

Doc. dr hab. inż. Waldemar Świdziński
IBW PAN,
Gdańsk



Recenzja

pracy doktorskiej mgr inż. Magdaleny Kowalskiej pt.:
„Identyfikacja parametryczna modeli gruntów w zagadnieniach geotechniki”

1. Uwagi wstępne i charakterystyka pracy

Niniejszą recenzję wykonałem na zlecenie Dziekana Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej z dnia 12.06.2009 roku, zgodnie z uchwałą Rady Wydziału z dnia 10.06.2009. Przedstawiona mi do oceny praca liczy ogółem 261 stron, w tym 202 strony tekstu, łącznie 29 załączników pogrupowanych zgodnie z podziałem na rozdziały oraz 348 pozycji literatury. Pracę podzielono na 9 rozdziałów. Każdy z rozdziałów pracy ma szereg podrozdziałów, a niekiedy pod - podrozdziałów, dlatego też odstąpiłem w recenzji od streszczenia zawartości poszczególnych rozdziałów skupiając się na generalnej charakterystyce pracy.

Praca jest bardzo obszerna, obejmująca i omawiająca szerokie spektrum zagadnień związanych z modelowaniem zachowania się ośrodka gruntowego poddanego złożonym stanom naprężenia.

W pracy Autorka zaproponowała oraz zweryfikowała metodę ścieżek obciążenia do identyfikacji parametrycznej modeli konstytutywnych. Przy implementacji tej metody Autorka wykorzystwała koncepcję kalibrowania lokalnego tj. dla wybranych punktów analizowanego masywu gruntowego, dla których ustalała każdorazowo zestaw reprezentatywnych ścieżek obciążenia w oparciu o rozwiązanie zagadnienia początkowo-brzegowego danego problemu geotechnicznego z wykorzystaniem MES, uwzględniającego budowę geologiczną analizowanego podłoża wraz z jego daleką historią jak też historią obciążenia wywołaną realizacją planowanej inwestycji. Kolejno, ścieżki te były generowane w aparacie trójosiowego ściskania na próbkach gruntu odpowiadających punktom reprezentatywnym w wyniku czego Autorka uzyskiwała odpowiadające ścieżkom obciążenia – ścieżki odpowiedzi. Obydwie ścieżki były przedstawiane w układach niezmienniczych, aby zapewnić obiektywność otrzymanych wyników, bez względu na przyjęty układ odniesienia. Optymalizacja parametrów zastosowanego modelu konstytutywnego polegała na porównywaniu doświadczalnych ścieżek odpowiedzi ze ścieżkami teoretycznymi obliczonymi dla odpowiadających im ścieżek obciążenia za pomocą równań konstytutywnych kalibrowanego modelu oraz modyfikacji wyjściowych parametrów modelu poprzez minimalizację funkcji celu w oparciu o algorytmy genetyczne.

Do kalibracji Autorka wytypowała trzy modele będące reprezentantami trzech generacji związków sprężysto-plastycznych, który to podział zaproponował Gryczmański, 1995b, a który został zmodyfikowany przez Autorkę. Jako przedstawiciela grupy modeli sprężysto idealnie plastycznych Autorka zaproponowała najpopularniejszy z tej grupy model Coulomba-Mohra (CM), z grupy modeli sprężysto-plastycznych ze wzmocnieniem izotropowym model Modified Cam Clay (MCC) – w tym również z poprawką van Eekelena, natomiast z grupy modeli

sprężysto-plastycznych ze wzmocnieniem kinematycznym, rozwijany w Katedrze Geotechniki Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej model NAHOS.

Do rozwiązania zagadnień początkowo-brzegowych opartych na metodzie dyskretyzacyjnej (MES) został wykorzystany komercyjny program Z_SOIL.PC, który zawiera w sobie dwa pierwsze modele gruntu kalibrowane przez Autorkę, natomiast nie ma wbudowanego modelu NAHOS. Do kalibracji tego ostatniego reprezentatywne ścieżki obciążenia zostały wyznaczone modelem MCC, na „silniku” którego model NAHOS został oparty i rozwinięty w stronę lepszego opisu obszaru prekonsolidacji wewnątrz powierzchni ograniczającej zawierając również w sobie element wzmocnienia kinematycznego. Dodatkowo, w celach porównawczych analizy numeryczne przeprowadzono również dla ośrodka idealnie liniowo sprężystego.

