



Prof. dr hab. inż. Kazimierz Gwizdała
Profesor Emeritus PG
Katedra Geotechniki i Inżynierii Wodnej
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
Politechnika Gdańska

Gdańsk, 05.05.2022 r.

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Gumnego

pt.: „Współpraca pojedynczego fundamentu płytowo - palowego z gruntem”.

1. Podstawa opracowania

Recenzję opracowano na podstawie Uchwały NR 28 Senatu Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie z dnia 28 lutego 2022 r. i umowy - zlecenie z dnia 7 marca 2022 r. przekazanej przez Prorektora ds. Nauki, prof. dr hab. inż. Jacka Przepiórskiego oraz przekazanej pracy doktorskiej.

2. Tematyka Pracy

Wykorzystanie nowych technologii w zakresie fundamentowania głębokiego jest obecnie bardzo częste. Pełne wykorzystanie pierwotnego stanu naprężenia w podłożu gruntowym jest szczególnie ważne z technicznego i ekonomicznego punktu widzenia. Jest to niemal koniecznością i obowiązkiem inżynierów oraz naukowców.

W okresie planowanych inwestycji, szczególnie w obszarze kolejnictwa. W tym zakresie tematyka recenzowanej pracy doktorskiej jest bardzo aktualna z naukowego i praktycznego punktu widzenia.

3. Charakterystyka pracy

Praca składa się z 9 rozdziałów podstawowych, 70 stron. Integralną część pracy stanowią materiały dokumentacyjne w tym:

- plan dalszych badań
- bibliografia
- spis rysunków
- spis tabel
- załączniki:
 - Załączniki od A do F (w tym charakterystyki dla siłownika, czujnika, tensometrów, rejestratora, świadectwo badania ścierniwa suszonego,
 - Załącznik F, wyniki do rozdziału 7.3.3,
 - Załącznik G, pomiary i obliczenia dla modelu PFPP - Pojedynczy Fundament Płytowo - Palowy.

W sumie praca składa się z 117 stron, została napisana w języku polskim.

Rozdział 1

Syntetycznie scharakteryzowano potrzebę podjęcia tematyki zawartej w pracy. Szczególną uwagę zwrócono na rozwój kolejnictwa, rozwój infrastruktury kolejowej, trudności w zakresie projektowania i obliczeń.

W pracy jasno określono jej zakres do współpracy fundamentu palowego z gruntem. W analizie uwzględniono specjalny rodzaj pojedynczego fundamentu palowego, który jest przykryty płytą lub blokiem żelbetonowym.

Rozdział 2

Bardzo krótko sformułowano cel, tezę i zakres rozprawy.

Podstawowy i główny cel pracy to „analiza pojedynczego fundamentu płytowo-palowego w gruntach niespoistych”. Praca bazuje przede wszystkim na badaniach eksperymentalnych i laboratoryjnych. Uzyskane wyniki badań powinny umożliwić zastosowanie metody Meyera – Kowalowa w ocenie badanego układu.

Doktorant stawia tezę, że „podczas obciążenia pojedynczego fundamentu płytowo-palowego (PFPP) poprzez docisk płyty przykrywającej podwyższa się naprężenie na poboczniczy pala, co skutkuje zwiększeniem nośności fundamentu”.

Rozdział 3

Zestawiono, scharakteryzowano i syntetycznie omówiono zagadnienia związane z fundamentami płytowo-palowymi, prezentowanymi w literaturze europejskiej i światowej. Szczególną uwagę zwrócono na wybrane zagadnienia prezentowane w badaniach doświadczalnych, dotyczące pojedynczych fundamentów płytowo-palowych. Badania te wykonano głównie w warunkach laboratoryjnych dla pali małych średnic (np. $D=150$ mm, $D=8$ mm, $D=130$ mm, $D=28,6$ mm, $D=10$ mm), a monitorowano jedynie siłę pionową przykładaną do głowicy pala

oraz całkowite przemieszczenie modelu pala. Brakuje pomiarów oporu podstawy pala, rozkładu oporów wzdłuż pobocznic i siły w głowicy pala, pod płytą przykrywającą.

Rozdział 4 i 5

Ogólny program badań zawarto w kilku punktach, na jednej stronie. Można go sprowadzić do następującego zakresu.

- analityczny opis zachodzących zjawisk z wykorzystaniem metody Meyera-Kowalowa: współpraca pala z gruntem oraz metody Meyera-Szmechela: współpraca płyty z gruntem.
- badania doświadczalne pojedynczego fundamentu płytowo-palowego (PFPP), w gruncie niespoistym, w warunkach laboratoryjnych.
- analiza wyników eksperymentalnych i weryfikacja modelu matematycznego. W rozdziale 5 przedstawiono całkowity zapis równań w powyższych modelach dla pala i dla płyty.

