prof. dr hab. inż. Lech Wysokiński
Warszawa
ul. Zdrojowa 23

Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Magdy Lubeckiej pt.: „Analiza naporu na pionowe ściany zagłębione w gruncie na terenach górniczych".

1. Podstawa opracowania

Recenzję wykonano na podstawie Uchwały Rady Wydziału z dn. 23.10.2013 r. i Pisma Dziekana prof. Jana Ślusarka z dn. 23.10.2013 r.

2. Tematyka i cel rozprawy

Rozprawa Pani mgr inż. Magdy Lubeckiej zawiera 145 stron tekstu zestawionego w 10 rozdziałach. Praca jest bogato ilustrowana, ponad 150 rysunków, wykresów, diagramów itp. W pracy łącznie wykorzystano 113 pozycji literatury w większości polskiej, ale w dziedzinie, która jest przedmiotem analiz Doktorantki osiągnięcia polskie są wiodące na świecie, tak że nie jest to zarzut.

Praca podejmuje ważne ze względów statycznych zagadnienia wielkości sił obciążających ściany oporowe konstrukcji budowlanych w warunkach występowania odkształceń terenu spowodowanych podziemnym wydobyciem kopalin, w naszym przypadku węgla. Bezpieczne zaprojektowanie np. przyczółka mostowego czy wielokondygnacyjnych podziemnych garaży na terenach na których występują oddziaływania górnicze nie ma dotychczas określonych warunków bezpiecznego użytkowania. Spełnienie warunków nieprzekroczenia stanów granicznych zgodnie z normami jest trudne i nieekonomiczne, stąd wykorzystywana w praktyce budowlanej jest koncepcja M. Kawuloka dotycząca „przejściowych stanów granicznych użytkowalności" oparta na doświadczeniach regionalnych.

Autorka podejmuje problem ścisłego określenia wielkości sił naporu gruntu, wyrażonych poziomym odkształceniem gruntu, spowodowanych oddziaływaniami górniczymi na pionową ścianę zagłębioną w gruncie. Zadanie rozwiązuje analizami numerycznymi MES stosują modele podłoża zgodnie z teorią mechaniki gruntów w schemacie zadania sprężysto-plastycznego z wykorzystaniem teorii Coulomba-Mohra (C-M) oraz mechaniki stanu krytycznego MCC (Modified Cam Clay).

W pracy wykorzystywana została, jako narzędzie, metoda elementów skończonych w tym program komputerowy ABAQUS. W rezultacie Praca zawiera szczegółową numeryczną analizę zmian parcia gruntu w zależności od czynników związanych z geometrią budowli, ukształtowaniem terenu, stanem i rodzajem gruntu oraz wpływem eksploatacji górniczej.

3. Analiza treści rozprawy i uwagi

Mgr inż. Magda Lubecki w rozdziale 2 (8 stron) daje tło, które stanowiło podstawę do sformułowania tezy. Jest tu też przegląd literatury, a w nim aktualny stan wiedzy o zakresie analizowanego tematu. Przedstawione są też podstawowe zależności dotyczące mechaniki procesu przemieszczania pionowej ściany pod wpływem sił parcia i odpływu.

Autorka porównuje wyniki różnych wzorów Mülera, Fłorina, Wasilkowskiego i innych autorów. Zarzut, który można tu uczynić, to, że nie sięga do publikacji źródłowych, a znajomość tych rozwiązań czerpie z prac wtórnych np. Sliwy i Ciska, czy Króla.

W podsumowaniu, który podaje na Rys. 2.11 porównuje wyniki uzyskane przez kilku autorów, które nie różnią się znacznie, a których uśrednienie podaje instrukcja IBDM (1977), z którą Autorka z reszto dyskutuje. Wszystkie te rozwiązania nie mają poprawnej zasady teoretycznej, a w różny sposób wykorzystują obserwacje dają więc inżynierskie wskazówki do projektowania konstrukcji, które podlegają siłom naporu. Przyjąłem tu za Autorką (zresztą wcześniej stosowane) pojęcie naporu, którego ścisłej definicji nie znalazłem w pracy. Jest ono tłumaczone na Rys. 1.3, gdzie używane jest również słowo rozpór, potem jednak nie używane w pracy.

