan wyjściowy dla oceny parametrów geotechnicznych. Stanem tym jest geostatyczny stan naprężenia w podłożu. Autorka w tej systematyce zaznacza także jednoznaczną spójność parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych podłoża ze ścieżką obciążenia, generowaną przez budowlę. Artykuł ten powinien być udostępniony szerokiej grupie entuzjastów w gronie Inżynierów i geotechników, która fascynuje się wyznaczaniem parametrów mechanicznych gruntów poprzez ich ocenę na podstawie miar, które opisują stan fizyczny gruntów (stopień zagęszczenia, stopień plastyczności) i odczytywanie wartości parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych z normy PN-81/B03020. W swojej systematyce Autorka dobitnie akcentuje, że parametry, które opisują wytrzymałość i odkształcalność gruntów nie są związane z tzw. kategorią geotechniczną, ale z wyjściowym geostatycznym stanem naprężenia, a następnie z modelem i ścieżką obciążenia podłoża.
- Drugi fragment rozprawy, który powinien stanowić odrębną publikację, to znakomicie przygotowany przegląd modeli konstytutywnych z własnym komentarzem. Publikacja ta mogłyby być uzupełnione rekomendacją doboru badań do wyznaczenia parametrów modeli (rozdziały 4 i 7), a przede wszystkim rekomendacją, która odpowiadałaby na pytanie: jaki model jest najbardziej przydatny do rozwiązania zagadnień geotechnicznych? Pewne sugestie na ten temat przewijają się w delikatny sposób na kilku stronach rozprawy, lecz brak jest wyraźnej propozycji na ten temat. Wyniki badań

dają podstawę do tego, aby przedstawić taką propozycję, tym bardziej, że nawet w literaturze światowej poza pracą Mayne'a „In-situ test calibration for evaluating soil parameters. In-situ testing workshop Singapore, 2006" trudno znaleźć informacje na ten temat. Są to niezwykle ważne propozycje dla projektantów.

Rozprawę zamyka spis literatury, który obejmuje 348 pozycji, głównie obcojęzycznych. Literatura stanowi cenny rozdział rozprawy, bowiem znajdują się w niej pozycję o wymiarze historycznym, a także najnowsze pozycje z literatury światowej. Ewentualne uzupełnienie wykazu literatury podałem w fragmentach recenzji, które dotyczą kwestii dyskusyjnych w rozprawie.

3. Uwagi szczegółowe

Mocną stroną rozprawy, oprócz zasadniczych badań i interpretacji wynników, jest pierwsza grupa zagadnień, którą scharakteryzowano w punkcie 2.

- Wstęp, oprócz oryginalnej kwestii systematyki pojęć parametrów geotechnicznych silnie eksponuje rolę badań in-situ w prognozie parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych, które związane są ze składowymi naprężeń geostatycznych, a także spójność tych badań z badaniami laboratoryjnymi (selekcja próbek, miejsc ich pobrania do badań laboratoryjnych). Zapis, że wyznaczone parametry Φ', C', S_u z testu CPTU dotyczą stanu krytycznego jest uzasadniony. Warto tutaj dodać, że równania równowagi granicznej były w pierwszym etapie, z sukcesem, wykorzystywane do interpretacji charakterystyk penetracji (np. Durgunoglu, Mitchell .: Static penetration resistance of soils. Geotechnical Engineering, University of Berkley, 1973, Młynarek Z., Sanglerat G.: The bering capacity equations for static sounding of pliocene clays. 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm, 1981. Możliwość prognozy parametrów wytrzymałościowych lub odkształceniowych gruntów podłoża, które łączą się ze zmianą stanu naprężenia, od stanu geostatycznego do stanu po wzniesieniu budowli innymi rozwiązaniami jest szeroko udokumentowany w literaturze np. de Groot, Lutenegger .: Characterization by sampling and in-situ testing - Connecticut Valley Varved Clay. Proc. 2nd International Workshop. Interpretation of in-situ test and sample disturbence of clays. Studia Geotechnica et Mechanica. Technical University Wrocław No 3-4, 2005. Można przypuszczać, o ile

