



Prof. zw. dr hab. inż. Eugeniusz Dembicki

Gdańsk, 2012.08.29.

**Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Rafała Uliniarza  
pt. „Model stanu krytycznego gruntów prekonsolidowanych i jego  
zastosowanie w geotechnice”**



## 1. Wstęp

Recenzję pracy doktorskiej mgr inż. Rafała Uliniarza pt. „Model stanu krytycznego gruntów prekonsolidowanych i jego zastosowanie w geotechnice” opracowałem na zlecenie Dziekana Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej z dnia 09.07.2012 Ldz.RB-0/4020/11/2012.

## 2. Treść pracy

Praca składa się z siedmiu rozdziałów, spisu treści, 85 rysunków, 12 tablic i wykazu literatury zawartego na 10 stronach. Objętość pracy wynosi IV r 126 stron.

W wstępie pracy Autor omówił zjawiska występujące w gruncie w przedziale małych odkształceń, w bardzo skrótowym ujęciu modelowanie konstytutywne małych odkształceń w aktualnym stanie wiedzy oraz podał cel pracy jakim jest autorski model RU + MCC (Rafał Uliniarz + Modified Cam Clay) wraz z odpowiednimi propozycjami dotyczącymi określenia zależności modułu ścinania od odkształcenia objętościowego, związku modułu ścinania z naprężeniem średnim  $p'$  i współczynnikiem prekonsolidacji OCR.

Postawiony cel pracy będzie zrealizowany na podstawie krytycznej analizy istniejących rozwiązań, własnej analizy przeprowadzonych autorskich badań doświadczalnych i teoretycznych oraz symulacji numerycznych.

Rozdział drugi zawiera podstawowe pojęcie i definicje wykorzystane w opracowaniu rozprawy. Obejmuje w zapisie tensorowym: stan naprężenia, stan odkształcenia,

wielkości efektywne, podstawowe związki teorii sprężystości i plastyczności wraz z rodzajami powierzchni występującymi w mechanice gruntów (powierzchnia graniczna stanu – *SBS*, powierzchnia ograniczająca – *BS* i powierzchniach plastyczności – *YS*). W podsumowaniu Autor uwypuklił elementy z przedstawionego opisu do opracowań własnego modelu.

W rozdziale trzecim Autor omówił doświadczalne podstawy modelu. Przedstawił zjawisko silnej nieliniowości w zakresie małych odkształceń wraz z zakresem ich badań. Z analizy wyników badań laboratoryjnych wynika, że do określenia funkcji materiałowych proponowanego autorskiego modelu obliczeniowego należy uwzględnić: naprężenie średnie  $p'$ , stopień prekonsolidacji *OCR* i wskaźnik plastyczności *PI*.

W rozdziale czwartym przedstawiono koncepcje istniejących modeli z nieliniowością małych odkształceń. Podano w nim istotę modelowania, omówiono modele sprężysto – plastyczne o wzmocnieniu izotropowym i modele sprężysto – plastyczne ze wzmocnieniem kinematycznym.

Rozdział piąty stanowi część oryginalną rozprawy i obejmuje sformułowania autorskiego modelu konstytutywnego stanowiącego uogólnienie i znacząco udoskonalonego modelu obliczeniowego Imperial College. Proponowany model autorski o symbolu: *RU + MCC* – Rafał Uliniarz + Modified Cam Clay i ulepszenie modelu *MCC* w obszarze prekonsolidacji (wewnątrz powierzchni ograniczającej) poprzez wykorzystanie sprężysto – plastycznego modelu Fahrey'a – Cartera w wzmocnieniu izotropowym. W rozdziale sformułowano założenia wyjściowe, podano równania wyjściowe (powierzchnie plastyczności, prawa addytywności, prawo izotropowego wzmocnienia plastycznego, równania przyrostowe modeli, specyfikację funkcji materiałowych) i ostateczne sformułowanie modelu *RU + MCC*.

