

STRESZCZENIE

W rozprawie przedstawiono analizę związków między parametrami opisującymi krzywą osiadania pala, a jego długością i średnicą. Określone na tej podstawie związki posłużyły do sformułowania metody konwersji krzywej próbnego statycznego obciążenia pala w przypadku zmiany jego geometrii. Badania opierają się na wykorzystaniu wyników próbnego obciążenia statycznego siedmiu pali, wykonanych w warunkach terenowych. Testy statyczne analizowanych pali przeprowadzone były w pełnym zakresie obciążenia. Umożliwiło to wykorzystanie pomierzonej wartości nośności granicznej pala. Na podstawie przeprowadzonej analizy literatury w rozdziale 3 stwierdzono, że dalsza część pracy opierać się będzie na metodzie Meyera-Kowalowa (metoda M-K), umożliwiającej uzyskanie z dużą dokładnością ciągłej krzywej opisującej zależność między obciążeniem i osiadaniami pala, zarówno w zakresie liniowym, jak i nieliniowym. W rozdziale 4 przedstawiono analizę zjawiska osiadania pala na podstawie liniowej teorii sprężystości. Następnie przedstawiono założenia oraz sformułowano model matematyczny, który pozwala na konwersję krzywej osiadania pala w oparciu o liniową teorię sprężystości. W praktyce obciążenia wykraczają poza zakres liniowej zależności obciążenie-osiadanie, dlatego metoda konwersji przedstawiona w rozdziale 4 ma ograniczony zakres stosowania. Następnie w rozdziale 5 przeprowadzono analizę sposobów wyznaczania parametrów krzywej M-K, sformułowano rekomendowanego do konwersji sposobu estymacji. Wykorzystanie wyników testów statycznych pali wykonanych w pełnym zakresie obciążenia umożliwiło przeprowadzenie analizy statystycznej przedstawionej w rozdziale 6. W rezultacie sformułowano zależność empiryczną między nośnością graniczną pala, jego parametrami geometrycznymi oraz oporem gruntu w poziomie podstawy. W dalszej części pracy na podstawie analizy dotyczącej wpływu rozkładu naprężeń z uwzględnieniem różnych powierzchni dopasowania podstawy pala, opisanej w rozdziale 7, sformułowano w rozdziale 8 ostateczną metodę konwersji dla pełnego zakresu obciążenia. Proponowana metoda pozwala na konwersję krzywej osiadania pala w przypadku zmiany długości oraz średnicy pala, przy założeniu, że warunki gruntowe pozostają bez zmian. Na jej podstawie wykonano przykłady obliczeniowe, w których określono zmianę przebiegu zarówno krzywej osiadania pala, jak i krzywej oporu podstawy oraz poboczniczy dla różnych długości i średnic. W rozdziale 9 przedstawiono praktyczny przykład wykorzystania konwersji, wraz z weryfikacją. W rozdziale 10 podsumowano przeprowadzone badania, przedstawiono wnioski oraz sformułowano program dalszych badań.

K. Stachecki
25.05.2027

ABSTRACT

The dissertation presents an analysis of relation between parameters describing pile settlement curve and its length and diameter. The equations determined on this basis were used to formulate the method of static load test curve conversion in case of changed geometry. Research was based upon the results of a static load test of seven piles performed in field conditions. The static tests of analyzed piles were carried out in the full load range, which made it possible to use the measured values of pile bearing capacity. Based on the literature analysis carried out in Chapter 3, it was determined that the rest of the work will be based on the Meyer-Kowalow method (M-K method), which allows to obtain a continuous curve describing with high accuracy the relation between pile load and settlement, both in linear and non-linear range. Chapter 4 presents an analysis of the pile settlement phenomenon based on the linear elasticity theory. Then, the assumptions were presented, and equations were formulated that allow for static load test curve conversion based on the linear theory of elasticity. Due to the fact that in practice, most often we deal with loads exceeding the range of the linear load-settlement relation, the conversion method presented in Chapter 4 has a limited scope of application. Then, in Chapter 5, an analysis of methods of determining the parameters of the M-K curve was carried out. This allows for formulating the estimation method recommended for curve conversion. The use of pile static load tests results conducted in the full load range made it possible to carry out the statistical analysis presented in Chapter 6, as a result of which an empirical relationship was formulated between the pile bearing capacity, its geometric parameters and resistance at the level of its base. In further part of the work, based on the analysis of the influence of stress distribution taking into account different pile base adapt surfaces, described in Chapter 7, the final conversion method for the full load range was formulated in Chapter 8. The proposed method allows for the conversion of the pile settlement curve in the case of changes in the length and diameter, assuming that the soil conditions remain unchanged. On this basis calculation examples were conducted, in which the change in the course of both the pile settlement curve as well as curves describing base and skin resistance was determined for different lengths and diameters. Chapter 9 presents an example of practical use of proposed method of conversion, along with verification. Chapter 10 summarizes carried out research, presents conclusions and formulates program of further research.

K. Stachecki

25.05.2021



Prof. dr hab. inż. Marek Lefik
Politechnika Łódzka
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska
Katedra Geotechniki i Budowli Inżynierskich
Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź.

Łódź, 10 października 2021 roku.

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr inż. Kamila Stacheckiego
„Analiza możliwości konwersji krzywej próbnego statycznego obciążenia
pala przy zmianie jego geometrii”

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą opracowania recenzji jest uchwała Senatu Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie (ZUT), powołująca mnie na recenzenta w przewodzie doktorskim Pan mgr. inż. Kamila Stacheckiego oraz pismo Prorektora ds. Nauki ZUT, Pana prof. dr. hab. inż. Jacka Przepiórskiego, z dnia 1 lipca br., zlecające mi napisanie recenzji.

2. Przedmiot oceny

Przedmiotem oceny jest rozprawa doktorska napisana przez mgr inż. Kamila Stacheckiego, zatytułowana „Analiza możliwości konwersji krzywej próbnego statycznego obciążenia pala przy zmianie jego geometrii”. Praca ta powstała w Katedrze Geotechniki WBiA Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego. Promotorem pracy jest profesor dr hab. inż. Zygmunt Meyer.

Praca liczy 195 stron, jest podzielona na 10 rozdziałów, w jedenastym rozdziale zawarto 9 załączników. Rozprawę ilustruje 112 rysunków i wykresów, zamieszczono w niej 85 tabel. Spis literatury zawiera 85 pozycji, w tym pięć dokumentów mających charakter norm. Spis skrótów i oznaczeń oraz streszczenia w języku angielskim i polskim umieszczono na początku rozprawy.

3. Szczegółowa analiza treści rozprawy i jej ocena merytoryczna

3.1. Rozdział pierwszy zawiera w punkcie 1.1. i w punkcie 1.2 (odpowiednio) wprowadzenie ogólne i uzasadnienie podjęcia badań dotyczących analizy możliwości konwersji krzywej próbnego statycznego obciążenia pala przy zmianie jego geometrii.

W rozdziale tym Autor wyjaśnia, że celem Jego pracy będzie zbadanie możliwości wykorzystanie krzywej zależności obciążenie-osiadanie, uzyskanej w wyniku polowego badania statycznego pała, do oceny nośności oraz do projektowania pała o innej geometrii niż pał badany.

Badania statyczne nośności pała prowadzone są albo dla zweryfikowania nośności wykonanych pali albo dla uzyskania danych do projektowania, przed realizacją przedsięwzięcia inwestycyjnego. Jak się wydaje, przedstawiona praca znajdzie zastosowanie jedynie w procesie projektowania pali na podstawie badań pali próbnych. Autor zauważa, że aktualne przepisy prawne dotyczące projektowania pali pozwalają na projektowanie z wykorzystaniem obciążeń próbnych. Przewiduje On uzyskanie dużych oszczędności w procesie wykonywania pali bądź to - dzięki ograniczeniom liczby badań statycznych, bądź to - przez uzyskanie oszczędności materiałowych w wyniku wykorzystania wiedzy o pracy statycznej pała na podstawie wykonanych doświadczeń. Już na tym etapie pojawia się wątpliwość, która towarzyszyła mi podczas lektury całej pracy, związana z tym, że jedyne zmienne, jakie są brana pod uwagę to wymiary pała zaś rozumowanie dotyczy ich modyfikacji, która jest możliwa jedynie przez wykonanie innego pała w innym miejscu. Pojawia się tu naturalny problem oceny, na ile warunki gruntowe dla tego kolejnego, projektowanego pała powinny być takie same. Problem zmiany warunków gruntowych a nawet problem osadzenia kolejnego zaprojektowanego metodą konwersji pała jako elementu grupy pali nie jest nigdzie podjęty, mimo tego, że jest to ważne ograniczenie zakresu stosowalności praktycznej podjętej analizy. Po raz pierwszy na stronie 44. Doktorant zwraca uwagę na warunki gruntowe, zakładając, że pozostają one bez zmian. Później wielokrotnie założenie takie pojawia się w tekście rozprawy, jednak we wzorze 4.63 pojawią się sztywności gruntu przed i po konwersji. Konwersja przeprowadzona w rozprawie doktorskiej nie bierze pod uwagę równań konstytutywnych poszczególnych warstw geotechnicznych gruntu, w którym osadzono pał a jedynie wymiary samego pała. Kolejnym problemem, który jest wyraźnie opisany w pracy jest (naturalna) konieczność rozdziału oporu pała na opory podstawy i pobocznic (Eurokod 7). Z tego wymagania Autor zdaje sobie sprawę w rozdziale wstępnym (zapisuje to wymaganie explicite). Zapis krzywych M-K pozwala na to, większość rozważań teoretycznych zapisanych w pracy dotyczy tego zagadnienia.