Autorka zrealizuje badania w przyszłości na próbkach gruntów pozyskanych z terenu, gdzie wykonano testy CPTU, że również skonstruuje zależności pomiędzy parametrami penetracji i parametrami uzyskanymi z modeli, które analizowała. Znaczenie takich zależności byłoby istotne, bowiem pomierzone wartości oporu stożka i nadwyżek ciśnienia porowego, pozwoliłyby prognozować zmiany parametrów i modułów odkształcenia w podłożu.

- Sformułowanie „wciskanie stożka sondą statyczną powoduje rozpychanie....." jest zbyt daleko idącym uproszczeniem, które nie odpowiada mechanizmowi zniszczenia gruntu „współpracującego" ze stożkiem. Taka interpretacja procesu statycznej penetracji mogłaby prowadzić do znacznych nieporozumień, szczególnie w kontekście wyznaczania parametrów Φ', C', S_u, M_0, G_0. Mechanizm zniszczenia pod stożkiem posiada wszystkie fazy podane w pracy Muir Wooda - Critical states and soil modeling. Deformational Characteristics of Geomaterials IOS Press, Amsterdam, vol. I, s. 51-73 - 2008". Szczególnie istotna jest faza "sliding shearing", która ma znaczący wpływ na geometrię charakterystyki $q_c = f(\sigma_{vo})$. Z kolei wpływ na mechanizm „sliding shearing" posiada współczynnik szorstkości pomiędzy materiałem stożka i gruntem. Z tego też powodu współczynnik ten pojawia się w funkcji, która opisuje proces statycznej penetracji (Młynarek Z.: Czynniki wpływające na opór stożka podczas statycznego sondowania gruntów spoistych. Roczniki AR Poznań, s. 1-68, 1978). Znaczny wpływ tego współczynnika na charakterystykę penetracji $q_c = f(\sigma_{vo})$ i w konsekwencji na predykcję parametrów Φ', C', S_u, M_0 został udowodniony w wielu pracach np. Yu H.S.: In-situ testing from mechanizm to interpretation. J.K. Mitchell Lecture. Proc. of Intermational Conference. Geotechnical and Geophysical Site Characterization. Porto Millpress, s. 3-38, 2004.

<u>Rozdziały 1.2.1., 1.2.2., 1.2.3. oraz 2.2.Modele konstytutywne.</u>

Działy te są znakomicie przygotowane i zrekapitulowane własnym komentarzem. Znaczący akcent położono w tych działach na prekonsolidację i nieliniowość charakterystyk w obszarze małych i początkowych odkształceń. Tej kwestii poświęca się współcześnie najwięcej uwagi. Wydaje się, że celowe byłoby uzupełnienie tych działów o prace, które wykorzystują metodę DEM (Distinct Element Method) w

modelowaniu i uwzględniają strukturę i anizotropowość gruntów np. Yimisiri S., Sogo K.: DEM study of effects of soil fabric on anisotropic behavior of sands. Deformational Characteristics of Geomaterials. IOS Press, 2008 oraz prace, ktore wykorzystują model KHMCC (Kinematic Hardening Modefitied Cam-Clay) dla modelowania nieliniowych, anizotropowych właściwości silnie prekonsolidowanych iłów, np. Likitlersuang S., Apriadi D.: Modeling of anisotropic undrained compression behavior of havily - overconsolidated clays. Deformational Characterisctics of Geomaterials, IOS Press, 2008. Zagadnienie to ma szczególne znaczenie dla gruntów z obszaru Polski, gdzie silnie prekonsolidowane gliny budują znaczne strefy podłoża budowlanego.

