Dr hab. inż. Małgorzata Jastrzębska
Politechnika Śląska
Wydział Budownictwa
Katedra Geotechniki
Ul. Akademicka 5/214
44-100 Gliwice

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA w Gliwicach

# Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Rafała Uliniarza pt.:

**„Model stanu krytycznego gruntów prekonsolidowanych i jego zastosowanie w geotechnice"**

## 1. Podstawa opracowania recenzji

Niniejszą recenzję pracy doktorskiej mgr inż. Rafała Uliniarza pt. „*Model stanu krytycznego gruntów prekonsolidowanych i jego zastosowanie w geotechnice*" wykonałam na zlecenie Dziekana Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach, dra hab. inż. J. Sękowskiego, prof. nzw. w PŚL, z dnia 9 lipca 2012 r., zgodnie z uchwałą Rady Wydziału z dnia 4 lipca 2012 r.

## 2. Ogólna charakterystyka rozprawy

### 2.1. Uwagi wstępne

Przedstawiona mi do oceny praca liczy ogółem 126 stron (w tym 114 stron tekstu) oraz 134 pozycji literatury, w większości zagranicznej, z czego 12 pozycji pochodzi z okresu ostatnich 5 lat. Pracę podzielono na 7 rozdziałów, a każdy z nich na szereg podrozdziałów, a niekiedy pod-podrozdziałów.

### 2.2. Aktualność tematyki badawczej

Rozprawa doktorska przygotowana przez mgr inż. Rafała Uliniarza, pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Macieja Gryczmańskiego, w całości poświęcona jest nowoczesnemu modelowaniu konstytutywnemu podłoża gruntowego, z równoczesnym doświadczalnym wyznaczeniem niezbędnych w tym celu, parametrów materiałowych oraz późniejszą implementacją komputerową przedmiotowego modelu. Punktem wyjścia uzasadniającym rangę i aktualność tej problematyki badawczej są dane literaturowe dotyczące złożonego i osobliwego zachowania się gruntów w przedziałach bardzo małych i małych odkształceń (rzędu $10^{-3}$ i mniej), sięgające swym początkiem lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku.

O kluczowym znaczeniu problematyki małych odkształceń we współczesnej geotechnice decyduje przede wszystkim aspekt aplikacyjny, związany z gwałtownym spadkiem sztywności przy wzroście odkształcenia w wąskim przedziale od $10^{-5}$ do $10^{-3}$. Należy wziąć pod uwagę, że współczesne badania laboratoryjne i polowe, prowadzone pod kątem oceny bezpieczeństwa użytkowania, wykonuje się przy umiarkowanych odkształceniach ($5\cdot10^{-3} \div 5\cdot10^{-2}$), podczas gdy odkształcenia podłoża rzeczywistych

obiektów wywołane obciążeniami eksploatacyjnymi, są kilkakrotnie mniejsze (*Kriegel i Weisner*, *Burland*). Osiadania przewidywane bez uwzględnienia powyższego zjawiska bywają zatem drastycznie przeszacowane. W rzeczywistości „szybsze" okazuje się natomiast zanikanie odkształceń na głębokości, zwłaszcza gdy nacisk z fundamentu na grunt jest relatywnie mały, co ma zwykle miejsce w przypadku budowli rozległych w rzucie. Poznawcza i praktyczna waga powyższych faktów zadecydowała o dużym postępie badań nad zachowaniem się gruntów w zakresie małych odkształceń w ostatnich dwóch dekadach. Objęły one także modelowanie konstytutywne z uwzględnieniem wyników powyższych eksperymentów, czym zajmowali się między innymi *Gryczmański* z zespołem pracowników Katedry Geotechniki Politechniki Śląskiej oraz *Cudny* z Politechniki Gdańskiej (2006: *Praktyczne aspekty modeli konstytutywnych gruntów drobnoziarnistych*, Inżynieria Morska i Geotechnika, Vol. 3, 155-167). Podobnego zadania podjął się również mgr inż. *Rafał Uliniarz* modyfikując znane dotychczas równania konstytutywne i odnosząc je do prekonsolidowanych gruntów spoistych. Na uwagę zasługuje fakt, że poruszane zagadnienia są w zdecydowanej większości i dużo lepiej rozpoznane dla gruntów niespoistych.

