

**D Z I E K A N
I R A D A W Y D Z I A Ł U
B U D O W N I C T W A I A R C H I T E K T U R Y
Z A C H O D N I O P O M O R S K I E G O U N I W E R S Y T E T U T E C H N O L O G I C Z N E G O
W S Z C Z E C I N I E**

zapraszają na

PUBLICZNĄ OBRONĘ ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. KRZYSZTOFA ŻARKIEWICZA

która odbędzie się w dniu **4 lipca 2017 r. (wtorek) o godz. 9⁰⁰**
w sali 302 gmachu Wydziału Budownictwa i Architektury
przy al. Piastów 50 w Szczecinie

Temat rozprawy doktorskiej:

**„Analiza formowania się oporu poboczniczy pala w gruntach niespoistych
na podstawie modelowych badań laboratoryjnych”**

Promotor: *prof. dr hab. inż. Zygmunt Meyer*

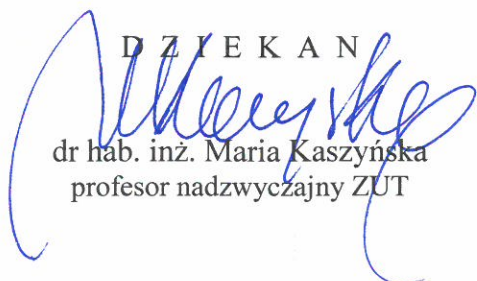
*Zachodniopomorski Uniwersytet
Technologiczny w Szczecinie*

Recenzenci: *prof. dr hab. inż. Eugeniusz Dembicki*
dr hab. inż. Joanna Bzówka, prof. PŚI

Politechnika Gdańska
Politechnika Śląska

Z rozprawą doktorską i opiniami Recenzentów zapoznać się można w Czytelni Wydziału Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, mieszczącej się w Budynku Jednostek Międzywydziałowych, przy al. Piastów 48, sala 524, V piętro.

Streszczenie rozprawy doktorskiej w języku polskim i w języku angielskim oraz recenzje dostępne są na stronie: <http://wbia.zut.edu.pl/wbia/awanse-naukowe/doktoraty/budownictwo.html>

D Z I E K A N

dr hab. inż. Maria Kaszyńska
profesor nadzwyczajny ZUT

**Analiza formowania się oporu poboczniczy pala w gruntach niespoistych,
na podstawie modelowych badań laboratoryjnych**

Krzysztof Żarkiewicz

Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest analiza współpracy pala z gruntem. Dotychczas prezentowane w literaturze modele i opisy matematyczne obejmują wybrane elementy tego zjawiska i nie wychodzą poza obszar obciążeń stosowanych w teście statycznym. W literaturze brak jest pogłębionej analizy zachowania się krzywej obciążenie-osiadanie pala w całym zakresie obciążeń tj. od siły 0 kN do obciążania zwanego nośnością graniczną, które powoduje powstanie niekontrolowanych osiadań pala. Brakuje również powszechnie akceptowanych modeli, które opisywałyby formowanie się oporu podstawy i poboczniczy pala wraz z osiadaniem. Konsekwencją tego jest fakt, że w projektowaniu pali wykorzystuje się zaledwie 30-50% wyżej wymienionej nośności granicznej, a to powoduje, że osiadania pali jest bardzo małe i wynosi zaledwie kilka milimetrów. Jest to w sprzeczności z faktem, że dopuszczalne osiadanie budowli wynosi zwykle kilka centymetrów. Stało się to powodem podjęcia badań w tym zakresie. Formowanie się oporu poboczniczy pala jest zagadnieniem relacji obciążenie-osiadanie pala. W przypadku współpracy pala z gruntem mówimy o mobilizacji oporu poboczniczy pala wraz z osiadaniem, mobilizacji oporu podstawy pala wraz z osiadaniem i zjawisku wpływu oporu podstawy pala na formowanie się oporu poboczniczy pala. W rozprawie doktorskiej przeanalizowano mechanizmy każdego z tych czynników. Badania analityczne obejmowały analizę krzywej aproksymującej Meyera-Kowalowa (M-K), która jest złożeniem krzywej oporu poboczniczy i krzywej oporu podstawy pala. W części eksperymentalnej przeprowadzono próbne obciążenia oprzyrządowanych, modelowych pali w warunkach laboratoryjnych, które umożliwiły określenie zależności pomiędzy parametrami krzywej M-K. Wykonane ponadto badania fotogrametryczne miały na celu wyjaśnienie mechanizmów formowania się dużych oporów na poboczniczy pala. Uzyskane zależności zweryfikowano w oparciu o wyniki badań terenowych. Potwierdziło to tezę rozprawy doktorskiej, że istnieje możliwość określenia, z dostateczną do celów inżynierskich dokładnością, formowania się oporu poboczniczy pala wraz z osiadaniem, na podstawie próbnego obciążenia statycznego pala.

