

Dr hab. inż. Zenon SZYPCIO, prof. PB
Politechnika Białostocka
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
ul. Wiejska 45E
15-351 Białystok

Białystok, dn. 03.09.2014r.



RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgr inż. Piotra KANTEGO**

na temat: „**Analiza doświadczalne wpływu wymiany dynamicznej gruntu na otoczenie**” wykonanej pod kierunkiem dr hab. inż. Jerzego Sękowskiego,
prof. nzw. Pol. Śl.

1. Podstawa opracowania

Pismo Dziekana Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej z dn. 2014.06. 30 i umowa o dzieło nr UD/24/RBO/2014 z dn. 2014.06.30.

2. Informacje ogólne

Recenzowana rozprawa doktorska liczy 142 strony, zawiera 106 rysunków w tym 9 cytowanych z literatury.

W pracy wykorzystano 176 pozycji literatury dotyczącej bezpośrednio lub pośrednio tematyki rozprawy.

Na końcu rozprawy zamieszczono streszczenie w języku polskim i angielskim.

3. Treść pracy

W rozdziale pierwszym autorsko omówiono pojęcie geoinżynierii. Jako najbardziej zbliżone do metody wymiany dynamicznej techniki wzmocnienia podłoża omówiono konsolidację dynamiczną i wibrowymianę.

Przy konsolidacji dynamicznej uderzenie ubijaka o dużej masie opuszczanego z dużej wysokości wywołuje w podłożu duże naprężenia. Energia generowana przy uderzeniu jest propagowana do niższych warstw podłoża przez ściskanie i propagację fal. Skuteczność techniki zależy od charakterystyki dynamicznej gruntu. Najlepsze rezultaty uzyskuje się przy zagęszczaniu nienasyconych gruntów gruboziarnistych. Okazało się jednak, że wysoki stan naprężeń wywołany dużą

energiją uderzenia ubijaka powoduje spękania w gruntach drobnoziarnistych stanowiące uprzywilejowane ścieżki przepływu umożliwiające szybszy przepływ wody w gruntach o małym współczynniku filtracji. Odpowiedni dobór miejsc ubijania i faz ubijania czyni technikę konsolidacji dynamicznej skuteczną dla gruntów drobnoziarnistych. Jeżeli krater powstały w wyniku kolejnych uderzeń ubijaka zasypujemy kruszywem to możliwe jest wykonanie w słabym podłożu kolumny o znacznej długości i średnicy. Tę metodę wykonywania kolumn nazywa się wymianą dynamiczną.

W pracy szeroko opisano aspekty historyczne stosowania tej techniki wzmocnienia podłoża na świecie i w Polsce. Prostota metody i skuteczność spowodowały jej dynamiczny rozwój w kraju. Wykonana w podłożu słabym kolumna o znacznej średnicy znacząco wzmocnia słabe podłoże i przyspiesza konsolidację. Główne wady metody to: drgania podczas wykonywania kolumny, ograniczona głębokość wzmocnianego podłoża oraz brak algorytmów projektowych.

Podobne kolumny zwykle o mniejszej średnicy mogą być wykonywane metodą wibrowymiany.

W rozdziale pierwszym pracy szczegółowo omówiono zagadnienia technologiczne, projektowe oraz badania modelowe i polowe dotyczące tych trzech technik wzmocnienia podłoża.

Na podstawie szczegółowej analizy zagadnień związanych ze wzmocnieniem słabego podłoża na końcu pierwszego rozdziału sformułowano cel i zakres pracy.

Celem pracy jest rozpoznanie wpływu wymiany dynamicznej na otaczającą wykonywaną kolumnę grunt. Badania polowe i modelowe będące podstawą analizy były wykonywane w ramach grantu Nr 1989/B/T02/2011/40 finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki.

