POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA Gliwicach

Kraków 14.02.2015

Dr hab. inż. Jacek Jakubowski
Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki
Wydział Górnictwa i Geoinżynierii
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
Pani mgr inż. Patrycji Jarczyk
pt. "Własności wytrzymałościowe i odkształceniowe nieciągłych ośrodków skalnych w świetle wyników badań laboratoryjnych i symulacji komputerowych"

1. Wprowadzenie

Niniejsza recenzja rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Patrycji Jarczyk została opracowana na podstawie Uchwały Rady Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej z dnia 28.10.2014 i pisma Dziekana Wydziału z dnia 3.11.2014. Uwzględniono przy tym kryteria i wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez Ustawę z dnia 14.03.2003 o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki, z późniejszymi zmianami.

2. Tematyka rozprawy

Nieciągłości są nieodłącznym składnikiem masywu skalnego i mają olbrzymi wpływ na jego zachowanie się. Rozwój metod badania właściwości masywu skalnego jako ośrodka nieciągłego jest jednym z priorytetów współczesnej mechaniki skał, ale ze względu na skalę trudności, stan wiedzy w tym zakresie jest ciągle niezadawalający.

Z wielu powodów podstawowymi narzędziami symulacji mechanicznego zachowania się silnie spękanego masywu skalnego są metody ośrodka ciągłego z ekwiwalentnymi parametrami ośrodka. Najczęściej parametry te szacuje się na podstawie empirycznych wskaźników jakości masywu skalnego. Wykorzystanie badań laboratoryjnych oraz numerycznych modeli nieciągłego ośrodka skalnego z odwzorowaniem nieciągłości wprost dla lepszego poznania zachowania się masywu skalnego i lepszego doboru parametrów ekwiwalentnych jest bardzo ciekawą ścieżką badawczą, którą dostrzegła Doktorantka. Jest przy tym ścieżką bardzo trudną. Laboratoryjne i numeryczne badania nieciągłego ośrodka skalnego wymagają nie tylko specjalistycznego sprzętu i oprogramowania ale przede wszystkim doświadczenia i szczególnej wiedzy. Katedra Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Zarządzania Ochroną Powierzchni Politechniki Śląskiej jest jednym z nielicznych ośrodków prowadzących na światowym poziomie zarówno zaawansowane laboratoryjne badania skał jak i symulacje komputerowe ośrodka nieciągłego. Zrozumiałe i uzasadnione jest zatem podjęcie przez Doktorantkę tych trudnych badań.

Tematem rozprawy są "Własności wytrzymałościowe i odkształceniowe nieciągłych ośrodków skalnych w świetle wyników badań laboratoryjnych i symulacji komputerowych". Temat jest dobrze sformułowany, dobrze też oddaje zakres przeprowadzonych badań. Jest ciekawy i ważny dla górnictwa i geologii inżynierskiej, geomechaniki, geotechniki i budownictwa, zarówno od strony poznawczej jak i praktycznej.

3. Treść i układ rozprawy

Praca składa sie z ośmiu rozdziałów (166 stron), spisu literatury (93 pozycje) i załącznika (76 stron). Na wstępie Doktorantka w przekonujący sposób uzasadniła podjęcie tematu, przedstawiła cele naukowe i praktyczne pracy oraz zakres badań wykonanych i przedstawionych w rozprawie doktorskiej. Przedstawiła też w skrócie warunek wytrzymałościowy Hoeka i Browna, którego bezpośrednio dotyczy znaczna część pracy.

W rozdziale drugim, w oparciu o własne studia literaturowe Doktorantka przedstawiła aktualny stan wiedzy i zrelacjonowała najważniejsze jej zdaniem wyniki laboratoryjnych i numerycznych badań zachowania się nieciągłego masywu skalnego. Między innymi omówiła badania laboratoryjne na próbkach z nieciągłościami, badania fizycznych modeli masywu skalnego o różnej strukturze, symulacje komputerowe i analityczne odwzorowujące badania laboratoryjne i modelowe, w szczególności symulacje metodą elementów odrębnych. Przegląd stanu wiedzy przedstawiony na 58 stronach jest autorskim przeglądem Doktorantki odnoszącym się tylko do zagadnień związanych z przedmiotem i zakresem pracy. Przegląd zawiera zarówno mało znane ale wartościowe publikacje sprzed wielu lat, jak i publikacje nowe, głównie zagraniczne, ale też rzadkie w tym zakresie, publikacje polskie. Bardzo dobrze oceniam dobór omawianych badań. Świadczą one o posiadanej przez Doktorantkę świadomości aktualnego stanu wiedzy w zakresie pracy, zdolności dostrzegania znaczących wyników i biegłości w przedmiotowej tematyce. Uzupełnienie przeglądu o przekrojowe podsumowania, oceny i porównania różnych metod badawczych i wyników badań nadałoby temu rozdziałowi cechy monografii.