Krzysztof Żarkiewicz

Dissertation abstract

**Analysis of skin friction mobilization of pile in cohesionless soil, based on
laboratory model research**

Krzysztof Żarkiewicz

Transfer of axial force from the head of a pile to the surrounding soil by skin friction and base resistance is still uncertain. Field research confirms that in operation conditions skin friction is greater than base resistance. Therefore, determining the appropriate skin friction is so important. The way of skin and base resistance mobilization is often differ. The results of static pile load test are usually presented as settlement curve. This curve can be divided into two components: skin friction curve and base resistance curve according to the settlement. In this dissertation, laboratory research of model pile was presented. The research involved measuring base resistance during static pile load test. Findings allowed to determine skin friction following settlement of the pile. The outcomes were approximated using Meyer-Kowalow (M-K) method. The relationship between obtained parameters of M-K approximation was carried out. In the analysis there were also used results of field tests which were found in literature. The analysis confirmed thesis of the dissertation that it is possible to determine the skin friction mobilization following the settlement of the pile based on the static pile load test.

Krzysztof Żarkiewicz

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 poboczniczy 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 poboczniczy 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 poboczniczy 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 poboczniczy 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. Próbné 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 użytkowości. 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 próbné 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 przesuwając 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 informacje 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 pograżonych 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 naprężeń 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 pobocznicy 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 osiągnięte 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 poboczniczy pala nie pochodzi wyłącznie od naprężenia geostatycznego. Przeprowadzone przez Autora rozprawy badania fotogrametryczne wskazują, że podstawa pala może generować dodatkowe dociski gruntu do poboczniczy, zwiększając jednocześnie wartość zmobilizowanego oporu na poboczniczy pala. Kolejne badania wskazywały także, że opór na poboczniczy wpływa również na powstanie innego mechanizmu mobilizacji oporu podstawy pala. Świadczy to o silnej współzależności oporu poboczniczy 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 poboczniczy 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 poboczniczy 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 zdecydowało, 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 poboczniczy 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 poboczniczy,

- 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 próbnym obciążeniach 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 próbnym obciążeniach statycznych z dodatkowym pomiarem rozkładu oporów na pobocznicy 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 próbnym obciążeniach 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).

Wnioskuje 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 Brótko



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ
I ŚRODOWISKA

Katedra Geotechniki, Geologii i Budownictwa Morskiego

Gdańsk, 29.05.2017 r.

Prof. zw. dr hab. inż. Eugeniusz Dembicki

Recenzja pracy doktorskiej mgr. inż. Krzysztofa Żarkiewicza pt.: „Analiza formowania się oporu poboczniczy pala w gruntach niespoistych na podstawie modelowych badań laboratoryjnych”

1. Wstęp

Recenzja pracy doktorskiej mgr. inż. Krzysztofa Żarkiewicza pt.: „Analiza formowania się oporu poboczniczy pala w gruntach niespoistych na podstawie modelowych badań laboratoryjnych” opracowałem na zlecenie Pani Dziekan Wydziału Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie prof. dr hab. inż. Marii Kaszyńskiej z dnia 4 maja 2017 roku.