W rozdziale drugim pracy skupiono uwagę na zagadnieniach projektowania wzmocnienia podłoża za pomocą kolumn kamiennych. Szeroko omówiono zagadnienie nośności, osiadań i konsolidacji. Wskazano, że wszystkie metody inżynierskie projektowania wzmocnienia podłoża zakładają cylindryczny kształt kolumny, nie uwzględniają zmian parametrów fizycznych i mechanicznych gruntu

w otoczeniu kolumny wywoływanych jej wykonaniem. Prowadzi to do zbyt asekuracyjnego projektowania i w konsekwencji podniesienia kosztów wzmocnienia podłoża. W podsumowaniu słusznie podkreślono, że powyższe zagadnienia teoretyczne i praktyczne są bardzo ważne i powinny być lepiej rozpoznane naukowo.

W rozdziale trzecim opisano badania modelowe wykonane w ramach pracy. Badano przemieszczenia powierzchni terenu w otoczeniu kolumny, przemieszczenia poziome oraz zmianę niektórych parametrów fizycznych i mechanicznych gruntów otaczających kolumnę. Szczegółowo opisano stanowisko badawcze, metodykę i lokalizację poszczególnych badań. Badania wykonano dla podłoża nieobciążonego i obciążonego modelującego pracę wzmocnionego podłoża pod nasypem drogowym.

Podsumowując wskazano, że dla badanego modelu podłoża wpływ formowania kolumny na nie jest większy niż 2,4 średnic kolumny, przemieszczenie poziome maleje w miarę oddalania się od kolumny a odkształcenia powierzchni terenu nie są osiowo symetryczne.

Zmiany parametrów mechanicznych, oporów stożka sondy wciskanej najbardziej widoczne są w jej bliskim sąsiedztwie. Zdaniem autora rozprawy przyrost oporów stożka sondy powyżej maksymalnej średnicy kolumny wynika z konsolidacji wywołanej wzrostem naprężeń wywołanych wykonaniem kolumny i działania kolumny jako drenu pionowego zaś poniżej z obciążeń wywołanych podczas procesu formowania kolumny. Badania wykazały, że współpraca kolumny z otaczającym gruntem zmienia się w czasie. W układzie kolumna – grunt w początkowej fazie osiada podłoże w otoczeniu kolumny a w miarę upływu czasu osiadania kolumny i otaczającego podłoża się wyrównują.

W rozdziale czwartym analizując wyniki badań polowych opisanych w literaturze i własnych badań modelowych ustalono program i szczegółowo opisano badania polowe wykonane w ramach pracy. Podobnie jak w badaniach modelowych badano przemieszczenie wybranych punktów terenu w otoczeniu kolumny, przemieszczenie poziome w gruncie oraz zmiany parametrów mechanicznych gruntu w sąsiedztwie kolumny.

Badania wykonano na dwóch poletkach doświadczalnych Poletko Nr 1 zlokalizowano w miejscowości Przeworsk w sąsiedztwie realizowanej budowy autostrady. W rozprawie szczegółowo opisano sprzęt i proces formowania kolumny. Podczas badania mierzono głębokość krateru po każdym uderzeniu ubijaka w każdej z trzech faz formowania kolumny. Podczas wykonywania kolumny mierzono wypiętrzenie i spękanie powierzchni terenu. Zmiany dokumentowano geodezyjnie i fotograficznie. Przemieszczenie poziome mierzono za pomocą zainstalowanych 6 inklinometrów. Pomiary wykonano przed rozpoczęciem formowania kolumny, po każdej z trzech faz formowania kolumny.

Udowodniono, że przemieszczenia poziome zależą od położenia punktu pomiarowego i fazy wykonywania kolumny. Wyniki pomiarów przedstawiono w pracy bardzo czytelnie.

Wyniki pomiarów deformacji terenu i przemieszczeń poziomych świadczą o znaczącej asymetrii co dla autora rozprawy stało się inspiracją do bardziej szczegółowego rozpoznania zagadnienia na poletku doświadczalnym Nr 2. Świadczy to dobrze o dociekliwości naukowej autora rozprawy.

