

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Marii Juzwy, pt. „Analiza współpracy grupy kolumn iniekcyjnych z podłożem gruntowym”

1. Podstawa opracowania.

Recenzję opracowano na podstawie zlecenia Dziekana Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej z dnia 15.07.2015 r. oraz przestanej pracy doktorskiej, której promotorem jest dr hab. inż. Joanna Bzówka, prof. Politechniki Śląskiej.

2. Tematyka rozprawy.

Obecnie realizacja obiektów różnego rodzaju budownictwa odbywa się w złożonych i skomplikowanych warunkach geotechnicznych. W podłożu często występują grunty uwarstwione, w tym słabonośne, o bardzo zmiennych właściwościach parametrów geotechnicznych. Takie uwarunkowania skłaniają do stosowania nowych technologii w posadowieniu budowli, generalnie wzmocnienia podłoża gruntowego. Jedną z technologii, która jest obecnie bardzo szeroko stosowana jest iniekcja strumieniowa (ang. jet grouting). Technologię tę wykorzystuje się w budownictwie przemysłowym, mostowym, mieszkaniowym, drogowym, w wielu różnych odmianach i zastosowaniach.

Bardzo ważny i szeroki zakres stosowania iniekcji strumieniowej dotyczący kolumn iniekcyjnych obciążonych siłami pionowymi.

W pracy, mgr inż. Anna Juzwa zajmuje się współpracą takich kolumn w podłożu gruntowym, oceną zależności obciążenie-osiadanie dla kolumny pojedynczej oraz dla kolumn pracujących w grupie.

3. Charakterystyka pracy.

Całość pracy składa się z 7 rozdziałów, spisu literatury i 3 załączników.

Rozdział 1. scharakteryzowano generalną tematykę zawartą w pracy w odniesieniu do technologii iniekcji strumieniowej. Jasno i zrozumiale przedstawiono cel i tezę pracy. W odniesieniu do tezy pracy przytoczę część zapisu, cytuję: "Możliwe jest zbudowanie modelu numerycznego dla grupy kolumn iniekcyjnych..."

Rozdział 2

Cały rozdział 2 zawiera klasyczne informacje dotyczące technologii iniekcji strumieniowej, zakresów jej stosowania i tradycyjnych metod obliczeniowych. Podano szczegółowe informacje z zakresu parametrów technologii iniekcji, omówiono systemy iniekcji strumieniowej, przedyskutowano zalety i wady omawianej technologii.

Za bardzo wartościowy należy uznać podrozdział omawiający wykorzystanie iniekcji strumieniowej w praktyce inżynierskiej.

Szczególną uwagę zwrócono na:

- posadowienie obiektów kubaturowych,
- zastosowanie do wzmocnienia w budownictwie drogowym,
- wykorzystanie do posadowienia podpór i przyczółków mostowych, szczególnie podpór zagrożonych awarią,
- wzmocnienie ław i stóp fundamentowych, wzmocnienie w sąsiedztwie głębokich wykopów,
- wykorzystanie iniekcji strumieniowej do wzmocnienia i naprawy obiektów historycznych i zabytkowych,
- wykorzystanie jako obudowa i uszczelnienie głębokich wykopów, uszczelnienia pionowe i przesłony poziome – uszczelnienie dna wykopów,
- przesłony i bariery pionowe, np. uszczelniające wały przeciwpowodziowe, palisady i ściany szczelinowe,
- wzmocnianie konstrukcji nabrzeży
- wzmocnianie i obudowa szybów i tuneli.

Jest to opracowanie własne, w zwartej formie i przydatne szczególnie dla praktyki inżynierskiej jako sprawdzone w naturze realizacje, głównie w praktyce krajowej.

Podobną pożyteczną rolę informacyjną spełnia rozdział 2.3 dotyczący projektowania wzmocnień podłoża. Szczegółowe parametry iniekcji obiektów zrealizowanych w praktyce mogą stanowić znaczącą pomoc w konkretnych rozwiązaniach szczegółowych. Zawarto tu również istotne informacje dotyczące parametrów samego tworzywa gruntowo-cementowego, takie jak: wytrzymałości na ściskanie, współczynniki filtracji i moduły sprężystości w zależności od rodzaju gruntu.

Przedstawiono dokumentację fotograficzną odkrywek kolumn iniekcyjnych w gruntach spoistych i niespoistych. Informacje te są niezbędne do budowy modelu numerycznego w kontekście prawidłowego modelowania współpracy poboczniczy z podłożem gruntowym.

Metody obliczania grupy kolumn poprzedzono omówieniem zasad oceny nośności i osiadań stosowanych dotychczas dla grup palowych.

W podsumowaniu tego rozdziału zestawiono również wyniki badań terenowych nośności kolumn iniekcyjnych na różnych budowach w kraju i zagranicą.

