

Prof. dr hab. inż. Joanna Bzówka
Politechnika Śląska
Wydział Budownictwa
Katedra Geotechniki i Dróg
ul. Akademicka 5
44–100 Gliwice

Gliwice, 3 sierpnia 2023 roku

R E C E N Z J A

rozprawy doktorskiej autorstwa mgr inż. Aleksandra Sirego pt. „Ocena nośności pali przemieszczeniowych posadowionych w gruncie niespoistym na podstawie pomiarów parametrów wiercenia”

1. Podstawa opracowania recenzji

Niniejszą recenzję pracy doktorskiej mgr inż. Aleksandra Sirego pt. „Ocena nośności pali przemieszczeniowych posadowionych w gruncie niespoistym na podstawie pomiarów parametrów wiercenia” wykonano na podstawie pisma Przewodniczącego Rady dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza Pana Prof. dr hab. inż. Tomasza Siwowskiego z dnia 22 maja 2023 roku oraz na zlecenie Prorektora Politechniki Rzeszowskiej Pana dr hab. inż. Lesława Gniewka, prof. PRz z dnia 12 czerwca 2023 roku.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

Recenzowana praca doktorska została napisana w języku polskim, liczy 90 stron tekstu oraz 79 pozycji literatury, w tym 76 publikacji naukowo i naukowo–technicznych oraz 3 normy. Praca doktorska zawiera trzy załączniki oraz streszczenia w języku polskim i angielskim.

Praca została podzielona na 9 rozdziałów, a te zostały podzielone na podrozdziały. Załączniki zawierają autorską metodę wyznaczania oporu zastępczego q.c.z na podstawie danych z sondowań CPT (zał. 1), nomogram przedstawiający tok postępowania przy szacowaniu nośności pala z wykorzystaniem danych z pomiarów EGP (zał. 2) oraz obliczenia nośności pala testowego nr 52 z użyciem różnych metod (zał. 3).

2.1. Aktualny stan wiedzy w zakresie tematyki rozprawy

Oceną i przewidywaniem zachowania się pala w gruncie pod obciążeniem zajmowało się i nadal zajmuje wielu naukowców i ekspertów. Zagadnienie jest trudne i skomplikowane, gdyż wiele czynników ma wpływ na ostateczny efekt współpracy pala z gruntem.

Największą trudność sprawia mała dokładność rozpoznania warunków gruntowo-wodnych podłoża gruntowego, duża zmienność parametrów geotechnicznych oraz trudny do ustalenia wpływ parametrów technologicznych instalacji pali w gruncie z użyciem maszyn wiertniczych. Dzięki postępowi w metodach i maszynach do robót fundamentowych, częściowo jest możliwe zmniejszenie ryzyka wystąpienia błędów projektowych i wykonawczych przy formowaniu pali fundamentowych.

Problematyką przewidywania zachowania się pala w gruncie pod obciążeniem zajmuje się wiele ośrodków naukowych w Polsce i na świecie, jak również badania realizowane są w wielu firmach wykonawczych zajmujących się robotami palowymi.

Autor rozprawy doktorskiej – mgr inż. Aleksander Siry, około 10 lat temu, podjął się zaprojektowania, a następnie wytworzenia i wdrożenia nowego narzędzia do wykonywania

wierconych pali przemieszczeniowych. Cechą szczególną nowego, autorskiego rozwiązania technologicznego, jest możliwość wykonywania bezpośrednich pomiarów w czasie wykonywania pala w gruncie. Zebrane przez Autora rozprawy doświadczenia z testów obciążeniowych pali oraz Jego własne spostrzeżenia z praktycznego wykorzystania nowego narzędzia wiercniczego na różnych budowach, pozwoliły na opracowanie autorskiej metody oceny nośności pali przemieszczeniowych na podstawie danych pomiarowych z procesu wiercenia w gruncie.

2.2. Struktura rozprawy doktorskiej

Recenzowana rozprawa doktorska składa się z ośmiu rozdziałów głównych, spisu literatury oraz trzech załączników.

W Rozdziale 1 Doktorant scharakteryzował tematykę pracy, natomiast cel, teza i zakres pracy zostały podane w Rozdziale 2 rozprawy doktorskiej.

