Dr hab. inż. Joanna Bzówka, prof. Pol. Śl.
Politechnika Śląska
Wydział Budownictwa
Katedra Geotechniki i Dróg
ul. Akademicka 5
44–100 Gliwice

Gliwice, 19 czerwca 2017 r.

RECENZJA
rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Żarkiewicza
pt. „Analiza formowania się oporu pobocznicy pala w gruntach niespoistych, na podstawie modelowych badań laboratoryjnych"

1. Podstawa opracowania recenzji

Niniejszą recenzję pracy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Żarkiewicza pt. *„Analiza formowania się oporu pobocznicy pala w gruntach niespoistych, na podstawie modelowych badań laboratoryjnych"* wykonano na zlecenie Pani dr hab. inż. Marii Kaszyńskiej, prof. ZUT – Dziekana Wydziału Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, na podstawie uchwały Rady Wydziału Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie z dnia 26 kwietnia 2017 roku.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

Recenzowana praca doktorska liczy 164 strony oraz 65 pozycji literatury. Spośród tych pozycji, ponad 80% przypada na lata po roku 2000. 28 pozycji bibliograficznych należy do literatury polskiej, zaś pozostałe do literatury anglojęzycznej.

Praca została podzielona na 9 rozdziałów, a każdy z nich na podrozdziały. Do pracy dołączono dziewięć załączników (Zał. A÷Zał. I).

2.1. Aktualny stan wiedzy w zakresie tematyki rozprawy

Przedmiotem badań i analiz recenzowanej pracy doktorskiej jest proces formowania się oporu pobocznicy pala w gruntach niespoistych. Analizy zostały przeprowadzone przez Pana mgr inż. Krzysztofa Żarkiewicza na podstawie modelowych badań laboratoryjnych, jak również na podstawie wybranych badań terenowych.

Fundamenty palowe z powodzeniem były i nadal są stosowane m.in. w przypadkach, kiedy należy przenieść duże obciążenie z konstrukcji na podłoże gruntowe lub gdy wymaga się, aby obiekt był posadowiony na terenach podmokłych, gdzie zalegają grunty słabe. Początkowo stosowanie pali fundamentowych opierało się głównie na doświadczeniach praktycznych, ale już wtedy znano podstawową zasadę współpracy pala z podłożem gruntowym, która polega na przekazywaniu przyłożonego obciążenia przez opór gruntu na pobocznicy i pod podstawą pala.

Najczęściej nośność pala określa się na podstawie wartości oporów pobocznicy i podstawy pala w stanie granicznym, obliczonymi na podstawie wyników badań podłoża gruntowego. W stanie granicznym są obserwowane bardzo duże osiadania o znacznych i gwałtownych przyrostach. Osiadanie pala jest skutkiem przyłożonego obciążenia w głowicy. Ponadto osiadanie jest ściśle związane z wartością stanu naprężenia powstałego na pobocznicy i pod podstawą pala. Naprężenia te rosną wraz z przykładanym obciążeniem do

wartości granicznej. Próbne obciążenie statyczne umożliwia określenie związku pomiędzy obciążeniem a osiadaniem głowicy pala. Współpraca pala z podłożem gruntowym opiera się na dwóch stanach granicznych: stanie granicznym nośności i stanie granicznym użytkowalności. Obecnie podczas projektowania pali bardzo często pomija się lub lekceważy osiadanie pali. Znajomość zaś osiadań jest ważna, ponieważ określa nie tylko wartość siły przyłożonej do głowicy pala, ale jest wyznacznikiem granicznej wartości nośności pala. Najbardziej pewną metodą weryfikacji nośności pala jest próbne obciążenie statyczne. Pale o jednakowej nośności granicznej mogą osiadać zupełnie inaczej. Wpływ na to ma różny charakter krzywej osiadania. W związku z tym, w projektowaniu pali ważne jest nie tylko określenie nośności granicznej pala, ale także określenie krzywej osiadania pala. Określenie przebiegu krzywej „obciążenie – osiadanie" jest dość trudne ze względu na jednoczesną pracę dwóch mechanizmów: oporu gruntu pod podstawą i oporu gruntu na pobocznicy pala. Osiadanie pala jakie obserwuje się podczas próbnego obciążenia statycznego jest skutkiem oporu zmobilizowanego na pobocznicy i pod podstawą pala. Zagadnienie to jest przedmiotem recenzowanej rozprawy doktorskiej.