Rozdział 3. omówiono charakterystykę modelu podłoża gruntowego przyjętego do obliczeń. Zgodnie z tezą pracy zakłada się zbudowanie modelu numerycznego. Przyjęto, pod względem materiałowym, trójstrefowy model obliczeniowy: kolumny iniekcyjne, niejednorodny ośrodek gruntowy i strefa kontaktowa. Scharakteryzowano również klasyczne modele sprężysto-plastyczne ośrodka gruntowego, związki konstytutywne, omówiono krótko model sprężysto-idealnie plastyczny o powierzchni granicznej Coulomba-Mohra i model Hardening Soil- small strain.

Rozdział 4. omówiono szczegółowo własne badania polowe. Badania terenowe stanowią bardzo ważny element własny omawianej pracy. Integralną częścią badań terenowych są badania geotechniczne podłoża gruntowego na terenie poligonu doświadczalnego. Wykonano dwa odwierty badawcze i cztery sondowania wciskaną sondą statyczną CPTU. Sondowania CPTU wykonano również po zainstalowaniu kolumn. Do sondy statycznej stosowano piezostóżek elektryczny.

Generalnie podłoże gruntowe zbudowane jest z piasków (drobnych, średnich i grubych) średnio zagęszczonych i zagęszczonych z przewarstwieniem w postaci glin piaszczystych i namulów. Na głębokości 4,5 m występuje woda gruntowa o swobodnym zwierciadle. Wiarygodne wyniki parametrów geotechnicznych zestawiono w tablicach 4.2 i 4.3 na podstawie interpretacji wyników badań CPTU.

Eksperymenty terenowe obejmują wykonanie kolumn badawczych. Układ kolumn pozwala na wykonanie badań dla kolumny pojedynczej i grupy trzech kolumn, rys. 4.8.

Wszystkie kolumny badawcze mają średnicę 60 cm i długość 6,0 m. Przedstawiono bardzo szczegółową charakterystykę parametrów wykonania kolumn w technologii iniekcji strumieniowej. Stanowi to istotną zaletę dla dalszego wykorzystania wyników badań.

Wykonano próbne obciążenia statyczne, kolumny pojedynczej i grupy trzech kolumn, z wykorzystaniem belki oporowej i czterech kolumn kotwiących. Dla grupy trzech kolumn obciążenie przykładano poprzez sztywny układ belek stalowych typu HEB 600, rys. 4.13 i rys. 4.15. Dla wszystkich kolumn przedstawiono pomiary zależności obciążenie-osiadanie ($Q - s$), zaprezentowano szczegółowe wyniki pomiarów i opracowano wykresy $Q - s$.

Krzywe osiadań, $Q - s$, przedstawiono w różnym układzie dla kolumny pojedynczej i grupy kolumn, rys. 4.26 i rys. 4.27.

Wyniki badań porównano również z zależnościami stosowanymi do grupy pali, metoda Berezancewa, Vesica, Fleminga i Mandoliniego.

W pracy brak pogłębionej analizy odniesienia się do warunków, dla których odpowiednie wzory można stosować (np. rodzaj pala, rodzaj gruntu, rozstaw i kształt grupy, liczba pali, itd.).

Istotnym elementem pracy są wyniki badań tworzywa gruntowo-cementowego i geometrii kolumn badawczych, rys. 4.33 do rys. 4.35.

Rozdział 5. Przedstawiono założenia i kalibrację modelu numerycznego, w celu uwzględnienia przynajmniej niektórych parametrów pozwalających na realistyczny opis interakcji kolumna – podłoże gruntowe.

Autorka słusznie zauważa szczególne zmiany w kształcie i wymiarach kolumny po długości w zależności od rodzaju gruntu i parametrów technologicznych iniekcji. Jest to niewątpliwie jeden z ważnych i trudnych problemów przy realizacji obliczeń.

Można to zauważyć również w samej pracy. Na str. 99 znajdujemy dwa raczej sprzeczne zapisy, cytując:

- „możliwe jest określenie parametrów materiałowych tworzywa gruntowo-cementowego”
- „kolumny iniekcyjne cechuje duża niejednorodność, zarówno pod względem geometrii, jak i parametrów materiałowych”.

W dalszej części znajduje się stwierdzenie dotyczące strefy kontaktowej: „Problemem jest ustalenie zasięgu strefy kontaktowej, który zależy od rodzaju i stanu otaczającego gruntu, a także dobór jej parametrów materiałowych”.

W obliczeniach zastosowano model sprężysto-idealnie plastyczny o powierzchni granicznej Coulomba – Mohra z niestowarzyszonym prawem płynięcia. Obliczenia przeprowadzono metodą elementów skończonych, wykorzystano program Z-Soil.PC.