Rozdział trzeci zawiera opis serii kilkudziesięciu laboratoryjnych badań próbek skalnych z pojedynczymi nieciągłościami w warunkach konwencjonalnego trójosiowego ściskania. Badano próbki rozcięte jedną płaszczyzną nieciągłości pod kątem 30, 45 i 60 stopni do osi, na dwóch poziomach szorstkości powierzchni nieciągłości (nieciągłości gładkie i szorstkie) pod ciśnieniem okólnym od 5 do 30 MPa. W wyniku badań, dla każdej próby oznaczono wytrzymałość oraz miary sztywności próbki przy badanych ciśnieniach okólnych. Stwierdzono jakościowe różnice postaci charakterystyk naprężeniowo-przemieszczeniowych dla małych i dużych kątów nachylenia nieciągłości. Podobnie zachowanie się próbek z gładkimi i szorstkimi powierzchniami nieciągłości było jakościowo różne. Badania pozwoliły Doktorantce wyciągnąć wnioski dotyczące przyrostu wytrzymałości i sztywności badanych próbek ze wzrostem ciśnienia okólnego.

Badania laboratoryjne przeprowadzono poprawnie. Warto podkreślić pracochłonność i wysokie kompetencje wymagane do ich zaplanowania i skutecznego przeprowadzenia. Uwagę zwraca szczegółowy opis warunków i procedur przeprowadzanych badań i rzetelna

dokumentacja uzyskanych wyników. Sam rozdział 3 i badania w nim przedstawione stanowią prawdopodobnie wystarczający materiał wyjściowy dla wartościowej rozprawy doktorskiej.

W rozdziale czwartym Doktorantka wykazała, że powierzchnie nieciągłości otrzymane przez przecięcie tarczą diamentową i te poddane piaskowaniu różnią się istotnie szorstkością. Wykorzystuje do tego profilowanie laserowe i ilościową, obiektywną metodę opisu powierzchni stosowaną miedzy innymi w inżynierii mechanicznej i materiałowej.

Rozdział piąty zawiera opis metody elementów odrębnych dla bloków i programu UDEC. Opis ten jest krótki lecz wystarczający biorąc pod uwagę czysto narzędziowe wykorzystanie metody i programu w przedmiotowej pracy doktorskiej.

W rozdziale szóstym Doktorantka przedstawia zbudowane modele komputerowe. Przedstawia warunki początkowe i brzegowe, modele konstytutywne i wartości stałych materiałowych charakteryzujących zachowanie się ciągłych bloków oraz kontaktów pomiędzy blokami. Dla wszystkich badanych modeli numerycznych zastosowano ten sam zestaw modeli konstytutywnych i wartości stałych materiałowych. W omawianych dalej symulacjach stosowano różne ciśnienia okólne. Stosowano też różne geometrie sieci nieciągłości dla odwzorowania różnej struktury masywu skalnego, od ciągłego, naruszonego pojedynczymi nieciągłościami, warstwowego, warstwowo-blokowego, blokowego do silnie spękanego. W rozdziale tym opisano geometrię głównej serii modeli (modele 0, 1c, 2, 3, 4a, 4b, 5, 6, 7 i 8), geometrię nieciągłości i pochodne charakterystyki geometryczne wszystkich modeli. Opis dodatkowych modeli symulacyjnych (45-1 do 45-5) przedstawiono w kolejnym rozdziale.