### 2.3. Struktura rozprawy

Struktura pracy została przez Doktoranta przedstawiona w rozdziale 1.4 pt.: „Układ pracy", co stanowi przejrzyste wprowadzenie do studiowania rozprawy. Dla przygotowania oceny, całość dysertacji można podzielić na 4 podstawowe części, a mianowicie:

- **Wstęp** wprowadzający do przedmiotu rozważań, przedstawiający aktualny stan badań w zakresie modelowania konstytutywnego małych odkształceń oraz zawierający podstawowy przegląd literatury, a kończący się sformułowaniem celu i zakresu pracy. Ta grupa problemów pozwoliła Doktorantowi dokonać wyboru zmiennych i parametrów stanu realnie wpływających na zachowanie się gruntów prekonsolidowanych (efektywne naprężenie średnie $p'$, współczynnik prekonsolidacji *OCR*, odkształcenia postaciowe $\varepsilon_s$ i objętościowe $\varepsilon_v$) w strefie małych odkształceń i niezbędnych do zamodelowania w ramach kalibracji i weryfikacji na poziomie badań elementowych (rozdział 5).
- Drugą grupę problematyczną stanowią podstawowe pojęcia, definicje i równania zawarte w **rozdziale 2**, będące tłem teoretycznej tematyki zawartej w **rozdziałach: 3 i 4**. Pierwszy z nich poświęcony został eksperymentalnym podstawom modelu, natomiast rozdział 4 przedstawia koncepcje istniejących konstytutywnych modeli uwzględniających nieliniowość małych odkształceń. Całość zagadnień zawartych w tej grupie tematycznej doskonale wprowadza do przyjętych koncepcji modeli autorskich, omówionych szczegółowo w rozdziale 5.
- Trzecią grupę zagadnień, którym został poświęcony **rozdział 5**, stanowią wyspecyfikowane równania dwóch autorskich modeli *FC+MCC* oraz *RU+MCC*. Całość dopełniają: identyfikacja parametryczna wraz z opisem i wyborem procedur kalibracyjnych; opis i wybór procedur weryfikacyjnych; opis stosowanej aparatury i przebiegu badań. Ponadto Autor wykazał małą wrażliwość modelu na zmianę wszystkich jego parametrów, a tym samym potwierdził szeroki aspekt aplikacyjny rozwijanego modelu *RU+MCC* (rozdział 6).

- Czwartą grupę problemów stanowią **rozdziały: 6 i 7**. Rozdział 6, po zaimplementowaniu modelu do środowiska MES, zawiera analizę wybranych zagadnień brzegowych z wykorzystaniem autorskiego modelu, udowadniając tym samym dobrą zgodność ilościową i jakościową w pierwszej fazie odkształceń, czyli małych odkształceń. Rozdział 7 będący podsumowaniem całości, zawiera 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 logiczny i czytelny.

## 3. Ocena dorobku rozprawy

Recenzowana rozprawa stanowi oryginalną propozycję rozwiązania problemu naukowego jakim jest modelowanie konstytutywne małych odkształceń gruntów prekonsolidowanych.

Na bazie własnych badań doświadczalnych oraz wnikliwej analizy istniejącego w tym zakresie stanu wiedzy Autor stwierdził, że podejście odkształceniowe (zgodne z eksperymentami) jest dużo trafniejsze od podejścia naprężeniowego. Na tej podstawie Doktorant zaproponował własny oryginalny model sprężysto-plastyczny ze wzmocnieniem izotropowym, ukierunkowany na uchwycenie gwałtownych zmian sztywnościowych gruntu. Cel naukowy pracy został opisowo, w jasny sposób sformułowany we wstępie pracy. Do jego realizacji niezbędna była rozległa wiedza z zakresu praw konstytutywnych gruntów, biegłe posługiwanie się obliczeniami numerycznymi oraz odpowiednimi programami obliczeniowymi (*Z_Soil*), umiejętność planowania i realizowania zaawansowanych badań eksperymentalnych z mechaniki gruntów, a także biegłość w prowadzeniu analiz zarówno teoretycznych, jak i otrzymanych wyników doświadczalnych.