Pomimo wielu badań na temat współpracy pala z podłożem gruntowym zagadnienie mobilizacji oporów na pobocznicy i pod podstawą pala wraz z osiadaniem jest wciąż mało rozpoznane. Brak jest jednoznacznej teorii powszechnie akceptowanej w tym zakresie. Badania terenowe są bardzo kosztowne, a mimo to nie gwarantują wyprowadzenia ogólnych zależności opisujących różne pale. Wiąże się to z dużą zmiennością podłoża gruntowego. Badania laboratoryjne mogą być przydatne w ograniczeniu liczby zmiennych, mających wpływ na wyniki pomiarów. Problemem w badaniach modelowych pozostaje prawidłowe przeniesienie otrzymanych zależności na pale rzeczywiste.

2.2. Struktura rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska została przez Pana mgr inż. Krzysztofa Żarkiewicza przedstawiona w dziewięciu rozdziałach, które zawierają następujące badania i analizy:

- Rozdział 1 zawiera wprowadzenie oraz uzasadnienie podjęcia badań dotyczących wyjaśnienia mechanizmu formowania się stanu naprężenia na pobocznicy i pod podstawą pala wraz z osiadaniem aż do stanu naprężenia granicznego.

- W Rozdziale 2 pracy doktorskiej Pana mgr inż. Krzysztofa Żarkiewicza został przedstawiony cel, teza pracy oraz jej zakres. Celem recenzowanej rozprawy jest na podstawie laboratoryjnych badań analiza mechanizmów formowania się oporu pobocznicy pala w gruntach niespoistych.
  Podana przez Autora rozprawy teza brzmi: „*Istnieje możliwość określenia, z dostateczną do celów praktycznych dokładnością, formowania się oporów na pobocznicy pala wraz z osiadaniem, na podstawie próbnego obciążenia statycznego*".
  Zakres pracy obejmuje: analizę krzywych opisujących zjawisko „obciążenie – osiadanie" pala na podstawie literatury, badania eksperymentalne związków „obciążenie – osiadanie" pala wraz z pomiarem naprężenia w podstawie pala, wybór modelu opisującego statyczne obciążenie pala, sformułowanie mechanizmu opisującego zmianę oporu pobocznicy i oporu pod podstawą pala, analizę wyników badań eksperymentalnych w celu uzyskania praktycznych związków umożliwiających obliczenie parametrów krzywej Meyera–Kowalowa, badania fotogrametryczne, opracowanie wzorów pozwalających na praktyczne wykorzystanie proponowanego modelu współpracy pala z gruntem oraz wnioski końcowe.

- Studium literatury z zakresu oporu pod podstawą i na pobocznicy pala zawiera Rozdział 3. Pan mgr inż. Krzysztof Żarkiewicz przedstawił metody określania oporu pobocznicy i podstawy pala, jak również metody analizy krzywej „obciążenie – osiadanie". Wśród