Szeroki zakres badań sondą statyczną CPTU umożliwił analizę wpływu wykonania kolumny na zmianę parametrów mechanicznych w otoczeniu kolumny. Opisano zmiany kąta tarcia wewnętrznego, kohezji, wytrzymałości na ścinanie w warunkach „bez drenażu”, edometrycznego modułu ściśliwości w gruntach otaczających wykonaną kolumnę. Autor uogólniając stwierdza, że uformowanie kolumny w podłożu doprowadziło do ujednoczenia parametrów mechanicznych gruntów w podłożu, warstwy słabsze wzmocniły się a mocniejsze osłabiły.

Wykonane badania dylatometryczne (DMT) pozwoliły na określenie wartości kąta tarcia wewnętrznego i edometrycznego modułu ściśliwości.

Analizując wyniki badań autor wykazał, że w wyniku wykonania kolumny wartości OCR i K_0 lekko wzrastają.

Badania wykonane na poletku Nr 2 traktuje się w pracy jako uzupełniające i ukierunkowane na badanie asymetrii przemieszczeń terenu w otoczeniu kolumny. Wypiętrzenia i przemieszczenia poziome wykazują znaczną asymetrię w każdym

etapie formowania kolumny. Zdaniem autora rozprawy może być to spowodowane techniką wypinania ubijaka i lokalizacją ciężkiej maszyny.

Dodatkowo na poletku Nr 2 wykonano badania tomografii elektrooporowej celem określenia kształtu wykonanej kolumny.

Po zakończeniu wszystkich badań kolumny odkopywano badając ich kształt.

W rozdziale piątym, końcowym sformułowano wnioski i wynikające z badań perspektywy dalszych badań naukowych.

4. Wybór tematu

Wzmacnianie podłoża jest jednym z najbardziej aktualnych zagadnień geotechniki. Metoda wymiany dynamicznej jako jedna z najprostszych, skutecznych i konkurencyjnych cenowo jest szeroko stosowana w kraju i na świecie. Prostota technologii nie przekłada się jednak na prostotę zagadnień teoretycznych i projektowych przy opisie zachowania się gruntu podczas wykonywania kolumn i później podczas eksploatacji budowli posadowionej na tak wzmocnionym podłożu. Należy stwierdzić, że w zagadnieniach wymiany dynamicznej praktyka znacznie wyprzedziła teorię. Wiadomym jest, że uwzględnienie w projektowaniu wzmocnienia podłoża metodą wymiany dynamicznej, efektów zmian parametrów fizycznych i mechanicznych podłoża w otoczeniu wykonywanej kolumny umożliwi bardziej optymalne projektowanie wzmocnienia. Tematyka rozprawy bezpośrednio skierowana na badanie zmian w otoczeniu kolumny jest bardzo aktualna. Nie tylko wpisuje się w historię badań zagadnień wzmacniania podłoża podejmowaną od kilku dziesięcioleci w Katedrze Geotechniki Politechniki Śląskiej, ale również aktualnych i perspektywicznych badań naukowych tych zagadnień w kraju i na świecie. Wielu młodych naukowców uważa, że większość zagadnień może być rozwiązanych przy pomocy bardzo szybko rozwijających się technik komputerowych. Stwierdzić jednak należy, że zbudowanie prawidłowego modelu gruntu, a w szczególności dobór parametrów modelu, nie jest możliwe bez odpowiednio zaplanowanych badań laboratoryjnych, modelowych i polowych.

Reasumując uważam, że tematyka rozprawy jest bardzo aktualna.

5. Cel pracy

Główny cel pracy przedstawiono w podsumowaniu rozdziału pierwszego poświęconego analizie literatury dotyczącej zagadnienia wymiany dynamicznej i pokrewnych technik wzmocnienia podłoża.

Na podstawie analizy literatury zagranicznej i krajowej wybrano dwa główne problemy badawcze dotyczące techniki wymiany dynamicznej:

- deformacje i zmiany parametrów geotechnicznych w otoczeniu formowanej kolumny kamiennej,
- kształt wykonanej kolumny i optymalny proces jej formowania.