Zarówno zależność konwersji od warunków gruntowych jak i rozdział oporu pała na siły rozwinięte na pobocznicę i odpór gruntu pod stopą muszą napotkać na podstawową trudność: w badaniach statycznych pali nie ma informacji doświadczalnej ani o podziale reakcji pała na pobocznicę i stopę ani tym bardziej o udziale poszczególnych warstw geotechnicznych w nośności pobocznic. Badanie statyczne daje informacje tylko o sumie tych sił. Wszystkie informacje, które pozwalają na ocenę składników tej sumy to informacje zależne od interpretacji teoretycznej pracy pała. W doświadczeniu nie ma tej informacji, doświadczenie może jedynie obalić lub potwierdzić trafność interpretacji. Ta sama uwaga dotyczy krzywej Meyera-Kowalowa (krzywej M-K). Dopiero dodatkowe założenia dotyczące pracy pała pozwalają na zapisanie drugiej krzywej M-K, pozwalającej na rozdział reakcji pała na jej dwa addytywne składniki.

3.2. Rozdział drugi zawiera sformułowanie tezy pracy oraz określa cel pracy i jej zakres. Tezę pracy sformułowano następująco:

„Istnieje możliwość konwersji z dostateczną dla celów praktycznych obliczeń dokładnością krzywej próbnego statycznego obciążenia pała w przypadku zmiany jego wymiarów”.

Istnienia takiej możliwości Doktorant dowodzi przez przedstawienie procedury konwersji. Problem „dostatecznej dla celów praktycznych obliczeń dokładności” tej konwersji, akcentowany w drugiej części tezy, jest trudniejszy do formalnej oceny. Metodyka, jaką przyjął Autor, aby to wykazać, jest bardzo skomplikowana i rodzi wiele pytań. Na ocenę tej

dokładności złoży się suma wszelkich komentarzy dotyczących przyjętych założeń w kolejnych rozdziałach.

Określając zakres pracy, Doktorant wymienia zadania badawcze, które rzeczywiście zrealizował, takie jak sformułowanie metody konwersji i zastosowanie jej do analizy danych pochodzących z rzeczywistych badań kilku pali. Zapowiada jednak jednocześnie badania, które trudno uznać za zrealizowane w recenzowanej rozprawie. Doktorant twierdzi, że oprócz błędów związanych z dokładnością pomiarów przemieszczeń i sił, dane eksperymentalne zawierają błędy jakościowe, tu cytuję: „Wynikają one ze sposobu prowadzenia badań, odkształcenia przestrzeni gruntowej oraz sposobu współpracy pala z gruntem”. Doktorant deklaruje, że przeprowadzi badania dotyczące statystycznych metod prowadzących do wykrycia i eliminacji tych błędów, cytuję: „...przewidziano badania dotyczące statystycznych metod wyznaczania parametrów w celu ustalenia, którą część krzywej testu statycznego należy wybrać do estymacji parametrów (krzywej?) M-K...”. Doktorant zapowiada również, że przeprowadzi analizę zmierzającą do zminimalizowania wpływu błędów pomiarowych na, jak zgaduję, wiarygodność wniosków wyciągniętych z pomiarów obciążonych błędami metodologicznymi wymienionymi powyżej. W ciągu lektury pracy nie znalazłem przekonujących elementów zapowiadanej tu analizy błędów.

3.3. W rozdziale trzecim przedstawiono w sposób syntetyczny opis obecnego stanu wiedzy na temat obliczania przemieszczeń pala obciążanego statycznie siłą osiową i opisu jego interakcji z gruntem. Autor rozpoczyna rozdział przeglądem podstawowych dla tej dziedziny wiedzy prac, następnie omawia szczegółowo kilka ważniejszych podejść do tego zagadnienia. Skupienie uwagi na zastosowaniu funkcji transformacyjnych (opis metody zajmuje znaczną część rozdziału i obejmuje wiele jej wariantów) nie ma znaczenia dla dalszego ciągu pracy, gdyż metoda ta, w rozprawie doktorskiej nigdzie nie jest zastosowana. Z tego samego powodu nie krytykuję całkowitego pominięcia metod numerycznych w modelowaniu pracy pala. Autor opisuje bardzo szczegółowo funkcje transformacyjne, pisząc przy tej okazji, że powinny one wynikać z równań fizyki matematycznej dotyczących mechaniki gruntów (cytuję ze strony 21: „Zależność $T(s)$ jest zależnością podstawową i jej określenie powinno wynikać z równań fizyki matematycznej dotyczących mechaniki gruntów”). Trudno się z tym zgodzić: jako związki konstytutywne powinny być one raczej wynikiem doświadczenia, będąc jedynym nieraz elementem zastosowania metody indukcyjnej, a nie dedukcyjnej w mechanice.

Część przeglądu obejmuje literaturę poświęconą analizie wyników próbnych obciążeń statycznych (podejście Mazurkiewicza, zalecenia Instytutu Budowy Dróg i Mostów).

Znaczna część przeglądu poświęcona jest podstawowemu dla rozprawy piśmiennictwu dotyczącemu metody Meyera-Kowalowa reprezentacji krzywej osiadania pala. Sama krzywa M-K i interpretacja jej parametrów oraz możliwość rozdzielenia oporu pala na część zależną od pobocznic i od oporu gruntu pod stopą pala jest opisana prawidłowo, jednak uważam za swój obowiązek skomentować tu niestaranność terminologii matematycznej. Doktorant pisze, że krzywa ta ma dwie asymptoty, co nie jest prawdą, gdyż jest ograniczona przez asymptotę i styczną. Stycznej nie można nazywać asymptotą. Z greckiego asymptota - $\alpha\sigma\mu\pi\tau\omicron\tau\eta$, oznacza „nie stykać się”.

Podobnie, nie jest jasne co Autor nazywa obszarem zależności liniowej. W definicji krzywej M-K nie ma takiego obszaru. Na rysunku 3.8 jest to jeszcze mniej zrozumiałe. Kolejna uwaga terminologiczna: jak się wydaje, Doktorant zalicza metodę najmniejszych kwadratów do metod statystycznych. Tak nie jest, metoda ta nie operuje żadnymi pojęciami statystycznymi, choć w statystyce jest używana bardzo często, podobnie jak w innych gałęziach matematyki. Uwaga ta jest ważna, gdyż teoria bazująca na doświadczeniu (testy statyczne pali) powinna wziąć pod uwagę możliwości popełnienia błędu pomiaru. Wpływ przypadkowych błędów na interpretację danych zwykle rozważany jest przy użyciu statystyki matematycznej.

Wielokrotnie pojawiają się w pracy zapowiedzi analizy statystycznej jednak samej analizy statystycznej nie znajduję. Jest w tym rozdziale wiele zdań niezręcznie zbudowanych, niestety jest to wada całej dysertacji. Na przykład zdanie „...analiza numeryczna (czego?) przeprowadzona w oparciu o pale obciążone do zniszczenia, która ma na celu zoptymalizowanie sposobu estymacji parametrów krzywej M-K, aby zminimalizować wartości błędów pomiarowych wpływających na otrzymane rezultaty” jest nie dość, że niezręcznie stylistycznie to jeszcze zapowiada działania trudne do wykonania (jak można zminimalizować wartości tych błędów, które już są popełnione?).

W podsumowaniu rozdziału trzeciego Doktorant skupia uwagę na istniejących pracach związanych z wykorzystaniem krzywej M-K w projektowaniu pali wspomaganych wynikami sondowania, ekstrapolacji tej krzywej oraz podziałem wykresu na dwa addytywne składniki związane z pracą pobocznicy i stopy pala. Można zgodzić się z wnioskiem, że brak jest prac dotyczących konwersji krzywej M-K przy zmianie geometrii pala.

Rozdział trzeci jest napisany dość chaotycznie (trudno jest znaleźć myśl przewodnią w wyborze kolejności przedstawianych nurtów w obrębie omawianej dyscypliny). Pełen jest również niezręczności językowych.

3.4. Rozdział czwarty („Analiza zjawiska”) zawiera autorski opis matematyczny zjawiska współpracy pala i ośrodka gruntowego.

Również w tym rozdziale zauważa się chaos w przedstawianiu kolejnych kroków wyprowadzeń oraz niedostatek komentarza. Nigdy Doktorant nie pisze w jakim celu podejmuje przekształcenia. Już w równaniu 4.1 nie wiadomo o jaką siłę Q chodzi zaś zmienna z zgodna z rysunkiem 4.1 sugeruje, że wzór ten dotyczy obszaru sztywnego pala. W równaniu (4.5) wyjaśnia się wiele, ale i tak nie wiadomo, czy równanie to obowiązuje od zera czy może tylko od $z=H$ (jest ważny szczegół zapisu). W równaniu 4.4 zapomniano prawdopodobnie o wysokości pala. Czym są szczególne punkty $z1$ i $z2$ występujące w równaniu 4.6? Równanie 4.8 i, na przykład, 4.16 są formalnie niepoprawne: z występuje w granicach całki, wobec tego pod znakiem całki oraz dz powinny być zastąpione inną zmienną pomocniczą. Zwracam na to uwagę, ponieważ jest to przykład ogólnego nieporządku w opisach wyprowadzenia wzorów. Autor pisze w kilku miejscach: „Osiadanie pobocznicy pala spowodowane naprężeniami τ można również obliczyć...”. Chodzi prawdopodobnie o to, że naprężenia jest związane z tym osiadaniami, jednak, jeśli sugeruje się tu związek przyczynowo skutkowy to jest on odwrotny do zapisanego. Należy również zwrócić uwagę na fakt, że Doktorant przyjmuje liczne założenia upraszczające bez właściwego komentarza. Na przykład: „Dla gruntu jednorodnego można przyjąć, że moduł sprężystości E nie zmienia się,...”. W mechanice gruntów moduł E zależy również od historii stanu naprężenia w gruncie i od ścieżki naprężeń. Nie wiem, czy można tak samo traktować moduł E pod stopą i w pobliżu pobocznicy. Co więcej, mimo tego założenia, w pewnych obszarach pracy te wielkości są rozróżniane!