Kalibrowanie przyjętych trzech modeli gruntu metodą ścieżek obciążenia Autorka zrealizowała dla dwóch podstawowych problemów geotechnicznych tj. prostopadłościennego fundamentu płytkiego (stopy) posadowionego poziomo na nieuwarstwionym podłożu oraz ściany oporowej utrzymującej naziom, również w podłożu nieuwarstwionym. W pierwszym przypadku rozwiązanie numeryczne dla modelu sprężystego zostało dodatkowo skonfrontowane z rozwiązaniami analitycznymi dla półprzestrzeni sprężystej, obciążonej równomiernie na prostokątnym obszarze. W obu przypadkach Autorka starała się modelować pełną historię obciążania podłoża, zarówno tę z dalekiej przeszłości poprzez obliczanie naprężeń prekonsolidacyjnych, jak i tę współczesną odpowiadającą poszczególnym etapom wykonawstwa danej konstrukcji. W przypadku stopy fundamentowej było to wykonanie wykopu oraz obciążenie od fundamentu, natomiast dla ściany oporowej było to wciskanie ścianki, głębienie wykopu, wykonanie płyty dennej, jej obciążenie, wykonanie płyty od strony naziomu oraz obciążenie naziomu. Należy przy tym podkreślić dużą staranność w procesie modelowania poszczególnych etapów pracy podłoża, którego wynikiem były poszukiwane reprezentatywne ścieżki obciążenia. Skutkowało to zresztą bardzo skomplikowanym przebiegiem tych ścieżek w przestrzeni naprężeń, szczególnie w przypadku konstrukcji oporowej.

Z dwóch alternatywnych ścieżek obciążenia reprezentowanych bądź to przez naprężenie bądź odkształcenie, ze względu na wymogi aparatów trójosiowego ściskania, które Autorka wybrała do wyznaczania parametrów modeli konstytutywnych, zdecydowała się Ona na ścieżki naprężenia. Takie też zostały wyznaczone w kilku wybranych, reprezentatywnych punktach podłoża gruntowego w obu rozpatrywanych zagadnieniach brzegowych. Wyniki analiz numerycznych otrzymane przez Autorkę wskazały wyraźnie na zależność przebiegu ścieżek obciążenia w tych samych punktach podłoża gruntowego od przyjętego modelu konstytutywnego.

Do optymalizacji parametrycznej bazującej na reakcji gruntu na reprezentatywne ścieżki naprężenia w warunkach laboratoryjnych na próbkach elementowych zostały przyjęte wyniki otrzymane modelem MCC.

Serie badań laboratoryjnych zostały wykonane w dwóch typach aparatów trójosiowego ściskania, w dwóch zagranicznych ośrodkach badawczych na Uniwersytecie w Brystolu, Wielka Brytania oraz Uniwersytecie Massachusetts w USA, na próbkach rekonstruowanych kaolinu o nazwie handlowej Speswhite. (tzw. chińska glina), a więc na materiale spoistym o bardzo wysokim procencie zawartości frakcji ilowej. Rekonstrukcja próbek odbywała się w specjalnych aparatach umożliwiających uzyskiwanie próbek o dużej jednorodności struktury, co miało istotne znaczenie dla powtarzalności wyjściowych cech fizycznych każdej

próbki. Rekonstruowane próbki były następnie poddawane procesowi konsolidacji w rurach konsolidometrycznych bądź konsolidometrach komorowych, który był powtarzany po umieszczeniu ich w komorze trójosiowej.

Proces przygotowywania próbek do badań z jego poszczególnymi etapami wycinania próbki, umieszczania w aparacie trójosiowym, saturacji oraz rekonsolidacji, szczegółowo opisany w Załącznikach, który w zależności od wykorzystywanego typu aparatu trójosiowego był nieco odmienny, spełniał wszystkie wymogi a zarazem bardzo wysokie standardy mocno uwiarygadniające otrzymane wyniki w postaci doświadczalnych ścieżek odpowiedzi. Wiarygodność otrzymanych wyników badań trójosiowych była dodatkowo zwiększana poprzez uwzględnienie w interpretacji reakcji gruntu poprawek wynikających ze zmiany pola przekroju próbki, penetracji membrany oraz obecności pasków filtracyjnych do przyspieszenia procesu konsolidacji.