Rozdział 1.3. Cel i zakres pracy

Cel rozprawy Autorka sformułowała w kontekście przeglądu literatury i decyzji o wyborze strategii kalibrowania. Należy zgodzić się z Autorką rozprawy, że koncepcja identyfikacji parametrycznej modeli konstytutywnych z wyznaczeniem reprezentatywnej ścieżki obciążenia w danym punkcie masywu gruntowego, która jest w tym zagadnieniu wynikiem rozwiązania zagadnienia brzegowego, jest nowym podejściem. Zagadnienie brzegowe uwzględnia kształt i sztywność kontaktu pomiędzy budowlą, a gruntem. Należy jednoznacznie pokreślić, że cel rozprawy poprzez próbę dopasowania teoretycznej ścieżki odpowiedzi kalibrowanego modelu do wyników badań w aparacie trójosiowego ściskania, został osiągnięty. Wprawdzie możliwości aparaturowe nie pozwoliły zawsze przeanalizować pełen zakres ścieżki obciążenia, o czym Autorka wspomina, lecz nie obniża to walorów pracy. Autorka uznaje za swoje osiągnięcie wprowadzenie pojęcia ścieżki odpowiedzi. Wprawdzie terminologia ta w modelowaniu była już wcześniej stosowana i znana jest pod pojęciem „response", ale definicja przedstawiona w rozprawie jest bardziej kompletna.

Dział 2. Pojęcie kluczowe oraz Dział 3. Podstawy parametrycznej identyfikacji modeli są bardzo ważnymi działami rozprawy, bowiem stanowią podstawę dla przeprowadzenia doświadczeń oraz interpretacji wyników. Działy te, są bardzo starannie przygotowane. Trudno się jednak zgodzić z pewnymi sformułowaniami, które znajdują się we „wprowadzeniu" i nie oddają współczesnych tendencji w modelowaniu i kalibracji.

Kwestia ta dotyczy przyjętej definicji stanu. Autorka słusznie zauważa, że „zmienne stanu ośrodka identyfikowane są z mechanicznymi polami naprężenia, odkształcenia i przemieszczenia. W ujęciu kontynualnym powinien znaleźć odzwierciedlenie fakt, że grunt jest ośrodkiem ziarnistym, słabo powiązanych cząstek." Można to odnieść jedynie do szczególnej sytuacji w podłożu gruntowym np. luźne piaski, lessy. Przeniesienie tego pojęcia na iły, czy nawet gliny jest trudne do zaakceptowania. Dowodzi temu obszerna liczba prac, nawet z lat 60-tych. Problem naturalnej cementacji i jej wpływ na odtworzenie stanu wyjściowego iłów, po pobraniu próbki, jest współcześnie bardzo ważnym zagadnieniem. Stwierdzenie, że „zmienne stanu stanowią, tensor naprężenia efektywnego i wskaźnik porowatości" jest stwierdzeniem bardzo zachowawczym i nie odpowiada współczesnej definicji i współczesnym kierunkom badawczym. Dla wyjaśnienia tej kwestii należy zacytować definicję stanu podaną przez Muir Wooda (Critical States and Soil Modeling. Deformational Characteristic of Geomaterials. IOS Press, 2008) „Definicja stanu posiada logiczny potencjał do włączenia innych aspektów, zmieniających właściwości gruntów, które mogą być obiektywnie mierzone. W szczególności wskaźnik porowatości jest tylko bardzo podstawową informacją o aktualnej strukturze gruntu". Tym kluczowym uzupełnieniem dla opisu zmiennych stanu, które podała Autorka jest struktura (fabric) często uzupełniona pojęciem starzenia się (agging). Temu zagadnieniu poświęca się w ostatnich latach wiele prac. Warto dodać, że efekt „agging" uwzględnmia się już w interpretacji charakterystyk penetracji dla oceny stopnia zagęszczenia, czyli faktycznie wskaźnika porowatości (Jamiolkowski M., Lo Presti D.C.F., Manassero M.: Evaluation of relative density and shear strength of sands from CPT and DMT C.C. Ladd Symposium MIT, Cambridge Mass 2001, Młynarek Z.: Site investigation and mapping in urban area. Proc. XIV European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Madrid, Millpress, vol. I.)