Praca zawiera 164 stron treści, w tym spis treści, 65 pozycji literatury, spis oznaczeń i jednostek, spis rysunków i tablic oraz spis załączników.

2. Treść pracy

Praca składa się z dziewięciu rozdziałów.

Rozdział pierwszy stanowi wstęp do pracy doktorskiej i obejmuje wprowadzenie do tematu rozprawy oraz uzasadnienie celowości podjęcia badań.

W rozdziale drugim Autor sformułował cel, tezę i zakres pracy.

Celem pracy jest analiza mechanizmów formowania się oporu na poboczniczy pala w gruntach niespoistych na podstawie własnych doświadczalnych badań laboratoryjnych.

Tezę pracy Autor sformułował w formie szczegółowych czynności w postaci rozważań i przyjętego do analizy modelu Meyera-Kowalowa służącego do określania osiadania pala z próbnego obciążenia statycznego. Opracowanie wzorów do praktycznego stosowania w przedstawionym modelu współpracy pojedynczego pala z gruntem.

Rozdział trzeci dotyczy analizy literatury z zakresu określania oporu na poboczniczy pala. W rozdziale przeanalizowano:

- metody określania oporu poboczniczy i podstawy pala,
- metody analizy krzywej osiadania pala obejmujące siedem analizowanych różnych rodzajów metod: Chin-Kondnera, Decoursta, Davissona,, Hansena, Mazurkiewicza, funkcji transformacyjnych (Gwizdały) i Meyera-Kowalowa.
Szczegółowe omówienie metody funkcji transformacyjnych (Gwizdały) i Meyera-Kowalowa.
- badania terenowe i laboratoryjne formowania się oporu na poboczniczy pala.

W rozdziale czwartym Autor przedstawił własny program badań modelowych. Obejmuje on badania modelowych pali w gruncie niespoistym (ziarnistym) na zbudowanym stanowisku badawczym oraz badania fotogrametryczne w celu określenia zasięgu oddziaływania pola w czasie jego obciążania.

Rozdział piąty obejmuje badania analityczne. W rozdziale przedstawiono:

- Opis matematyczny krzywej osiadania według modelu Meyera-Kowalowa (metoda M-K). Wyniki aproksymacji umożliwiające przedłużenie krzywej osiadania statycznego i pozwalające na prognozowanie osiadania pala w większym zakresie obciążenia.
- Wpływ parametrów modelu M-K na kształt krzywej aproksymującej. Parametrami modelu M-K są: nośność graniczna N_{gr} , początkowe nachylenie krzywej osiadania pala C i parametr poprawkowy K zależny od rodzaju gruntu i nie mający interpretacji fizycznej, lecz wpływający na kształt krzywej.
- Opis wpływu rozkładu krzywej osiadania pala na krzywą oporu podstawy i krzywą oporu pobocznicy pala.

W rozdziale szóstym opisano przeprowadzone badania doświadczalne na modelach pali. W rozdziale omówiono:

- próbne obciążenie pala w warunkach laboratoryjnych podając opis badań, przygotowanie stanowiska badawczego, pomiar oporu pod podstawą pala i przebieg próbnego obciążenia pali w warunkach laboratoryjnych: badania w trzech częściach (opór pod podstawą pala, badania zależności obciążenie-osiadanie, próbna obciążenie bez oporu pobocznicy),
- badania fotogrametryczne obejmujące: opis badań, przygotowanie stanowiska badawczego i przeprowadzenie badań towarzyszących, interpretację wyników badań symulacyjnych (mechanizm pracy podstawy pala i mechanizm jego pobocznicy), wpływ pobocznicy pala na wzrost oporu podstawy pala i wzajemne współoddziaływanie podstawy i pobocznicy pala.

