

Prof. dr hab. inż. Kazimierz Gwizdała  
Profesor Emeritus PG  
Katedra Geotechniki, Geologii i Budownictwa Morskiego  
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska  
Politechnika Gdańska

Gdańsk, 6 lutego 2017 r.



## RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Lidii Wanik, pt. „Geometrical and mechanical properties of jet grouting columns: experimental investigations and prediction”, („Geometryczne i mechaniczne właściwości kolumn iniekcyjnych: badania doświadczalne i przewidywanie”).

### 1. Podstawa opracowania

Recenzję opracowano na podstawie zlecenia Dziekana Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach z dnia 16 grudnia 2016 r. oraz przekazanej pracy doktorskiej.

### 2. Tematyka pracy

Wykorzystanie technologii iniekcji strumieniowej – jet grouting jest obecnie bardzo szerokie i znalazło zastosowanie w różnych rodzajach budownictwa. Pomimo wielu lat stosowania tej technologii wykonuje się badania szczególnie dotyczące właściwości materiału powstałego z mieszania iniektu cementowego z gruntem oraz kształtu i nośności tak powstałych elementów konstrukcyjnych.

W tym zakresie tematyka jest ciągle aktualna z naukowego i praktycznego punktu widzenia.

### 3. Charakterystyka pracy

Praca składa się z 8 rozdziałów, 3 załączników i spisu literatury, w sumie 190 stron, została napisana w języku angielskim.

**Rozdział 1**, krótko scharakteryzowano przedmiot i zakres pracy oraz jasno sformułowano cel pracy.

#### **Rozdział 2**

Omówiono w zwartej formie proces iniekcji strumieniowej. Zagadnienie to było wielokrotnie przedstawiane w literaturze. Można zauważyć, że jasno wymieniono najważniejsze czynniki, które określają proces iniekcji strumieniowej i będą podlegały szczegółowej analizie. Podkreślono również możliwość analizy teoretycznej modelowania procesów iniekcji strumieniowej.

**Rozdział 3**, omówiono analityczne możliwości odwzorowania procesu iniekcji strumieniowej.

Zastosowano program Fluent z pakietu ANSYS, umożliwiający odwzorowanie przepływu przy założeniu zmienności różnych parametrów, np. wartość prędkości początkowej iniektu, średnicy dysz, wpływu dodatkowego medium (powietrza).

**Rozdział 4**, omówiono charakterystykę geometryczną i mechaniczną kolumn wykonanych w technologii iniekcyjnej. Wykorzystano bogatą literaturę i wiele propozycji innych autorów.

Słusznie zauważa się wpływ czynników, które mają znaczenie decydujące, są to: podłoże gruntowe, system iniekcji oraz parametry technologiczne iniekcji.

Przedstawiono różne metody przewidywania średnicy kolumn. Niezależnie od parametrów, które przywołano w pracy należy pamiętać również o innych warunkach brzegowych, np. pochodzenie gruntu (czyli nie tylko rodzaj) czy doświadczenie wykonawcy (czynnik ludzki, stan zużycia sprzętu, wpływ zawartości różnych części organicznych).

W przedstawionych wzorach występują co najmniej dyskusyjne „parametry bezwymiarowe”, np. wzory (4.3, (4.4), str. 53.

Wszelkie zastosowania dotyczące wytrzymałości i sztywności materiału uzyskanego w wyniku iniekcji wykazują bardzo duże rozbieżności, (np. współczynniki zmienności dla wytrzymałości  $q_u$ , tablica 4.13, str. 74, dla różnych gruntów jest od 15% do 75%). Podobnie dla sztywności  $E_{50\%}$ , wzór 4.21. str. 73, współczynnik  $\beta_E$  dla tego samego gruntu (różna krzywa uziarnienia), np. żwir i piasek,  $\beta_E = 500 \div 1200$ , piasek pylasty  $\beta_E = 220 \div 700$ .

Wyniki takiej oceny generują niewątpliwie wiele pytań, również dla Doktorantki.

## **Rozdział 5**

Ważną część pracy stanowią kolumny wykonane w terenie na specjalnym poligonie badawczym. Badania wykonano w gruncie uwarstwionym, piaski średnie przewarstwione gliną i namułami, o stopniu plastyczności  $I_L = 0,38$ . Do wyjaśnienia pozostaje poziom wody gruntowej. ZWG na rys. 5.5 oznaczono na poziomie 4,50 m do 4,90 ppt, podczas gdy na str. 90 i 91 (zdjęcia) poziom wody zaobserwowano 1,7 m ppt.