Rozdział 6

Badania eksperymentalne wykonano w gruncie niespoistym dla modelu pojedynczego fundamentu płytowo-palowego. W pracy szczegółowo i systematycznie opisano wszystkie elementy stanowiska badawczego. Dokładny opis i przedstawiona charakterystyka systemów pomiarowych wzbudza zaufanie co do rzetelności wykonanych eksperymentów. Stanowisko badawcze i system obciążeniowo pomiarowy:

- studnia wypełniona piaskiem z kontrolą zagęszczenia, stopni zagęszczenia I_D ,
- rama obciążeniowa stalowa,
- system obciążeniowy hydrauliczny, dla obciążeń do 250 KN,
- model pala stalowego z podstawą zamkniętą oraz płytą przykrywającą, stalową.

Badanie wykonano dla różnych długości pali i różnych średnic płyt przykrywających.

- pal pojedynczy bez płyty, o długości $L = 1000$ mm i 700 mm, $I_D = 0,55$ i $I_D = 0,60$
- pal pojedynczy z płytą $\varnothing 250$ mm, $L = 1000$ mm i 700 mm, $I_D = 0,55$, $I_D = 0,60$
- pal pojedynczy z płytą $\varnothing 200$ mm, $L = 1000$ mm i 700 mm, $I_D = 0,55$ i $I_D = 0,60$.

Uwagi:

- różnice w średnicach płyty $\varnothing 250$ mm i $\varnothing 200$ mm oraz różnice w stopniach zagęszczenia $I_D = 0,55$ i $I_D = 0,60$ są zbyt małe aby w badaniach eksperymentalnych ustalić względny wpływ badanych (założonych) parametrów.

Model fundamentu wyposażono w czujniki pomiarowe w głowicy, w podstawie i na pobocznic. Na pobocznicy pala stalowego zastosowano naklejane tensometry (łącznie 32 tensometry). Czujniki pomiarowe kalibrowano na maszynie wytrzymałościowej. Wszystkie wyniki

były przekazywane rejestratorem 8-kanalowym. Pomiar zagęszczenia wykonano dla każdej wbudowanej warstwy przy pomocy płyty dynamicznej.

Pytanie, czy wykonywano pomiar zagęszczenia gruntu za pomocą innych metod (krótka dyskusja Doktoranta: płyta dynamiczna i inne metody badawcze określania I_D).

Pomiar przemieszczenia wykonywano za pomocą czujników zegarowych o dokładności 0,01 mm.

Komorę badawczą wykonano z tworzywa sztucznego, jest to zbiornik o wymiarze \varnothing 1500 mm w wysokości 2000 mm. Model pala był zasypywany piaskiem. Przeprowadzono ogółem 16 prób obciążeniowych modeli. Maksymalne obciążenie wynosiło 25 kN dla pali z płytą przykrywającą oraz 17 kN dla pali bez płyty. Wyniki były rejestrowane „w momencie ustabilizowania się osiadania fundamentu”.

Uwagi i pytania:

- czy analizowano wpływ odkształceń własnych zbiornika na wyniki badań, szczególnie dla obciążeń końcowych,
- proszę przedstawić i omówić krzywą przesiewu,
- w jakich przedziałach mogła zmienić się wilgotność piasku, uwzględniając zmienne warunki w hali (lato, zima, opady, okresy badawcze w ciągu roku),
- jak Doktorant ocenia równomierność zagęszczenia w całej masie, w komorze badawczej,
- proszę ocenić wpływ sztywnego dna studni na wyniki oporu w podstawie pala, różna odległość dla różnych długości pali,
- jakie były kryteria poziomu obciążenia maksymalnego 25 kN i 17 kN (dlaczego właśnie takie wartości),
- jakie było kryterium „moment ustabilizowania się osiadania fundamentu”.

Rozdział 7

W tabelach zestawiono szczegółowo uzyskane wyniki badań, tzw. wyniki surowe.

Dalej analizowano współpracę pala z gruntem. W dalszej ocenie bardzo ważne jest określenie siły w głowicy N_2^* (rys. 7,1, str. 38).

Istotne jest określenie oporu pobocznic, $T = N_2^* - N_2$ (rys. 7.1). Zależności te były podstawą dla wykazania tezy pracy, patrz rozdział 2. Z porównania wynika, że przyrost tarcia na pobocznicę PFPP **wzrasta ponad pięciokrotnie** (dla takiego samego osiadania $S_2 = 1,05$ mm) w stosunku do pala pojedynczego bez płyty przykrywającej. Innym sposobem oceny wzrostu

oporu poboczniczy wskutek docisku płyty jest zestawienie zaniku siły w trzonie pala, dla jednakowej siły N_2^* , p.7.3.2, str. 41.