metod należy tutaj wymienić: metodę Chin–Kondnera, metodę Decourta, metodę Davissona, Hansena, Mazurkiewicza, metodę funkcji transformacyjnych oraz metodę Meyera–Kowalowa. Autor rozprawy w Rozdziale 3.3 przedstawił również badania terenowe i laboratoryjne, w których przedmiotem analiz były wyniki próbnych obciążeń statycznych pali. Należy tu wymienić m.in. badaczy polskich i zagranicznych: Gwizdała, Dyka, Krasiński, Meyer, Fleming, England, Salgado, Prezzi, Osterberg, Hayes, Fellenius.
Na zakończenie Rozdziału 3, Pan mgr inż. Krzysztof Żarkiewicz przedstawia powody dla których dla dalszych analiz przyjął krzywą Meyera–Kowalowa. Dodatkową zaletą metody Meyera–Kowalowa, według Autora rozprawy, jest lepsze dopasowanie krzywej aproksymującej do punktów pomiarowych ze względu na dodatkowy parametr κ, za pomocą którego określa się kształt krzywej „obciążenie – osiadanie" pomiędzy asymptotami określonymi przez parametry C i N_{gr}. Kształt krzywej może mieć duży wpływ na sposób formowania się oporu pobocznicy i rozkład sił podczas próbnego obciążenia statycznego, dlatego Pan mgr Krzysztof Żarkiewicz do dalszych analiz przyjął metodę Meyera–Kowalowa.

- W Rozdziale 4 Pan mgr inż. Krzysztof Żarkiewicz przedstawił program badań, który został podzielony na dwa etapy: badania analityczne krzywej aproksymującej wyniki próbnego obciążenia statycznego pala (krzywa M–K) oraz badania eksperymentalne, czyli próbne obciążenia pali w gruntach niespoistych w warunkach laboratoryjnych.

- Badania analityczne zostały przedstawione przez Pana mgr inż. Krzysztofa Żarkiewicza w Rozdziale 5. Na wstępie Rozdziału 5 Autor rozprawy zawarł opis matematyczny krzywej Meyera–Kowalowa, a następnie przedstawił wpływ parametrów modelu M–K na kształt krzywej aproksymującej. Jak dowodzi Pan mgr inż. Krzysztof Żarkiewicz, każdy z parametrów krzywej aproksymującej ma wpływ na kształt tej krzywej. Parametr N_{gr} jest nośnością graniczną określoną przez asymptotę pionową do krzywej osiadania. Siła ta jest zatem maksymalną siłą, której nie można przekroczyć. Zmiana tego parametru przesuwa asymptotę pionową. Parametrem C określa się początkowe nachylenie krzywej osiadania; im większy jest parametr C, tym większe są przyrosty osiadania. Parametrem κ precyzuje się kształt krzywej osiadania pomiędzy asymptotą ukośną określoną przez parametr C, a asymptotą pionową określoną przez parametr N_{gr}. Im większa jest wartość parametru κ tym łagodniejszy jest kształt krzywej osiadania. Autor rozprawy na kolejnych rysunkach przedstawił wpływ poszczególnych parametrów na kształt krzywej „obciążenie – osiadanie". Jak twierdzi Pan mgr inż. Krzysztof Żarkiewicz, w praktyce kształt krzywej „obciążenie – osiadanie" jest uzależniony od współdziałania trzech parametrów jednocześnie. Uważa, że wartości tych parametrów zawierają w sobie informację o parametrach gruntu, geometrii i technologii wykonania pala, a także o rozkładzie oporów na pobocznicy i pod podstawą pala.
Dodatkowo, w Rozdziale 5.3 Autor rozprawy przedstawił interpretację fizyczną parametrów krzywej M–K, zaś w Rozdziale 5.4 przedstawił rozkład krzywej osiadania na dwie krzywe: krzywą oporu podstawy i krzywą oporu pobocznicy pala.