Według mojej opinii Doktorant wykazał się wszystkimi tymi cechami, a przedstawiona przez Niego praca w sposób zwięzły, konsekwentny i precyzyjny realizuje zawarte w niej cele.

Do najważniejszych elementów oryginalnych rozprawy doktorskiej zaliczam:

- Wnikliwy i obszerny przegląd aktualnego stanu modelowania konstytutywnego w zakresie małych i bardzo małych odkształceń, tzn. w zakresie $10^{-3} - 10^{-6}$, ze szczególnym położeniem nacisku na modele sprężysto-plastyczne ze wzmocnieniem izotropowym i kinematycznym oraz uwzględnieniem faktu zależności funkcji materiałowych od zmiennych i parametrów stanu takich, jak: efektywne naprężenie średnie $p'$, współczynnik prekonsolidacji *OCR*, odkształcenia postaciowe $\varepsilon_s$ i objętościowe $\varepsilon_v$.
- Obszerny przegląd eksperymentalnych podstaw modelowania małych odkształceń z uwzględnieniem charakterystycznych dużych zmian sztywnościowych gruntu, strefowości pracy gruntu i wpływu historii naprężenia.
- Wyspecyfikowanie równań aplikacyjnego modelu autorskiego *RU+MCC* należącego do klasy modeli sprężysto-plastycznych ze wzmocnieniem izotropowym, ukierunkowanym na uchwycenie gwałtownych zmian sztywności i charakteryzującym się dużo trafniejszym podejściem odkształceniowym w stosunku do podejścia naprężeniowego.

- Wyznaczenie niezbędnych parametrów zaproponowanego modelu w drodze zaawansowanych badań trójosiowych na kaolinie z Tułowic. Badania te stanowią kontynuację prac prowadzonych od lat w Katedrze Geotechniki Politechniki Śląskiej (*Jastrzębska M.*, *Łupieżowiec M.*).
- Potwierdzenie szerokiego aspektu aplikacyjnego rozwijanego modelu poprzez wykazanie małej wrażliwości tego modelu na zmianę wszystkich jego parametrów.
- Przeprowadzenie analizy dwóch zagadnień praktycznych w oparciu o rzeczywiste pomiary osiadania stopy fundamentowej i przemieszczeń poziomych wykopu zabezpieczonego ścianką szczelinową, i wykazanie dobrej zgodności ilościowej i jakościowej modelu *RU_MCC* w początkowej fazie odkształceń. W związku z tym stwierdzam, że autorski model mgr inż. *Rafała Uliniarza* spełnia wszystkie kryteria niezbędne do jego praktycznego zastosowania w działalności inżynierskiej.

## 4. Uwagi szczegółowe i dyskusyjne

### 4.1 Grupa pierwsza zagadnień: Wstęp

We wstępie Doktorant ukierunkowuje uwagę na dwa zasadnicze zagadnienia jakimi są zachowania się gruntów w przedziale małych i bardzo małych odkształceń oraz na próby teoretycznego opisu zachodzących tam zjawisk wraz z budową modeli konstytutywnych.

