Prof. dr hab. inż. ANDRZEJ WAWRZYNEK
POLITECHNIKA ŚLĄSKA
WYDZIAŁ BUDOWNICTWA
KATEDRA TEORII KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH
KIEROWNIK KATEDRY
AKADEMICKA 5
44-100 GLIWICE
T/F: +48 32 2372266
T: +48 32 2371545
andrzej.wawrzynek@polsl.pl

Gliwice, dnia 15 listopada 2013 r.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA w Gliwicach

RECENZJA
rozprawy doktorskiej mgr inż. Magdy LUBECKIEJ
pt. *„Analiza naporu na pionowe ściany zagłębione w gruncie na terenach górniczych"*

1. *Podstawa opracowania recenzji*

Recenzja została opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach – pismo RB-0/4020/13/14, z dnia 23 października 2013 r.

2. *Krytyczny opis treści rozprawy*

W swojej opinii pomijam szczegółowy opis zawartości recenzowanej pracy, gdyż jest on zwykle przedmiotem prezentacji podczas obrony publicznej. Ograniczę się do krytycznej analizy jej zawartości, co jest moim głównym zadaniem jako recenzenta. Pragnę jednak już na wstępie zaznaczyć, że pracę oceniam jako bardzo dobrą, wręcz wyjątkową, ciekawą i pożyteczną.

Po szczegółowym zapoznaniu się z całą recenzowaną pracą uważam, że tytuł w pełni odzwierciedla jej zawartość. Swoją uwagę skupiłem na głównej części pracy, bliskiej moim zainteresowaniem badawczym, a mianowicie na numerycznym modelowaniu analizowanych problemów inżynierskich. Autorka skonstruowała swoją rozprawę w bardzo przemyślany i logiczny sposób. Składa się ona z jedenastu rozdziałów, a jej merytoryczna część (bez spisu oznaczeń i literatury) opisana została na 140 stronach formatu A4, z wąskimi marginesami i pojedynczą interlinią. Tak więc jest to praca – jak na rozprawę doktorską – obszerna, przy czym, wg mnie, nie zawiera ani jednej zbędnej strony i ani jednego zbędnego rysunku.

Rozprawa zaczyna się krótkim, niezbędnym opisem zjawisk wywoływanych eksploatacją górniczą, które muszą być uwzględniane w procesie projektowania, budowy i użytkowania obiektów budowlanych na terenach górniczych. Zakres opisu jest ściśle związany z dalszymi analizami naukowymi Autorki. Przedstawiono i oceniono też praktyczne, inżynierskie metody określania parcia czynnego i biernego, do których Doktorantka odnosi wyniki swoich obliczeń symulacyjnych. Na bazie tego wstępnego opisu przedstawiono cel i tezy rozprawy oraz etapy jej realizacji, w mojej ocenie logicznie i spójnie ustawione, co jest wyraźnie widoczne podczas lektury następnych rozdziałów. Problem numerycznego modelowania zachowania gruntu – nie tylko na terenach górniczych – którego wyniki wiarygodnie opisują rzeczywistość fizykalną, należy do niezwykle skomplikowanych. Problem ten leży w głównym nurcie badań prowadzonych od wielu lat, z pozytywnymi rezultatami, m.in. przez promotora recenzowanej rozprawy Prof. Jana Fedorowicza. Doktorantka zajęła się szczegółowo

odpowiedzią na pytanie, czy możliwe jest stworzenie wiarygodnego, z inżynierskiego punktu widzenia, numerycznego modelu naporu gruntu na przeszkodę w nim zagłębioną, a wywołanego eksploatacją górniczą. Założono, że oddziaływania górnicze ujawniają się głównie poprzez poziome odkształcenia gruntu ε. Przyjęto, że modelami materiałowymi właściwymi do odpowiedzi na postawione pytanie są dwa modele: 1) sprężysto-plastyczny model z powierzchnią plastyczności Coulomba-Mohra oraz 2) model *Modified Cam-Clay.*

W zakończeniu pierwszego rozdziału dokładnie opisano zakres pracy. W zasadzie można by go w całości zacytować w tej części recenzji.