- W Rozdziale 6 Autor rozprawy przedstawił badania eksperymentalne. Badania zawierały wykonanie próbnych obciążeń statycznych pali modelowych o wymiarach zmniejszonych w stosunku do rzeczywistych. Były prowadzone w warunkach laboratoryjnych, w gruncie o znanym zagęszczeniu. Program badań był podzielony na trzy części i obejmował:
  - 10 badań z pomiarem oporu gruntu pod podstawą pala, pomiarem siły przyłożonej w głowicy pala, pomiarem oporu zmobilizowanego pod podstawą pala i ustabilizowanego osiadania głowicy pala,

- 20 standardowych badań próbnych obciążeń pali pogrążonych w gruncie niespoistym, pomiarów przyłożonej siły w głowicy pala i ustabilizowanego osiadania pala,
- 9 badań próbnych obciążeń pali, w których pobocznica nie miała kontaktu z gruntem, pomiarów przyłożonej siły w głowicy pala i ustabilizowanego osiadania pala.

Pan mgr inż. Krzysztof Żarkiewicz opisał przygotowanie stanowiska badawczego i badań towarzyszących, jak również badania fotogrametryczne wraz z interpretacją wyników badań symulacyjnych. Jak stwierdza Autor rozprawy, badania fotogrametryczne wskazywały, iż w badanych przypadkach pod podstawą pala tworzy się obszar o znacznie większych przemieszczeniach ziaren niż w pozostałej części. Może to sugerować powstanie mechanizmu zwiększonego oporu podstawy i pobocznicy, spowodowanego formowaniem się pod podstawą tzw. „gruszki", która obejmuje również pewną część wysokości pala powyżej podstawy.

- W Rozdziale 7, Autor rozprawy sformułował zależności analitycznych parametrów krzywej Meyera–Kowalowa. Na wstępie rozdziału, Pan mgr inż. Krzysztof Żarkiewicz przeprowadził aproksymację wyników próbnych obciążeń statycznych, następnie dokonał analizy parametrów krzywej Meyera–Kowalowa, po to aby określić opór na pobocznicy pala na podstawie próbnego obciążenia statycznego. W Rozdziale 7.4 Autor rozprawy określił wpływ współzależności oporu pobocznicy i podstawy pala. Przeprowadzone przez niego badania miały na celu wyjaśnić podstawowe mechanizmy zachodzące przy współpracy pala z gruntem. W związku z tym, następnym krokiem było skorelowanie tych badań z danymi pozyskanymi z badań terenowych. W tym celu, Autor rozprawy wykorzystał wyniki badań terenowych i laboratoryjnych próbnych obciążeń statycznych pali, wyposażonych w czujniki umożliwiające określenie redystrybucji składowych normalnych naprężenia na długości pala, a także pale analizowane innymi metodami i opublikowane dane pomiarowe. Na zakończenie Rozdziału 7, Pan mgr inż. Krzysztof Żarkiewicz stwierdził, że istnieje silny związek pomiędzy oporem pobocznicy i podstawy pala i nie można ich rozpatrywać oddzielnie.

- Zastosowanie wyników badań i analiz do projektowania pali rzeczywistych, Pan mgr inż. Krzysztof Żarkiewicz pokazał w Rozdziale 8. Do analizy wybrał cztery pale lub kolumny o różnej geometrii, technologii wykonania, nośności i warunkach gruntowych. Przedstawione na rysunkach wyniki analiz próbnego obciążenia statycznego z wykorzystaniem wyprowadzonych przez Pana mgr inż. Krzysztofa Żarkiewicza wzorów, umożliwiają dalszą interpretację mobilizacji oporu pobocznicy i podstawy pala. Jak wynika z wykresów, rozkład oporów może być całkiem inny w zależności od rodzaju pala i wyników próbnego obciążenia statycznego. Jak dowiódł Autor rozprawy, jedną z podstawowych różnic w oporze pobocznicy i podstawy pala jest szybkość mobilizacji oporów. Okazuje się, że opór pobocznicy jest mobilizowany bardzo szybko i przy niewielkich osiadaniach osiągany jest maksymalny opór lub ponad 80% oporu pobocznicy osiąganego przy niekontrolowanych osiadaniach. Ponadto analiza krzywej „obciążenie – osiadanie" umożliwia określenie nośności pala ze względu na wybrane kryterium.