- Ze względu na to, że całość rozprawy skupia się na tzw. strefie małych odkształceń Autor podaje za *Atkinsonem i Sallforsem* (1991) obowiązujące granice tej strefy, a mianowicie $10^{-6} \div 10^{-3}$. Podział na poszczególne strefy uwarunkowany jest zasadniczą różnicą w mechanicznym zachowaniu się ośrodka, obserwowanym miedzy innymi poprzez charakterystykę modułu ścinania $G$ bądź modułu ściśliwości $K$. W zakresie bardzo małych odkształceń, tzn. według *Jardine'a* dla $\varepsilon_s < 10^{-5}$ grunt podlega wyłącznie odkształceniom odwracalnym i liniowo zależnym od naprężeń. Wiarygodne oszacowanie w tym zakresie modułów ścinania i odkształcenia objętościowego jest możliwe jedynie z zastosowaniem metod dynamicznych, tzn. elementów typu „*bender*" ($G_0$, $K_0$) oraz kolumn rezonansowych. Dalsze przebiegi charakterystyk uzyskuje się dzięki pomiarom w zmodyfikowanym aparacie trójosiowym z lokalnym pomiarem odkształceń. Wydzielenie granicy dla odkształcenia $10^{-5}$ spowodowane jest odmiennym zakresem deformacji mierzonych w dynamicznych i statycznych badaniach sztywnościowych (odpowiednio $0 \div 10^{-5}$ dla dynamicznych oraz $10^{-3} \div 10^{-1}$ dla statycznych), co jednocześnie przedkłada się na obserwowany od tego momentu gwałtowny spadek wartości modułów (Georgiannou i in., *Static and dynamic measurements of undrained stiffness on natura over consolidated Clays*, 1991). Można by przyjąć, że strefa bardzo małych odkształceń obowiązuje dla przedziału mniejszego niż $10^{-6}$ pod warunkiem, że uznano by, iż dotyczy ona tylko początkowych (czyli maksymalnych) wartości modułów $G_0$ i $K_0$. W rozprawie jednak Autor do przedziału bardzo małych odkształceń zaliczył również pomiary z kolumn rezonansowych, a ich zakres sięga nieco dalej, bo do ok. $10^{-5}$.

**Jakie jest zdanie Doktoranta na temat granicy oddzielającej strefę małych odkształceń od strefy bardzo małych odkształceń?**

- W rozdziale 1.2 Autor dokonuje przeglądu aktualnego stanu modelowania konstytutywnego małych odkształceń, wskazując jednocześnie czynniki realnie wpływające na zachowanie się gruntów, w tym przede wszystkim gruntów prekonsolidowanych. Z doświadczeń

*Jastrzębskiej* wynika, że bez względu na wartość współczynnika prekonsolidacji *OCR* zachowanie gruntów w przedziale małych odkształceń jest podobne z tym, że w przypadku gruntów prekonsolidowanych (tzn. takich, dla których *OCR*>1 – tego Autor nigdzie nie precyzuje) spadki wartości modułów $G_0$ i $K_0$ są gwałtowniejsze.

**Czy Doktorant właśnie takie zachowanie miał na myśli?**

- str. 4, akapit 2, rozdz. 1.2 - Po raz pierwszy pojawia się informacja o autorskim modelu *FC+MCC*, która sugeruje, że to właśnie ten model jest celem rozprawy, sformułowanym w rozdz. 1.3, zresztą zgodnie z tytułem. Dalsze rozdziały podważają to przypuszczenie, gdyż później jest mowa o dwóch modelach, a mianowicie *FC+MCC* oraz *RU+MCC* (np. str. 47, akapit 2), przy czym rozdział 6 rozprawy poświęcony jest już tylko modelowi *RU+MCC*. Ta niekonsekwencja, jak sądzę, wynika z faktu, że modelem oryginalnym jest model *RU+MCC*, natomiast w początkowych poszukiwaniach Autora pojawił się model naprężeniowy *Fahey'a-Cartera* (*FC+MCC*), który mimo poprawek Doktoranta okazał się mało precyzyjny w strefie małych odkształceń i dalsze prace nad jego rozwojem zostały zaniechane. Tego aspektu nie podkreślono jednak wyraźnie w rozprawie.

**Proszę Doktoranta o komentarz w tej sprawie.**

4.2 Grupa druga zagadnień: rozdziały 2, 3 i 4

Kluczowe pojęcia, doświadczalne podstawy modelu oraz koncepcje istniejących modeli z nieliniowością małych odkształceń są bardzo ważnymi elementami rozprawy, bowiem stanowią podstawę dla wyspecyfikowania równań konstytutywnych modeli autorskich oraz dla przeprowadzenia ich identyfikacji parametrycznej.