W zakończeniu opisu treści rozdziału podsumowanie badań doświadczalnych.

Rozdział siódmy dotyczy sformułowania zależności analitycznych trzech parametrów krzywej osiadania według modelu Meyera-Kowalowa i przedstawiono w nim:

- aproksymację wyników próbnych obciążeń statycznych pali w celu uzależnienia parametrów N_{gr} i C od bezwymiarowego parametru K ,
- analizę parametrów krzywej M-K i funkcyjne określenie ich zależności podane równaniami (55), (56) i (57),
- określenie oporu na pobocznicy pala na podstawie wyników próbnego obciążenia statycznego,
- określenie wpływu zależności oporu pobocznicy i podstawy pala.

W ósmym rozdziale omówiono zastosowanie wyników badań i analiz do projektowania pali rzeczywistych. W rozdziale przeprowadzono weryfikację wyprowadzonych wzorów analitycznych na określenie trzech parametrów krzywej osiadania pala według modelu M-K. Za pomocą terenowych badań obcych statycznego próbnego obciążenia pala podano algorytm postępowania w celu uzyskania projektowanej nośności i podano cztery przykłady przeliczenia pali lub kolumn palowych o różnej geometrii, technologii wykonania, nośności i warunków gruntowych określających nośność dopuszczalną i dopuszczalne osiadanie pali/kolumn według proponowanej i dotychczas stosowanej metody.

Rozdział dziewiąty zawiera wnioski końcowe dotyczące zaproponowanej metody analizy mobilizacji oporu pobocznicy pala na podstawie wyników próbnego obciążenia statycznego pala. Wnioski sformułowano w siedmiu punktach. Wynikają z przeprowadzonych badań, analiz i wywodów.

3. Ocena pracy

Podjęta przez doktoranta tematyka badań geotechnicznych mających na celu doświadczalne rozpoznawanie mechanizmu formowania się oporu na poboczniczy pala w gruntach niespoistych. Autor zrealizował tematykę poprzez przeprowadzenie badań doświadczalnych na palach modelowych w zbudowanej komorze badawczej, uzyskując wyniki ilościowe dotyczące nośności w funkcji przyłożonego obciążenia i osiadania pala modelowego oraz badanie jakościowe za pomocą metody fotogrametrycznej pozwalającej na jakościowy obraz stref odkształcenia gruntu wokół poboczniczy i podstawy pala. Uzyskane wyniki badań doświadczalnych dwójakiego rodzaju stanowiły podstawę

do szerokiej analizy określenia przedstawionego celu pracy doktorskiej.

Po przeprowadzeniu analizy istniejących w literaturze modeli obciążenia nośności pala i jego osiadania, Autor przyjął do interpretacji własnych badań i dalszej ich analizy model interpretacyjny zaproponowany przez prof. Zygmunta Meyera i dr. Kazimierza Kowalowa, określany jako model M-K. Należy podkreślić, że dotychczasowe metody określania nośności granicznej i dopuszczalnej pali w funkcji ich osiadania opierały się na różnych w zasadzie umownych zasadach i często ekstrapolowanych graficznie.

Autor rozprawy doktorskiej podjął się opracować analityczną metodę określania krzywej osiadania pala oraz jej rozkładu na krzywą podstawy i poboczniczy pala z wykorzystaniem wyników pomiarów rzeczywistego próbnego obciążenia.

Do oryginalnych i własnych osiągnięć Autora rozprawy doktorskiej zaliczam:

1. Syntetyczny i krytyczny przegląd tematycznej literatury badanego zagadnienia ze szczególnym uwzględnieniem określenia nośności granicznej pala i mobilizacji oporu tarcia na jego poboczniczy.