Otrzymane ścieżki odpowiedzi były następnie porównywane z odpowiadającymi im ścieżkami teoretycznymi obliczonymi na podstawie równań konstytutywnych tworzących trzy wybrane modele. W tym przypadku równania konstytutywne były rozwiązywane dla danego punktu reprezentatywnego w oparciu o autorskie kody numeryczne napisane w języku MATLAB, przedstawione w Załączniku nr 5. Następnie, wykorzystując algorytmy genetyczne optymalizacja parametrów modelowych była prowadzona w taki sposób, aby obie ścieżki odpowiedzi tj. doświadczalna i teoretyczna były do siebie jak najbardziej zbliżone. Uzyskiwano to poprzez minimalizację funkcji celu w oparciu o metodę najmniejszych kwadratów, wykorzystując do tego również program MATLAB. Kody numeryczne załączono w Załączniku nr 8.

Otrzymane wyniki reprezentujące optymalne wartości parametrów danego modelu były kolejno poddane szczegółowej analizie z punktu widzenia zastosowanego modelu, skuteczności dopasowania krzywej doświadczalnej i teoretycznej dla poszczególnych próbek, położenia poszczególnych punktów reprezentatywnych w masywie gruntowym, oraz długości zrealizowanej ścieżki naprężenia, gdyż w wielu badaniach z różnych powodów nie udało się zrealizować pełnej ścieżki obciążenia wyznaczonej z analizy MES.

Wyniki tych analiz zostały sformułowane w postaci wniosków końcowych przedstawionych w dwóch ostatnich rozdziałach rozprawy.

2. Ocena pracy oraz realizacji celów

Skomplikowane zagadnienia geotechniczne, czasami również i te prostsze wymagają stosowania zaawansowanych modeli opisujących zachowanie się gruntów w złożonych stanach obciążenia. W chwili obecnej projektanci oraz badacze dysponują dobrze ponad setką różnych modeli, w mniejszym lub w większym stopniu pozwalających na opis reakcji gruntu na przyłożone obciążenie i tworzone są ciągle nowe. Tak duża liczba modeli jest związana z faktem, że ośrodek gruntowy jest ośrodkiem bardzo skomplikowanym, który wymyka się ramom opisów teoretycznych charakterystycznych dla typowych ciał stałych, cieczy czy gazów. Skomplikowanie to wynika m. in. z faktu, że grunt jest ośrodkiem wielofazowym, zbudowanym w skali mikro z poszczególnych tych elementów. Dodatkowo, przy wszelkiego rodzaju predykcjach teoretycznych dochodzi istotna własność ośrodka gruntowego jaką jest zależność reakcji gruntu od historii obciążenia.

Właściwy wybór odpowiedniego modelu do danego problemu geotechnicznego jest tylko połową sukcesu, a w zasadzie jedynie wstępem do końcowego sukcesu. Tą drugą część stanowi właściwa implementacja modelu dla konkretnych warunków postawionego zadania geotechnicznego, co w decydującym stopniu wiąże się z odpowiednią identyfikacją parametrów modelu. Wbrew pozorom jest to zadanie nie mniej trudne niż zrozumienie i zastosowania samego modelu, z czego w bardzo wielu przypadkach, zarówno inżynierowie projektanci, jak też i sami modelarze nie do końca zdają sobie sprawę. Przyjętą praktyką postępowania jest wyznaczanie zbioru parametrów modelu na podstawie prostych badań przeprowadzonych w aparacie trójosiowego ściskania dla prostych ścieżek obciążenia wynikających zazwyczaj z ograniczeń aparaturowych, czyli to co Autorka określa mianem kalibrowania lokalnego, a bardzo często w oparciu o dane literaturowe, w całkowitym oderwaniu od specyfiki danego problemu geotechnicznego. Dodatkowo, badania takie, głównie ze względu na koszty, przeprowadza się dla jednej próbki. Jak bardzo trafnie pisze Autorka na str. 54 „proste ścieżki obciążenia dostępne do realizacji w konwencjonalnym aparacie trójosiowym, praktycznie nie odpowiadają żadnej sytuacji w rzeczywistym podłożu”. Niewłaściwy dobór parametrów modelu może skutkować więc całkowicie nierealistycznymi odpowiedziami podłoża na przyłożone obciążenie. Jak wykazały cytowane przez Autorkę badania Muir Wooda, Mackenziego i Chana, (1993) optymalny zestaw parametrów modelu (w tym przypadku MCC) zależy w bardzo dużym stopniu od analizowanego zagadnienia i wynikającej z niego historii oraz zakresu ścieżek obciążenia. Dlatego też podjęta przez Autorkę tematyka oraz propozycja wskazania i zweryfikowania właściwej drogi postępowania w procesie modelowania zagadnień geotechnicznych jest bardzo cenna.