Napór mi się podoba i uważam, że tak jak parcie i odpór należało by określić słownie, jego definicję. W pracy, gdzie w tytule znajduje się to słowo to chyba obowiązek.

Rozdział 3 nosi tytuł „Modele konstytutywne gruntu. Przyrostowa teoria plastyczności" (14 stron). Rozdział wprowadza do modelowania numerycznego wyjaśniając zasady przyrostowej teorii plastyczności stosowanej w pracy. Korzysta się tu z opracowań M.Gryczmańskiego. W sposób przejrzysty Autorka wyprowadza zależności teoretyczne prowadzące do zdefiniowania praw płynięcia i wzmocnienia gruntu. Pokazuje równania przyrostowej teorii plastyczności i dwa przyjmowane w pracy modele konstytutywne gruntów opisywane modelami Coulomba-Mohra (C-M) oraz modyfikowany modelem Cam Clay (MCC).

Model MCC, który początkowo opracowano dla warunków obciążenia trójosiowego, służy obecnie często jako model konstytutywny wyrażający zmienność wskaźnika porowatości – odkształcenia postaciowego ε_v w funkcji logarytmicznej średniego naprężenia efektywnego. Model odróżnia stan normalnej konsolidacji i prekonsolidacji, a w zależności od ścieżki naprężeń mamy określoną powierzchnię płynięcia (plastyczności). Nie mam uwag krytycznych do tego rozdziału, wywód jest zwarty i pokazuje założenia z których w dalszym ciągu pracy Autorka korzysta.

Rozdział 4 „Wstępny model numeryczny do określenia naporu gruntu na ściany budowli" (31 stron) zawiera schemat obliczeniowy (zadanie 0A), który opisuje przyjęty układ do obliczeń i pokazuje różne fazy rozwoju obliczeń, gdy zmieniane są warunki oddziaływań górniczych. Analizowany jako przykład obiekt ma niewielkie wymiary, głębokość ściany 6 m, szerokość 20 m. Obliczenia wykonano przy przyjęciu modelu konstytutywnego ciała sprężysto i idealnie plastycznego, z warunkiem plastyczności Coulomba-Mohra. Przy założeniu, że eksploatacja górnicza realizowana jest na dostatecznie dużej głębokości, a górotwór nie ma uskoków, stwierdzono że przemieszczenia pionowe punktów powierzchni są ciągłymi funkcjami współrzędnych miejsca. Na potrzeby pracy przyjęto, że powstawanie obniżeń na powierzchni terenu następuje z prędkością zbliżoną do prędkości frontu eksploatacji górniczej . Przejście niecki pod budowlą symulowano dwoma fazami eksploatacji, w których odkształcenia ε powodowały rozluźnienie (rozciąganie) gruntu lub zagęszczenie (ściskanie) w zależności od położenia frontu roboczego.

Modelowano, oprócz różnych położeń frontu eksploatacyjnego, także różną głębokość pokładu od 190 do 620 m (7 różnych głębokości). Wykonane obliczenia miały na celu określenie naporu gruntu na ścianę w trakcie górniczej deformacji terenu. Zbiór wyników jest bardzo duży i został uporządkowany w tabelach i na wykresach w sposób przejrzysty pokazujący umiejętność Doktorantki do analizy i opracowania wyników obliczeń. Wyniki są interesujące i pokazują, że wartości sił naporu zależą od głębokości eksploatacji (przy płytszej są większe) .