W ramach programu badawczego wykonano:

- 8 sztuk kolumn wykonanych systemem pojedynczym (1S + 8S),
- 8 sztuk kolumn wykonanych systemem podwójnym (1D + 8D),
- długość wszystkich kolumn wynosi 4 m, długość tę należy odnieść do przekroju geotechnicznego, rys. 5.5, str. 78,
- rozmieszczenie kolumn, wzajemne odległości i ewentualne oddziaływania można odczytać z rys. 5.6,
- rozpoznanie geotechniczne to dwa otwory wiertnicze, cztery sondowania CPTU, parametry geotechniczne określono na podstawie wyników CPTU,
- w celu oceny wpływu różnych parametrów zmieniano systemy iniekcji i parametry iniekcji strumieniowej.

## **Rozdział 6.**

W ramach programu badawczego zaplanowano ocenę charakterystyk geometrycznych kolumn iniekcyjnych. Kolumny odsłonięto do głębokości około 1,7 m ppt, ze względu na rzeczywiście występujący poziom wody gruntowej. Dla odsłoniętych części kolumn wykonano pomiary ich odwodów w interwale co 10 cm. Z dokumentacji fotograficznej wynikają znaczące różnice w średnicach i istotne niejednorodności w trzonach kolumn, rys. 6.3 do rys. 6.26. Proszę dokładniej przedstawić zasady pomiarów średnic kolumn.

Obserwowane różnice średnic kolumn udokumentowano również na rys. 6.27 do rys. 6.30, proszę o komentarz i analizę.

W dalszej części pracy wykonano porównanie wyników pomiarów z obliczeniami na podstawie metod analitycznych według Flory, Shena i Ochmańskiego (wykresy na podstawie analizy z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych).

Porównanie jest możliwe tylko w górnych strefach, do głębokości 1,5 m ppt, patrz rys. 6.39 do rys. 6.46. W tej strefie stwierdzono niedoszacowanie w stosunku do średnic rzeczywistych.

Zwracam uwagę, że w badaniach podłoża gruntowego wykonano jedynie sondowanie CPTU. Niezbędne wyniki sondowań SPT ( $N_{SPT}$ ) są wartościami interpretowanymi wg Robertsona.

Porównania poniżej głębokości 1,5 m ppt. odnoszą się tylko wzajemnie do tych trzech wspomnianych metod (Flora, Ochmański, Shen).

**Rozdział 7.** oceniono charakterystyki mechaniczne w odniesieniu do badanych kolumn, w istniejących warunkach geotechnicznych.

Wykonano badania wytrzymałościowe próbek z kolumn próbnych (wytrzymałości na jednoosiowe i trójosiowe ściskanie) i urobku (wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie).

Wykazano dużą niejednorodność materiału. Dla urobku, współczynnik zmienności jest rzędu 30%, dla materiału z kolumn od 30 ÷ 70%. Wykonano wiele badań, zmieniano wiele parametrów, patrz zestawienia tabelaryczne w p. 7, głównie dla próbek z małej głębokości. Według mojej oceny brak jednak uogólnień dla przyszłych projektów z możliwością wykorzystania omawianych badań. Wyniki można odnieść do warunków lokalnych, patrz rys. 5.5, str. 78. Przy znacznych współczynnikach zmienności dla materiału kolumn, wartości średnie są co najmniej dyskusyjne w praktycznym projektowaniu. Jakie są propozycje i zalecenia Doktorantki w odniesieniu do rzeczywistych projektów w innych warunkach geotechnicznych dla zwykle spotykanych długości kolumn. Wymaga to bardziej szczegółowego ustosunkowania się Doktorantki.

**Rozdział 8.** przedstawiono skrótowo charakterystykę wykonanych analiz i badań. Zaakcentowano główne czynniki decydujące o ostatecznych parametrach zastosowania technologii iniekcji strumieniowej – jet grouting.

#### 4. Ocena pracy

Oryginalne i własne elementy pracy zawarto w rozdziałach 5, 6, 7 i 8.