- rozdz. 2 - W rozdziale 2 Autor zdefiniował podstawowe pojęcia, definicje i równania mechaniki, które ze względu na specyfikę materiału dostosował do zagadnień mechaniki gruntów. **Wprowadził indeksy *t* i *s* dla oznaczenia wartości stycznych i siecznych, szkoda tylko, że niezbyt konsekwentnie z nich korzysta i nie dostosowuje słownego zapisu do symboli, których dotyczą** (patrz uwagi edycyjne). Ponadto Doktorant przytoczył ideę wartości efektywnych i całkowitych, opartych na prawie *Terzaghiego*. **Nie wspomniał jednak przy tym, że zasadę Terzaghiego można stosować w przypadku gruntów całkowicie nasyconych, co ma kolosalne znaczenie w wyborze odpowiedniej metody doświadczalnej.**
- rozdz. 3 - Rozdział o „Doświadczalnych podstawach modelu" systematyzuje i uszczegóławia informacje podane we Wstępie. Wskazano tutaj 2 główne nurty rozwojowe związane z modelowaniem sprężysto-plastycznym o wzmocnieniu kinematycznym bądź o wzmocnieniu izotropowym, do którego właśnie nawiązuje Doktorant.
- str. 28, rozdz. 3.2 - Wśród wielu czynników wpływających na wartości początkowe (maksymalne) modułu ścinania $G_0$, jest między innymi czas konsolidacji, szczególnie istotny w przypadku gruntów spoistych. Doświadczenia *Jastrzębskiej* wskazują, że poza czasem konsolidacji, który często jest bardzo długim okresem (nawet 3 miesiące i więcej), duże znaczenie ma sposób przykładania obciążenia konsolidacyjnego: etapowy bądź w jednym kroku. W przypadku konsolidacji etapowej, efekty w postaci zmian objętościowych próbki są większe, w tym samym czasie, niż gdyby konsolidację przeprowadzić od razu przy docelowym obciążeniu. Choć zmiany te zostały zauważone, to jednak ich wpływ na parametry uzyskiwane z badań jest na tyle niewielki, że tak naprawdę przeciąganie procesu konsolidacji nie wydaje się być uzasadnione. Dla kaolinu, wybranego przez Autora do badań eksperymentalnych, takim optymalnym okresem jest 7 dni.

**Mając na względzie przytoczone uwagi proszę Doktoranta o informację, jak długo trwała konsolidacja w przypadku badań własnych?**

- rozdz. 4 - Biorąc pod uwagę charakter zjawisk zachodzących w strefie małych odkształceń, w rozdziale 4 z szerokiej gamy modeli Doktorant do szczegółowego opisu trafnie wybrał kilku przedstawicieli modeli sprężysto-plastycznych o wzmocnieniu izotropowym oraz anizotropowym. Najwięcej uwagi Autor poświęcił modelom *Fahey'a-Cartera* oraz *HS-small*, które w sposób bezpośredni wykorzystał w implementacji własnych modeli. Rozdział 4 kończy prezentacja modelu *NAHOS* rozwijanego w Katedrze Geotechniki Politechniki Śląskiej.

**Przy takiej dbałości o szczegóły dotyczących różnych modeli mających jakikolwiek związek z rozprawą, dlaczego Doktorant nie wspomniał o modelu *Modified Cam-Clay*, który przecież znajduje się nawet w nazwie dwóch jego autorskich modeli (*FC+MCC*, *RU+MCC*)?**

4.3 Grupa trzecia zagadnień: rozdział 5

Rozdział ten jest kluczowym rozdziałem rozprawy. W nim to właśnie Autor formułuje komplet równań konstytutywnych oraz podaje specyfikację funkcji materiałowych dla dwóch autorskich modeli.