Rozprawa nie zawiera wyraźnie wyodrębnionego rozdziału poświęconego przeglądowi literatury. Elementy takiego przeglądu związanego z analizowanym zagadnieniem zawarte są w pierwszych trzech rozdziałach i koncentrują się na pracach ściśle związanych z problematyką wyznaczania naporu gruntu i jego numerycznym modelowaniu. Szczegółowo omawiane są wyniki tych prac badawczych i eksperymentalnych oraz praktycznych, inżynierskich metod określania naporu gruntu, które w następnych rozdziałach służą jako kryterium oceny wyników obliczeń numerycznych. Spis cytowanej literatury zawiera 113 pozycji. W pracy odniesiono się i wykorzystano wyniki najnowszych badań krajowych i światowych, ale sięgnięto też do prac starszych, m.in. profesorów Antoniego Rosikonia i Kazimierza Kłoska.

W rozdziale trzecim zawarto niezbędne minimum informacji o wyżej wspomnianych modelach materiałowych gruntu wykorzystywanych w obliczeniach.

Najobszerniejszym – ponad trzydziestostronicowym - rozdziałem rozprawy jest rozdział czwarty zatytułowany: *Wstępny model numeryczny do określania naporu gruntu na ściany budowli.* Aby uwiarygodnić wyniki obliczeń numerycznych, Autorka szczegółowo opisała i zilustrowała proces tworzenia i weryfikacji swojego podstawowego modelu numerycznego zagadnienia naporu gruntu. Nie sposób i niecelowe wydaje mi się szczegółowe omawianie w ramach recenzji dużej ilości modeli jakie posłużyły do wybrania modelu podstawowego. Najpierw szczegółowo zostały przebadane takie zagadnienia jak: 1) Porównanie wyników analizy całego procesu przechodzenia niecki górniczej z wynikami analizy jedynie najgroźniejszej fazy tego procesu; 2) wpływ wymiarów gruntu uwzględnianego w obliczeniach; oraz 3) wpływ przyjmowanych warunków brzegowych na uzyskiwane wyniki. Zbadano też jak ilość kroków obliczeniowych, w których realizowany jest proces przejścia niecki wydobywczej wpływa na rezultaty obliczeń.

W drugim etapie dochodzenia do podstawowego modelu zbadano rozkład naporu na zagłębionej ścianie, wywołany różnym poziomem odkształceń poziomych podłoża gruntowego ε, w przypadku kilku wariantów współpracy gruntu ze ścianą. Wyniki porównano z rozwiązaniami analitycznymi.

W ostatnim, trzecim podpunkcie - również obszernym – czwartego rozdziału porównano rozwiązania zadań przestrzennego (3*D*) i płaskiego (2*D*) dla różnych wymiarów zagłębionego obiektu (jego szerokości i głębokości) i różnych poziomów odkształcenia gruntu ε. Na tej podstawie określono warunki wiarygodnego zastąpienia czasochłonnych obliczeń przestrzennych obliczeniami zagadnień płaskich.

Zebrana w rozdziale czwartym ogromna liczba rezultatów obliczeń jest szeroko przeanalizowana, omówiona i zilustrowana dużą ilością wykresów porównawczych, które znacząco ułatwiają weryfikację wniosków Autorki. Tylko w jednym miejscu zabrakło mi komentarza i ostatecznego wniosku do przedstawionych wyników,

a mianowicie w ostatnim akapicie podpunktu 4.1.2. (str. 57 i 58), gdzie omówiono znaczne różnice wyników dla dwóch wariantów obliczeń z różną liczbą kroków obliczeniowych.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że Autorka wszystkie grupy obliczeń, w całej pracy, poprzedza szczegółowym sformułowaniem analizowanych problemów i przypadków oraz zestawieniem danych wejściowych. Wszystkie wnioski wynikające z analizy wyników obliczeń są szczegółowo omówione z powołaniem się na konkretne, liczne ilustracje i tabele. Generalnie: ponieważ przeprowadzono bardzo dużo analiz, pewnym ułatwieniem czytania pracy byłoby wyróżnienie w tekście najważniejszych wniosków, szczególnie tych, które miały decydujące znaczenie w dalszych etapach realizacji pracy.