Wykonane obliczenia pokazały też, że w niektórych przypadkach oprócz strefy odkształceń zgodnych z teorią parcia, tworzy się druga strefa poślizgu, bardziej odległa od ściany pod kątem ok. 30°. W obliczeniach można każdorazowo prześledzić zakres strefy zagęszczenia i rozluźnienia powstające podczas przejścia niecki.

Drugi schemat numeryczny (zadanie 0B) zawiera przypadek odkształceń poziomych zagęszczających grunt. Rozpatrywano dwa różne podparcia ściany. W pierwszym przypadku ściana miała swobodę przemieszczania wraz z gruntem. W drugim przypadku ruch ściany o kierunku poziomym był niemożliwy. Wyniki kilkunastu obliczeń (przy różnych głębokościach zagłębienie ściany 4, 8, 12 m i przy różnych wartościach przemieszczeń ε [mm/m] w zakresie od 0 do 8) pokazano w sposób przejrzysty na wykresach różnicujących efekty i obliczone wartości sił naporu.

Rozważania są bardzo szczegółowe, dociekliwe, świadczące o dobrym warsztacie naukowym Doktorantki.

W trzecim zadaniu (0C) analizowano efekty przestrzenne. Model płaski, który używano w poprzednich zadaniach zastąpiono tu modelem przestrzennym. Wariantowano zarówno wymiary budowli h={4,6,8} b={4,8,12,16,20}, jaki i parametry gruntów E{15,20,25,35}, Φ{15,20,25,35}, δ{10°,15°,20°,30°}.

Z obliczeń wynikają liczne szczegółowe wnioski, dotyczące udziału poszczególnych czynników na wyniki naporu na ściany.

Przedstawione trzy zadania (różniące się znacznie) pozwoliły na:

Zadanie 0A – odtworzenie w metodach numerycznych modelowania deformacji górniczych.

Zadanie 0B – stwierdzenie różnic w strefie współpracy w miejscu największych poziomych odkształceń ε w wartościach sił naporu.

Zadanie 0C – przestrzenne ; pokazało, kiedy model 3D można zastąpić w obliczeniach modelem płaskim 2D.

Moja uwaga krytyczna dotyczy nadmiaru treści i setek wykonanych obliczeń, dla kolejnych kroków zmiany czynników.

Rozdział 5 (22 strony) pt. „Podstawowy model numeryczny do określenia naporu gruntu na ściany budowli" jest to główny rozdział w pracy, gdzie w wyniku kolejnych obliczeń w oparciu o wnioski z rozdziału 4 Autorka proponuje nową metodę teoretyczną (Mt) dla określania wartości naporu. Metoda Mt opracowana została „wykorzystując dyskretne dane uzyskane na podstawie przeprowadzonej analizy parametrycznej modelu numerycznego odtwarzającego zjawisko naporu gruntu, poziomo zagęszczonego pod wpływem eksploatacji górniczej na ścianę budowli".

Autorka wykonuje dalej szerokie obliczenia przy wariantowaniu parametrów wymiarów budowli (ściany). Analizuje także warunki dyskretyzacji obszaru obliczeniowego uzyskując zespół wyników przedstawionych w postaci wykresów, z których wyprowadza zależności dotyczące maksymalnej wartości siły naporu w warunkach deformacji górniczej terenu.

Podsumowując przeprowadzone obliczenia za pomocą modelu 1A Autorka stwierdza:

a) graniczna wartość naporu P_{gr} jest równa wielkości parcia biernego P_b, co jest zgodne z klasyczną teorią parcia;
b) graniczne odkształcenie poziome gruntu ε_{gr}, przy których napór gruntu na ścianę osiąga wartość graniczną, zależy od parametrów budowli i gruntu. Przy czym wysokość h i E mają charakter liniowy, a pozostałe parametry b, Φ, δ nieliniowy na wielkość granicznego odkształcenia gruntu ε_{gr}
c) przebieg przyrostu siły naporu dodatkowego w czasie wzrostu odkształceń poziomych ε zależy od modułu odkształcenia gruntu E oraz geometrii ściany (h, b). Pozostałe parametry Φ, c, δ decydują tylko o tym jak długo trwa proces mobilizacji siły naporu P gruntu na ścianę.