Bardzo dobra znajomość specyfiki zagadnień związanych z wykonaniem kolumn kamiennych metodą wymiany dynamicznej pozwoliła autorowi rozprawy prawidłowo zaplanować program badań modelowych oraz polowych i w znacznym stopniu osiągnąć założony cel pracy.

6. Ocena pracy

6.1. Ocena merytoryczna

Bardzo dobra znajomość autora rozprawy zagadnień naukowych, technologicznych i projektowych wzmocnień słabego podłoża za pomocą technik dynamicznych: dynamicznej konsolidacji, wibrowymiany i wymiany dynamicznej widoczna jest przy dogłębnej analizie literatury przedstawionej w pierwszym i drugim rozdziale rozprawy.

W rozdziale drugim szeroko omówiono metody szacowania nośności, odkształceń i konsolidacji wzmocnień podłoża za pomocą kolumn kamiennych.

W pracy nie przedstawiono próby adaptacji tych metod do projektowania wzmocnień podłoża kolumnami kamiennymi wykonanymi metodą wymiany dynamicznej. Faktem jest, że kolumny kamienne wykonane metodą wymiany dynamicznej nie mają cylindrycznego kształtu i znacząco bardziej zmieniają otoczenie kolumny i grunt leżący poniżej kolumny niż kolumny wykonywane metodą wibrowymiany to zdaniem recenzenta doktorant był w pełni przygotowany do podjęcia próby adaptacji aktualnie stosowanych metod projektowania do wzmocnień podłoża metodą wymiany dynamicznej.

Badania modelowe wykonano z dużą starannością zgodnie z ustalonym programem.

W badaniach modelowych Nr 1 warstwę nośną stanowił piasek średni o $I_D=0,88$ zaś warstwę słabą glina pylasta o $I_L=0,7$. W pracy nie podano wartości granicy płynności i granicy plastyczności dla użytej w badaniach gliny pylastej zatem trudno czytelnikowi rozprawy oszacować jaki wpływ na zmianę parametrów mechanicznych mają zmiany wilgotności wywołane wykonaniem kolumny.

Na rysunkach jasno przedstawiono rozmieszczenie punktów pomiarowych w badaniach Nr 1 i Nr 2 co bardzo ułatwia zrozumienie idei i celu pracy. Recenzent rozumie, że przyjęta metodyka formowania kolumny wynika z analizy doświadczeń firm wykonujących kolumny i wcześniejszych badań modelowych prowadzonych w Katedrze Geotechniki jednak powinno to być jasno przedstawione w pracy.

W badaniach modelowych Nr 1 i Nr 2 kształty wykonywanych kolumn były podobne co może świadczyć o tym, że przy tej samej procedurze wykonywania kolumny jej kształt zależy od właściwości warstw gruntów podłoża.

Przemieszczenie poziome otoczenia kolumny mierzono po zakończeniu badań i odkrywce rurek, które niesłusznie nazwano inklinometrami. Taka metodyka pomiarów przemieszczeń poziomych uniemożliwiała badanie przemieszczeń w różnych fazach formowania kolumny. Zdaniem recenzenta, nie zakłócając warunków w podłożu można było instalować cienkie rurki do pomiaru przemieszczeń poziomych w różnych fazach wykonywania kolumny uzyskując pełniejszy obraz deformacji podłoża.

Pomierzone objętości wypiętrzenia terenu w otoczeniu kolumny stanowią około 2% objętości kolumny zatem wykonanie kolumny znacznie konsoliduje słabe grunty w jej otoczeniu, co nie jest jasno przedstawione w pracy.

Zmiany właściwości parametrów mechanicznych zilustrowano zmianami oporów stożka sondy wciskanej. Pomiary wykonywano przed wykonaniem kolumny 1, 8 i 28 dni po jej wykonaniu w punktach o różnej odległości od osi kolumny. Z badań wynika, że zmiany zachodziły w pierwszych dniach po wykonaniu kolumny i miały zasięg mniejszy niż dwukrotna średnica kolumny.