W zdefiniowanym naprężeniowo modelu *FC_MCC* zastosowano równanie *Fahey'a-Cartera*, które dostosowano do przestrzeni naprężeń efektywnych uwzględniając założenia modelu *Modified Cam-Clay*. Wyprowadzone równania (5.19 – 5.21) odpowiadają warunkom badań trójosiowych i zakładają, że w stanie początkowym punkt leży na osi hydrostatycznej, co nie zawsze jest zgodne z prawdą. Jednocześnie model wykazał się zbyt zróżnicowaną wrażliwością na wprowadzone w ramach poprawki, dwa kolejne parametry: $f$ i $g$. To spowodowało, że dalsze prace nad rozwojem modelu *FC+MCC* zostały zaniechane. Przyjęta tutaj koncepcja naprężeniowa wykazała, że zjawiska zachodzące w strefie małych odkształceń silniej zależą od zmian odkształceniowych niż naprężeniowych. W tym właśnie kierunku poszedł drugi autorski model *RU+MCC*, wiążąc styczny moduł ścinania z intensywnością odkształcenia. Redukcję siecznego modułu ścinania opisano funkcją S-kształtną – *arctgx*. Ostatecznie to podejście wymaga identyfikacji 5 parametrów: $t_1$, $t_2$, $G^*$, n, $\nu$.

W ramach identyfikacji parametrycznej modeli *FC+MCC* oraz *RU+MCC* Autor wykorzystał koncepcję kalibrowania lokalnego. Optymalizacja parametrów polegała na porównywaniu doświadczalnych ścieżek odpowiedzi ze ścieżkami teoretycznymi, a następnie na modyfikacji wyjściowych parametrów modeli poprzez minimalizację funkcji celu metodą bezpośrednich poszukiwań, stosując technikę systematycznego przeszukiwania z dogęszczaniem siatki.

W dalszej kolejności Doktorant przeprowadził rzetelną, lokalną i globalną, analizę wrażliwości modelu *RU+MCC* na zmiany jego parametrów, do których włączył również nachylenie linii stanu krytycznego *Mc* oraz nachylenie linii normalnej konsolidacji $\lambda$.

Rozdział 5 kończy weryfikacja modelu *RU+MCC* na podstawie badań elementowych w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych.

- str. 62, rozdz. 5.3.2 – W równaniu (5.25) moduł ściśliwości *K* wyrażony został m.in. przez współczynnik *Poissona* o stałej wartości. Na podstawie precyzyjnych badań laboratoryjnych *Jastrzębska* i *Lipiński z zespołem* (2002, 2006) wykazali, że współczynnik *Poissona* zmienia swoje wartości wraz ze wzrostem odkształceń, przy czym największe zmiany (a ściślej: spadek wartości) obserwuje się w strefie małych odkształceń.

**Czy doktorant zastanawiał się nad znaczeniem tego faktu?**

- str. 71, rozdz. 5.4.2.2:

  a) Materiałem badawczym był kaolin, którego skład granulometryczny według starej normy klasyfikacyjnej odpowiada iłowi pylastemu. **Jakiemu natomiast gruntowi odpowiada kaolin według aktualnie obowiązującego Eurokodu 7?**

  b) **Jakie ograniczenia na uogólnienie wyników badań pociąga za sobą wybór materiału badawczego, jakim jest kaolin?**

  c) Doktorant zaznaczył, że wpływ historii został wyeliminowany poprzez przerobienie gruntu. **Na czym polegało to przerobienie gruntu i jakie były tego konsekwencje?**

- str. 72 i 75, rozdz. 5.4.2.2 – Na podstawie sformułowania „... po izotropowej konsolidacji próbek do określonego ciśnienia w komorze ..." można sądzić, że Autor badał tylko próbki normalnie skonsolidowane, co jest nieprawdą.