Główny problem naukowy przedstawionej mi do recenzji pracy jest związany z postawieniem i udowodnieniem wyraźnej tezy, iż w celu dokładnego opisu wiarygodnej reakcji gruntów w jakichkolwiek zagadnieniach geotechnicznych, z wykorzystaniem popularnych modeli konstytutywnych błędem jest wyznaczanie parametrów tych modeli w oparciu o proste testy wynikające z definicji tych parametrów (tzw. kalibrowanie lokalne), w oderwaniu od projektowanej lub analizowanej budowli geotechnicznej. Jak wynika z poprzedniego akapitu teza ta nie jest od końca oryginalna, gdyż na problem ten zwrócili uwagę różni badacze dużo wcześniej.

Natomiast oryginalnym podejściem jest zaproponowana i zweryfikowana przez Autorkę koncepcja kalibrowania modeli w oparciu o reprezentatywne ścieżki obciążenia wyznaczone na wstępnym etapie z analiz MES. Tak też został przez Autorkę sformułowany na str. 11 cel rozprawy jako „.....nowa koncepcja identyfikacji parametrycznej modeli konstytutywnych, nazwana metodą ścieżek obciążenia”.

Używając cytowanej przez Autorkę nomenklatury zaproponowanej przez Gryczmańskiego jest to moim zdaniem w zasadzie pośrednia forma łącząca w sobie elementy kalibrowania lokalnego z kalibrowaniem globalnym, gdzie globalna odpowiedź masywu jest uzyskiwana z rozwiązania numerycznego na podstawie szacowanych wartości parametrów wyjściowych dla przyjętego modelu konstytutywnego z uwzględnieniem charakterystyki podłoża (uwarstwienie) oraz historii obciążenia. Dlatego też nawiązując do podanego przez Autorkę schematu procedur kalibrowania (Rysunek 3.1, str. 50), będącego zaproponowaną przez nią modyfikacją propozycji Gryczmańskiego, element reprezentatywnych ścieżek obciążenia umieściłbym raczej pośrodku kalibrowania lokalnego i globalnego, niż tak jak Autorka, w ramach kalibrowania lokalnego.

Reprezentatywne ścieżki zawierają w sobie informację dotyczącą historii podłoża gruntowego oraz symulują stan naprężenia w wybranych punktach reprezentatywnych wywołany zmianą obciążenia analizowanego podłoża w wyniku wznoszenia danej konstrukcji geotechnicznej. Jak pisze słusznie Autorka w podsumowaniu, niewłaściwe dobranie (czytaj wyznaczenie) parametrów modelu może prowadzić i prowadzi do znacznych różnic przewidywanej i rzeczywistej odpowiedzi podłoża gruntowego.

Zaproponowana przez Autorkę metoda ścieżek obciążenia ma swoje źródła w metodzie ścieżek naprężenia zaproponowanej przez Lambego (1967) oraz, prawie dwadzieścia lat później, ścieżek odkształcenia Balingha (1985). To co m. innymi wyróżnia propozycje Autorki od wspomnianych metod, to wykorzystanie MES do poszukiwania reprezentatywnych ścieżek obciążenia oraz poszukiwanie optymalnego zbioru parametrów modelu dla pełnych przebiegów ścieżek odpowiedzi, nie tylko dla ich ekstremalnych wartości jak to ma miejsce w cytowanych metodach źródłowych, lecz poprzez porównywanie i dopasowywanie doświadczalnych i teoretycznych ścieżek odpowiedzi tak, aby różnice między nimi były jak najmniejsze. Można więc ocenić, że propozycja Autorki jest zdecydowanym krokiem naprzód w stosunku do poprzednich podejść.