Zastosowano model trójstrefowy: kolumny iniekcyjne – warstwa kontaktowa – podłoże gruntowe. Wykorzystano klasyczne parametry dla modelu sprężysto – idealnie plastycznego dla ośrodka gruntowego i kolumn iniekcyjnych.

Dla warstwy kontaktowej obliczenia wykonano w dwóch wariantach, jako parametry zredukowane o $\frac{1}{3}$ w odniesieniu do podłoża gruntowego (wariant I) oraz zredukowane o $\frac{1}{3}$ w stosunku do parametrów tworzywa gruntowo-cementowego kolumn.

Rozdział 6, wykorzystano analizy numeryczne w celu określenia zależności obciążenia - osiadania dla kolumn iniekcyjnych, które podlegały testom w badaniach terenowych. Analizy numeryczne wykonano z wykorzystaniem programu Z-Soil.PC, który jest przeznaczony do nieliniowej analizy oddziaływań pomiędzy konstrukcją a ośrodkiem gruntowym. Obliczenia odniesiono do procedur obciążeń zrealizowanych w terenie.

Pomijając same szczegóły procedury obliczeniowej, istotne znaczenie mają merytoryczne założenia i warianty obliczeń.

Analizowano wyniki obliczeń przyjmując różne parametry obliczeniowe:

- średnice kolumn: 60, 80 i 100 cm,
- grubość warstwy kontaktowej: 10 i 20 cm,
- parametry warstwy kontaktowej (str. 109):
 - wariant I, parametry zredukowane o $\frac{1}{3}$ w stosunku do ośrodka gruntowego,
 - wariant II, parametry stałe na całej długości kolumny, o wartości $\frac{1}{3}$ parametrów tworzywa gruntowo - cementowego kolumn.
- kolumny iniekcyjne o długości 6,0 m.

Przedstawiono modele numeryczne i wyniki obliczeń, krzywe osiadania ($Q - s$), dla założonych zmiennych parametrów.

Krótką dyskusję wyników przedstawiono w rozdziale 6.6. W podsumowaniu stwierdzono, „że skonstruowane modele numeryczne przybliżają warunki rzeczywistej współpracy kolumn iniekcyjnych z podłożem gruntowym”.

Stwierdzenia te odnoszą się pojedynczej kolumny oraz kolumny z grupy kolumn.

Rozdział 7, zawarto krótkie podsumowanie zakresu badań terenowych i analiz numerycznych oraz zarysowano dalsze rozszerzenie badań in situ i dalszy zakres obliczeń z zastosowaniem zaawansowanych modeli konstytutywnych gruntu.

4. Ocena pracy i uzyskanych wyników.

Podstawowa, własna, ważna i oryginalna część pracy została zawarta w rozdziałach 4, 5 i 6.

Główne elementy pracy dotyczą oddziaływania kolumn iniekcyjnych na podłoże gruntowe.

Za elementy oryginalne, wartościowe, które stanowią o dorobku naukowym i inżynierskim mgr inż. Anny Juzwy można uznać następujące zagadnienia:

- analiza współpracy kolumn wykonanych w technologii iniekcji strumieniowej z niespoistym podłożem gruntowym,
- przygotowanie poligonu badawczego w terenie z pełnym rozpoznaniem geologicznym i geotechnicznym z zastosowaniem wierceń i testów statycznego sondowania, CPTU,
- pełne udokumentowanie i nowoczesna interpretacja badań CPTU z możliwością wykorzystania wyników badań w kraju i zagranicą w celu stosowania w przyszłości metod bezpośrednich, zgodnie z filozofią Eurokodów,
- wykonanie porównawczych badań statycznych nośności dla kolumny pojedynczej i grupy trzech kolumn. Badanie wykonano w całym zakresie obciążeń do poziomu wartości granicznych a uzyskane krzywe osiadań ($Q - s$) są bezpośrednio porównywalne gdyż kolumny badawcze umieszczono blisko siebie,
- wykonano analizy numeryczne z wykorzystaniem programu Z-Soil.PC i modelu konstytutywnego sprężysto – idealnie plastycznego o powierzchni granicznej Coulomba-Mohra dla podłoża gruntowego. To stosunkowo proste podejście ma zalety inżynierskie gdyż może być stosowane w praktycznych zagadnieniach budownictwa gdy dysponujemy najczęściej podstawową dokumentacją geotechniczną i ograniczonym zakresem parametrów geotechnicznych,

- wariantowe obliczenia, ocena i sprawdzenie możliwości stosowania w analizach numerycznych strefy przejściowej w tego rodzaju konstrukcjach. Zdefiniowanie parametrów strefy, które dają najlepsze przybliżenie w stosunku do wyników badań terenowych,
- wskazanie na różnice w pracy fundamentów posadowionych na palach klasycznych a grupą kolumn wykonanych w technice iniekcji strumieniowej oraz konieczność stosowania innych korelacji w obliczeniach typu kolumna pojedyncza – grupa kolumn (głównie dla stanu granicznego użyteczności).