2. Przeprowadzenie ilościowych badań modelowych w zbudowanej komorze badawczej i jej oprzyrządowania badawczego, jak i przeprowadzenie modelowych badań fotogrametrycznych na zbudowanym stanowisku badawczym.
3. Przeprowadzenie statystycznej analizy otrzymanych wyników badawczych statycznych i właściwa interpretacja wyników badań kinematycznych dotyczących głównie formowania się oporu na pobocznicy pala.
4. Zaproponowanie własnych analitycznych wzorów na określenie trzech parametrów krzywej osiadania pala i jej rozkładu na krzywą oporu podstawy i krzywą oporu pobocznicy pala.
5. Przeprowadzenie weryfikacji uzyskanych analitycznych wartości współczynników krzywych oporu i nośności na rzeczywistych pomiarach osiadania pali i kolumn fundamentowych wykonanych w terenie przy różnej technologii. Autor uzyskał dobrą zgodność proponowanych własnych rozwiązań i niezależnych wyników pomiarów terenowych.
6. Proponowana przez Doktoranta analityczna metoda określania krzywej osiadania pala aż do osiągnięcia przez nią stanu granicznego pozwala na właściwy wybór nośności dopuszczalnej pala z odpowiadającym jej osiadaniami lub dopuszczalnego osiadania z określoną nośnością.
7. Szczegółowe wnioski z przeprowadzonych badań modelowych, analiz i rozwiązań analitycznych zamieszczonych w pracy uważam za udowodnione.

4. Uwagi krytyczne

Zasadniczych uwag krytycznych do pracy doktorskiej nie zgłaszam. Mam pewne uwagi o charakterze ogólnym:

1. Podsumowanie spisu literatury strona 15 pracy.

Należy skreślić ostatnie zdanie dotyczące nośności granicznej i dużych odkształceń. W praktyce inżynierskiej nigdy nie można dopuścić wartości

granicznych, ponieważ są to wartości wskazujące na katastrofę (całkowite zniszczenie ośrodka gruntowego).

2. Punkt 6.1.1.

Nie przeprowadzono analizy wymiarowej wybranych pali modelowych i ich zagłębienia. Chodzi tu o zasięg stref wyparcia gruntu w określeniu oporu na pobocznicy pala.

3. Dlaczego nie zastosowano do badań fotogrametrycznych komory o większych wymiarach z pleksigasu i takiego samego pala (wymiary) jak w poprzednich badaniach modelowych?
4. Opisany warunek optymalizacji (wzór 35) nie jest warunkiem optymalizacji w ujęciu matematycznym (zmienne decyzyjne, funkcje celu). Przedstawiony przez Autora warunek (35) jest warunkiem badania wartości maksymalnych/minimalnych parametrów krzywej osiadania.
5. W programie przyszłych badań dotyczących nośności pala w funkcji obciążenia i osiadania należy uwzględnić:
 - analizę powierzchni stykowej pal-ośrodek gruntowy w funkcji powstających różnych stanów naprężenia na pobocznicy i pod podstawą pala,
 - przeprowadzenie w ewentualnych badaniach modelowych analizę warunków podobieństwa modelowego z uwzględnieniem geometrii pala, wartości przyłożonego obciążenia i wrażliwości podłoża gruntowego oraz głębszą analizę powierzchni stykowych – pal(pobocznica i podstawa)/podłoże.

4.1. Drobne uwagi formalne

- str. 12.
 - Jest: gruntów spoistych. Powinno być: idealnie spoistych;

- Tablica 1. brak wyjaśnienia oznaczenia f_i , jego definicję wprowadzono dopiero na str. 14.
- str. 71.
Jest rys. 33. Powinno być 38.
- Bardzo drobne uwagi natury stylistycznej zaznaczyłem w tekście recenzowanej pracy. Dobrze byłoby uwzględnić je przy redakcji pracy do druku.