Kolejne uproszczenie: „Zakładając, że $r \ll H$, można pominąć r^2 w równaniach (4.10) i (4.11)”, jednak w tych równaniach w wyrażeniach na sumę w mianownikach nie występuje H ale $z-H$, również w strefie podstawy pala. Co wtedy dzieje się z wartością tej sumy, jeśli pominie się r ? Bez żadnego komentarza, z równania 4.10 i 4.11 Doktorant oblicza różne wartości s . Jest to sprzeczne z rysunkiem 4.1 i z założeniem o sztywności pala. Można oczywiście zgadywać jaki sens mają te równania, ale wyraźne objaśnienia Autora rozprawy są tu konieczne.

Nie jest dla mnie jasne jak Autor rozprawy interpretuje fizycznie wielkość, opisaną równaniem 4.14. Jeśli przyjęto absolutną sztywność pala to równość ugięcia wynikająca z równań 4.18 i 4.19 raczej nie zaskakuje, zwłaszcza że przyjęto również brak poślizgu wzdłuż pobocznicy.

W dalszej części tego rozdziału Doktorant koncentruje się na analizie współpracy pala z innym, sąsiednim palem. Można się tego jedynie domyślać, bo zagadnienie to nie jest ani

wprowadzone, ani poprzedzone jakimkolwiek komentarzem ani nawet zilustrowane rysunkiem. Co ważniejsze, rola tych rozważań w wyprowadzeniu metody konwersji krzywej M-K nie jest wytłumaczona. Rysunek 4.2 ilustruje bardzo spekulatywne założenia przyjęte dla tej procedury.

Kluczowe dla dalszego rozumowania, które Doktorant prowadzi, są wyniki wzięte z prac [44] i [47] (numeracja prac cytowanych wg bibliografii w doktoracie). Autor rozprawy nie napisał żadnego komentarza do tych wyników, dlatego sprawdzenie założeń, przy jakich są one uzyskane wymaga od recenzenta zapoznania się bezpośrednio z pracami, do których odsyła Doktorant. Niestety, różnorodność założeń wyjściowych jest bardzo trudna do syntetycznego podsumowania i powinna jednak pozostać obowiązkiem Doktoranta. W szczególności rysunek 4.3 zmienia jaskrawo i bez żadnego, jak dotąd, komentarza kontekst teoretyczny rozpatrywanego zagadnienia. Jaki ma sens użycie formuły 4.50, wziętej z pracy [52] po „samodzielnym” wyprowadzeniu wielu wyrażeń na osiadanie w poprzednich akapitach rozdziału 4.1? Podobnie, po przedstawieniu wyprowadzeń, o których napisano powyżej, Doktorant bez żadnego komentarza przyjmuje wyniki podejścia alternatywnego (jak sam pisze w pierwszej linii na stronie 40.), w którym pojawiają się inne niż na rysunkach parametry materiałowe, mianowicie moduł sprężystości gruntu pod podstawą pala i moduł sprężystości gruntu na poboczniczy pala (które miały być takie same, na mocy komentowanych powyżej założeń upraszczających).

Założenie, że $F(q_b)$ można aproksymować w wyjątkowo szczególnej postaci danej wzorem 4.55 jest nie dość, że nie uzasadnione w tekście rozprawy, to nawet nie wiadomo skąd pochodzi. Układ tego rozdziału jest całkowicie nielogiczny i nie ułatwia zrozumienia toku wyprowadzeń. Co więcej, fragment, który mógłby objaśnić przynajmniej ostatnie akapity podrozdziału 4.1 pojawia się na początku podrozdziału 4.2 jako konkluzja podrozdziału poprzedniego!

W podrozdziale 4.2 przedstawiono sposób przejścia od pewnej krzywej M-K uzyskanej dla pala o danej geometrii do krzywej M-K dla pala o innej średnicy i długości. Procedura ta opisana jest dość jasno, choć i w tym wypadku Autor deklaruje, że dla wyników testu statycznego $\{N_i; S_i\}$, cytując: „można wyznaczyć za pomocą statyst(y)ki parametry pierwotnej krzywej M-K”. Tych obliczeń statystycznych nie znalazłem w rozprawie. Prawdopodobnie i tutaj chodzi o metodę najmniejszych kwadratów. Procedura konwersji polega na wyznaczeniu nowych parametrów krzywej M-K na podstawie wzorów przedstawiających związek parametrów krzywej M-K (przedstawionej w formie opisanej wzorami 3.23 i 3.24) ze średnicą i długością pala. Centralnym elementem tej koncepcji jest postulat niezmienniczości relacji 4.47 (parametr U). Postulat ten nie jest nigdzie w pracy Doktoranta ani wytłumaczony ani nawet skomentowany, choć moim zdaniem powinno to być centralnym punktem rozprawy i można było przypuszczać, że liczne wzory przedstawione w ramach „analizy zagadnienia” (rozdział 4.1) zmierzają właśnie ku temu. Czytelnik tej pracy musi sięgnąć do innych źródeł, aby wyrobić sobie pogląd na to, czy niezmienniczość tego związku jest uzasadniona. Wobec tego, że ta fundamentalna relacja nie jest w pracy komentowana a jedynie wzięta z innych publikacji, moja opinia na ten temat jej zasadności pozostawię poza zakresem tej recenzji. Podobnie istotną kwestią jest prawidłowość rozkładu reakcji pala na reakcję na poboczniczy i odpór gruntu pod stopą pala. Tak jak poprzednio, Doktorant nie dyskutuje tej kwestii w swojej pracy. Jedyna, jak mi się wydaje, refleksja dotycząca tego zagadnienia pojawia się na stronie 45., gdzie Doktorant pisze: „Założenie, że wartość β nie ulega zmianie na skutek konwersji pozwala na sformułowanie...” kolejnych równań konwersji. Wartość ta to współczynnik we wzorze 4.68 wziętym z pracy [77].

W ostatnich liniach strony 45. i na stronie 46. pojawiają się niespodziewanie obliczenia szczegółowe dla początkowych wartości $H=27,5\text{m}$ i $D=1\text{m}$ i dla zmienionych wymiarów na 29m i $1,1\text{m}$ odpowiednio. Wzory użyte w tych obliczeniach nie są numerowane, można

zgadywać, że rysunki 4.4 i 4.5 ilustrują wyniki tego przykładu rachunkowego. Nie jest to jednak pewne, gdyż małe zmiany parametrów pała (około 5% i 10%) prowadzą tu do około 25% wzrostu siły przenoszonej przez pobocznice. Rozdział ten kończy się zapowiedzią, że ostateczna wersja metody konwertowania krzywej M-K pojawi się w rozdziale 8.

3.5. W rozdziale 5. Doktorant przedstawia metody efektywnego wyznaczenia parametrów krzywej M-K tak, aby aproksymowała ona najlepiej ciąg danych doświadczalnych. Po krótkiej dygresji (podrozdział 5.1) opisującej przykłady testów statycznych w pełnym zakresie obciążenia, które posłużą za przykłady obliczeniowe, przedstawiono metody aproksymacji zbioru danych doświadczalnych krzywą M-K. Aproksymacja ta polega na optymalnym doborze trzech parametrów krzywej M-K, czyli N_{gr2} , κ_2 oraz C_2 . Z uważnej lektury rozdziału wynika, że kryterium optymalnego doboru parametrów to najlepsza zgodność przemieszczeń pomierzonych w trakcie testów statycznych i ich odpowiedników obliczonych zgodnie z równaniem krzywej M-K w sensie metody najmniejszych kwadratów. Przedstawiono trzy metody. W metodzie I ilustruje to sekwencja równań 5.4-5.6. W metodzie II jest to równanie 5.9, w którym jednak, z przyczyn o których Doktorant nie wspomina, pomierzone ugięcia zastąpiono stosunkiem kolejnego do poprzedniego. Problem ten staje się jeszcze mniej zrozumiały, gdy w zakończeniu opisu metody Autor stwierdza: „Wadą metody II jest wyznaczenie δ^2 z różnicy proporcji osiadania, zamiast tak jak w metodzie I, z różnicy wartości osiadania”. W metodzie III kryterium jest zapisane w formie 5.14. Jedyne w tym wypadku nie musimy zgadywać, że chodzi o minimum, gdyż sformułowanie „metoda najmniejszych kwadratów użyte jest explicite. Różnice pomiędzy proponowanymi metodami polegają na tym, że w każdej z nich proces minimalizacji prowadzony jest przy innych założeniach upraszczających. W pierwszej z nich wartości κ_2 są zadane i zmieniają się w określonym przedziale. Doborowi metodą najmniejszych kwadratów podlegają tylko dwa pozostałe parametry. W metodzie II funkcja 5.9 podlega optymalizacji jedynie z uwagi na parametr κ_2 przy założonych wartości N_{gr2} . Parametr C_2 nie bierze udziału w aproksymacji, jest on wyznaczany na końcu obliczeń.