Rozdział siódmy omawia pozostałe elementy modeli komputerowych, przebieg symulacji numerycznych i sposób wyznaczania obserwowanych parametrów. Rozdział ten zawiera jednak przede wszystkim rezultaty samych symulacji. Dla każdego z 10 modeli głównej serii przeprowadzono symulację dla siedmiu wartości ciśnienia okólnego otrzymując charakterystyki przemieszczenie - naprężenie różnicowe. Na ich podstawie wyznaczono graniczne wytrzymałości i wybrane miary sztywności. Dla każdego modelu sporządzono następnie zależności granicznego największego naprężenia głównego od ciśnienia okólnego i estymowano odpowiednie 3 parametry uogólnionego kryterium Hoeka i Browna. Następnie przedstawiono zależność tych parametrów od niektórych geometrycznych cech modeli (liczba i wielkość bloków w modelu, liczba styków w modelu odniesione do powierzchni modelu). Zależności te aproksymowano wybranymi funkcjami o dwóch do czterech parametrach.

Podobnie, lecz osobno potraktowano wyniki pomocniczej serii symulacji dla pięciu modeli o tym samym kącie nachylenia ale różnej liczbie nieciągłości (modele 45-1 do 45-5). Wyników serii podstawowej nie łączono z wynikami serii pomocniczej.

Dla podstawowej serii symulacji badano również wybrane miary sztywności modeli. Przedstawiono zależności sztywności od ciśnienia okólnego. Aproksymowano te zależności wybranymi funkcjami o dwóch lub trzech parametrach. Zebrano też dane o związku miar sztywności z geometrycznymi cechami modeli, które również aproksymowano funkcjami ciągłymi.

Rozdział 8 zawiera podsumowania i wnioski końcowe.

Spis literatury obejmuje 93 pozycje, jest dostosowany do zakresu pracy, wystarczająco kompletny i obszerny.

W załączniku Doktorantka umieściła kilkadziesiąt kart informacyjnych charakteryzujących podstawowe wyniki głównej serii symulacyjnej, uzupełniając i uszczegóławiając tym samym wyniki pokazane w zasadniczej części pracy. Umieszczenie ich w pracy okazuje się przydatne i zgodne z widoczną w całej pracy troską o pełne dokumentowanie wyników.

4. Uwagi do rozprawy

1. Realizacja jednocześnie serii badań laboratoryjnych i serii symulacji numerycznych dała szansę ich skoordynowania i połączenia dla uzyskania rezultatów, których na podstawie samych badań laboratoryjnych lub samych symulacji numerycznych uzyskać nie można. Jednak w pracy nie udokumentowano związków przeprowadzonych symulacji numerycznych z badaniami laboratoryjnymi ani na etapie budowy modeli ani analizy wyników.

2. Doktorantka wspomina, że parametry materiałowe modeli numerycznych odpowiadają parametrom badanego laboratoryjnie piaskowca. W pracy nie ma jednak wzmianki o ich oznaczaniu. Przyjmując modele i wartości parametrów materiałowych Doktorantka nie powołuje się na własne lub inne badania laboratoryjne ani publikacje.

3. W pracy pokazano zachowanie się kilkunastu szczególnych modeli komputerowych, przebadanych dla różnych ciśnień okólnych. Przeprowadzony program badań numerycznych nie daje podstaw do wnioskowania o ogólnej zależności wytrzymałości i sztywności modeli od liczby bloków i kontaktów oraz od wielkości bloków. Sposób konstrukcji zależności funkcyjnych pokazanych na rysunkach 7.14-7.16, 7.19-7.21, 7.24-7.45 i w odpowiednich tabelach ma moim zdaniem wady a zależności te nie mają zdolności generalizacji. Otrzymane wyniki nie dają podstaw do kwestionowania zakresów wartości parametrów kryterium Hoeka i Browna ani do wyciągania wniosków o zakresie stosowalności tego kryterium, skądinąd wniosków prawdziwych.

4. Opis warunków brzegowych i początkowych symulacji numerycznej nie odpowiada założonym warunkom symulacji ($\sigma_2=\sigma_3=p=const$). Wyniki wskazują, że próby przebiegały w założonych warunkach, jest to zatem nieścisłość opisu warunków symulacji a nie błąd w realizacji samej symulacji.

5. Z opisu wynika, że charakterystyki naprężenie-przemieszczenie dla każdego eksperymentu numerycznego sporządzano na podstawie monitorowanych przemieszczeń i naprężeń dwóch punktów zlokalizowanych w środku podstaw próbek lub na powierzchniach podkładek. Jednak rozkład przemieszczenia i naprężenia na dolnej i górnej powierzchni modelowanych próbek jest silnie niejednorodny, co dobrze ilustrują załączone karty wyników symulacji. Dlatego wartości naprężeń w tych dwóch środkowych punktach w sposób przypadkowy zależą od położenia nieciągłości przecinających podstawy próbki i nie reprezentują zachowania się całej próbki. Opis sporządzania charakterystyk budzi więc w tym zakresie wątpliwości i jest prawdopodobnie niepełny.