**Wobec tego w jaki sposób Doktorant uzyskał próbki o różnym stopniu prekonsolidacji?**

- str. 75, ostatni akapit – **Proszę o wyjaśnienie sformułowania**: „*Badania kończono przy osiągnięciu przez odkształcenie pionowe granicy 10%, chyba że wcześniej pojawiło się niebezpieczeństwo uszkodzenia czujników lokalnych. Wtenczas badanie kończono wcześniej, co nie miało znaczącego wpływu na uzyskane wyniki, bowiem następowało to przy znacznie większych, niż interesujące autora 'małe odkształcenia'* ". Zastosowany przez Doktoranta system wewnętrznego pomiaru odkształceń umożliwia przestawienie lokalnych czujników w dowolnym momencie badania, na wymaganą odległość. Takie przestawienie czujników można wykonywać wielokrotnie. W tym świetle niezrozumiałe wydaje się wytłumaczenie podane przez Doktoranta.

- str. 77, rozdz. 5.4.2.4 – Doktorant wspomina o wynikach pomiaru przy pomocy elementów typu *bender*, jednakże nie wspomina o tym, aby stanowisko badawcze było w nie wyposażone.

**W jaki więc sposób pomiary te zostały zrealizowane?**

- str. 84 i 85, rysunki 5.21 i 5.23 – Interpretacja wyników badań w układzie „*stosunek siecznych modułów ściśliwości i ścinania – odkształcenie objętościowe (postaciowe)*" nie do końca jest zrozumiała.

**Proszę o wyjaśnienie, jaki sens miała taka interpretacja zwłaszcza w zestawieniu z układem „stosunek siecznych modułów ściśliwości i ścinania – odkształcenie postaciowe".**

- str. 94, rozdz. 5.6 – **Dlaczego weryfikacja dotyczyła tylko modelu *RU+MCC* i bazowała na tego samego typu badaniach doświadczalnych, co w przypadku kalibracji (choć dopuszcza się takie postępowanie)?**

4.4 Grupa czwarta zagadnień: rozdziały 6 i 7

W rozdziale 6 Doktorant wykazał aplikacyjność zaproponowanych przez siebie modeli autorskich. Na podstawie rzeczywistych pomiarów *in situ* przeprowadził analizę dwóch zagadnień praktycznych: osiadań stopy fundamentowej oraz przemieszczeń poziomych wykopu, zabezpieczonego ścianką szczelinową. Do rozwiązania zagadnień początkowo-brzegowych opartych na metodzie dyskretyzacji (MES) został wykorzystany komercyjny program *Z_SOIL*, wersja 2009. Autor udowodnił, że model *RU+MCC* w zakresie

dopuszczalnych i mierzonych w praktyce inżynierskiej małych odkształceń, wykazuje dobrą zgodność ilościową i jakościową

- **Czy Doktorant planuje w przyszłości wykonanie własnego, kompleksowego zadania, łączącego badania połowe z weryfikacją laboratoryjną oraz analizą numeryczną? Jeśli tak, to jakie konkretne zadanie ma na myśli?**

W zakończeniu rozprawy (rozdz. 7) Doktorant bardzo zwięźle podsumował wyniki pracy, które jednocześnie potwierdzają zasadność przyjętego celu naukowego i koncepcji badawczej. Podsumowanie podkreśla także osiągnięcia badawcze i oryginalne elementy rozprawy, za które Autor uznaje:

- Uwzględnienie w modelowaniu numerycznym i analizie komputerowej osobliwych zjawisk zachodzących w zakresie małych odkształceń.
- Kalibrację, weryfikację oraz wdrożenie do analiz zagadnień brzegowych w programie MES o kryptonimie *Z_SOIL* dwóch modeli autorskich: *FC+MCC* i *RU+MCC*, będących przedstawicielami grupy modeli sprężysto-plastycznych o izotropowym wzmocnieniu.

Ocenę merytoryczną rozprawy chciałabym zakończyć pytaniem, które wiąże się z rozwijanym w Katedrze Geotechniki Politechniki Śląskiej modelem NAHOS o wzmocnieniu kinematycznym.