W badaniach modelowych Nr 1 i Nr 2 zaobserwowano podobne zmiany oporów stożka.

Zmiany wilgotności słabego gruntu są funkcją jego odległości od kolumny i czasu jaki upłynął od zakończenia jej wykonania. Najbardziej intensywne zmiany zachodzą w bezpośrednim sąsiedztwie kolumny i są minimalne w odległości dwukrotnej średnicy kolumny. W czasie 28 dni wilgotność gruntu w badanych punktach nie uległa znacznym zmianom zatem, zdaniem autora rozprawy, nie drenażowe działanie kolumny a proces jej formowania ma istotny wpływ na rozkład wilgotności w otoczeniu kolumny.

Z badań modelowych Nr 2 wynika, że obciążenie kolumny i otaczającego podłoża wywołuje początkowo znaczne osiadania podłoża w stosunku do osiadań kolumny. Po upływie 2 dni od chwili przyłożenia obciążenia kolumna w pełni współpracowała z gruntem otaczającym kolumnę i osiadania kolumny i podłoża były sobie równe. Zatem z badań wynika, że bardzo szybko następuje redystrybucja obciążeń na kolumnę i otaczający ją grunt.

Reasumując wykonanie i analizę wyników badań modelowych należy stwierdzić, że program badań ustalono racjonalnie, prawidłowo wykonano zaplanowane badania i z dużą dociekliwością naukową skomentowano otrzymane wyniki. Prawdą jest, że analizowano tylko bezpośrednio wyniki badań, a nie podjęto próby analizy teoretycznej uzyskanych wyników na podstawie klasycznych teorii czy analiz numerycznych to jednak należy stwierdzić, że autor rozprawy wykazał się bardzo dobrą znajomością procesów zachodzących w gruncie w wyniku dynamicznych oddziaływań, metodyki badań modelowych i umiejętnością jasnego przedstawiania wyników badań.

W pracy opisano i analizowano wpływ wykonania kolumny na otaczające ją podłoże na dwóch polach doświadczalnych. Sprzęt użyty i sposób formowania kolumny były identyczne jak dla kolumn wykonywanych przy budowie pobliskiej autostrady zatem badania polowe wykonywane w ramach pracy są w pełni adekwatne dla warunków gruntowych południowo-wschodniej Polski. Podczas formowania kolumny powierzchnia terenu niesymetrycznie się deformowała co uwidoczniło się jej spękaniem.

Na poletku Nr 1 kształt wykonanej kolumny był podobny do kształtu uzyskanego w badaniach modelowych zaś na poletku Nr 2 był niezgodny z intuicją i badaniami modelowymi.

Zdaniem autora rozprawy kształt kolumny na poletku Nr 2 wynika z wysokiej wytrzymałości namulów w podłożu i niską wytrzymałością gruntu platformy roboczej.

W badaniach modelowych i polowych obserwowano dużą asymetrię deformacji podłoża wynikającą, zdaniem autora, z losowych zachowań podłoża w badaniach modelowych zaś w badaniach polowych ze sposobu wypinania ubijaka i wpływu obciążenia podłoża ciężkim sprzętem.

Z badań inklinometrycznych wynika, że przemieszczenia gruntu występują o różnej wielkości w poszczególnych fazach formowania kolumny nie tylko w jej otoczeniu ale również w podłożu poniżej podstawy kolumny. W badaniach polowych potwierdzono, że zasięg oddziaływania kolumny nie przekracza 2,5-krotnej jej średnicy.

Dla badań polowych autor rozprawy nie przedstawił obliczeń objętości wypiętrzeń terenu w stosunku do objętości kolumny co by znacznie ułatwiło analizę deformacji podłoża spowodowanego wykonaniem kolumny.