W metodzie III wszystkie parametry krzywej M-K otrzymywane są bezpośrednio, jako wynik minimalizacji funkcji 5.14. Autor rozprawy proponuje własne metody poszukiwania minimum sumy kwadratów odchyłek wartości pomierzonych od wartości obliczonych. Opisane są one w załączniku B. W tym miejscu przedstawię i skomentuję treść tego załącznika. Opis tam zawarty nie jest precyzyjny. Nie wiadomo, na przykład co w przedstawionych algorytmach oznacza słowo „wyszukaj” w odniesieniu do minimum zapisanej (i obliczonej już dla pewnych wartości) sumy kwadratów. Można zgadywać, że operacja „wyszukaj” to po prostu odczytanie wartości minimalnej z wykresu sumy kwadratów w funkcji wybranego parametru, przy zmianach pozostałych parametrów (lub bez ich zmieniania, zależnie od metody). Wydaje mi się, że takie wyszukiwanie nie jest podobne do żadnej ze znanych metod minimalizacji funkcji trzech zmiennych. Cechą wspólną trzech algorytmów jest obliczanie wszystkich wartości minimalizowanej funkcji dla wybranych wartości zmiennych niezależnych i wybór minimum spośród zbioru tych wartości. Na szczęście, z numerycznego punktu widzenia, liczba danych wejściowych jest bardzo mała. Biorąc pod uwagę łatwość tych obliczeń i co najwyżej trzy pętle dla trzech zmiennych, stwierdzam, procedura ta jest wykonalna. Sprawdziłem również, że jej wyniki są podobne to tych jakie można otrzymać znanymi mi metodami. Zawartość tej części rozdziału podsumuję jeszcze raz w punkcie 4. recenzji.

Wracając do treści rozdziału piątego należy zauważyć (wciąż w podrozdziale 5.2) niespodziewaną zmianę tematyki rozważań. Począwszy od strony 59. Autor przedstawia analizy wpływu poszczególnych części zbioru danych eksperymentalnych na dokładność przeprowadzonej optymalizacji parametrów M-K. Na różne sposoby wybierane są jedynie

podzbiory zbioru $\{s_i, N_i\}$ otrzymanego w wyniku testu statycznego. Niestety, Autor nie wyjaśnia czego spodziewa się po analizach, w których **intencjonalnie nie zapewnia** dopasowania części krzywej M-K do krzywej doświadczalnej. Analizy te są całkowicie chaotyczne, wybierane są części początkowe zboru, jego części końcowe, niektóre parametry krzywej obliczane są z jednego podzbioru zaś inne z innego. Autor nie wytłumaczył czemu to służy. Jest rzeczą oczywistą, że aby wyznaczyć krzywą M-K wystarczą trzy punkty doświadczalne, jest też rzeczą oczywistą, że można w ten sposób otrzymać całą rodzinę rozwiązań, tyle ile jest kombinacji trójelementowych z wszystkich par doświadczalnych, jednak nie znalazłem koncepcji wprowadzenia jakiegokolwiek porządku, ani w tak otrzymanym zbiorze, ani w wynikach uzyskanych na podzbiorach wybranych przez Autora rozprawy. Co więcej, Doktorant pisze na stronie 60.: "Rezultaty obliczeń przedstawione na rys. 5.10 wskazują, że w przypadku wykorzystania wartości parametru κ_2 oraz C_2 wyznaczonych niezależnie, dla różnych części zbioru $\{s_i, N_i\}$ uzyskane zostaną błędne krzywe M-K.". Było to łatwe do przewidzenia, celowość zamieszczenia tych rozważań (jeśli nawet da się wykazać) nie została w rozprawie przedstawiona.

W podrozdziale 5.3 Doktorant wprowadza „metodę jednego równania”. Z opisu nie wynika jakie to jest równanie i które z wymienionych. Z analizy algorytmu przedstawionego w załączniku E można się domyślać, że nazwę swą algorytm zawdzięcza wyeliminowaniu jednej z pętli przy obliczaniu sum kwadratów odchylek. W podrozdziale 5.4 przedstawiono metodę dwóch równań, opisaną równie lakonicznie jak poprzednia. Na stronie 67. Znajduje się stwierdzenie, że „podstawowa różnica między nią (metodą dwóch równań), a metodą opierającą się na jednym równaniu, opisaną w pkt 5.3, polega na estymacji parametrów krzywej M-K z wykorzystaniem równania M-K zapisanego dla dwóch następujących po sobie punktów krzywej próbnego obciążenia statycznego pala”. Oczywiście dopiero po ustaleniu jednego z trzech parametrów można przeprowadzić krzywą M-K przez dwa punkty pomiarowe, należy jednak zauważyć, że w takim wypadku niewątpliwie mamy do czynienia z krzywą, w której dla każdego jej odcinka wpływ możliwych błędów pomiarowych (o których Autor często wspomina) będzie bardzo wyraźny.

W pierwszych zdaniach wstępu do rozdziału 5. Doktorant zapowiada, że przedstawi analizę numeryczną, która ma na celu zminimalizowanie wpływu niedokładności pomiarowych, na estymowane wartości parametrów M-K. Niestety, ani dyskusji wielkości niedokładności pomiarowych ani badania ich wpływu na estymowane wartości parametrów ani, tym bardziej, próby ich ewentualnej minimalizacji nie znajdują w tym rozdziale ani w żadnym innym punkcie pracy doktorskiej. Jedynie w podrozdziale 5.4 pojawia się stwierdzenie, że „Przeprowadzenie obliczeń w taki sposób ma na celu wyeliminowanie błędów pomiarowych, które mogą się znajdować w analizowanych zbiorach wartości”. W jaki sposób metoda dwóch równań i odpowiedni algorytm przedstawiony w załączniku pozwala na osiągnięcie tego celu nie jest, niestety, wyjaśnione. Należy to wyjaśnić podczas dyskusji na obronie pracy.

W podrozdziale 5.5 przedstawiono wybór sposobu prowadzenia obliczeń. Wyboru tego dokonano analizując serię przykładów rozwiązanych różnymi metodami i obliczając dla nich sumę odchylek ilorazów kolejnych przemieszczeń, obliczonych i pomierzonych - odpowiednio. Do wykonywania dalszych obliczeń prowadzących do konwersji krzywych M-K wybrano „metodę dwóch równań” jako najdokładniejszą.

3.6. Rozdział szósty zatytułowany jest „Równanie opisujące nośność graniczną pala”. To nowe równanie dotyczące nośności pala wzięte jest z publikacji [43], jego geneza w rozprawie nie jest wytłumaczona. W rozdziale tym pojawia się nowy parametr n , który związany jest z parametrem β , wprowadzonym w jednym z rozdziałów poprzedzających. Przedstawiona jest seria zależności $\beta(n)$, aproksymowana później przez kolejne dwa nowe parametry. Rysunki 6.3 – 6.10 ilustrują wysiłki doktoranta zmierzające do związania tych nowych parametrów

z charakterystykami geometrycznymi pali. Prawdopodobnie te obliczenia nazwane są analizą statystyczną, gdyż przypomina analizę korelacji zmiennych. Konkluzją tego rozdziału jest kolejny, wysoce spekulatywny moim zdaniem wzór 6.18 na obciążenie graniczne pala, używany do konwersji krzywych. Mimo, że Autor zapowiada badanie wpływu parametrów geotechnicznych gruntu, nie znalazłem w tym rozdziale takiej analizy.

3.7 W rozdziale siódmym, zatytułowanym „Wpływ rozkładu naprężeń pod podstawą pala na osiadanie” przedstawione są kolejne próby poprawiania wzoru na osiadanie pala. Doktorant pisze, że uwzględnia wpływ rozkładu naprężeń pod stopą pala, co nie jest prawdą już w świetle wzoru 7.1, w którym podzielono siłę przez nieznane pole pod palem opisane nieznana średnicą D_p , inną (w ogólności) niż średnica pala. Rozkład naprężeń pod palem w tym rozdziale nie został uwzględniony, ponieważ wzór 7.1 całkowicie oderwany jest od jakiegokolwiek rozkładu naprężeń: osiadanie jest tu otrzymane jako naprężenie podzielone przez moduł sprężystości strefy aktywnej pod podstawą pala (również ten moduł jest trudny do oszacowania), zaś zamiast jakiegokolwiek całkowania odkształceń zastosowano proste mnożenie przez tę samą średnicę „powierzchni aktywnej” pod podstawą pala. Możliwość dalszej analizy daje zależność 7.2, będąca w istocie interpretacją fizyczną parametru krzywej M-K. Doktorant twierdzi, że konieczne jest wprowadzenie współczynnika korelacji nazwanego parametrem dopasowania pala i oznaczonego przez α , będącego kolejnym mnożnikiem w orientacyjnym wzorze 7.3. Parametr ten jest następnie wyrażony przez parametry krzywek M-K. W podsumowaniu tego rozdziału Doktorant stwierdza, że: „że α jest znane na podstawie próbnych statycznych obciążeń, a zmiana geometrii pala nie wpływa na jego wartość”. Nie mogę się zgodzić z tym stwierdzeniem. W wynikach próbnych obciążeń statycznych nie ma informacji o kształcie „bryły” naprężeń pod stopą pala, wszystko co zostało napisane na ten temat jest jedynie dodaną do tego doświadczenia interpretacją o charakterze bardzo zgrubnym i to w myśl tej interpretacji możemy wnioskować z doświadczeń o tej wielkości.