**Jakie trudności widzi Autor w zaimplementowaniu tego modelu do powszechnej inżynierskiej praktyki obliczeniowej?**

**5. Uwagi redakcyjne, drobne uchybienia:**

- różne nazewnictwo „*OCR*" – raz to jest *stopień* lub *współczynnik*, a czasami *wskaźnik* prekonsolidacji;
- str.1, 7, 10, 14, 44 – brak w tekście odniesień do rysunków, odpowiednio: 1.1, 2.1, 2.3, 2.5, 4.2;
- rozdział 2 - brak w tekście odniesień do wszystkich podanych równań: 2.1 ÷ 2.36
- str. 12, ostatni akapit – autor wprowadził symbole „*E*" i „*ν*" i nie podał znaczenia pojęć;
- str. 15, p. 2.8.1, pierwszy akapit - autor wprowadził symbole „*w*" i „*e*" i nie podał znaczenia pojęć;
- str. 22 – brak w spisie literatury pozycji *Hardina i Blacka* z roku 1968;
- str. 25, 26, 36 – wskaźnik plastyczności oznacza się symbolem „$I_p$", natomiast w pracy autor stosował „PI";
- str. 28, ostatni akapit, drugie zdanie - „Każde" zamiast „Każdy";
- str. 56, p. 5.2.3, pierwszy akapit – jest: „(...) plastycznym odkształceniem objętościowym $\varepsilon_v$ (...)", a powinno być: „(...) plastycznym odkształceniem objętościowym $\varepsilon^p_v$ (...)";

- str. 56, p. 5.2.4, drugi akapit - jest: „Część plastyczna (...) poprzez opisany w wyrażeniem (...)", a powinno być: Część plastyczna (...) poprzez opisany wyrażeniem (...)";
- str. 56 i 57 – niejasność związana z „podrozdziałem 0". O który podrozdział chodzi?;
- str. 58, drugi akapit – autor pisze o module ściśliwości „$K$", a podaje relację na „$K_t$";
- str. 76, rys. 5.13b – brak informacji czego dotyczą krzywe: „różowa" i „niebieska";
- str. 76, ostatni akapit – jest: „ Z punktu widzenia (...) zależnością redukcja modułu (...). Szczegółowe wyniki badań w tym zakresie przedstawione i wykorzystane w kolejnym podrozdziale.", a powinno być: : „ Z punktu widzenia (...) zależnością *jest* redukcja modułu (...). Szczegółowe wyniki badań w tym zakresie *będą* przedstawione i wykorzystane w kolejnym podrozdziale.";
- str. 78, drugi akapit – tekst niejasny: „Zakres małych odkształceń jest Wynikiem tego jest rozrzut charakterystyk, pamiętać jednak należy, że obszar małych odkształceń jest (...)";
- str. 86, pierwszy akapit – „relacja" zamiast „reakcja";
- str. 92, pierwszy akapit - „zmianę" zamiast „zmiana";
- str. 93, pierwszy akapit - „rośnie" zamiast „rożnie";
- str. 113, pierwszy akapit - „(...) wrażliwości na ścieżkę obciążenia *do* sprężysto-plastyczności (...)" zamiast „„(...) wrażliwości na ścieżkę obciążenia *od* sprężysto-plastyczności (...)";
- dla czytelniejszego odbioru autorzy publikacji powinni być napisani kursywą;
- brak spisu stosowanych symboli zwłaszcza w sytuacji, gdy pewne oznaczenia się powtarzają dla różnych wielkości;
- brak spisu zamieszczonych rysunków i tablic.

## 6. Wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę przedstawione w pracy rezultaty, a także aplikacyjny zakres poruszanych w niej problemów, oceniam recenzowaną rozprawę wysoko. Rozprawa ta stanowi oryginalną propozycję rozwiązania problemu naukowego oraz wykazuje dostateczny poziom wiedzy teoretycznej kandydata w dziedzinie nauk technicznych, w dyscyplinie budownictwo. Stwierdzone w rozprawie uchybienia i kwestie dyskusyjne są moim osobistym poglądem na rozważane problemy badawcze i nie obniżają ogólnej oceny rozprawy.

W związku z tym 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.

dr hab. inż. Jastrzębska Małgorzata

M. Jastrzębska

Gliwice, 27 sierpnia 2012 r.