Identyfikacja parametrów proponowanego modelu obejmuje przedstawienie:

- podstaw identyfikacji,
- doświadczalną autorską estymację parametrów (opis badanego materiału, opis przebiegu badań, szacowanie parametrów „małych odkształceń”, szacowanie pozostałych parametrów do proponowanego i ulepszonego modelu),
- przeprowadzenie analizy wrażliwości proponowanego modelu dla zbioru wszystkich siedmiu jego parametrów,
- weryfikację proponowanego modelu w jednorodnym stanie naprężenia w aparacie trójosiowego ściskania i pomiarów z monitoringu geodezyjnego rzeczywistych konstrukcji geotechnicznych.

Rozdział szósty obejmuje analizę wyników zagadnień brzegowych z wykorzystaniem modelu autorskiego RU + MCC. W rozdziale przedstawiono:

- implementację modelu do programu obliczeniowego *Z\_Soil*,
- analizę zagadnienia posadowienia stopy fundamentowej badanej w programie międzynarodowym,
- analizę odkształceń ściany szczelnej zabezpieczającej głęboki wykop.

Uzyskano zgodność wyników badań w skali naturalnej obydwu przypadków konstrukcji geotechnicznych z wynikami symulacji numerycznych proponowanym modelem, w pierwszej fazie osiadań.

Rozdział siódmy stanowi krótkie zakończenie rozprawy w postaci podsumowania uzyskanych wyników.

### 3. Ocena pracy

Recenzowana praca ma charakter badań podstawowych dotyczących określenia prawa konstytutywnego gruntów prekonsolidowanych. Opracowana własna oryginalna koncepcja prawa konstytutywnego oparta na szerokiej analizie dotychczasowych istniejących w literaturze naukowej praw konstytutywnych, własnych badaniach laboratoryjnych obejmujących zakres małych odkształceń gruntu prekonsolidowanego i złożonych symulacji numerycznych z wykorzystaniem profesjonalnych programów obliczeniowych (*Z\_Soil*).

Podjęcie się tej trudnej tematyki badawczej wymaga z jednej strony dobrze opanowanego warsztatu obliczeń numerycznych i znajomości oraz biegłości operowania odpowiednimi programami obliczeniowymi, głębokiej wiedzy dotyczącej praw konstytutywnych materiałów a gruntów w szczególności, mechaniki ośrodków ciągłych i rozdrobnionych oraz znajomości prowadzenia naukowych badań doświadczalnych z mechaniki gruntów. Autor rozprawy autorskiej skorzystał z bardzo dobrego wyposażenia laboratorium naukowego Katedry Geotechniki Politechniki Śląskiej, ogromnego doświadczenia i kompetencji i wiedzy swojego promotora oraz wykazał się wysokimi umiejętnościami prowadzenia złożonych badań teoretycznych i doświadczalnych z teoretycznej mechaniki gruntów nakierowanych na ich praktyczne zastosowania w geoinżynierii.

Według mojej oceny Autor prawidłowo sformułował cel i zakres pracy. Praca zredagowana jest bardzo zwięźle, a jednocześnie jasno i precyzyjnie. Wszystkie zamieszczone w niej elementy zostały w właściwy sposób wykorzystane do uzyskania

głównego celu pracy jakim jest przedstawienie własnego prawa konstytutywnego gruntów prekonsolidowanych.

Do oryginalnych własnych osiągnięć Autora rozprawy doktorskiej zaliczam:

1. Wnikliwe, precyzyjne i syntetyczne przedstawienie zagadnienia pracy gruntu w różnych stanach naprężenia i odkształcenia ze szczególnym uwzględnieniem nieliniowości w zakresie bardzo małych i małych odkształceń zawartych w przedziale od  $10^{-3}$  do  $10^{-6}$ . Zwrócenie uwagi na elementy z przedstawionego opisu służące do opracowania własnego modelu lub ulepszenia istniejącego.
2. Przeprowadzenie wnikliwej analizy obcych badań laboratoryjnych i wyciągnięcia końcowych wniosków służących do określenia funkcji materiałowych proponowanego przez Autora modelu obliczeniowego. Elementami tymi są: naprężenie średnie  $p'$ , współczynnik prekonsolidacji  $OCR$  oraz wskaźnik plastyczności  $Pl$ .
3. Krytyczną analizę istniejących modeli z nieliniowością małych odkształceń obejmującą modele sprężysto – plastyczne z wzmocnieniem izotropowym i kinematycznym.
4. Autorskie koncepcje modeli obliczeniowych:
  - 4.1. Ulepszenie modelu Fahey'a – Cartera (FC + MCC) i
  - 4.2. Model Rafała Uliniarza + Modified Cam Clay
  - 4.3. Nową własną propozycję i ulepszony opis reakcji na zmiany naprężenia mieszczący się wewnątrz powierzchni plastyczności gruntu prekonsolidowanego.
  - 4.4. Funkcje materiałowe zawierające zależności sztywności gruntu od naprężenia średniego  
Przedstawione modele (FC + MCC i RU + MCC) są adekwatne w obszarze hiposprężystym, a rola plastyczności jest uzupełnieniem hipoplastyczności w obszarze małych odkształceń zdefiniowanych w rozprawie doktorskiej.
5. Wprowadzenie poprawki do modelu FC dotyczącej położenia stanu początkowego naprężenia, co ma wpływ na określenie dewiatoru naprężenia.
6. W modelu autorskim RU + MCC funkcje materiałowe zdefiniowano w odkształceniach, co uniezależnia zmiany sztywności od poziomu naprężenia. Rodzina funkcji materiałowych ma kształt sigmoidalny.

7. Wykonanie laboratoryjnych badań trójosiowego ściskania kaolinu z Tułowic określając wszystkie parametry proponowanego modelu w zakresie małych odkształceń.

Parametry związane z sprężysto – plastycznym płynięciem materiału opisanego modelem MCC Autor ustalił na podstawie laboratoryjnych badań własnych i badań dr hab. inż. M. Jastrzębskiej przeprowadzono w tej samej aparaturze i na tym samym materiale.

8. Przeprowadzenie analizy wrażliwości własnego modelu określając jego współczynnik wrażliwości i jego laboratoryjną zgodność, uzyskując zadawalający wynik.

9. Przeprowadzenie analizy dwóch zagadnień rzeczywistych w skali naturalnej:

- osiadania stopy fundamentowej i
- określenia przemieszczeń poziomych głębokiego wykopu zabezpieczonego ścianą szczelinową za pomocą proponowanego modelu RU + MCC, uzyskując dobrą zgodność w pierwszej fazie odkształceń.

Proponowany autorski model obliczeniowy spełnił wszystkie kryteria teoretyczne i praktyczne kwalifikujące go do praktycznego i efektywnego stosowania.

#### 4. Uwagi krytyczne

Merytorycznych uwag krytycznych do przedstawionej pracy doktorskiej nie zgłaszam, ponieważ Autor pracy bardzo wnikliwie przeanalizował dotychczasowe rozwiązania i propozycje modeli obliczeniowych gruntów i wyciągnął z nich prawidłowe wnioski. Propozycja Autora dotyczy modelu obliczeniowego gruntów prekonsolidowanych przy małych odkształceniach.

Mam jednak kilka uwag formalnych, nie zmieniających mojej wysokiej oceny pracy odnoszących do całej pracy.

Rozdział 1.

- Punkt 1.3. Naukowy cel pracy

- Nie należy mieszać i porównywać stanów naprężenia z warunkami brzegowymi
- Cel pracy doktorskiej jest sformułowany nieco „rozwlekle” i obejmuje kilka zdań. Powinien być określony syntetycznie.

- Punkt 1.4. Układ pracy

- Lepiej było zatytułować „Treść pracy”, ponieważ w tym punkcie podano treść pracy w poszczególnych rozdziałach. Układ pracy nie jest jego treścią.
- Czy aspekty techniczne, to są podstawowe terminy, definicje i równanie?
- Czy badania doświadczalne stanowią część teoretyczną.
- Jest zdanie: Rozdział czwarty podejmuje ..... Rozdział niczego nie podejmuje, bo to nie człowiek.