- Podsumowanie i wnioski końcowe wyników, jak również kierunki dalszych badań pracy znalazły swoje miejsce w Rozdziale 9.

- Do rozprawy doktorskiej dołączono dziewięć załączników, które zawierają odpowiednio:
  - Zał. A. – Analizę sitową gruntu użytego w badaniach laboratoryjnych,
  - Zał. B. – Zagęszczenia gruntu w komorze podczas próbnych obciążeń statycznych oprzyrządowanych pali,

- Zał. C. – Wyniki próbnych obciążeń statycznych oprzyrządowanego pala,
- Zał. D. – Wyniki próbnych obciążeń statycznych oprzyrządowanego pala. Rozkład oporów,
- Zał. E. – Aproksymację M–K wyników próbnych obciążeń statycznych oprzyrządowanych pali
- Zał. F. – Obliczony rozkład oporów w funkcji pomierzonych podczas próbnych obciążeń statycznych. Pale z dodatkowym pomiarem oporu pod podstawą. Wykresy mobilizacji oporu pobocznicy wraz z osiadaniem pala,
- Zał. G. – Obliczony rozkład oporów dla próbnych obciążeń statycznych pali w warunkach laboratoryjnych. Standardowe próbne obciążenia pali. Pomiary z drugiej części badań,
- Zał. H. – Wyniki próbnych obciążeń statycznych pali w warunkach terenowych z pomiarem oporu pobocznicy lub oporu podstawy pala. Dane z literatury,
- Zał. I. – Obliczony rozkład oporów wybranych próbnych obciążeń statycznych pali rzeczywistych.

Strukturę i układ pracy doktorskiej można uznać za logiczny i przejrzysty.

3. Ocena dorobku rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska stanowi oryginalną, bo własną propozycję badań i analiz dotyczących procesu formowania się oporu pobocznicy pala w gruntach niespoistych na podstawie modelowych badań laboratoryjnych. Pan mgr inż. Krzysztof Żarkiewicz w swojej pracy doktorskiej zaproponował metodę analizy mobilizacji oporu pobocznicy pala na podstawie wyników próbnego obciążenia statycznego. Analizę tę oparł na autorskich badaniach modelowych pali w skali laboratoryjnej, które umożliwiły poznanie podstawowych zjawisk decydujących o rozkładzie oporów na pobocznicę i podstawę pala podczas próbnego obciążenia statycznego. Problem mobilizacji oporów wraz z osiadaniem pala nie jest zagadnieniem łatwym do rozwiązania, ze względu na fakt, że istnieje wiele czynników, które mogą mieć wpływ na wynik tego rozkładu. Rozwiązanie tego problemu jest jednak bardzo ważne, ponieważ umożliwia dokładniejszą analizę nośności pala, a także uniknięcie wielu błędów podczas projektowania pali. W tym miejscu należy zaznaczyć, że Autor rozprawy poradził sobie z rozwiązaniem tego problemu bardzo dobrze.

Badania eksperymentalne, jak również analiza wyników badań pozwoliła Panu mgr inż. Krzysztofowi Żarkiewiczowi wyciągnąć wnioski i podać zalecenia inżynierskie.

Badania eksperymentalne przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych dostarczyły zbiór danych do analizy parametrów metody Meyera–Kowalowa i jednocześnie umożliwiły określenie zależności wpływających na formowanie się oporu pobocznicy i podstawy pala podczas próbnego obciążenia statycznego.

Jak dowodzi Autor rozprawy, do poprawnej interpretacji oporu pobocznicy pala nie wystarczy znajomość tego oporu w stanie granicznym, ponieważ proces formowania się oporu pobocznicy wraz z osiadaniem w wielu przypadkach znacznie różni się. Przeprowadzone przez Autora rozprawy analizy wykazały, że przy dopuszczalnych osiadaniach mobilizuje się zaledwie 50% wartości granicznej, a w innych przypadkach osiągane jest 100% granicznej wartości oporu pobocznicy.