5. Uwagi dyskusyjne, merytoryczne i krytyczne.

W stosunku do niektórych części pracy formułuję uwagi i pytania wymagające ustosunkowania się Doktorantki:

1. W tytule pracy formułuje się ocenę współpracy grupy kolumn iniekcyjnych z podłożem gruntowym. W rzeczywistości, zarówno w badaniach terenowych i analizach numerycznych Doktorantka zajmuje się grupą trzy palową.
2. Proszę przedstawić przykładowe obliczenia dla większej grupy kolumn aby można ocenić działanie zaproponowanej metody w przypadku realnych obiektów inżynierskich.
3. W pracy zastosowano model konstytutywny sprężysto – idealnie plastyczny. Jak Doktorantka ocenia możliwość zastosowania modeli bardziej zaawansowanych i jakie badania należy wykonać aby można zrealizować wiarygodne analizy numeryczne dla praktyki inżynierskiej.
4. W pracy przedstawiono szczegółowe wyniki analiz numerycznych. W moim odczuciu brak jednak zdecydowanych uogólnień z pokazaniem wyraźnych zaleceń i kierunków w przypadku realizacji większych projektów. Z drugiej strony może należało wyraźnie zaznaczyć co zostało już wykonane oraz jakie są ograniczenia w stosunku do przyszłych obliczeń i zastosowanych modeli.
5. Ważnym elementem pracy są również porównania krzywych osiadania, $Q - s$, uzyskane w badaniach terenowych i analizach numerycznych. Proszę ustosunkować się do określeń typu:
 - str. 123, „uzyskanymi w wyniku obliczeń numerycznych, a rzeczywistymi z próbnymi obciążeniami, dostrzega się znaczne podobieństwo”

- str. 130, „Można zauważyć dość dobre dopasowanie w zakresie podobieństwa pracy dla kolumn o średnicach 60 i 80 cm ...”

6. W pracy wykorzystuje się parametry geotechniczne pochodzące z różnych źródeł i dokumentacji. Oczekiwałbym większego uporządkowania oznaczeń. Przykładowo w pracy znalazły się oznaczenia: c_u , Φ_u , Φ , c , $c(u)$, Φ_u , Φ^+ , C^+ , $S_{u(Cu)}$.

6. Podsumowanie.

Recenzowana praca ma charakter doświadczalno-analityczny. Przedstawiono szczegółowe analizy dotyczące kolumn iniekcyjnych wykonanych w technologii iniekcji strumieniowej posadowionych w gruntach niespoistych. Główny nacisk położono na współpracę *grupy kolumn* z podłożem gruntowym co jest elementem nowym w tematyce badawczej z tego zakresu zastosowań.

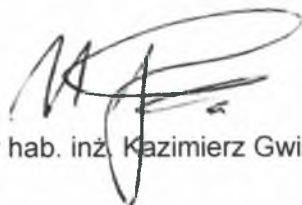
W pracy zawarto elementy badawcze, naukowe i aplikacyjne dotyczące zastosowań nowoczesnych technologii w różnych rodzajach budownictwa.

Po zapoznaniu się z całością recenzowanej pracy doktorskiej mgr inż. Anny Marii Juzwy, pt. „Analiza współpracy grupy kolumn iniekcyjnych z podłożem gruntowym” stwierdzam, że:

1. W ujęciu formalnym praca spełnia wszystkie warunki stawiane pracom doktorskim.
2. Doktorantka zajmuje się problemem ważnym i aktualnym z naukowego i praktycznego punktu widzenia.
3. Autorka zaplanowała, wykonała i udokumentowała własne autorskie badania terenowe i analizy numeryczne na dobrym poziomie naukowym.
4. Badania, analizy numeryczne i oceny przedstawione w pracy są własnymi oryginalnymi wynikami prac badawczych Doktorantki oraz zawierają elementy nowe i poznawcze.
5. Biorąc pod uwagę całość pracy stwierdzam, że Doktorantka wykazała przygotowanie do prowadzenia samodzielnych prac badawczych i rozwiązywania problemów naukowych oraz aplikacyjnych.

Na podstawie oceny pracy doktorskiej mgr inż. Anny Marii Juzwy, pt. „Analiza współpracy grupy kolumn iniekcyjnych z podłożem gruntowym” stwierdzam, że praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z Ustawą z dnia 14 marca 2013 r. „O stopniach naukowych i tytule naukowym...” .

Stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Anny Marii Juzwy do publicznej obrony.



Prof. dr hab. inż. Kazimierz Gwizdała