3.8. Rozdział ósmy, zatytułowany „Metoda konwersji dla pełnego zakresu obciążenia” przedstawia ostateczny kształt procedury konwersji. Po zaakceptowaniu wszystkich założeń dotyczących pracy pala, przyjętych w poprzednich rozdziałach i komentowanych już w tej recenzji, przyjmując interpretacje dodatkowe, oparte na hipotezach dotyczących pracy gruntu pod stopą pala, wzory na konwersję krzywej M-K nie wymagają komentarza. Są one dość oczywiste. W rozdziale przedstawiono przykłady obliczeń nowych krzywych M-K dla licznych przypadków zmian średnicy pala i jego długości. Na rysunkach 8.2 do 8.8 przedstawiono wpływ geometrii na parametry krzywej i nośność pala (należy sprawdzić podpisy pod tymi rysunkami, rysunki oznaczone litera a i b są prawdopodobnie zamienione miejscami). Również komentarze Autora, jeśli zgodzimy się na dotychczas przyjęte założenia upraszczające – są trafne i uzasadnione otrzymanymi wynikami rachunkowymi.

3.9 W rozdziale dziewiątym przedstawiono zastosowania praktyczne przedstawionej metody konwersji na przykładzie dwóch pali. Trudno stwierdzić, czy sytuacja gruntowa obu pali jest identyczna, zmiana długości o 4m prawie na pewno wprowadza stopę pala w inny grunt. Jeśli jednak przyjąć, że założenia są spełnione to wyniki przedstawione na rysunkach są możliwe do zaakceptowania. W podrozdziale 9.2 Doktorant przedstawia możliwość użycia parametrów krzywej M-K do obliczenia współczynnika bezpieczeństwa rozumianego jako stosunek N_{gr} do N dopuszczalnego, wywiedzionego z dopuszczalnego osiadania. Zamieszczone w tym rozdziale rozważania analityczne dotyczące tego współczynnika są możliwe do zaakceptowania w ramach założeń upraszczających przyjętych dla zdefiniowanej metody analizy pali.

3.10 Rozdział dziesiąty zawiera wnioski i opinie Doktoranta dotyczące przedstawionej metody. Trudno odnieść się do wszystkich tych wniosków, wiele z nich jest całkowicie oczywistych, wiele – obciążonych konsekwencjami założeń, które już komentowałem podczas analizy kolejnych rozdziałów.

Dotyczy to także metody wyznaczania parametrów krzywej M-K.

Przedstawione w zakończeniu plany dalszego rozwoju badań zakładają przede wszystkim uwzględnienie warunków gruntowych w procedurze konwersji. Jest to warunek *sine qua non* stosowalności praktycznej proponowanej w doktoracie metody. Nie wydaje mi się, aby było to możliwe bez starannego (z fizycznego i matematycznego punktu widzenia) sformułowania zadania odwrotnego bazującego na testach statycznych i rozpoznaniu geotechnicznym gruntu. Inne plany wymienione w tym podrozdziale są prostą kontynuacją dotychczasowej pracy naukowej, prowadzonej tymi samymi narzędziami teoretycznymi.

Prace kończy zestaw załączników, które zawierają szczegóły obliczeń oraz zapis algorytmów. Ważniejsze z nich były już komentowane w tej opinii.

4. Ogólna charakterystyka rozprawy, ocena trafności doboru jej tematu

Doktorant podejmuje ważne zagadnienie projektowania pali na podstawie badań statycznych pali próbnych. Jest to jedna z wielu metod projektowania, bardzo droga, gdyż zależna od wykonania pali próbnych i badań statycznych ich nośności *in situ*. Proponowana w doktoracie metoda może być zastosowana jako narzędzie wspomagające tego typu działalność projektową.

Formalizm naukowy zastosowany w przedstawionej pracy jest rozwijany intensywnie w środowisku geotechników Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Głównym elementem zastosowanego podejścia jest zapisanie związku konstytutywnego pala zagłębionego w gruncie (związku pomiędzy siłą osiową obciążającą pal a jego osiadaniem) w specjalnej formie znanej jako krzywa Meyera-Kowalowa. Trzy niezależne parametry tej krzywej doczekały się licznych interpretacji fizycznych pozwalających na pośrednie wnioskowania o odpowiedzi podstawy pala, jego pobocznicy oraz umożliwiające ocenę natury wyłączenia gruntu pod stopą pala. Praca Pana Kamila Stacheckiego wpisuje się w rozwój tej metody. Podjął on temat, który nie był dotąd analizowany przy jej użyciu.

Uważam, że wybrana tematyka rozprawy jest ciekawa z naukowego i teoretycznego punktu widzenia oraz może okazać się ważna dla praktyki projektowania pali.

Oceniając rozprawę należy mieć w pamięci wszystkie uwagi i komentarze krytyczne, jakie dotąd wyraziłem w szczegółowym opisie treści poszczególnych rozdziałów. Uważam, że praca napisana jest chaotycznie, zawiera wiele elementów, które rozbijają jej strukturę. Wiele wyjaśnień jest niejasnych i mylących. Założenia upraszczające są bardzo ograniczające (bardziej niż przy innych metodach projektowania pali!). Przyjęte idealizacje są bądź trudne do zweryfikowania bez doświadczeń dodatkowych (jak na przykład wspomagające badania sondą statyczną) bądź rażą daleko idącymi uproszczeniami.

Zaskakuje poświęcenie całego rozdziału pracy sposobowi poprowadzenia krzywej M-K przez punkty doświadczałne statycznego badania pala. Zaskakują specyficzne algorytmy, które opracowano w tym celu. Jak wiadomo zagadnienie typu „curve fitting” jest dobrze zbadane. Klasyczne podejście zakłada obliczenie pochodnych sumy kwadratów błędów po każdej z trzech zmiennych. Przyrównując je do zera otrzymamy układ trzech nieliniowych równań z trzema niewiadomymi parametrami. Taki układ równań rozwiązuje się standardowo metodami iteracyjnymi, choćby metodą Newtona. Funkcja definiująca krzywą M-K jest różniczkowalna, trudno spodziewać się problemów na tej drodze postępowania. Jeśli są, proszę

Doktoranta, aby je wskazał w dyskusji. Niestety, nie znalazłem w pracy komentarza na ten temat. Przekonanie, że jest to zagadnienie raczej techniczne niż przedmiot rozważań naukowych opieram również na tym, że istnieje wiele kodów pozwalających to zadanie rozwiązać. Na przykład w dobrze znanym młodemu naukowcom pakiecie *scipy* do programu *Python* zawarta jest procedura *curve fitting* dla wielu różnych typów krzywych. Można też, przy jej pomocy, dopasowywać do danych doświadczalnych parametry funkcji zdefiniowanej przez użytkownika! Zastosowanie jednej z klasycznych metod nie wzbudziłoby wątpliwości dotyczących poprawności i skuteczności bardzo oryginalnych aproksymacji zaproponowanych przez doktoranta. Algorytmy te działają poprawnie, co sprawdziłem porównując wyniki z własnymi obliczeniami dla przedstawionych danych. Wykazanie teoretyczne ich poprawności może być jednak trudne i nie zostało podjęte przez Autora rozprawy.

Stwierdzam, że przedstawiona metoda konwersji jest merytorycznie poprawna. Żałuję, że Autor rozprawy nie sprawdził dla każdego przykładu konwersji niezmienniczości wyrażenia U danego wzorem 4.47. Nie jestem pewien, czy wynik byłby idealny, mogłoby to być źródłem dyskusji.

Autor dysertacji rozwiązuje problem, w którym niemal na każdym kroku przyjmuje się idealizacje teoretyczne bardzo radykalne, nieraz dalekie od rzeczywistości fizycznej (choćby jednorodność ośrodka i identyczność jego opisu w sąsiedztwie zmienionego pala). Oceniana praca nie pozostawia wątpliwości, że Doktorant zdaje sobie sprawę z przyjętych przybliżeń i licznych uproszczeń, które wprowadza. Oczywiście, moje oceny wagi niektórych uproszczeń używanych do zbudowania modelu teoretycznego mogą być bardziej surowe niż Autora pracy, jednak **uwagam, że twierdzenie o dokładności konwersji wystarczającej dla jej stosowania praktycznego jest przedwczesne. Wyniki konwersji są intuicyjnie akceptowalne jednak argumentów sprawdzających ich precyzję nie dostarczono.**

W trakcie merytorycznej analizy kolejnych rozdziałów przedstawiłem wiele uwag, które łatwo znaleźć w tekście opinii, nie będę ich powtarzał w tym punkcie.

Pomimo tych uwag krytycznych uważam, że praca dotyczy ważnego tematu praktycznego, ciekawego z akademickiego punktu widzenia. Rozwiązanie jest rozwinięciem oryginalnych koncepcji, praca napisana jest prawidłowo z formalnego punktu widzenia, w tym sensie, że zawiera wszystkie elementy wymagane od rozprawy doktorskiej. Doktorant dobrze opanował narzędzia teoretyczne potrzebne do rozwijania teorii pracy statycznej pala osadzonego w gruncie, w szczególności te, które są w oryginalny sposób rozwijane w ośrodku naukowym ZUT, w którym praca powstała. Zasadnicza teza pracy została wykazana.

5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Wybór tematyki doktoratu i strategii projektowania pala w oparciu o badania statyczne pali próbnych, przy wykorzystaniu teorii opartej na zapisie krzywej Meyera-Kowalowa jest ciekawy i właściwy. Jest to cenny wkład w rozwój oryginalnej strategii badawczej.

Oryginalnym osiągnięciem naukowym mgr inż. Kamila Stacheckiego jest opracowanie procedury konwersji krzywej M-K przy zmianie długości i średnicy pala. Może to stać się ważnym narzędziem projektowania pali. Oryginalnym rysem teoretycznym pracy jest badanie interakcji pala i gruntu na podstawie wyników testów statycznych, zapisanych w formie krzywej M-K.