Rozdział piąty, wbrew tytułowi *Podstawowy model numeryczny do określania naporu grunty*, rozpoczyna się od obszernej analizy stanowiącej kontynuację poprzedniego rozdziału, a mianowicie wpływowi różnych parametrów na dokładność wyników obliczeń numerycznych w porównaniu z inżynierskimi i eksperymentalnymi metodami oceny wartości naporu gruntu. I tak zbadano jak: 1° wymiary budowli i gruntu uwzględniane w modelu; a także 2° parametry materiałowe gruntu oraz 3° sposób współpracy gruntu i budowli (współczynnik tarcia) wpływają na wielkość uzyskiwanej siły parcia. Zbadano też wpływ siatkowania na wyniki obliczeń MES. Ostatecznie Autorka mogła zaproponować swoją własną analityczną (teoretyczną) metodą szacowania naporu gruntu. I tym razem końcowa postać modelu powstała jako efekt szczegółowo przemyślanej, przeprowadzonej i opisanej procedury. Zaproponowany model został zweryfikowany i statystycznie porównany z wynikami numerycznymi. Ciekawi mnie, czy Doktorantka, po kilku miesiącach od opracowania tego modelu, ma koncepcję jego ulepszenia.

Rozdziały 6, 7 i 8 można potraktować jako bonusy, gdyż – moim zdaniem – już pierwsze pięć rozdziałów stanowi zwartą treść, merytorycznie niezbędną do potraktowania jej jako bardzo dobrą pracę doktorską.

W rozdziale 6. równie szczegółowo jak inne zagadnienia, zbadano jak nachylenie naziomu w granicach spotykanych w praktyce inżynierskiej oraz odchylenie ściany od pionu wpływają na zmianę wielkości siły naporu gruntu. Dodatkowo określono też, jak zmiana kąta tarcia gruntu o ścianę wpływa na współpracę gruntu z budowlą. Wymagało to wprowadzenia i przetestowania kolejnych modeli numerycznych współpracy budowli z podłożem górniczym.

Rozdział 7. to w pewnym sensie kontynuacja badań Promotora pracy Profesora Jana Fedorowicza. Ciekawie opisano w nim różnice rozwiązań numerycznych z wykorzystaniem dwóch różnych modeli materiału gruntu: modelu Coulomba-Mohra i modelu Modified Cam-Clay. Bardzo cenną częścią tego rozdziału jest porównanie obu modeli z istniejącymi teoretycznymi metodami wyznaczania odporu i kierunku jego działania na podstawie zakrzywionej powierzchni odłamu. Nie znalazłem w pracy wyjaśnienia, dlaczego w większości analiz wykorzystywano model C-M, mimo że drugi z modeli wydaje się lepiej odwzorowywać pracę gruntu.

W rozdziale 8. zbadano numerycznie i porównano jakościowo z eksperymentami problem zmniejszania naporu gruntu poprzez zastosowanie dodatkowej zagłębionej ściany (efekt przesłaniania).

Rozdział 9. zawiera ogromną liczbę wyników i porównań obliczeń numerycznych z metodami analitycznymi Snitki-Mullera, Króla, Szermera, Śliwki, Rosikonia i metodą

teoretyczną Doktorantki. W obliczeniach numerycznych uwzględniono wcześniej stosowane dwa modele materiałowe gruntu: C-M i MCC.

Ostatni, dziesiąty rozdział, *Podsumowanie pracy i wnioski końcowe*, to bardzo dobrze zredagowany materiał przedstawiający w zwarty sposób merytoryczne osiągnięcia Autorki. Wydaje mi się, że po przeczytaniu wprowadzenia, lekturę rozprawy Pani Lubeckiej dobrze jest zacząć właśnie od tego rozdziału.

3. *Szczegółowe uwagi do rozprawy*

1. Str. 39, we wzorze (3.6) pominięto znak równości, a we wzorach (3.8), (3.11) błędnie określono różniczkę funkcji wzmocnienia.
2. Str. 60, rys. 4.20. Wśród zestawienia kilkunastu krzywych są krzywe oznaczone czarnym kolorem i opisane jako *in situ*. W tekście brak wyjaśnienia o tych danych.
3. Str. 64 i 65, komentarze do rys. 4.27 i 4.28. Rozkład naprężeń σ_{11} nie jest stały jak stwierdza Autorka. Stały jest przyrost tych naprężeń powyżej naprężeń wynikających z parcia spoczynkowego.
4. Str. 75, ostatnia linia. Cytat: „Zamodelowano połowę bryły budynku jako sztywny betonowy blok o sprężystych własnościach materiału ...". Czy betonowy blok jest modelowany jako sztywny, czy jako odkształcalny (sprężysty)?