Na podstawie badań eksperymentalnych Pan mgr inż. Krzysztof Żarkiewicz wyszczególnił dwa schematy mobilizacji oporu na pobocznicy pala. Pierwszy dotyczy wzrostu oporu na pobocznicy podczas próbnego obciążenia statycznego pala do wartości maksymalnej, przy dalszym obciążeniu opór ten maleje osiągając wartość graniczną przy osiadaniach dążących do nieskończoności. Drugi schemat mobilizacji oporu pobocznicy dotyczy sytuacji, gdy opór ten rośnie i już przy niewielkich osiadaniach osiąga ponad 60%

oporu granicznego. Przy dalszym obciążaniu opór ten wciąż rośnie i osiąga wartość graniczną dopiero przy osiadaniach dążących do nieskończoności.

Dodatkowo, Pan mgr inż. Krzysztof Żarkiewicz na podstawie badań laboratoryjnych wykazał, że opór pobocznicy pala nie pochodzi wyłącznie od naprężenia geostatycznego. Przeprowadzone przez Autora rozprawy badania fotogrametryczne wskazują, że podstawa pala może generować dodatkowe dociski gruntu do pobocznicy, zwiększając jednocześnie wartość zmobilizowanego oporu na pobocznicy pala. Kolejne badania wskazywały także, że opór na pobocznicy wpływa również na powstanie innego mechanizmu mobilizacji oporu podstawy pala. Świadczy to o silnej współzależności oporu pobocznicy i podstawy pala podczas próbnego obciążenia statycznego.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że dzięki badaniom eksperymentalnym, Pan mgr inż. Krzysztof Żarkiewicz sformułował zależności umożliwiające obliczenie parametrów krzywej oporu podstawy pala C_1, $N_{gr,1}$, κ_1 na podstawie parametrów C_2, $N_{gr,2}$, κ_2 uzyskanych z aproksymacji wyników próbnego obciążenia statycznego $\{N_i, s_i\}$ metodą Meyera–Kowalowa. To z kolei, umożliwiło uzyskanie wykresu $T(s)$ – mobilizacji oporu pobocznicy wraz z osiadaniem.

Przeprowadzone przez Autora rozprawy doktorskiej badania i uzyskane z nich wyniki potwierdziły tezę rozprawy, że *„Istnieje możliwość określenia, z dostateczną do celów praktycznych dokładnością, formowania się oporów na pobocznicy pala wraz z osiadaniem, na podstawie próbnego obciążenia statycznego"*.

4. Uwagi szczegółowe i dyskusyjne

Recenzowana rozprawa doktorska jest napisana w sposób czytelny i przejrzysty. Należy podkreślić, że cel, teza i zakres pracy zostały przedstawione w pracy jasno i precyzyjnie, a wszystkie badania i przeprowadzone analizy prowadzą Czytelnika do udowodnionej tezy przedstawionej przez Autora w rozprawie doktorskiej. Na wyróżnienie zasługuje staranność w przedstawieniu wyników badań i analiz na rysunkach.

Po zapoznaniu się z całością pracy nasuwają się dwa pytania:

- Co zadecydowało, że do badań eksperymentalnych modelowych został użyty piasek średni równoziarnisty?

oraz

- Co sądzi Autor rozprawy na temat „efektu skali". Czy zagadnienie to zostało przeanalizowane przed przystąpieniem Autora rozprawy do badań modelowych?

Tekst pracy został przygotowany przez Pana mgr inż. Krzysztofa Żarkiewicza starannie, jednak pomimo starań Autor rozprawy nie ustrzegł się drobnych błędów.