W rezultacie obliczeń przy wariantowaniu parametrów Autorka określiła udział poszczególnych czynników szerokości ściany b (2,5,10,20,30 m), wartości modułów E (15,22.5,30,37.5MPa) oraz kąta tarcia gruntu o ścianę, wyznaczając nomogram Rys. 5.20 do określania wartości ε_{gr}.

W pracy podany jest przykład liczbowy określania naporu gruntu zgodnie z metodą Autorki **Mt** tab. 5.27. Na zakończenie rozdziału Autorka podaje tabelę wartości granicznych ε_{gr} wyznaczonych dotychczasową metodą **Mn** i proponowaną przez Autorkę **Mt** dla ponad 100 różnych układów warunków. Tabela ta ma duży walor praktyczny, pozwala inżynierowi znaleźć natychmiast wartość ε_{gr} co daje możliwość rozwiązania zadań przy znajomości wymiarów budowli i parametrów gruntu.

W rozdziale 6 pt. „Modyfikacja modelu podstawowego z uwagi na model konstytutywny gruntu" (11 stron), Autorka dla modeli typu B i C uwzględnia nachylenie naziomu β oraz nachylenie ściany do pionu α. W rezultacie wyznacza strefy maksymalnych odkształceń plastycznych oraz zasięg klina odłamu przy zamianie nachyleń terenu i kąta nachyleń ściany. Przykładowo np. 6.17 pokazuje siły naporu P_d przy założonym stałym odkształceniu ε=5mm/m z zależności od kąta nachylenia naziomu α± 30° i kąta tarcia gruntu o ścianę δ=0,10,15,20,30°.

Rozdział 7 (11 stron) ma tytuł „Modyfikacja modelu podstawowego z uwagi na model konstytutywny gruntu." Porównano w nim wyniki tego samego zadania przy wykorzystaniu modelu Coulomba-Mohra oraz modelu Modified Cam Clay. W rezultacie wskazano różnice, które przedstawia Rys. 7.16. Różnice są zauważalne, ale nie zasadnicze. Jako osoba zajmująca się geotechniką oczekiwałbym tu szerszego komentarza.

Rozdział 8 pt. „Dodatkowy model numeryczny do określania naporu gruntu na ściany budowli" (6 stron) jest to próba porównania z wynikami badań modelowania fizycznego z wynikami modelowania fizycznego w laboratorium. Rozważania oparto na badaniach Kołacza (z P.S/1980), który wykonał pomiary na modelu fizycznym. Autorka wykonała obliczenia numeryczne dla porównania wyników obliczeń z tym modelem.

Nie ma w pracy jednoznacznych stwierdzeń, ale z prezentowanych materiałów wydaje się wynikać, że nie ma możliwości porównań rozwiązań dla realnych obliczeń

przy różnych głębokościach do wykonanego modelowania fizycznego. Prosił bym tu o rozwinięcie tego tematu np., rozważenie efektu skali itp.

Rozdział 9 to „Zestawienie wybranych istniejących metod obliczeniowych w odniesieniu do podejścia numerycznego" (13 stron). Zgodnie z tytułem tego rozdziału zestawiono kilka metod (6) różnych autorów i porównano ich wyniki dla określenia wypadkowej siły naporu gruntu na ściany budowli o różnych szerokościach (10,20,40) zagłębionych w określonym gruncie na 4 m. Zestawy wykresów pozwalają ocenić rozwiązania. Interesujący i stanowiący w jakimś sensie podsumowanie pracy jest wykres Rys. 9.13 który pokazuje, że maksimum sił naporu równe wielkości parcia biernego występuje przy odkształceniach podłoża ε=3 mm/m.