Z punktu widzenia formalnego praca jest kompletna. Zawiera ona zarówno elementy rozważań teoretycznych, głównie w formie krótkiego omówienia podstawowych pojęć związanych ze stanem naprężenia i odkształcenia, zasadniczych reprezentantów szerokiej gamy modeli konstytutywnych i analizy różnic pomiędzy poszczególnymi równaniami konstytutywnymi i wynikającymi z nich implikacjami oraz zastosowanie wybranych modeli do numerycznego rozwiązania dwóch zagadnień brzegowych za pomocą MES, jak też bardzo precyzyjnie zaplanowaną i zrealizowaną część doświadczalną wraz z analizą wyników. Część doświadczalna poprzedzona została dokładnym omówieniem różnego typu geotechnicznych aparatów laboratoryjnych z możliwością ich wykorzystania do realizacji ścieżek obciążenia będących wynikiem analizy numerycznej. Szczególnej uwadze zostały poddane i omówione zastosowane w analizie doświadczalnej aparaty trójosiowego ściskania, których schematy, zdjęcia oraz zasady działania zostały szczegółowo przedstawione w Załącznikach na końcu pracy. Kompletność pracy uzupełnia analiza różnych kryteriów identyfikacji parametrycznej modeli konstytutywnych jako zagadnień nieliniowej regresji do optymalizacji wartości parametrów modelowych oraz zastosowanie algorytmów genetycznych jako wybranej metody tej optymalizacji.

Należy podkreślić bardzo dużą staranność w redakcji pracy. Język używany przez Autorkę jest bardzo precyzyjny, a przedstawiane przez nią wywody logiczne i wyczerpujące, zawierające bardzo duży element szczegółowości, może czasami nieco nazbyt przesadnej. Na uwagę zasługuje również bardzo duża czytelność i przejrzystość kolorowych rysunków, nawet tych, które przedstawiają skomplikowany układ przestrzenny.

Logiczny układ pracy oraz poszczególne jej części świadczą o nieprzerwanej świadomości celów częściowych prowadzących do celu zasadniczego, jaki Autorka postawiła sobie w ramach rozwiązywanego problemu. **Mogę więc z pełną odpowiedzialnością stwierdzić, że cel ten jak i cele częściowe zostały przez Autorkę zrealizowane.**

Na podkreślenie zasługuje również fakt cytowania aż 348 pozycji literatury. Po dokładnym przestudiowaniu pracy oraz sprawdzeniu, nie znalazłem wśród załączonej listy referencji żadnej, do której nie odnoszono by się w tekście rozprawy, co również

świadczy o dużej staranności i wysiłku poniesionym przez Autorkę. Sposób odnoszenia się do poszczególnych pozycji oraz ich przytaczanie świadczą o tym, że Autorka się z nimi zaznajomiła i wykorzystwała do swoich analiz i celów. Co ważne, odnoszenie się do różnych artykułów oraz opracowań ma miejsce praktycznie w całej pracy bez jakiegoś wyróżnionego fragmentu poświęconego przeglądowi literatury, a odbywa się przy okazji poruszania szczegółowych zagadnień składających się na całość rozprawy.

Należy również odnotować wykonanie analizy wyników obliczeń numerycznych z uwagi na charakterystykę zmienności kąta Lodego, będącego jednym z trzech niezmienników reprezentujących tensor naprężenia w układzie przestrzennym. Zazwyczaj niezmiennik ten jest „niemym uczestnikiem” analiz wyników badań trójosiowych, w których przestrzeń naprężeń wyrażana jest przed wszystkim za pomocą dwóch pozostałych niezmienników tj. dewiatora naprężenia i średniego ciśnienia efektywnego, a kąt Lodego jako stały dla warunków trójosiowego ściskania czy rozciągania jest pomijany.

Na podkreślenie zasługuje również fakt, że pomimo braku odpowiedniej aparatury badawczej w rodzimej uczelni, cel postawiony przez Autorkę został zrealizowany wykorzystując możliwość wykonania badań stanowiących klucz do osiągnięcia celu, w zagranicznych ośrodkach badawczych starając się przy tym o odpowiednie fundusze oraz akceptację gospodarzy.