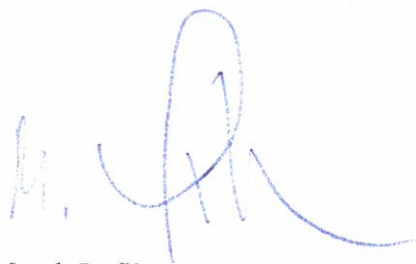
Zgadzam się z większością wniosków sformułowanych przez doktoranta w podsumowaniu rozprawy. Uważam, że świadczą one o jego sprawności naukowej i umiejętności dokonania krytycznej analizy teorii naukowych, w tym tych, które tworzy.

Doktorant zna metody rozwiązywania zagadnień inżynierskich w dziedzinie geotechniki, mechaniki gruntów i fundamentowania, potrafi posługiwać się literaturą naukową w swojej pracy badawczej. Stwierdzam, że przedstawiona rozprawa doktorska stanowi oryginalne

rozwiązanie problemu naukowego dokonane przez Doktoranta, a także wskazuje na umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez jej Autora.

Rozprawa dotyczy dyscypliny naukowych „geotechnika”, „mechanika gruntów”. Autor wykazał się dobrą znajomością najważniejszych prac naukowych i inżynierskich związanych z tematem rozprawy doktorskiej, ogólną wiedzą teoretyczną z zakresu objętego tematem rozprawy oraz ogólną i specjalistyczną wiedzą teoretyczną związaną z wymienionymi wyżej dyscyplinami naukowymi.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Kamila Stacheckiego spełnia wymagania „ustawy z dnia 14 marca 2003 r o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” oraz wnioskuję o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.



Marek Lefik

dnia 13. 09. 2021

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
W P Ł Y N Ę Ł O

Warszawa, 06.09.2021 r.

Prof. dr hab. inż. Eugeniusz Koda

Instytut Inżynierii Lądowej

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Kamila Stacheckiego
pt. „Analiza możliwości konwersji krzywej próbnego statycznego obciążenia pała
przy zmianie jego geometrii”

1. Wstęp

Recenzję rozprawy doktorskiej mgr. inż. Kamila Stacheckiego pt. „Analiza możliwości konwersji krzywej próbnego statycznego obciążenia pała przy zmianie jego geometrii” opracowano na zlecenie Prorektora ds. Nauki z dnia 1 lipca 2021 r., realizującego uchwałę nr 132 Senatu Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie podjętą dnia 28 czerwca 2021 r.

Opiniowana rozprawa zawiera 192 strony druku formatu A4, w tym *Streszczenie* w języku polskim i *Abstract* w języku angielskim, Oznaczenia i jednostki, Załączniki (oznaczone literami od A do I), Spisy rysunków i tabel oraz Bibliografię. Ponadto, do pracy dołączono płytę CD z elektroniczną wersją jej zawartości w plikach .pdf i .doc.

Celem rozprawy postawionym przez Autora było: „.....opracowanie metody, która w oparciu o zasady mechaniki gruntów pozwoli na konwersję krzywej $Q-s$ w przypadku zmiany wymiarów geometrycznych pała, czyli jego średnicy oraz długości.”

Teza badawcza: *Istnieje możliwość konwersji z dostateczną dla celów praktycznych obliczeń dokładnością krzywej próbnego statycznego obciążenia pała w przypadku zmiany jego wymiarów.*

Dla osiągnięcia powyższego celu i udowodnienia postawionej hipotezy rozprawy, Doktorant zaplanował i przeprowadził badania dotyczące statystycznych metod wyznaczania parametrów w celu ustalenia, którą część krzywej obciążenia statycznego należy wybrać do estymacji parametrów do metody Meyera-Kowalowa (M-K), aby zminimalizować wpływ błędu pomiarowego. Należy zaznaczyć, że założenia dotyczące konwersji oparte na liniowej teorii sprężystości zostały opublikowane wcześniej przez Doktoranta wspólnie z Promotorem rozprawy, a w ocenianej rozprawie jako cel wyznaczono ustalenie zależności, w oparciu o metodę M-K, które pozwolą na konwersję krzywej próbnego statycznego obciążenia pała w pełnym zakresie obciążenia, również przy uwzględnieniu jej nieliniowości.

2. Treść i charakterystyka pracy

Praca doktorska mgr. inż. Kamila Stacheckiego składa się ze spisu treści, streszczenia w języku polskim i angielskim, wykazu ważniejszych oznaczeń i określeń, dziesięciu rozdziałów i 9 załączników, oraz spisu rysunków (71 w treści pracy i 41 w załącznikach) i tabel (36 w treści pracy i 49 w załącznikach). W końcowej części rozprawy zamieszczono Bibliografię, obejmującą 80 pozycji z literatury, 4 normy i materiały niepublikowane tj. „*Wyniki testów statycznych udostępnione przez firmę Energopol S.A. Szczecin.*”

Praca układa się w logiczną całość, łączącą elementy mechaniki gruntów i geotechniki oraz analizy statystyczne wyników testów obciążeń statycznych.

Rozdział 1 – *Wstęp* (3,5 strony), zawiera wprowadzenie do tematu i uzasadnienie podjęcia badań. Doktorant stwierdza, że projektowanie coraz częściej stosowanych w praktyce inżynierskiej pali fundamentowych, wymaga m.in. rozwiązania problematyki optymalizacji wykorzystania ich nośności. Przy zastosowaniu jednego z zalecanych przez EC7 sposobów projektowania na podstawie próbnych obciążeń statycznych, często wymaga od projektanta przeprowadzenia optymalizacji parametrów geometrycznych założonego pala, tj. zmiany jego założonej średnicy i/lub długości. Na potrzeby obliczeń projektowych, Doktorant wskazuje że proces optymalizacji może być ułatwiony poprzez analityczną konwersję krzywej $Q-s$ dla przypadków zmiany wymiarów geometrycznych pala, bez potrzeby ponownego przeprowadzenia testu statycznego, co ma znaczenie poznawcze, aplikacyjne i ekonomiczne. Optymalizacja projektowanych pali jest przedmiotem badań kierowanych przez Profesora Zygmunta Meyera od ponad 20 lat. Od kilku lat do badań włączył się również Doktorant, czego efektem było przedstawienie metody konwersji krzywej opierającej się na liniowej teorii sprężystości z wykorzystaniem metody Meyera-Kowalowa (M-K), wskazując że opisuje ona poprawnie zależność obciążenie-osiadanie tylko w zakresie małych odkształceń. W ocenianej rozprawie Doktorant przedstawił badania mające na celu analizę możliwości konwersji krzywej $Q-s$ w pełnym zakresie statycznego obciążenia pala, w zakresie liniowej, jak i nieliniowej zależności obciążenie-osiadanie.

Rozdział 2 – *Teza, cel i zakres pracy* (1 strona). Postawiona przez Doktoranta teza rozprawy zakłada, że: „*Istnieje możliwość konwersji z dostateczną dla celów praktycznych obliczeń dokładnością krzywej próbnego statycznego obciążenia pala w przypadku zmiany jego wymiarów*”. Cel i zakres pracy przedstawiono syntetycznie, wskazując na potrzebę „...*opracowania metody, która w oparciu o zasady mechaniki gruntów pozwoli na konwersję*

krzywej $Q-s$ w przypadku zmiany wymiarów geometrycznych pala, czyli jego średnicy oraz długości.” Doktorant zaznacza, że pomierzona krzywa $Q-s$ podczas testów statycznych pali w pełnym zakresie obciążenia zawiera błędy, wynikające ze sposobu prowadzenia badań, odkształcenia przestrzeni gruntowej oraz współpracy pala z gruntem. Przeprowadzono więc analizę sposobów estymacji parametrów do metody M-K, mającą na celu zminimalizowanie niedokładności pomiarowych uzyskanych podczas próbnego obciążenia statycznego, pozwalającą na konwersję krzywej próbnego statycznego obciążenia pala obejmującą pełny zakres obciążenia.

Rozdział 3 – *Przegląd literatury* (19 stron) obejmuje syntetyczne omówienie problematyki rozprawy na tle teorii klasycznych z zakresu mechaniki gruntów i badań prowadzonych w ostatnich dziesięcioleciach, udokumentowanych w literaturze polskiej i zagranicznej. Przegląd literatury dotyczy głównie opisu współpracy pala z podłożem gruntowym, wykorzystującego testy statycznego obciążenia. Omówiono najczęściej stosowanie równania i funkcje transformacyjne oraz zależności stosowane do opisu parametrów. Na podstawie przeprowadzonej analizy prac naukowych i przykładów realizacji, Doktorant stwierdza, że brakuje wyników badań zajmujących się analizą krzywej $Q-s$ pod kątem ciągłej zmiany przebiegu zależności przy zmianie średnicy i/lub długości pala. Zdaniem Doktoranta, nie wystarcza do tego również wykorzystanie wyników badań sondą statyczną. Brakuje badań dotyczących bezpośrednich zależności pomiędzy parametrami modelu M-K, a parametrami geotechnicznymi, pozwalające na analizę możliwości sformułowania analitycznego związku pozwalającego na konwersję krzywej obciążenie-osiadanie pala. Doktorant sformułował więc program badań ukierunkowany na zastosowaniu metody M-K, umożliwiającej uzyskanie z dużą dokładnością ciągłej krzywej opisującej zależność między obciążeniem i osiadaniem pala, zarówno w zakresie liniowym, jak i nieliniowym.