Rozdział 10 to „Podsumowanie pracy i wnioski końcowe" (4 strony), zawierający zbiór szczegółowych osiągnieć uzyskanych w pracy, wraz z sformułowanym przez Autorkę w rozdziale 5 wzorem (5.2) dla obliczania naporu:

$$P_d = [(0{,}8 \cdot h + 8{,}1) \cdot b + 28{,}3 \cdot h + 40{,}3] \cdot \frac{E}{30} \cdot \varepsilon$$

Wzór wspomaga nomogram pozwalający na ocenę wartości odkształcenia granicznego.

4. Analiza krytyczna pracy.

Praca jest bardzo obszerna. W luźniejszej edycji z większymi rysunkami miała by zapewne powyżej 200 stron. Autorka dokonała „niezliczonej" liczby obliczeń, które w sposób uporządkowany szczegółowy i nadzwyczaj rzetelny opisała . Praca napisana jest zwięźle, ale czyta się ją nie łatwo przez dużą szczegółowość i dociekliwe wskazywanie różnych aspektów wyników.Zgadzam się z Doktorantką, że postawiona teza, dotycząca możliwości na drodze analiz numerycznych określenia zależności, która zachodzi pomiędzy wielkością oddziaływań górniczych wyrażonych poziomym odkształceniem gruntu ε, a powodowaną tymi oddziaływaniami wielkością sił naporu gruntu na pionową przeszkodę zagłębioną w gruncie, została udowodniona. Tu należy zwrócić uwagę, że Autorka korzystała z określonego programu i nie mogła wyjść poza ramy tego programu. Program ABAQUS jest zaawansowanym programem komputerowym o dużych możliwościach, które Doktorantka w pełni wykorzystała. Można by postawić pytanie czy te same wyniki Autorka uzyskała by stosując inne programy. Uzyskane efekty mają duże walory

praktyczne i będą mogły być wykorzystane przez inżynierów w praktyce projektowania konstrukcji ścian oporowych w warunkach górniczych.

Praca, jako inżynierska dysertacja doktorska, spełnia wszystkie wymagania, a nawet można ją uznać za pracę ponad przeciętną przez zakres, rzetelność i konsekwencje działań. Nie znalazłem w pracy większych usterek stylistycznych, czy błędów.

Rysunki są dobre, poprawnie opisane, także zwykle świetnie zaprojektowane. Forma edycyjna pracy moim zdaniem jest bezbłędna. Uwagi miałbym do wniosków które są zbyt obszerne, ale Autorka próbowała w nich pomieścić wszystkie wyniki uzyskane z analiz.

W rezultacie podkreślono 10 wyników, z których część ma znaczenie zasadnicze, a część tylko praktyczne w obliczeniach jak np. „stopień dyskredytacji zdefiniowany przez liczbę elementów skończonych mieszczących się na wysokości ściany nie powinien być mniejszy od 16", co można by uważać za wniosek mniej znaczący. Także Autorka powinna sięgać do prac źródłowych, a nie korzystać z wtórnych cytowań.

5. Wniosek

Przeprowadzone w pracy analizy numeryczne pozwoliły na dokładny opis zachowania ścian oporowych w gruncie w warunkach występowania deformacji górniczych. Metoda zaproponowana przez Autorkę określania sił naporu w zależności od wartości odkształceń górniczych ε (M_t) ma szanse stosowania w praktyce projektowej. Liczne szczegółowe obliczenia dotyczące różnych czynników występujących w praktyce powoduje, że praca poszerza wiedzę o pracy ścian oporowych w warunkach deformacji górniczych. Pracę oceniam jako bardzo dobrą dysertację doktorską, wykonaną z wielkim nakładem pracy, przekraczającym wymagany w doktoratach zakres.

Uwzględniając powyższe, a także uznając, że spełnia ona wymagania ustawowe stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

POLITECHNIKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA

10 listopada 2013