W p.7.3.3 analizowano rozkład naprężeń na poboczniczy. Rozkład ten jest istotnie różny dla pala z płytą przykrywającą i bez płyty. Doktorant powinien tu jednak przeanalizować i omówić długość pala, jego sztywność własną, wartości względne średnicy płyty w stosunku do średnicy pala i jego zagłębienia. Wnioski i ocena przedstawione przez Doktoranta powinna być **poszerzona o ograniczenia**, dla których powyższe oceny są ważne. Należy odnieść się do innych, praktycznych, inżynierskich, rzeczywistych wartości.

Doktorant analizuje rozkład naprężeń na poboczniczy pala. „Zakłada” mechanizm strefy uplastycznienia gruntu. Zgodnie z wcześniejszymi pracami innych autorów, jeżeli nawet założony mechanizm jest prawdziwy, to należy spodziewać się, że kąt α jest bardzo mały, rys. 7.8, str.47.

W punkcie 7.3.5 (str. 50) Doktorant podsumowuje swoje oceny do rozdziału 7. Należy oczekiwać, że Doktorant bardziej szczegółowo uzasadni punkt 6, str.50.

Współpraca płyty z gruntem, p.7.4, str. 51, ma podstawowe znaczenie w wyjaśnieniu mechanizmów rozpatrywanych w pracy. Charakterystyki, które należy uwzględnić w przypadku rzeczywistych pojedynczych fundamentów płytowo-palowych (PFPP) akcentowano już wcześniej w opinii. W p. 7.5 omówiono założenie jednakowego osiadania pala i płyty. Płyta jest bezpośrednio połączona z palem. W pracy przyjęto założenie jednakowego osiadania podstawy pala oraz podstawy płyty. Założenie takie może być prawdziwe w analizowanych badaniach laboratoryjnych, dla zastosowanego schematu płyta-pale. Dla wnioskowania ogólnego w praktyce inżynierskiej należy wprowadzić ograniczenia, kiedy zarówno wnioski jakościowe jak i ilościowe będą mogły być stosowane.

Osiadanie płyty opisano wzorem 7.23, str.53. Osiadanie podstawy pala opisano wzorem 7.27 str.55. W obu wzorach występuje moduł odkształcenia gruntu, E . Przywołane zależności należy rozpatrywać w ramach teorii sprężystości. Oczekuję od Doktoranta odniesienie się do nowszych, zaawansowanych modeli gruntu. Uwzględniając powyższe założenie i oceny ilościowe, w p. 7.53 przedstawiono propozycję opisu analitycznego wyznaczania siły w głowicy pala przy założeniu jednakowego osiadania pala i płyty.

Uwzględniono zależności osiadania płyty i pala, które już wcześniej przywołano w opinii.

Rozdział 8

Uwzględniając wcześniejsze badania modelowe i analizy teoretyczne Doktorant przedstawił model obliczeniowy dla praktyki. Schemat proponowanego modelu przedstawiono na rys. 8.1 str. 58. Istotne parametry modelu, patrz rys. 8.1, to N_2 , N_2^* , σ_2 , τ_1 , τ_2 , N_1 , σ_1 , D_p . Należy tu szczególnie zauważyć założenie o tworzeniu się uplastycznego obszaru w formie

„gruszki” i założeniu o pominięciu skrócenia sprężystego trzonu pala. Problem ten akcentowano już wcześniej w odniesieniu do rzeczywistych pali. W analizowanych zależnościach w dalszym ciągu wykorzystywany jest moduł ścisłości gruntu pod płytą, E_2 , oraz moduł ścisłości gruntu pod podstawą, E_1 . (moduły odkształcenia E w ramach rozwiązań teorii sprężystości).

Równanie z niewiadomą σ_2 , jest w postaci uwikłanej, a rozwiązanie uzyskujemy stosując metodę kolejnych iteracji, patrz rys. 8.2, str. 61.

W rozdziale 8.2 przedstawiono przykład obliczeniowy.

Uwagi do przykładu (proszę Doktoranta o dyskusję):

- przykład jest bardzo prosty,
- pominięto siły poziome,
- właściwości gruntu to jedynie E_2 , E_1 , γ i φ , $\alpha = 1^{00}$
- grunt jest jednorodny, $E_2 = E_1$,
- woda gruntowa występuje 3,0 m pod podstawą pala,
- dlatego w obliczeniach wykorzystano wytyczne EA - Pfähle: 2012, a nie wytyczne i zalecenia polskie.

W rozdziale 8.3 bardzo krótko przywołano charakterystykę przykładowych wyników do pomiarów siły w trzonie pala i pod podstawą (chyba zbyteczne w pracy).

Rozdział 9 i 10

W pracy to rozdział przedstawiony jako „Podsumowanie i wnioski”. W skrócie podsumowano zakres prac, doświadczalnych i analitycznych, wykonanych w ramach pracy doktorskiej.