Rozdział 4 – *Analiza zjawiska* (6,5 strony), obejmuje opis matematyczny osiadania pala oparty na liniowej teorii sprężystości. Sformułowano założenia oraz model matematyczny, pozwalający na konwersję krzywej osiadania pala w oparciu o liniową teorię sprężystości dla małych obciążeń. Z analizy wyników pomiarów osiadania pala podczas próbnego obciążenia statycznego wynika, że w praktyce obciążenia wykraczają poza zakres liniowej zależności obciążenie-osiadanie, dlatego przedstawiona w tej części pracy metoda konwersji ma ograniczony zakres stosowania i wymaga rozwinięcia.

Rozdział 5 – *Weryfikacja parametrów krzywej M-K* (11,5 strony). W rozdziale tym przedstawiono przegląd i analizę sposobów wyznaczania parametrów krzywej do metody M-K i sformułowano rekomendowany do konwersji sposób estymacji tych parametrów, przy wykorzystaniu całego zbioru wartości. Podstawą przeprowadzonej analizy były testy statyczne w pełnym zakresie obciążenia, przeprowadzone i udostępnione Doktorantowi przez firmę

Energopol S.A. Szczecin, podczas budowy podpór mostu przez Wisłę w trasie budowanej POW S-2 w Warszawie. Weryfikację numeryczną parametrów krzywej M-K przeprowadzono równolegle różnymi metodami, dla trzech wybranych pali pod podporą mostu. Wykorzystując testy statyczne w pełnym zakresie obciążenia, przeprowadzono aproksymację dla trzech parametrów poddanych optymalizacji, następnie do aproksymacji parametrów zastosowano metodę jednego równania i metodę dwóch równań. W końcowej części rozdziału przedstawiono rekomendowany sposób aproksymacji parametrów krzywej M-K, oparty na wyznaczeniu nośności granicznej z wykorzystaniem metody optymalizacji trzech parametrów przy uwzględnieniu całego zbioru wartości, a następnie dla obliczonej nośności zaleca przeprowadzenie aproksymacji metodą dwóch równań wykorzystując środkowe wartości zbioru $\{s_i, N_i\}$, uzyskanego z testu statycznego. Przeprowadzona analiza optymalizacyjna stanowi bardzo cenny materiał badawczy dotyczący weryfikacji parametrów krzywej M-K, którego zgromadzenie wymagało od Doktoranta znajomości i przeprowadzenia eksperymentów numerycznych, porównania i przeanalizowania wyników uzyskiwanych różnymi metodami. Analizę przeprowadzono w oparciu o rzeczywiste wyniki pomiarów zebrane w terenie. Uznaję to za najważniejszą wartość ocenianej rozprawy doktorskiej.

Rozdział 6 – *Równanie opisujące nośność graniczną pala* (9 stron), w którym przeprowadzono autorską analizę statystyczną wyników testów statycznych, w celu wyznaczenia zależności między nośnością graniczną pala, parametrami geotechnicznymi gruntu oraz wymiarami pala. Parametry te użyto do konwersji krzywej osiadania pala w pełnym zakresie obciążenia. W analizie uwzględniono również wyniki badań sondą statyczną. W wyniku przekształceń funkcji aproksymujących i równań, zaproponowano równanie empiryczne opisujące całkowitą nośność graniczną pala, które wykorzystano do konwersji w dalszej części rozprawy.

Rozdział 7 – *Wpływ rozkładu naprężeń pod podstawą pala na osiadanie* (6,5 strony), w którym Doktorant przeanalizował wpływ różnych powierzchni aktywnych dopasowania podstawy pala na rozkład naprężeń i osiadanie. Analizę powierzchni dopasowania przeprowadził dla czterech różnych kształtów, związanych przede wszystkim z technologią wykonania i współpracą pala z gruntem. Doktorant nie rozwijał głębiej tego zagadnienia, ograniczając się do wprowadzenia parametru dopasowania α , stałej wartości niezależnej od geometrii, ustalonej na podstawie próbnych obciążeń statycznych.

Rozdział 8 – *Metoda konwersji dla pełnego zakresu obciążenia* (12 stron), stanowiąca propozycję Doktoranta opisu metody konwersji krzywej $Q-s$, sformułowaną na podstawie analizy przeprowadzonych badań i rozwinięciu metody M-K. Wyznaczoną, w oparciu o analizę wyników próbnego obciążenia statycznego pala, krzywą M-K opisano pięcioma parametrami,

wyznaczanymi na podstawie równań przedstawionych w rozprawie, będących tematem badań prowadzonych w Katedrze Geotechniki WBiIS pod kierunkiem Promotora rozprawy. Doktorant wykazuje, że możliwe jest ustalenie wartości wszystkich niezbędnych zarówno do konwersji krzywej dotyczącej całkowitego oporu pala, jak również krzywych oporu podstawy i pobocznic. W dalszej części rozprawy przedstawia przykład zastosowania metody, przeprowadzając obliczenia dotyczące konwersji krzywej obciążenia pala w przypadku zmiany jego długości i średnicy. Przykład jest poparty szczegółową analizą wyników prezentujących zmiany rozkładu oporów na pobocznic i pod podstawą pala oraz oporu całkowitego dla różnych długości oraz średnic. Podkreślam wysoką wartość metodyczną, poznawczą i aplikacyjną tej części rozprawy.

Rozdział 9 – *Praktyczne zastosowanie* (8 stron), obejmujące przykłady konwersji dla dwóch pali o zbliżonych wartościach parametru α oraz analizę wartości współczynnika bezpieczeństwa SF , który zdaniem Doktoranta jest zależny zarówno od proporcji między oporem podstawy i pobocznic pala (κ_2), jak i od osiadania dopuszczalnego. Przeprowadzona analiza potwierdza założenia i cele przyjęte w rozprawie.

Rozdział 10 – *Wnioski i program dalszych badań* (4 strony). Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz, Doktorant sformułował 6 wniosków ogólnych, 5 obszernych wniosków szczegółowych oraz 4 wskazówki dotyczące dalszych badań związanych z wykorzystaniem i rozwinięciem metody konwersji. Sformułowane wnioski są poparte wynikami analiz i badań przeprowadzonych przez Doktoranta i opisanych w treści rozprawy. Wnioski są poprawne i cenne, wskazują na udowodnienie postawionej na wstępie hipotezy i osiągnięcie celów rozprawy, niemniej w moim odczuciu powinny być poparte szerszą dyskusją, również w nawiązaniu do podobnych wyników publikowanych w zagranicznych czasopismach naukowych i w aspekcie możliwości ich wykorzystania w praktyce projektowej. Pewien niedosyt może budzić brak szczegółowych wniosków dotyczących wskazań zmian w procedurach projektowych fundamentów palowych, mimo że przeprowadzone analizy wskazują na takie możliwości.

Kolejną (11) częścią rozprawy (71 stron) są *Załączniki* obejmujące: wyniki testów statycznych, aproksymacje przeprowadzone różnymi metodami, funkcje $\beta_{(n)}$ dla poszczególnych pali i po relaksacji statystycznej oraz rekomendowaną metodę wyznaczania parametrów M-K.

W końcowej części pracy zamieszczono *Spis rysunków* (112) i *Spis tabel* (85) oraz *Bibliografię* (85 pozycji, 5 stron). Tylko 27 cytowanych pozycji literatury zostało opublikowanych w ostatnich 10 latach i zaledwie kilka prac z renomowanych czasopism indeksowanych w bazach międzynarodowych, a ponad połowę stanowią prace krajowe lub autorów krajowych. Proszę o komentarz Doktoranta w tym zakresie.

Do pracy dołączono płytę CD z elektroniczną wersją rozprawy w plikach .pdf i .doc.

Strukturę i układ pracy uznaję za prawidłową, zawierającą dobrze sformułowane cele i hipotezę badawczą, ułożenie aktualnej problematyki badań szczególnie w literaturze polskiej. Można odczuć też niewielki zakres badań laboratoryjnych dotyczących parametrów mechanicznych gruntów. Na wyróżnienie zasługuje dobrze opanowana przez Doktoranta metodyka analizy wyników badań statycznych pali oraz analizy statystycznej wyników badań.

Praca spełnia kryteria solidnego opracowania naukowego o charakterze eksperymentalnym, posiada aspekty poznawcze i aplikacyjne.

3. Ocena pracy

Posadowienie na palach jest najstarszym sposobem posadowienia pośredniego, a w ostatnich dziesięcioleciach nastąpił intensywny rozwój technologii wykonywania pali. W Polsce fundamenty palowe są również coraz częściej stosowane, szczególnie w budownictwie komunikacyjnym, wchodzącym na tereny trudne pod względem geotechnicznym. Tematyka fundamentów palowych jest stale podnoszona w wielu artykułach w czasopismach specjalistycznych krajowych i zagranicznych, jest również często podejmowana na konferencjach tematycznych. Z bieżących informacji i publikacji wiemy również o wielu przypadkach błędnych rozwiązań, kończących się nieraz awariami lub katastrofami budowlanymi. Odpowiednio zaprojektowane fundamenty palowe wpływają na usprawnienie realizacji budowy i bezpieczeństwo eksploatacji obiektów. Doktorant posiada dobre przygotowanie merytoryczne do prowadzenia badań w tym zakresie, a wybór tematu rozprawy jest właściwy i aktualny.

Projektowanie fundamentów palowych oparte na próbnym statycznym obciążeniu jest jedną z najdokładniejszych metod zalecanych przez EC7, jednakże z uwagi na koszty takich testów, podejmowane są prace badawcze związane z konwersją krzywej próbnego obciążenia przy zmianie geometrii pala, co ograniczy liczbę kosztownych testów. W tą problematykę wpisuje się oceniana rozprawa. Szczegółowo przeanalizowano związki między parametrami opisującymi krzywą osiadania pala, a jego geometrią. Związki te posłużyły do zaproponowania metody konwersji krzywej próbnego statycznego obciążenia pala w przypadku zmiany jego średnicy oraz długości, w pełnym zakresie obciążenia. Analizę oparto na metodzie Meyera-Kowalowa, umożliwiającej uzyskanie z dużą dokładnością krzywej opisującej zależność obciążenie-osiadanie pala, zarówno w zakresie liniowym jak i nieliniowym.