- Jeśli jedna ze zmiennych stanu zdefiniowana została przez tensor naprężenia, a badania przeprowadzone zostały przy S_u=1, dobrze byłoby uzupełnić równanie 2.1. w zapisie tensorowym

  $$\sigma^{e}{}_{i,j} = \sigma_{i,j} - \sigma_{w} \cdot \delta_{i,j}$$

  gdzie

σ_w - naprężenie hydrostatyczne w wodzie

$\delta_{i,j}$ symbol Kroneckera $\delta_{i,j}$ $\{1$ dla $i = j$, 0 dla $i \neq j$ $\}$

- Wartość rozdziału 2.2. Modele konstytutywne i jego wymiar akademicki podkreślono w punkcie 2.1. recenzji. Za oryginalny element rozdziału należy uznać własny komentarz Autorki odnośnie różnic pomiędzy parametrami modelu, a także stworzenie ich systemu klasyfikacyjnego, który wykorzystuje systematykę Gryczmańskiego (1996) i Darve'a (1988).

Dział 3. Podstawy parametryczne identyfikacji modeli

Dział ten jest ważnym elementem rozprawy, ponieważ pozwolił Autorce podjąć decyzję o wyborze metody identyfikacyjnej i optymalizacyjnej dla rezultatów doświadczeń laboratoryjnych. Po przeglądzie głównych metod, Autorka zdecydowała się na metodę algorytmów genetycznych. Decyzja ta wydaje się być uzasadniona. Metoda ta posiada istotną zaletę, a mianowicie nie wymaga zadania wartości początkowej do prowadzenia procesu minimalizacji. W dziale tym Autorka często wprowadza pojęcie zmiennych zależnych i niezależnych, co jest istotą analizy statystycznej, lecz trudno znaleźć w pracy, specyfikację tych zmiennych.

Rozdział 3.1. zawiera liczne błędne zapisy, a mianowicie;

Str. 43: wzór (3.1):

- ε_X jest zbyteczne. Funkcja regresji, to warunkowa wartość oczekiwana zmiennej zależnej, przy ustalonych wartościach zmiennych niezależnych. W modelu opisanym wzorem (3.1) jest tylko jeden element losowy – ε. Zatem lepiej

$$Y = f(\boldsymbol{X}, \boldsymbol{\beta}) + \varepsilon$$

- w opisie wektora współczynników regresji wyraz „zwykłe" jest zbyteczny – nie ma niezwykłych liczb rzeczywistych

Str. 44: we wzorach (3.3) i (3.4) n oznacza stopień wielomianu lub liczbę zmiennych niezależnych, teraz n oznacza liczebność próby – nie powinno się oznaczać różnych elementów, tym samym symbolem.

- wzór (3.6) jest błędny, powinno być:

$$\hat{y} = b_0 + xb_1 \quad (\text{bez } e_i)$$

- wzór (3.7) jest błędny, powinno być:

$e_i = y_i - \hat{y}_i$

- wzór (3.8) jest błędny, powinno być:

$e = Y - f(\boldsymbol{X}, \boldsymbol{b})$

$\boldsymbol{b}$ jest wektorem!

<u>Str. 45:</u> wzór (3.9) jest błędny, powinno być:

$S(\boldsymbol{b}) = \ldots$

$\boldsymbol{b}$ jest wektorem!

- wzór (3.10): powinno być

$\boldsymbol{b} = (\boldsymbol{X}'\boldsymbol{X})^{-1}\boldsymbol{X}'\boldsymbol{y}$

$\boldsymbol{b}$ i $\boldsymbol{y}$ to wektory!

- dokładnie : $\boldsymbol{X}$ oznacza teraz macierz

$$\boldsymbol{X} = \begin{pmatrix} 1 & x_1 \\ 1 & x_2 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & x_n \end{pmatrix},$$

a $\boldsymbol{y}$ wektor

$$\boldsymbol{y} = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}.$$

We wzorach (3.1) i (3.8) symbol $\boldsymbol{X}$ oznaczał wektor zmiennych zależnych – ten sam symbol w różnych miejscach oznacza inne elementy.