4. *Ocena rozprawy*

Pani mgr inż. Magda LUBECKA podjętą się analizy bardzo trudnego i ważnego zjawiska jakim jest napór gruntu na pionowo zagłębione ściany znajdujące się na terenach oddziaływań górniczych. Do realizacji postawionego i sformułowanego zadania wykorzystała złożone, trudne i czasochłonne numeryczne rozwiązania nieliniowych problemów mechaniki gruntu metodą elementów skończonych. Świadome i kontrolowane obliczenia wymagały zgłębienia złożonego pakietu obliczeniowego ABAQUS.

W recenzowanej praca doktorskiej - mimo, że w zasadzie w całości opierającej się na obliczeniach teoretycznych (numerycznych) – zawarto we wszystkich jej rozdziałach odniesienia i porównania ze sprawdzonymi i najczęściej stosowanymi inżynierskimi metodami oceny naporu/odporu gruntu. Doktorantka własne wyniki obliczeń porównuje też z nielicznymi w literaturze przedmiotu badaniami laboratoryjnymi i terenowymi, a także z innymi światowymi numerycznymi badaniami podobnych zjawisk.

Struktura pracy, a w tym jej zakres i liczba przypadków obliczeniowych, jest bardzo dobrze, logicznie przemyślna. Wszystkie decyzje o następnych krokach badawczych poprzedzone są odpowiednimi analizami teoretycznymi, następnie obliczeniami numerycznymi i/lub analitycznymi oraz dogłębną analizą krytyczną uzyskanych wyników. Formułowane wnioski są jednoznaczne i poparte odpowiednimi, w pełni zadowalającymi wykresami i/lub tabelami.

Praca zawiera, jak już wcześniej stwierdziłem, ogromną ilość wartościowych analiz. Przez to jej studiowanie wymaga dużego skupienia i wysiłku intelektualnego mimo, że jej struktura i język są na wysokim naukowym poziomie. Liczne rysunki i ilustracje również są doskonale przygotowane, czytelne i właściwie pogrupowane.

Uważam, że recenzowana praca, po wprowadzeniu niezbędnych uzupełnień, powinna być, we współpracy z promotorem Profesorem Janem Fedorowiczem, przygotowana do opublikowania jako monografia. Na podstawie przeglądu literatury stwierdzam, że wiele

elementów pracy powinno być opublikowanych w postaci artykułów w czasopismach naukowych lub technicznych.

Do recenzowanej rozprawy doktorskiej nie mam żadnych uwag merytorycznych. Kilka moich drobnych wątpliwości zostało rozwianych po przedstawieniu przez Doktorantkę swojej pracy podczas seminarium katedralnego, na które została przeze mnie zaproszona.

Warta podkreślenia jest kompletność (zupełność) pracy wyrażająca się w realizacji całego cyklu badawczego:

- od postawienia konkretnego, praktycznego problemu inżynierskiego,
- poprzez postawienie i rozwiązanie problemu naukowego, z zastosowaniem nowoczesnych metod i narzędzi pracy badawczej,
- oraz weryfikację i walidację wykorzystywanych modeli numerycznych,
- po pełną analizę wyników obliczeń prowadzącą do ewentualnych inżynierskich zastosowań.

Uważam, że mgr inż. Magda LUBECKA wykazała, iż

- posiada odpowiednią wiedzę z zakresu mechaniki, matematyki i metod numerycznych oraz niezbędną wiedzę inżynierską do prowadzenia ważnych badań naukowych w zakresie kierunku naukowego *budownictwo;*
- potrafi stawiać i rozwiązywać ważne problemy badawcze;
- świetnie radzi sobie z komputerowymi narzędziami wspierania pracy inżyniera i naukowca;
- potrafi przygotować i przeprowadzić badania numeryczne, a następnie otrzymane wyniki możliwie szeroko wykorzystać;
- potrafi bardzo dobrze prezentować wyniki swoich badań.

PODSUMOWANIE

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia wymagania Ustawy o Stopniach i Tytułach Naukowych z dnia 14 marca 2003 roku – Dz. Ustaw 65 z dnia 16 kwietnia 2003 roku poz. 595. **W związku z tym wnoszę o jej przyjęcie i dopuszczenie Pani mgr inż. Magdy LUBECKIEJ do publicznej obrony rozprawy.**

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
BIBLIOTEKA GŁÓWNA
w Gliwicach