O wartości naukowej i inżynierskiej pracy mgr inż. Lidii Wanik stanowią następujące elementy:

- 1) Wykonano własne badania terenowe 16 kolumn iniekcyjnych w gruncie uwarstwionym; wykonanych w systemie pojedynczym i podwójnym.
- 2) Świadomie dobierano i zmieniono czynniki decydujące w ostatecznych parametrach technologii iniekcji strumieniowej.
- 3) Wykonano pomiary i analizy charakterystyk geometrycznych kolumn iniekcyjnych w odniesieniu do rodzaju gruntu i głębokości.
- 4) Potwierdzono istotne niejednorodności w materiale kolumn. Dotyczy to zarówno gruntów piaszczystych i organicznych.  
Uznają to jako kolejny impuls do dalszych dociekań w celu poprawy jakości omawianej technologii.
- 5) Badania i oceny Doktorantki pozwoliły odnieść się do metod analitycznych oceny średnic kolumn, zaproponowanych przez Florę, Shena i Ochmańskiego.
- 6) Wykonano bardzo szerokie badania wytrzymałości materiału kolumn dla próbek pobranych z rzeczywistych kolumn wykonanych w warunkach naturalnych podłoża gruntowego.
- 7) Przedstawiono wiarygodne wyniki badań wytrzymałości tworzywa gruntowo – cementowego w zależności od ilości zastosowanego cementu dla systemu pojedynczego i podwójnego.
- 8) Generalnie w całej pracy należy docenić dużą dbałość o dociekliwość badawczą i próby naukowego rozwiązania problemów.

#### 5. Uwagi dyskusyjne i pytania

Do części pracy formułuję uwagi i pytania:

1. Jednym z głównych celów pracy było lepsze zrozumienie i ocena geometrycznych charakterystyk kolumn iniekcyjnych. Analiza zdjęć z poletka doświadczalnego, rys. 6.3 do 6.30, wskazuje na znaczące nierównomierności i niejednorodności odstoniętych części kolumn. Jakie są przyczyny i jakie wskazania na przyszłość dla przemysłowej realizacji kolumn w rozpatrywanej technologii.
2. W przekroju geotechnicznym, rys. 5.5, występują również gliny i namuły (z częściami organicznymi). Taka zmiana wytrzymałości w podłożu gruntowym stwarza dodatkowe trudności w wykonawstwie kolumn. Jakie praktyczne spostrzeżenia w odniesieniu do technologii i charakterystyki geometrycznej oraz wytrzymałości wynikają z doświadczeń Doktorantki, dla tak zmiennych wytrzymałości w przekroju geotechnicznym.

3. Na rys. 6.39 do rys. 6.46 naniesiono średnice kolumn, mierzone i przewidywane według metody Flora, Ochmańskiego i Shena. W górnych partiach średnice zmierzone są większe od przewidywanych. Jakież są oceny Doktorantki, czy są to tendencje stałe czy odnoszą się tylko do warunków lokalnych. Czy nie ma ograniczeń w stosunku do glin i namulów. Jakież są warunki brzegowe dla stosowania wymienionych metod.
4. Istotne różnice zaobserwowano dla wytrzymałości na próbach pobranych z kolumn. Jak Doktorantka ocenia możliwości prognozowania wytrzymałości dla praktyki inżynierskiej. Jak wyniki analizy statystycznej mogą być użyteczne w projektowaniu (zalecenia dotyczące funkcji gęstości, odchylenia standardowego, współczynników zmienności, wartości miarodajne wytrzymałości).
5. Uwagi formalne, brak spójności w oznaczeniach parametrów geotechnicznych, niektóre przeciwstawne informacje w różnych częściach pracy, przekażę Doktorantce bezpośrednio.

## 6. Podsumowanie

Praca ma charakter doświadczalno – analityczny. Dotyczy wciąż aktualnego tematu – technologii iniekcji strumieniowej – jet grouting. Pomimo wieloletniego stosowania tej technologii, charakterystyki geometryczne, wytrzymałościowe i odkształceniowe nie zostały dokładnie i jednoznacznie określone w zależności od warunków w podłożu gruntowym, stosowanych parametrów iniekcji oraz rodzaju iniekcji.

W ujęciu formalnym praca spełnia wszystkie warunki stawiane pracom doktorskim.

Praca zawiera elementy nowe i poznawcze. Przedstawiono wyniki własnych badań doświadczalnych oraz obliczeń i analiz z możliwością ich wykorzystania w praktyce inżynierskiej, projektowej i wykonawstwie.

Doktorantka wykazała przygotowanie do prowadzenia samodzielnych prac badawczych i aplikacyjnych.

Na podstawie oceny całej pracy doktorskiej mgr inż. Lidii Wanik pt. „Geometrical and mechanical properties of jet grouting columns: experimental investigations and prediction”, (Geometryczne i mechaniczne właściwości kolumn iniekcyjnych: badanie i przewidywanie”) stwierdzam, że praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z ustawą z dnia 14 marca 2013 r. o stopniach Naukowych i Tytule Naukowym w zakresie Sztuki, z późniejszymi zmianami.

Stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Lidii Wanik do publicznej obrony.



Prof. dr hab. inż. Kazimierz Gwizdała