<u>Str. 46:</u> wzór (3.15): powinno być S_{b_0}

<u>Str. 47:</u> wzór (3.19):

- zgodnie ze wzorem (3.18) powinno być: $P(\boldsymbol{y}|\boldsymbol{b}) = \ldots$
- tym razem liczba pomiarów oznaczana jest przez m - poprzednio przez n
- tym razem transpozycja macierzy oznaczana jest symbolem T - poprzednio (wzór 3.10) symbolem '.

<u>Str. 45:</u> Sformułowanie, że „podejście Bayesowskie ma jednak do tej pory niewiele zastosowania w geomechanice" – nie jest prawdziwe. Trudno pominąć prace publikowane przez Prof. E. Schultze w latach sześćdziesiątych ubiegłego stulecia, prof. K. Biernatowskiego, prof. Lumba, podstawowy podręcznik Lee J.K.: Soil Mechanics New

Horizons. Butherworth, London 1974, czy cykl konferencji International Conference on Application of Statistics and Probability in Soil and Structural Engineering.

Rozdział 4 z podrozdziałami powinien także uzyskać wysoką ocenę. Autorka w rozdziale tym bardzo czytelnie przedstawia różnicę pomiędzy metodami ścieżek naprężeń, definiuje ścieżkę odpowiedzi i przedstawia algorytm metody ścieżek obciążenia. Cenne są także rekomendacje do wykorzystanych aparatów i realizacji doświadczeń. W ujęciu historycznym rozwoju aparatu trójosiowego ściskania i edometru warto wspomnieć o konstrukcji edometru z pływającą membraną, która umożliwiała realizację doświadczeń z różną prędkością odkształcenia i rejestracją ciśnień porowych. Prace na ten temat były publikowane przez prof. Sovinca w czasopiśmie Acta Geotechica, University of Ljubliana.

Rozdział 4.6. Parametry reprezentatywne

Rozdział ten jest ważnym rozdziałem rozprawy, bowiem przedstawia koncepcję wyboru punktu reprezentatywnego do przeprowadzenia analizy numerycznej i kalibrowania. Dominującym elementem selekcji jest rozkład obciążenia (składowych stanu naprężenia) od budowli w podłożu. Autorka z bardzo dobrym komentarzem podaje stosowaną metodykę, np. Lambe, Davisa i Poulosa. Punkt ten powinien znajdować się w tzw. reprezentatywnej warstwie podłoża. W ocenie tego komentarza znalazło się stwierdzenie, że za pomocą metod CPTU lub DMT należy znaleźć"wiarygodny profil podłoża". Dla poszukania „wiarygodnej ścieżki odpowiedzi" niezbędna jest próbka, która reprezentuje reprezentatywny punkt dla analizy, czyli reprezentatywną warstwę. Autorka pomija w dyskusji zupełnie kwestię przejścia wyników z próbki na reprezentatywną warstwę, a problem ten jest niezwykle ważny. Nawet wyselekcjonowana tzw. geotechnicznie jednorodna warstwa w kontekście OCR, Φ', C', M' itd. jest opisana przez parametry, które są zmiennymi losowymi. Trudno sobie wyobrazić, aby poprzez badanie laboratoryjne można było wyznaczyć reprezentatywne parametry dla warstwy, ze względu na koszt tych badań i dylemat definicji jakości próbki (patrz International Workshop Sampling and testing in soft Clay, Baranowo k. Poznania 2006 oraz Norwegian Geotechnical Institute, Oslo, 2007)

Badania in-situ, a szczególnie wspomniany test CPTU zanotowały duży sukces w tym temacie, bowiem ciągła rejestracja charakterystyk penetracji pozwoliła wprowadzić przez Jamiolkowskiego (2001) pojęcie parametru operacyjnego, a w cytowanych przez Autorkę pracach Młynarka, Wierzbickiego i Wołyńskiego wykazano, że można opisać przestrzenną zmienność podłoża, za pomocą kryteriów statystycznych. Badanie więc tylko na jednej próbce reprezentatywnej, wyznaczonej z kryteriów rozkładu obciążenia w podłożu będzie miało, moim zdaniem, w procesie kalibracji tylko charakter jakościowy.