Wnioski sformułowano raczej dość ogólnie, głównie w formie jakościowej.

Również w formie ogólnej, (rozdział 10), zarysowano plan dalszych badań.

4. Ocena pracy

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

O wartości naukowej, wnoszącej nowe elementy naukowe i inżynierskie, pracy mgr inż. Krzysztofa Gumnego stanowią następujące elementy:

- 1) Wykonano własne badania doświadczalne w laboratorium na modelach pali stalowych z płytą przykrywającą.
- 2) Badania wykonano według założonego programu badawczego z pełną i systematyczną kontrolą stanu zagęszczenia gruntu, w piasku.

- 3) Modele pali zostały wyposażone w wysokiej klasy czujniki pomiarowe. Umożliwiło to pomiar sił w głowicy, podstawie i na pobocznicy.
- 4) Analiza wyników badań doświadczalnych i ocena analityczna pozwala na wydzielenie naprężeń pod płytą przykrywającą.
- 5) Systematyczne pomiary, jak wyżej, w dalszej części pracy pozwalają na ocenę wielkości rozkładów naprężeń na pobocznicy pojedynczego fundamentu płytowo-palowego.
- 6) Szczegółowe wyniki badań doświadczalnych, systemowo udokumentowane w pracy, mogą być w przyszłości wykorzystane przez innych badaczy przy bardziej zaawansowanych modelach analitycznych.
- 7) Generalnie, szczególnie w przygotowaniu i wykonywaniu badań doświadczalnych, należy docenić bardzo dużą dbałość o szczegóły oraz możliwie wiarygodną ocenę zachodzących procesów i zjawisk w ramach zagadnienia współpracy PFPP z niespoistym podłożem gruntowym.

5. Uwagi dyskusyjne

1. W recenzji, w zakresie charakterystyki pracy, zawarłem swoje uwagi i pytania, dotyczące bezpośrednio omawianych zagadnień. Proszę o ustosunkowywanie się do uwag, przedstawienie swoje stanowiska w odniesieniu do omawianych zagadnień.
2. Należy jednocześnie przedstawić ograniczenia i zakres w odniesieniu do wyników, zaleceń i wniosków wynikających z badań doświadczalnych. Szczegółowe kwestie zawarłem powyżej w recenzji.
3. Rozwiązania analityczne bazują na modułach odkształcenia E, w ramach rozwiązań teorii sprężystości.
4. Jak Doktorant ocenia możliwości zastosowania zaawansowanych modeli gruntu. Należy odnieść się również do programów numerycznych, zorientowanych aktualnie na zagadnienia geotechniczne.
5. Ocenę należy również rozszerzyć na grunty uwarstwione. Szczególnie, że w zagadnieniach praktycznych, bardzo często w przypowierzchniowych obszarach gruntu podłoże jest wyraźnie mniej nośne. Dla jakiego przedziału można stosować przedstawione rozwiązania jak dla gruntu jednorodnego.
6. Jak Doktorant, w przyszłości, ocenia możliwości uwzględnienia oddziaływania bardziej złożonego, obciążenia łącznie: siła pionowa, siła pozioma, moment.
7. Proszę odnieść się do innych technologii pali z uwzględnieniem zależności płyta-pal o różnej długości i sztywności.

8. Zalecam w przyszłości większą dbałość oraz spójność w stosowaniu odsyłaczy i jednoznaczność oznaczeń w całej pracy. W niektórych fragmentach język polski jest traktowany dość swobodnie i odczuwa się wpływ wynikający z tłumaczenia, z języków obcych.

6. Podsumowanie

Praca ma charakter doświadczalno-analityczny. Dotyczy bardzo aktualnego tematu oceny współpracy pojedynczego fundamentu płytowo - palowego (PFPP) z niespoistym podłożem gruntowym. W obecnym okresie, gdy w kraju szeroko planowane są inwestycje kolejowe ma to szczególne znaczenie w sensie naukowym, praktycznym i ekonomicznym. W ujęciu formalnym praca spełnia wszystkie warunki stawiane pracom doktorskim. Praca zawiera elementy nowe i poznawcze w zakresie tematyki pracy doktorskiej. Własne badania doświadczalne i analizy obliczeniowe mogą być wykorzystane w przyszłości, w dalszych pracach naukowych i w praktyce inżynierskiej.

Doktorant wykazał przygotowanie do prac badawczych z możliwością ich praktycznego wykorzystania.

Na podstawie analizy całej pracy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Gumnego pt.: „Współpraca pojedynczego fundamentu płytowo-palowego z gruntem” stwierdzam, że praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z ustawą z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach Naukowych i Tytule Naukowym w zakresie Sztuki z późniejszymi zmianami.

Stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Krzysztofa Gumnego do publicznej obrony.


Prof. dr. hab. inż. Kazimierz Gwizdała