3. Uwagi krytyczne

Zacznę od generalnej refleksji. Zaproponowana przez Autorkę koncepcja ścieżek obciążenia do optymalnego doboru parametrów modelu konstytutywnego wybranego do analizy danego zagadnienia geotechnicznego wymaga dysponowania zaawansowanymi aparatami badawczymi, dużą wiedzą z dziedziny zarówno modelowania, jak i doświadczenia w prowadzeniu bardzo specjalistycznych badań laboratoryjnych oraz jest stosunkowo żmudna w realizacji. Zachodzi więc pytanie czy może mieć w związku z tym znaczenie praktyczne. Ogólny schemat algorytmu optymalizującego zestaw parametrów modelu przedstawiony na rysunku 4.3 na str. 69 ma charakter iteracyjny. Samo jednokrotne przejście całego algorytmu jest kosztowne i czasochłonne. Trudno więc sobie z praktycznego punktu widzenia wyobrazić kilkukrotne przejście całej procedury poszukiwania zgodnie z przedstawionym algorytmem. Stąd m. innymi Autorka stwierdza, że „.....z uwagi na czasochłonność (i dodałbym – kosztowność) badań laboratoryjnych, z konieczności za wystarczającą trzeba uznać jedną iterację”. Można przypuszczać, że dla przyjętego kryterium zbieżności, jedna iteracja okazała się wystarczająca ze względu na prowadzenie badań na próbkach rekonstruowanych, dla których powtarzalność reakcji jest znacznie większa niż w przypadku gruntów naturalnych. Dla gruntów naturalnych może więc okazać się niewystarczająca, co jest mało zachęcające dla jakiegokolwiek inwestora.

Kolejna rzecz, która wydaje się nie do końca oczywista, to wybór właściwych punktów reprezentatywnych w przestrzeni analizowanego ośrodka gruntowego. W proponowanej metodzie nie ma jasno sprecyzowanego kryterium wyboru reprezentatywnych punktów i wynikającej z nich reprezentatywnej ścieżki (ścieżek) obciążenia. Jak pokazują wyniki optymalizacji wartości parametrów modelu konstytutywnego zależą zarówno od kształtu (przebiegu) ścieżki jak i od jej długości, a te są pośrednio związane z punktem wybranym jako reprezentatywny.

Z poprzednią uwagą wiąże się następna, dotycząca wykonanych na potrzeby recenzowanej rozprawy badań laboratoryjnych. Ujemną stroną szerokiego zakresu wykonanych badań doświadczalnych w warunkach trójosiowego ściskania było zrealizowanie pełnych przebiegów ścieżek obciążenia jedynie dla 6 z łącznej liczby 24 badanych próbek, co niewątpliwie zaburzyło wyniki optymalizacji parametrycznej przeprowadzonej przez Autorkę w recenzowanej pracy. O różnych przyczynach takiego stanu rzeczy pisze Autorka tekście rozprawy, niemniej wykazana przez nią zależność wartości optymalnych parametrów od długości ścieżki obciążenia musiała w analizowanym przypadku wpłynąć na ich końcowy wynik oraz końcowe wnioski.

Zastosowane przez Autorkę aparaty trójosiowego ściskania mają dość istotną wadę konstrukcyjną zniekształcającą wynik badania. Charakteryzują się one tzw. przegubowym połączeniem tłoka z górną nasadką zamykającą próbkę od góry, co w zasadzie uniemożliwia osiowe obciążenie próbki, a idealne wycięcie próbki tak, aby jego dolna i górna podstawa były prostopadle do pobocznic walca jest również niemożliwe. W związku z tym mamy zazwyczaj w takich przypadkach do czynienia z mimośrodkowym obciążeniem próbki, co ma niestety wpływ na reakcję gruntu na przyłożone obciążenie. Należy przypuszczać i mieć nadzieję, że w przypadku tak dużej staranności jaką wykazała Autorka przy instalacji próbek oraz klejeniu górnej nasadki oraz tłoka (Zał. 7.7.3), co pozwalała między innymi na badanie trójosiowe w strefie rozciągania, wpływ ten nie był duży.

Należy również zwrócić uwagę na wpływ pewnych specyficznych zachowań samego modelu jak np. generowane przez przyjęty do analizy doświadczalnej i optymalizacyjnej model MCC charakterystyczne odgięcie ścieżek naprężenia w chwili osiągnięcia aktualnej powierzchni plastyczności, o czym pisze Autorka na str. 109. Odgięcie to skutkuje wyraźnym załamaniem stosunkowo gładkich ścieżek odpowiedzi, prezentowanym np. na Rys. 7.5 – 7.8, podczas gdy działania optymalizacyjne dają w wyniku wyraźne wygładzenia ścieżek odpowiedzi w miejscach załamania. Świadczy to o pewnych genetycznych obciążeniach samych modeli, które mogą powodować odstępstwa od rzeczywistego rozkładu naprężeń w badanych punktach podłoża.