Str. 93. zdanie „w większości zagadnień brzegowych geotechniki można założyć, że grunt sedymentował w warunkach jednoosiowego stanu odkształcania" wymaga wyjaśnienia lub uzupełnienia. Na obszarze Polski dominujące formacje podłoża budowlanego zbudowane są z glin moreny czołowej, gdzie trudno mówić o jednoosiowym stanie odkształcenia i procesie sedymentacji.

Rozdział 6. Rozdział ten nie posiada kwestii dyskusyjnych. W budowie modelu MES dla fundamentu stopowego i ściany oporowej uwzględniono „rzeczywisty" proces obciążania podłoża od obciążenia geologicznego poprzez wykonanie wykopu i fundamentu, aż do obciążenia eksploatacyjnego. Kontrowersyjne wydaje się jedynie przyjęcie nazewnictwa obciążenie geologiczne - erozyjne; bowiem proces erozji kojarzy się z odciążeniem, a nie obciążeniem. Za bardzo udane należy uznać podsumowanie tego rozdziału, w którym w formie graficznej oraz z komentarzem analitycznym wyjaśnia Autorka różnicę w przebiegu ścieżek naprężenia dla różnych modeli, przy różnym położeniu punktów względem osi fundamentu i ściany oporowej.

Rozdział 7. Doświadczalne ścieżki odpowiedzi

Rozprawa mgr M. Kowalskiej charakteryzuje się bardzo dużą dbałością o historyczne przedstawienie rozwoju tematyki, która dotyczy rozprawy. Z tego powodu warto by uzupełnić definicje związane z rodzajem próbek o definicje próbki homogenizowanej, która jest punktem wyjścia do wprowadzonego później pojęcia „remoulded". Celowe byłoby także zacytować jedną z pierwszych dysertacji

doktorskich, które dotyczyły badań wytrzymałości na ścinanie gruntu spoistego, gdzie pojawiło się pojęcie homogenizacji. Chodzi tutaj o pracę A. Horna, Die Scherfestigkeit von Schluff, Westdeutscher Verlag, Köln, 1964.

Komentarz odnośnie wykonania badań na próbkach homogenizowanych i świadomość, że „struktura próbki jest praktycznie niemożliwa do odtworzenia w warunkach laboratoryjnych" są bardzo ważne, bowiem dowodzi, o czym wcześniej wspomniałem, że Doktorantka dostrzega fakt, że uzyskane wyniki rozstrzygają problem głównie w wymiarze jakościowym. Komentarz odnośnie braku możliwości odtworzenia struktury, a właściwie „rzeczywistych" właściwości próbki, nie jest jednak kompletny. Badania prowadzone w ostatnich latach w Norweskim Instytucie Geotechnicznym wykazały, że pobranie nawet wysokiej jakości próbki i dokonanie rekonsolidacji w laboratorium (najczęściej anizotropowej) powoduje nieodwracalną utratę naturalnej cementacji (Karslud K., Lunne T., Kert A., Strandvik S.: CPTU correlations for clays. Proc. of XVIth International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Osaka, s. 693-702). Fakt ten ma zasadniczy wpływ na ocenę współczynnika OCR w laboratorium I warunkach in-situ oraz parametry wytrzymałościowe. Stwierdzenie tego faktu było możliwe poprzez wykonanie, przez wyżej wymienionych Autorów, testów CPTU, zaawansowanej ich interpretacji i równolegle przeprowadzenie badań na tzw. „block samples". Można przypuszczać, że reakcja poszczególnych modeli i uzyskane ścieżki odpowiedzi będą także uzależnione od tego czynnika. Zagadnienie jeszcze bardziej mogłoby się skomplikować wtedy, jeśli badaniami objęte byłyby iły z anizotropową makrostrukturą, płaszczyznami wzmocnienia i osłabienia np. iły warwowe.