#### Rozdział 2.

- Punkt 2.1. Autor rozprawy niczego nie ma ułatwiać Czytelnikowi. Czytelnik, który chce czytać rozprawę doktorską z mechaniki gruntów, powinien znać opisy stosowane tej mechanice. Zdanie sformułowane przez Autora jest niefortunne.
- Punkt 2.5. Powinno być: Wielkości efektywne.

#### Rozdział 3.

- Punkt 3.2. Jest: Efektywne naprężenie pionowe. Powinno być: Składowa pionowa naprężenia efektywnego. W całej pracy należy stosować tensorowy zapis stanu naprężenia i odkształcenia.
- Należy poprawić błąd w wzorze (3.9). Powinno być:

$$f(e) = \frac{(217 + e)}{(1 + e)}$$

#### Rozdział 4.

- Punkt 4.2.1. Należałoby stosować obowiązującą oznaczenia w Mechanice Gruntów: kąta tarcia wewnętrznego gruntu  $\phi$  (a nie  $\varphi$ )

#### Rozdział 5.

- Str. 56. Jest podrozdział 0. Powinno być w podrozdziale 2.6.
- Brak wyjaśnienia pochodzenia wzoru (5.23).
- Czy nie lepiej byłoby przejście z modułu siecznego do stycznego drogą analityczną, niż numeryczną zawierającą w sobie cechę „dopasowanie” ?
- Punkt 5.4.2.2. Co to jest mechaniczna historia?. Powinno być: historia materiału próbki gruntu.
- str. 93. Jest „różnie” powinno być „rośnie”. Jest „wiał” powinno być „widać”.

#### Rozdział 7.

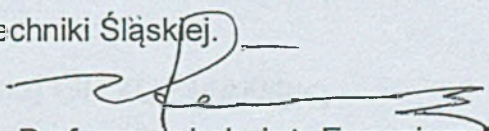
- Co to jest geotechnika obliczeniowa?
- Czy propozycja Autora stanowi rzeczywiście miłowy krok w rozwoju obliczeń w geotechnice?

## 5. Podsumowane

Podsumowując moja opinię o rozprawie doktorskiej mgr. inż. Rafała Uliniarza pt. "Model stanu krytycznego gruntów prekonsolidowanych i jego zastosowanie w geotechnice" stwierdzam, że:

1. Autor przedstawił własne oryginalne opracowanie dotyczące nowego modelu stanu gruntu prekonsolidowanego z uwzględnieniem małych nieliniowych odkształceń sprężystych.
2. Przeprowadził skutecznie trudne i złożone badania doświadczalne z wykorzystaniem nowoczesnej aparatury i technik badawczych. Badania doświadczalne o charakterze podstawowym cechuje jednocześnie prawidłowa analiza otrzymanych wyników badawczych.
3. Przedstawił propozycję analityczną nowego modelu stanu krytycznego gruntu prekonsolidowanego uwzględniający zakres małych nieliniowych odkształceń sprężystych i właściwości odkształceń plastycznych gruntów prekonsolidowanych. Model nosi symbole RU + MCC.
4. Uzupełnił i rozwinął istniejący model sprężysto – plastyczny o wzmocnieniu izotropowym Fahrey'a – Cartera (FC) poprzez uwzględnienie właściwości odkształceń plastycznych jako propozycję modelu FC + MCC.
5. Przedstawił całkowitą i pełną weryfikację własnej propozycji modelu za pomocą badań laboratoryjnych i wyników badań w skali naturalnej oraz analiz numerycznych.
6. Wykazał dużą widzę i umiejętność oraz biegłość prowadzenia złożonych badań doświadczalnych, analiz i rozwiązań teoretycznych oraz numerycznych ukierunkowanych na wykorzystanie ich w praktyce inżynierskiej.
7. Napisał swoją pracę doktorską wartościowo i metodycznie.
8. Udowodnił swoimi wywodami, badaniami doświadczalnymi i rozwiązaniami teoretycznymi oraz aplikacyjnymi postawioną tezę rozprawy doktorskiej i osiągnął zamierzony cel pracy.

Wnoszę o przyjęcie bez zastrzeżeń rozprawy doktorskiej mgr. inż. Rafała Uliniarza przez Radę Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej.

  
Prof. zw. dr hab. inż. Eugeniusz Dembicki