Należy się przy tym również zastanowić nad sensem tak dokładnego odtwarzania poszczególnych etapów wykonawstwa danej konstrukcji geotechnicznej, które jak pisałem w poprzednim rozdziale dają w wyniku bardzo skomplikowany przebieg ścieżek naprężenia w przestrzeni naprężeń. Dotyczy to głównie ściany oporowej, por. np. Rys. 6.22. Rozdzielczość aparatury kontrolno-pomiarowej jak i samego aparatu trójosiowego ściskania powoduje, że ścieżki odpowiedzi uzyskane dla tak skomplikowanych ścieżek obciążenia, szczególnie gwałtownych zmian ich kierunku dla niskich poziomów naprężeń, mogą mocno odbiegać od rzeczywistej reakcji gruntu na przełożone obciążenie, stąd optymalizacja parametrów bazujących na nie do końca prawdziwej odpowiedzi gruntu może prowadzić do błędnych wyników.

Autorka często używa określenia wykorzystania danego modelu konstytutywnego „lub lepszego”, w domyśle bardziej skomplikowanego. Pojęcie „lepszy” jest pojęciem słabo kwantyfikowalnym. Czasami lepszym modelem będzie model prostszy, o zdecydowanie łatwiejszym i pełniejszym zakresie kontroli niż model bardzo skomplikowany, gdzie zarówno na etapie wiarygodnego wyznaczania jego parametrów (patrz. recenzowana praca), jak i jego zastosowania w konkretnym problemie geotechnicznym mogą pojawić się znaczne trudności oraz możliwości interpretacji, które uczynią końcowy wynik mniej wiarygodnym, niż w przypadku prostszego modelu.

Zupełnie niezrozumiałym wydaje się być jeden z wniosków końcowych, w którym Autorka pisze, że „parametry można oszacować jednoznacznie tylko w takim przypadku, gdy występują w tej części równania konstytutywnego, która dotyczy danej podprzestrzeni naprężenia”.

4. Uwagi szczegółowe

- na str. 6, różne tempo przykładania obciążenia w badaniu trójosiowym Autorka określa mianem zróżnicowanych warunków brzegowych. Wydaje się, że bardziej poprawne jest określenie zróżnicowane warunki badania zamiast słowo „brzegowe”.
- str. 7 Autorka pisze, że wg badań Ysiana i Tatsuoki (2000) anizotropowa konsolidacja w warunkach trójosiowego ściskania wzdłuż ścieżki K_0 powoduje uzyskiwanie wyższych wartości wskaźnika porowatości niż w przypadku izotropowego obciążenia, a następnie dewiatorowego ścinania do tego samego stanu naprężenia innej próbki o tych samych parametrach początkowych i wysnuwa wniosek, że w związku z tym plastyczne odkształcenia objętościowe próbki są mniejsze dla ścieżki naprężenia leżące bliżej powierzchni granicznej. Jest dokładnie odwrotnie, o czym świadczą również podobne badania Recenzenta przeprowadzone na piasku. Jest to związane z rolą średniego ciśnienia efektywnego, przy którym następuje ścinanie. Większe ciśnienie efektywne ogranicza rozwój odkształceń objętościowych.
- na str. 18, w nagłówku Tabeli 2.1 błędnie podano warunek trójosiowego rozciągania, gdyż z takimi warunkami mamy do czynienia wówczas, gdy składowa pozioma naprężenia jest większa od składowej pionowej, a to wcale nie oznacza, że siła powodowana przez nacisk tłoka aparatu ma mieć znak ujemny. Jej wartość musi być taka (w tym również dodatnia), aby składowa pionowa była mniejsza od poziomej, jak też musi być do tego celu wykorzystana odpowiednia konstrukcja aparatu lub samego złącza tłoka z próbką.
- przytoczone przez Autorkę tłumaczenia angielskie nazwy Hollow Cylinder Apparatus jako aparat do badań próbek w kształcie wydrążonego cylindra nie są do końca precyzyjne. Bardziej odpowiednie wydaje się tłumaczenie jako skrętny aparat postaciowy, gdzie można m. in. realizować warunki prostego ścinania. W przypadku próbek walcowych jest to tzw. Torsional Shear Apparatus, a wydrążonego cylindra właśnie Hollow Cylinder Apparatus.
- z przedstawionych na Rys. od 7.7 do 7.8 wykresów reprezentujących ścieżki odpowiedzi wyraźnie widać, że w przypadku badania A AM 9 jego początkowa faza, objawiająca się znacznym wzrostem odkształceń ścinających przy praktycznie stałej wartości dewiatora i odkształceń objętościowych, nie została wywołana przyłożonym obciążeniem, lecz jakimiś niekontrolowanymi czynnikami dodatkowymi. Dalszy przebieg ścieżki odpowiedzi ma już bardzo zbliżony charakter do ścieżek odpowiedzi dla pozostałych punktów reprezentatywnych. W związku z powyższym do dalszych analiz można było bez pomniejszania wiarygodności tego wyniku odrzucić początkową fazę tej ścieżki.
- zastanawiające są optymalne wartości współczynnika Poissona oraz parametru κ dla próbki A AM3, (Tabela 8.1) otrzymane jako wynik optymalizacji z wykorzystaniem algorytmów genetycznych dla modelu MCC. Zgodnie z informacjami zawartymi w Tabeli optymalna wartość współczynnika Poissona wyniosła $\nu = 0.52$ a parametru $\kappa = -0.003$. To samo dotyczy estymacji parametrów