- Niezrozumiałe są kwestie metodyczne, które przedstawiono w punkcie 7.3.3. Dlaczego zastosowano do przygotowania pasty gruntowej wodę wodociągową. Homogenizację zawsze wykonuje się z zastosowaniem wody destylowanej, aby nie wprowadzić do pasty dodatkowego medium i mieć „neutralny" punkt odniesienia w interpretacji wyników. Stwierdzenie (str. 131), że „mieszano ręcznie i układano bezpośrednio do komory konsolidometru" dowodzi, że Autorka w przygotowaniu pasty pominęła ważny element, a mianowicie „efekt Dawsona" (Młynarek Z.: Granice Atterberga gliny piaszczystej zagęszczonej statycznie, dynamicznie. Roczniki AR Poznań, 1975). W przypadku gruntów o dużej zawartości frakcji ilastej efekt ten

jest znaczący w uzyskaniu stabilizacji sił wewnętrznych i ma wpływ na granice Aterrberga i w konsekwencji na przebieg charakterystyk materiałowych.

Rozdział 7.4.

Bardzo interesujące wyniki, którym przyporządkowano ciekawy komentarz, zamieszczone są w tym rozdziale. Komentarz ten dotyczy zarówno przebiegu odkształceń do stanu zniszczenia, a przede wszystkim zgodności ścieżek obciążenia i odpowiedzi w analizowanych punktach podłoża.

Rozdział 8.

Rozdział ten jest kluczowym rozdziałem rozprawy, bowiem podsumowuje wyniki badań laboratoryjnych i analizy teoretycznej. Kwestie metodyczne związane z przeprowadzeniem analizy teoretycznej i z pomiarem odkształceń w układzie $\varepsilon_s - \varepsilon_{vol}$ nie budzą zastrzeżeń. Koncepcja weryfikacji i przebiegu ścieżki naprężenia p' – q za pomocą ścieżek w układzie $\varepsilon_s - \varepsilon_{vol}$ (porównanie geometryczne) jest oryginalnym pomysłem Autorki. Analiza wyników jest bardzo wnikliwa i stanowi bardzo dobre uzasadnienie programu całej rozprawy. W analizie pojawiają się jednak często sformułowania, które trudno zaakceptować, jeśli prowadzi się badania, które powinny wykazać istotność różnić pomiędzy prognozowanymi i mierzonymi wartościami. W rozdziale 8 często pojawiają się stwierdzenia „pomijalny wpływ" (patrz strona 147), „pomijalne małe odchylenia" (patrz strona 151 i inne). Wprawdzie Autorka podała kryteria minimalizacji i miary odchyleń np. odchylenie od wartości średniej, lecz nie mówi to o statystycznej istotności różnic. Pewnym wytłumaczeniem dla stosowania przez Autorkę tych określeń może być to, że Autorka wykazała, że wszystkie charakterystyki są nieliniowe, nawet w zakresie małych odkształceń, stąd przyjęcie do identyfikacji parametrycznej metody regresji liniowej było niemożliwe. Metoda regresji liniowej wielokrotnej pozwala oszacować istotność wpływu zmiennych zależnych na zmienną niezależną na przyjętym poziomie istotności i ustalić hierarchię ich wpływu. W przypadku regresji nieliniowej tego typu identyfikacja jest niemożliwa.

Str. 152 „model konstytutywny, a konkretnie przebieg wyznaczonej nim ścieżki naprężenia, ma ogromny wpływ na wartości optymalnych parametrów, przemawia to

dobitnie za koniecznością stosowania najlepszego, dostępnego modelu konstytutywnego na etapie określenia ścieżki obciążenia". Jest to niezwykle ważne stwierdzenie. Jakie zdaniem Autorki powinny być kryteria dla ustalenia „najlepszego modelu"? Pytanie to generuje kolejne zapytanie „z czym wiąże się tak istotny i znaczący wpływ lokalizacji punktu reprezentatywnego w masywie gruntowym na wartości optymalnych parametrów poszczególnych modeli"?