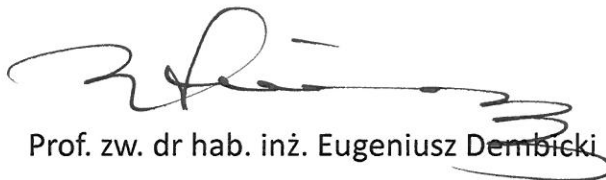
5. Podsumowanie

Podsumowując moją opinię o pracy doktorskiej mgr. inż. Krzysztofa Żarkiewicza pt.: „Analiza formowania się oporu pobocznicy pala w gruntach niespoistych na podstawie modelowych badań laboratoryjnych” stwierdzam, że Autor:

1. Przeprowadził kompleksowe badania geotechniczne obejmujące statyczne próbne obciążenie pala modelowego w gruncie niespoistym i badania fotogrametryczne pala modelowego służące do określenia stref odkształcenia ośrodka gruntowego i zasięgu tych stref wokół podstawy i pobocznicy pala.
2. Przeprowadził szeroką analizę dotyczącą dotychczasowych metod wyznaczania nośności dopuszczalnej pala i analizę własnych badań modelowych oraz istniejących wybranych terenowych ocen nośności dopuszczalnej pala.
3. Opracował analityczne wzory do określenia trzech parametrów krzywej osiadania pala według modelu jej opisu podanego przez Meyera-Kowalowa.
4. Przedstawił sposób rozdziału krzywej osiadania pala uzyskaną z jego statycznego obciążenia na krzywą oporu podstawy i krzywą pobocznicy pala.
5. Zaproponował analityczne ujęcie określenia nośności granicznej pala modelem M-K, nośności dopuszczalnej i związanego z tym osiadania dopuszczalnego lub w funkcji przyjętego współczynnika bezpieczeństwa.
6. Przeprowadził weryfikację uzyskanych analitycznych parametrów krzywej osiadania z wartościami badań terenowych pali i kolumn naturalnych.

7. Wykazał dużą wiedzę i umiejętności prowadzenia laboratoryjnych badań geotechnicznych oraz analiz analitycznych uzyskanych wyników badawczych.
8. Przedstawione w pracy propozycje analitycznego opisu krzywej osiadania pała przy przyjętych założeniach i popartych badaniami laboratoryjnymi oraz zweryfikowanymi wynikami badań terenowych uważam za udowodnione. Spełniają one określony przez Autora cel i zakres pracy doktorskiej.
9. Napisał swoją pracę doktorską spójnie merytorycznie, przejrzystie i poprawnie językowo.

W wniosku końcowym stwierdzam, że praca doktorska mgr. inż. Krzysztofa Żarkiewicza spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim zgodnie z Ustawą z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym i tytule z zakresu sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 z późn. zm.) i wnoszę o dopuszczenie do publicznej obrony.



Prof. zw. dr hab. inż. Eugeniusz Dembicki

Uchwała nr 136/2016/2017
Rady Wydziału Budownictwa i Architektury
Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie
z dnia 5 lipca 2017 r.

w sprawie: **nadania mgr inż. Krzysztofowi Żarkiewiczowi stopnia naukowego**
 doktora nauk technicznych w dyscyplinie *budownictwo*

§ 1.

Rada Wydziału Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie po zapoznaniu się z przebiegiem przewodu doktorskiego, wynikami egzaminów doktorskich, opiniami recenzentów i wysłuchaniu obrony rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Żarkiewicza na temat.: „*Analiza formowania się oporu poboczniczy pala w gruntach niespoistych, na podstawie modelowych badań laboratoryjnych*”, działając zgodnie z Ustawą o stopniach naukowych i tytule naukowym z dnia 14 marca 2003 roku (Dz.U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.) oraz Rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 26 września 2016 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz.U. 2016, poz. 1586), podejmuje uchwałę o nadaniu magistrowi inżynierowi Krzysztofowi Żarkiewiczowi stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie budownictwo.

§ 2.

Uchwała wchodzi w życie z dniem podjęcia.

Przewodniczący Rady Wydziału
DZIEKAN

dr hab. inż. Maria Kaszyńska, prof. ZUT