Uwagi redakcyjne są następujące:

- na Rys. 5 brakuje opisu osi pionowej,
- na Rys. 11 nie zostało podane źródło literatury wykorzystanej do interpretacji rozkładu sił w trzonie pala podczas próbnego obciążenia statycznego wykonanego w terenie,
- wzór (32) budzi wątpliwości (i=1 i i=4 ?),
- na str. 71 błędnie powołano się na rysunek 33. Ideę współpracy podstawy i pobocznicy pala pokazano na rysunku 38,
- na Rys. 44 nie podano, którego pala dotyczą pokazane wyniki z próbnych obciążeń pali do określenia parametrów krzywych aproksymujących,
- na str. 83 w tabeli 10 błędnie podano numery pali,
- str. 86 – błędnie podano numery rysunków umożliwiających analizę mobilizacji oporu na pobocznicy,

- str. 87 – na Rys. 50 nie podano numery pali, dla których pokazano schemat różnicy w nośności podstawy pala w zależności od sposobu obciążenia pala,
- str. 160÷162 – w Zał. H. przy wynikach próbnych obciążeń statycznych pali w warunkach terenowych z pomiarem oporu pobocznicy lub oporu podstawy pala, dla danych z literatury błędnie wskazano źródła literatury, z których zaczerpnięto dane (por. Tabela 12 na str. 88 i Tabele na str. 162 i 164.

5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Sformułowane w recenzji drobne uwagi w żaden sposób nie obniżają wartości merytorycznej pracy doktorskiej.

W rozprawie doktorskiej zaproponowano metodę analizy mobilizacji oporu pobocznicy pala na podstawie wyników próbnego obciążenia statycznego. Analizę poprzedziły autorskie badania modelowe pali w skali laboratoryjnej. Badania te dostarczyły zbioru danych do analizy parametrów metodą M–K i jednocześnie umożliwiły określenie zależności wpływających na formowanie się oporu pobocznicy i podstawy pala podczas próbnego obciążenia statycznego. Do analizy wykorzystano również wyniki badań pali, zaczerpnięte ze studium literatury przedmiotu. Do analiz Autor rozprawy wykorzystał 39 badań pali laboratoryjnych oraz 14 badań pali rzeczywistych.

Ważną cechą rozprawy doktorskiej jest wytyczenie kierunku przyszłych badań. Autor rozprawy zdaje sobie sprawę, że program badań i analiz nie kończy się na tym etapie pracy. Pan mgr inż. Krzysztof Żarkiewicz przewiduje dalsze gromadzenie wyników próbnych obciążeń statycznych z dodatkowym pomiarem rozkładu oporów na pobocznicę i podstawę pali wykonanych w różnych technologiach, w celu doprecyzowania wzorów zaproponowanych w rozprawie doktorskiej. Zakłada też kontynuację badań laboratoryjnych, jak i terenowych nad zagadnieniem współpracy pobocznicy i podstawy pala podczas próbnego obciążenia statycznego. Autor rozprawy przewiduje dalszy rozwój metody Meyera–Kowalowa, jako metody interpretacji próbnych obciążeń statycznych, pozwalającej na określenie nośności granicznej i mobilizacji oporów wraz z osiadaniem, w celu udoskonalenia metod projektowania pali.

Biorąc pod uwagę ważność i aktualność podjętych przez Pana mgr inż. Krzysztofa Żarkiewicza badań i analiz dotyczących oporu pobocznicy pala w gruntach niespoistych oraz jasno i precyzyjnie sformułowaną tezę pracy oraz wyciągnięte wnioski, stwierdzam, że praca doktorska Pana mgr inż. Krzysztofa Żarkiewicza pt. *„Analiza formowania się oporu pobocznicy pala w gruntach niespoistych, na podstawie modelowych badań laboratoryjnych"* spełnia warunki i wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595, ze zm. w Dz. U. z 2005 r. Nr 164, poz. 1365 oraz w Dz. U. z 2011 r. Nr 84, poz. 455).

Wnioskuję o przyjęcie rozprawy doktorskiej przez Radę Wydziału Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie oraz dopuszczenie Pana mgr inż. Krzysztofa Żarkiewicza do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Janusz Bzówka