6. W pracy nie porównano metodyki i wyników własnych badań z innymi, podobnymi eksperymentami laboratoryjnymi i numerycznymi, w szczególności z tymi omówionymi przed Doktorantkę w drugim rozdziale.

7. Inne uwagi. W kryterium Hoeka i Browna dla skał nienaruszonych parametr a=0,5 nie a=1,0 jak napisano na stronie 127. Nie pokazano schematu dyskretyzacji modeli na strefy odkształcalne ani schematu modeli z warunkami brzegowymi. Wśród prezentowanych wyników badań laboratoryjnych brakuje mi wykresu ściskania dla próbki nieprzeciętej a wśród wyników badań numerycznych charakterystyk prób 45-1 do 45-5.

Uwagi przedstawione powyżej nie zmieniają pozytywnej oceny całej rozprawy.

5. Ocena rozprawy

Rozprawa pani mgr. Partycji Jarczyk dokumentuje cykl interesujących, w pewnym zakresie unikalnych, laboratoryjnych i numerycznych badań właściwości i zachowania się nieciągłych próbek skalnych i masywu skalnego. Temat jest sformułowany prawidłowo, jest bardzo istotny i aktualny. Doktorantka osiągnęła cel naukowy postawiony we wstępie rozprawy.

Wśród metod badawczych wykorzystanych przed Doktorantkę znalazły się między innymi badania laboratoryjne w komorze trójosiowej, symulacja numeryczna metodą elementów odrębnych (DEM) z odwzorowaniem nieciągłości wprost, badania szorstkości powierzchni nieciągłości profilometrem laserowym, aproksymacja danych dyskretnych funkcjami ciągłymi. Doktorantka wykazała umiejętność praktycznego posługiwania się tymi metodami, umiejętność planowania i przeprowadzania badań, opracowania i interpretacji wyników. Szeroki zakres narzędzi badawczych zastosowanych przed Doktorantkę świadczy o jej bogatym i dojrzałym warsztacie badawczym.

Rozdział 3 przedstawiający serię badań laboratoryjnych, sam stanowi prawdopodobnie wystarczający materiał wyjściowy dla wartościowej rozprawy doktorskiej. Systematyczne badania przeciętych próbek skalnych w komorze trójosiowej przeprowadzono dla wyjątkowo szerokiego zakresu ciśnień okólnych. Przeprowadzenie tej serii badań wymagało rozwiązania szeregu problemów naukowych i technicznych, niespotykanych w badaniach próbek jednorodnych i dla małych ciśnień okólnych. Skala trudności i pracochłonność badań przedstawionych w pracy była olbrzymia.

Na podkreślenie i duże uznanie zasługuje szczegółowość i rzetelność dokumentowania i przedstawiania przebiegu i wyników wszystkich badań. Kompensuje ona pewne nieścisłości w opisie przeprowadzonych eksperymentów i wyników, trudne do uniknięcia przy tak szerokim zakresie pracy.

Biorąc pod uwagę powyższe, wysoko oceniam przedłożoną mi do recenzji rozprawę.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA w Gliwicach

6. Wniosek końcowy

Stwierdzam, ze przedłożona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Patrycji Jarczyk pod tytułem "Własności wytrzymałościowe i odkształceniowe nieciągłych ośrodków skalnych w świetle wyników badań laboratoryjnych i symulacji komputerowych" mieści się w zakresie dyscypliny naukowej górnictwo i geologia inżynierska. Rozprawa świadczy o posiadaniu przez Doktorantkę szerokiej wiedzy w tej dyscyplinie, stanowi oryginalne rozwiązanie przez Doktorantkę problemu naukowego i wnosi istotny wkład w rozwój tej dyscypliny.

Rozprawa doktorska mgr inż. Patrycji Jarczyk spełnia wymagania obowiązującej ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14.03.2003 z późniejszymi zmianami (Dz.U. z 2003 nr 65 pozycja 595, Dz.U. z 2005 nr 164 poz.1365, Dz.U. z 2011 nr 84, poz 455). Wnoszę o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

dr hab. inż. Jacek Jakubowski

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA w Gliwicach