Jako cel pracy, Pan mgr inż. Aleksander Siry wskazał opracowanie metody oceny nośności pali opartej na wykorzystaniu danych pomiarowych uzyskanych w czasie wiercenia oraz przeprowadzenie badań i analiz potwierdzających korzyści stosowania innowacyjnego systemu wiercenia przy wykonywaniu pali fundamentowych.

Rozdział 3 rozprawy zawiera charakterystykę pali przemieszczeniowych, w tym technologię, oprzyrządowanie wiertnic palowych oraz dotychczasowe możliwości i sposoby monitorowania pracy wiertnic.

Charakterystykę systemu wierzącego EGP (EGP - Elektroniczna Głowica Przemieszczeniowa) wraz z przykładami wykonania pali z użyciem EGP można znaleźć w Rozdziale 4 rozprawy doktorskiej, zaś metody obliczania nośności pali przemieszczeniowych, tj. metody oparte na wymaganiach normowych, jak również na wynikach sondowań CPT – w Rozdziale 5.

Rozdział 6 został poświęcony ocenie nośności pali z wykorzystaniem pomiarów EGP. W rozdziale tym, oprócz ogólnej koncepcji obliczania pala EGP, założeń do obliczeń i uzasadnienia przyjętych założeń, Doktorant zawarł procedurę obliczeń pala z wykorzystaniem pomiarów EGP dla szacowania nośności podstawy i pobocznicy pala.

Weryfikacja zaproponowanej metody obliczania pali została przedstawiona w Rozdziale 7, zaś podsumowanie pracy wraz z wnioskami końcowymi i kierunkiem dalszych badań można znaleźć w Rozdziale 8. Spis wykorzystanej w pracy literatury został zamieszczony w Rozdziale 9.

Strukturę i zawartość rozprawy doktorskiej, jak również tytuł rozprawy oceniam pozytywnie.

3. Ocena dorobku rozprawy

Celem wyznaczonym przez Doktoranta było opracowanie autorskiej metody oceny nośności pali, która jest oparta na wykorzystaniu danych pomiarowych uzyskanych w czasie wiercenia. Aby osiągnąć postawiony przez siebie cel, Autor rozprawy przeprowadził szereg badań i analiz, które potwierdziły korzyści stosowania innowacyjnego systemu wiercenia podczas wykonywania pali fundamentowych.

Na wstępie Doktorant przedstawił charakterystykę wierconych pali przemieszczeniowych. Jak słusznie zauważył, wiercone pale przemieszczeniowe sprawiają projektantom i wykonawcom pewne problemy; zbyt mało rozpoznany zagadnieniem jest ocena udziału pobocznicy i podstawy pala w przekazywaniu obciążeń na podłoże gruntowe oraz sposób obliczania nośności pali z uwzględnieniem efektów ich instalacji w gruncie w rzeczywistych warunkach terenowych. Jak stwierdził mgr inż. Aleksander Siry, w literaturze przedmiotu coraz częściej wskazuje się potrzebę stosowania bardziej

adekwatnych metod projektowych opartych w większym stopniu na badaniach podłoża in situ, w tym głównie na sondowaniach statycznych CPT oraz uwzględnieniu efektów instalacji pala w gruncie.

Proces wykonania pala wkręcanego polega na zagłębianiu w podłożu żerdzi wiertniczej zakończonej u dołu specjalnym świdrem przemieszczeniowym służącym do formowania w gruncie otworu pala o określonej średnicy. Zagłębianie świdra odbywa się przez wkręcanie narzędzia z jednoczesnym wciskaniem. Współczesne świdry przemieszczeniowe różnią się kształtem, długością i detalami technologicznymi. Jednak we wszystkich wariantach ogólna idea ukształtowania wkręcanego narzędzia wiertniczego jest podobna.