Rozdział 8.5.

Rodział ten został podsumowany 5-ma wnioskami. Z jednej strony wnioski te eksponują najważniejsze osiągnięcia tego działu, z drugiej moją bardzo ogólny charakter, bez wspomnianej rekomendacji odnośnie wyboru modeli. Tego typu rekomendacja wychodziłaby naprzeciw dużym oczekiwaniom w tej kwestii ze strony projektantów – geotechników. Wniosek 1 powinien być uzupełniony:
„wielkość obciążenia i geometria obciążenia oraz położenie punktu reprezentatywnego". Wnioski te nie akcentują także wykazanej nieliniowości charakterystyk w każdym przedziale obciążenia.

4. Podsumowanie

W zakończeniu rozprawy Doktorantka, w formie opisowej, zrekapitulowała wyniki pracy i w pewnym sensie uzasadniła przyjęty cel i koncepcję badawczą rozprawy. Wydaje się, że zbędne są w tej części przedstawione ponownie kwestie metodyczne, które wcześniej dokładnie omówiono. Podsumowanie podkreśla także osiągnięcia badawcze i oryginalne elementy rozprawy, za które Autorka uznaje:

- zbadanie wpływu modelu konstytutywnego na przebieg ścieżki naprężenia w analizie MES
- stworzenie kodów w programie MATLAB, które umożliwiają wyznaczenie teoretycznej ścieżki odpowiedzi dla analizowanych modeli: CM, MCC i NAAOS w warunkach osiowo – symetrycznego stanu naprężenia.
- wykorzystanie algorytmu genetycznego do przeprowadzenia optymalizacji.

Autorka w czytelny sposób cytuje w punkcie 9.2. własne spostrzeżenia odnośnie możliwości oceny kontynuacji tematyki badawczej, którą podjęła w ramach niniejszej

rozprawy. Dominującym elementem tej koncepcji ma być przejście na badania na próbkach naturalnych i przeprowadzenie analizy w warunkach innych niż osiowo – symetryczne. Taka koncepcja badań wydaje się być uzasadniona, lecz stopień trudności jej realizacji jest znacznie większy.

Ocenę merytoryczną rozprawy chciałbym zakończyć pytaniem, które wiąże się z tym, że rozprawa jest oczekiwaną pozycją przez projektantów. We wstępie uzasadniłem celowość podjęcia tematu przez Doktorantkę tym, że parametry i model wytrzymałościowy podłoża są integralną częścią projektu geotechnicznego. Co zdaniem Autorki generuje większe niepewności w zarządzaniu ryzykiem w projektowaniu geotechnicznym - przyjęcie niewłaściwego modelu konstytutywnego, który odbiega od określonego przez Autorkę „jako najlepszego modelu", czy niewłaściwe wyznaczenie (poszukiwanie) operacyjnych parametrów geotechnicznych warstw podłoża?

5. Wniosek końcowy

Rozprawa doktorska mgr inż. M. Kowalskiej jest rozprawą przygotowaną na wysokim poziomie naukowym, a tematyka rozprawy dobrze lokuje się w trendach literatury światowej. Wszechstronność rozprawy dokumentują osiągnięcia badawcze i metodyczne. Podkreślenia wymaga także aspekt akademicki rozprawy. Stwierdzone w rozprawie uchybienia i kwestie dyskusyjne, są moim osobistym poglądem na rozważane problemy badawcze i nie obniżają ogólnej oceny rozprawy. We wniosku końcowym stwierdzam, że rozprawa spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim, zgodnie z Ustawą z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule z zakresu sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 wraz ze zmianami Dz. U. z 2005 r. nr 164, poz. 1365) i wnoszę o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.