modelu NAHOS, Tabela 8.5, próbka A BR 11 oraz modelu CM, Tabela 8.5 próbka A AM3. Obie wielkości są нефизyczne, o czym zresztą w tekście pisze sama Autorka. Jest to co prawda próbka, dla której otrzymano najgorsze dopasowania teoretycznej ścieżki odpowiedzi z doświadczalną (największa wartość funkcji celu), co może świadczyć o jakichś dodatkowych czynnikach, które miały wpływ na reakcję próbki na przyłożone obciążenie, niemniej zastanawia fakt uzyskiwania w metodzie optymalizacji za pomocą algorytmów genetycznych wartości, które leżą poza dopuszczalnymi przedziałami ich występowania. Jaka jest tego przyczyna i czy nie należałoby wprowadzić dodatkowych ograniczeń wykluczających takie sytuacje. Podane przez Autorkę w tekście rozprawy potencjalne powody takiego stanu rzeczy nie są zbyt przekonywujące.

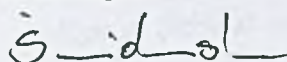
5. Uwagi redakcyjne, drobne uchybienia:

- str. 51 – ostatni akapit – ostatnie zdanie „testy” zamiast „testów”
- str. 53 odnośnik do literatury został źle przytoczony lub nie ma go w spisie literatury. (Kania 1997) – Kania, 2007?)
- str. 168 drugi akapit „W przeciwieństwie do modelu MCC, jakość dopasowania teoretycznych ścieżek odpowiedzi wygenerowanych modelem NAHOS rośnie wraz ze skróceniem próbki”?, powinno chyba być „ ...wraz ze skróceniem ścieżki naprężenia”.
- w Tabeli 8.4 na str. 169 pomieszano kolory wskazujące najmniejsze i największe wartości funkcji celu, zaznaczając je odwrotnie niż to zostało opisane w tekście i przedstawione w poprzednich dwóch Tabelach 8.1 i 8.5.
- W Zał. 6.1 na str. 225 jest błędne odwołanie do Zał. 7.3 . Powinno być 7.5.

6. Wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę przedstawione w pracy rezultaty, a także szeroki zakres poruszanych w niej problemów, oceniam recenzowaną rozprawę wysoko. Uważam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Magdaleny Kowalskiej spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim w myśl Ustawy 595 o stopniach naukowych i tytule naukowym z dnia 14 marca 2003 roku, Dz. U. Nr 65/2003/.

Rozprawa stanowi oryginalną propozycję rozwiązania i rozwinięcia problemu naukowego oraz wykazuje dostateczny poziom wiedzy teoretycznej kandydatki w dziedzinie nauk technicznych, w dyscyplinie budownictwo. Tym samym wnoszę o dopuszczenie jej Autorki do dalszy etapów przewodu doktorskiego.



Waldemar Świdziński