Praca podejmuje więc aktualną problematykę badawczą związaną z weryfikacją stosowanych metod projektowania i obliczeń fundamentów palowych, w szczególności związanej z wykorzystaniem do projektowania próbnego obciążenia statycznego i wyników sondowań statycznych. Szczególnie cennym elementem pracy jest oparcie analizy na rzeczywistym obiekcie

posadowionym na palach, oraz propozycja konwersji próbnego statycznego obciążenia przy zmianie geometrii w pełnym zakresie obciążenia. Proponowaną konwersję krzywej Doktorant sprawdził na rzeczywistych fundamentach palowych.

Podsumowanie, wnioski i zalecenia wynikające z pracy mają charakter poznawczy i aplikacyjny, chociaż w stosunkowo niewielkim stopniu nawiązują do aktualnych badań publikowanych w czasopismach zagranicznych. Największymi osiągnięciami Doktoranta było przeprowadzenie wnikliwej analizy statystycznej wyników badań o charakterze aplikacyjnym.

Uzyskane z badań wyniki stanowią cenny materiał eksperymentalny, rzadko przeprowadzany w tak kompleksowym metodycznym zakresie. Zebrane dane pozwoliły na analizę wpływu wielu parametrów i czynników mających znaczenie przy projektowaniu i obliczaniu fundamentów palowych. Doktorant udowadnia znaczenie różnych czynników dla podjętej problematyki.

Oceniana praca doktorska ma zarówno charakter poznawczy, jak i aplikacyjny, szczególnie istotny z uwagi na intensywną działalność inwestycyjną w ostatnich 20. latach przebudowy Kraju. Proponowana konwersja powinna być zweryfikowana dla innych rodzajów gruntów i różnych technologii wykonywania pali, na co wskazuje też Doktorant, aby mogła być szerzej stosowana w praktyce inżynierskiej. Najkorzystniej by było, aby dalsze badania były prowadzone przy realizacji określonych zadań inwestycyjnych.

Praca ma również charakter metodyczny. Autor podaje w niej szczegółową metodykę postępowania przy projektowaniu pali na podstawie wyników próbnych obciążeń statycznych, obejmujących zarówno rozpoznanie warunków wodno-gruntowych i wyznaczanie parametrów geotechnicznych niezbędnych do obliczania pali i wyboru optymalnych technologii, oraz konwersji krzywej próbnego statycznego obciążenia pala. Zwraca uwagę i analizuje wpływ różnych czynników na nośność całkowitą pala. W każdym z rozdziałów Doktorant wprowadził własne analizy dotyczące przedmiotu rozprawy.

Postawiony cel rozprawy został osiągnięty, a hipoteza rozprawy udowodniona przeprowadzoną analizą, wynikami badań i obliczeń oraz ich interpretacją.

Mankamentem jest stosunkowo mały udział w przeglądzie literatury publikacji z ostatnich 10 lat. Można tłumaczyć to typowo eksperymentalnym charakterem pracy, ukierunkowanej na weryfikację metod projektowania pali. Nie umniejsza to merytorycznej wartości rozprawy.

4. Uwagi krytyczne i pytania

Przy czytaniu pracy zauważono zbyt skrótowe opisy niektórych zagadnień, nieuporządkowaną terminologię specjalistyczną oraz drobne błędy edycyjne. Przedstawiam też drobne uwagi o charakterze merytorycznym oraz kwestie dyskusyjne. Mimo że nie umniejszają one wartości

pracy, proszę Doktoranta o ustosunkowanie się do niektórych z nich:

- dlaczego na potrzeby określenia parametrów mechanicznych gruntów nie wykorzystywano badań laboratoryjnych?
- podać zalety projektowania pali na podstawie próbnych obciążeń statycznych w porównaniu z metodami stanów granicznych stosowanymi przed wdrożeniem EC7;
- możliwości i ograniczenia w stosowaniu wyników sondowań statycznych do obliczania nośności pali; w jakim zakresie wykorzystano wyniki sondowań statycznych do sformułowania równania opisującego nośność graniczną pala?
- w jakim stopniu technologia wykonania pali ma wpływ na współpracę pala z gruntem i jak można to uwzględnić w konwersji krzywej próbnego obciążenia statycznego? czy współczynniki częściowe podawane w normie dla poszczególnych rodzajów pali są wystarczające do uwzględnienia technologii wykonania pali? Czy ma to tylko znaczenie przy określaniu rozkładu naprężenia pod podstawą pala?
- niektóre rysunki są nieodpowiedniej jakości (np. Rys. 3.1, 5.1, 7.2);
- czy na podstawie przeprowadzonych analiz Doktorant byłby w stanie podać własne zalecenia dotyczące metodyki badań geotechnicznych na potrzeby projektowania fundamentów palowych dla konkretnego zadania inwestycyjnego?
- jakie są możliwości wykorzystania konwersji krzywej statycznego obciążenia pala przy zmiennych warunkach gruntowych?

Ponadto, w recenzowanym egzemplarzu pracy zaznaczono szczegółowe uwagi i sugestie natury gramatycznej, stylistycznej i nazewnictwa, które mogą być uwzględnione przez Doktoranta w przygotowaniu pracy lub jej części do publikacji.

Powyższe uwagi mają charakter redakcyjny i dyskusyjny i nie umniejszają wartości naukowej opiniowanej rozprawy doktorskiej, którą uznaję za znaczącą dla rozwoju metodyki projektowania i obliczania fundamentów palowych.

5. Podsumowanie

Podsumowując recenzję pracy doktorskiej mgr. inż. Kamila Stacheckiego stwierdzam, że:

- Doktorant przedstawił kompleksową metodykę badań i obliczania fundamentów palowych opartą na próbnym statycznym obciążeniu pala,
- W oparciu o analizę statystyczną wyników testów statycznych pali wykonanych w pełnym zakresie obciążenia, sformułował zależność empiryczną między nośnością pala, jego parametrami geometrycznymi oraz oporem gruntu w poziomie podstawy,
- Doktorant oparł swoją metodykę na metodzie Meyera-Kowalowa, umożliwiającej

uzyskanie z dużą dokładnością ciągłej krzywej opisującej zależność między obciążeniem i osiadaniem pala, zarówno w zakresie liniowym, jak i nieliniowym,

- Doktorant zaproponował konwersję krzywej próbnego statycznego obciążenia pala przy zmianie średnicy oraz długości, w pełnym zakresie obciążenia, przy założeniu niezmiennych warunków gruntowych;
- Doktorant na przykładach obliczeniowych, wykorzystujących proponowaną konwersję krzywej osiadania pala, określił zmianę przebiegu zarówno krzywej osiadania, jak i krzywej oporu podstawy oraz poboczniczy dla różnych długości i średnic pali,
- Przedstawił praktyczny przykład wykorzystania proponowanej konwersji krzywej oraz jej weryfikację, uzyskując bardzo bogaty materiał eksperymentalny,
- Sformułował syntetyczne wnioski ogólne i szczegółowe z przeprowadzonych analiz oraz zalecenia dotyczące dalszych kierunków badań podjętej problematyki,
- Doktorant przedstawił metodyczną interpretację uzyskanych wyników badań, z uwzględnieniem czynników mogących wpływać na nośność ogólną i osiadanie pala,
- Wykazał dużą wiedzę z zakresu mechaniki gruntów i geotechniki, oraz dobrze opanowaną metodykę interpretacji i analizy statystycznej uzyskanych wyników badań,
- Napisał pracę doktorską spójnie i metodycznie, bardzo dobrze zredagowaną,
- Udowodnił swoimi analizami, szczególnie w zakresie interpretacji wyników badań i obliczeń, postawioną hipotezę rozprawy doktorskiej i osiągnął zamierzone jej cele.

Praca mgr. inż. Kamila Stacheckiego spełnia wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. *o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (z późniejszymi zmianami)*. Rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazuje wysoki poziom wiedzy teoretycznej Doktoranta w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie naukowej *inżynieria lądowa i transport*, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia eksperymentalnej pracy naukowej. Propozycja konwersji krzywej próbnego statycznego obciążenia pala przy zmianie geometrii w pełnym zakresie obciążenia oraz możliwości aplikacyjne uzyskanych wyników badań, moim zdaniem zasługują na wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Kamila Stacheckiego.

Wnoszę o przyjęcie rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Kamila Stacheckiego przez Senat Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Prof. dr hab. inż. Eugeniusz Koda

UCHWAŁA NR 19
Senatu Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie
z dnia 28 lutego 2022 r.

w sprawie nadania mgr. inż. Kamilowi Stacheckiemu
stopnia doktora

Na podstawie art. 179 ust. 2 i 3 pkt 2b ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. poz. 1669, z późn. zm.) w związku z art. 14 ust. 2 pkt 5 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (tekst jedn. Dz. U. z 2017 r. poz. 1789, z późn. zm.) uchwala się, co następuje:

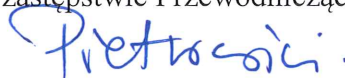
§ 1.

Senat Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie nadaje mgr. inż. Kamilowi Stacheckiemu stopień doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport.

§ 2.

Uchwała wchodzi w życie z dniem podjęcia.

W zastępstwie Przewodniczącego Senatu



dr hab. inż. Krzysztof Pietrusewicz, prof. ZUT
prorektor ds. organizacji i rozwoju uczelni