Badania podłoża sondą wciskaną (CPTU) i dylatometrem (DMT) potwierdzają zasięg wpływu oddziaływania kolumny otrzymany z badań przemieszczeń.

Badania wykazują, że podczas formowania kolumny metodą wymiany dynamicznej w jej otoczeniu następuje zniszczenie struktury gruntu, spadek parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych. Po wykonaniu kolumny wraz z upływem czasu parametry wytrzymałościowe i odkształceniowe wzrastają. Zdaniem autora rozprawy pomiar badania efektywności wzmocnienia powinien być oddalony w czasie od momentu zakończenia wykonania kolumn. Jest to istotne spostrzeżenie autora rozprawy mogące mieć zastosowanie przy odbiorach wzmocnień podłoża wykonywanych metodą wymiany dynamicznej.

W pracy nie pokazano i nie skomentowano dlaczego przedstawiono tylko opory stożka a nie przedstawiono wyników pomiarów ciśnienia wody w porach gruntu.

Na uwagę zasługuje fakt szczegółowej analizy różnic wartości parametrów mechanicznych gruntu otrzymanych z badań sondą statyczną i dylatometrem.

Z badań modelowych i polowych wynika, że przy wykonywaniu kolumn metodą wymiany dynamicznej jej zasięg oddziaływania wynosi 2-2,5 krotnej średnicy kolumny i jest znacząco większy od klasycznie przyjmowanej w projektowaniu odległości pomiędzy kolumnami 1,5-2,0 krotnej średnicy kolumny.

Sformułowane w zakończeniu rozprawy wnioski ogólne dotyczą bezpośrednio badań modelowych i polowych i nie odnoszą się do praktyki projektowej i wykonawczej wzmocnienia słabego podłoża za pomocą kolumn kamiennych wykonywanych metodą wymiany dynamicznej. Zdaniem recenzenta znajomość tematyki wzmocnień metodą wymiany dynamicznej, wyniki badań modelowych i polowych pozwalają autorowi rozprawy na sformułowanie pewnych ogólnych wniosków, które mogłyby być bezpośrednio wykorzystane w praktyce inżynierskiej.

Sformułowana w zakończeniu rozprawy perspektywa dalszych badań wydaje się być nieco zawężona. Należy pamiętać, że każda metoda wzmocnienia podłoża jest optymalna tylko dla niektórych warunków gruntowo-wodnych z uwzględnieniem specyfiki budowli wznoszonej na wzmocnianym podłożu.

Badania modelowe i polowe wykonane w ramach pracy dowodzą jednak, że praktyka wzmocnień słabych podłoży dalej wyprzedza teorię. Wykonane w ramach pracy badania, w pewnym stopniu, zmniejszają dystans pomiędzy praktyką a teorią.

6.2. Uwagi formalne i redakcyjne

Przyjęta struktura pracy, szczegółowe podsumowania w zakończeniu rozdziałów utrudniają nieco zrozumienie istoty problemu.

W pracy nie wspomniano o Eurokodzie 7 tak na poziomie badań i opisu podłoża, stanów granicznych i metod projektowania.

Rozdział drugi rozprawy dotyczący wymiarowania kolumn kamiennych nie był wykorzystany w dalszej części rozprawy.

Autor rozprawy jako równoważne niesłusznie traktuje pojęcia badań laboratoryjnych i modelowych.

8. Wnioski końcowe

Zgodnie z ustawą z dn. 14.03.2003r. z późniejszymi zmianami „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” recenzowana rozprawa **mgr inż. Piotra Kantego** „Analiza doświadczalna wpływu wymiany dynamicznej gruntu na otoczenie” stanowi oryginalne zagadnienie naukowe co świadczy o jego ogólnej wiedzy teoretycznej, umiejętności samodzielnego formułowania zagadnień naukowych i ich rozwiązywania.

Wnoszę o dopuszczenie **mgr inż. Piotra Kantego** do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Dr hab. inż. Zenon Szypcio, prof. PB