Jak podaje Autor rozprawy, współczesne wiertnice mają zwykle komputer pokładowy z odpowiednim oprogramowaniem pokazującym na ekranie podstawowe informacje o wykonywanym palu i bieżące wartości tzw. parametrów zastępczych. Dokładność danych z wiercenia i ich przydatność zależy od rodzaju wiertnicy, od specyfiki świdra i parametrów geotechnicznych podłoża gruntowego. Według mgr inż. Aleksandra Sirego, duża moc maszyn do robót fundamentowych oraz brak wyraźnych zmian w przewiercanych warstwach podłoża mogą niestety wpływać na obniżenie zgodności parametrów pokazywanych na ekranie z rzeczywistymi wynikami badań geotechnicznych, np. z sondowań statycznych CPT. Tego typu niezgodność prowadzi do wykonania pala o niewłaściwej długości. W zależności od oprogramowania i rodzaju wiertnicy dotarcie do warstw nośnych podłoża jest zwykle sygnalizowane odpowiednimi wartościami tzw. głównych parametrów zastępczych, wyświetlanych w sprzęcie wiertniczym. Za najbardziej przydatne parametry zastępcze uważa się „energię wiercenia” oraz „opór przenikania”. Autor rozprawy, na podstawie swoich własnych wieloletnich doświadczeń zebranych w czasie wykonywania dużej liczby pali w technologii przemieszczeniowej stwierdza, że oprogramowanie seryjne instalowane w produkowanych obecnie wiertnicach nie daje wystarczających informacji, aby na ich podstawie można było wiarygodnie prognozować, jak będzie zachowywał się pal pod obciążeniem. Bazując na doświadczeniu Autora rozprawy, można twierdzić, że o ile na podstawie danych z wiercenia można oszacować w przybliżony sposób opory poboczniczy pala, to nie jest możliwe oszacowanie nośności podstawy pala. Najistotniejszym czynnikiem, poza warunkami gruntowo-wodnymi podłoża, jest konstrukcja i kształt świdra.

W związku z powyższymi wynikami badań i analiz, mgr inż. Aleksander Siry dokonał charakterystyki innowacyjnego świdra EGP z sondą statyczną zainstalowaną wewnątrz świdra. Dzięki innowacyjnemu oprzyrządowaniu, wykonawca pali ma większą możliwość oceny właściwości gruntu pod podstawą pala z uwzględnieniem efektów instalacyjnych wiercenia i betonowania.

Niewątpliwie, opracowanie i pełne wdrożenie systemu EGP do praktyki wykonywania pali fundamentowych jest oryginalnym osiągnięciem Autora rozprawy, wynikającym z wieloletnich badań i prac doświadczalnych Autora rozprawy, które prowadził w firmie Aprofii. Należy dodać, że rozwiązanie techniczne, opisane w rozprawie doktorskiej, bazuje na zastosowaniu różnych innowacyjnych technik pomiarowych i jest chronione patentem.

Mgr inż. Aleksander Siry w Rozdziale 4 rozprawy doktorskiej wymienia najważniejsze elementy systemu EGP, do których należą: czujniki do pomiaru oporów tarcia gruntu o świder, czujnik do pomiaru nacisku bocznego gruntu, sonda CPT do pomiaru oporu gruntu q_c pod świdrem umieszczona pionowo w jego wnętrzu, czujniki do pomiaru ciśnienia mieszanki betonowej, dysze do tłoczenia powietrza lub wody umieszczone w dolnej części świdra oraz oprogramowanie umożliwiające bieżący zapis i analizę danych z wiercenia.

W skład systemu EGP wchodzi również inne części, w tym: świder przemieszczeniowy ze specjalnie zaprojektowanym spiralnym układem piór do wiercenia w różnych gruntach, wymienna głowica, układy pomiarowe i moduły sterujące i monitorujące.

System EGP jest dostosowany do wykonywania pali o średnicy od 500 do 750 mm i długości do 17 m. Ważną zaletą tego systemu jest możliwość zdalnego łączenia się z pulpitem sterującym w kabinie operatora wiertnicy. W trakcie robót wiertniczych użytkownik systemu EGP może na bieżąco obserwować na ekranie smartfona, tabletu czy laptopa opory tarcia na pobocznicę, głębokość wiercenia, prędkość obrotową świdra oraz wysuw sondy CPT. Dane z wiercenia są rejestrowane automatycznie; można je pobierać w celu prowadzenia dalszych analiz. Dodatkowo, praca wiertnicy wyposażonej w system EGP jest objęta stałym monitoringiem wideo.

Innowacyjność systemu EGP, jak dowodzi Autor rozprawy, wynika z umieszczenia w świdrze przemieszczeniowym specjalnych czujników pomiarowych. Nowe oprzyrządowanie świdra EGP znacznie poszerza zakres rozpoznania ośrodka gruntowego, w którym są wykonywane pale. Do elementów składowych systemu EGP należą: sonda CPT, dolny czujnik tarcia, górny czujnik tarcia, czujnik nacisku gruntu, czujnik ciśnienia betonu, elementy instalacji elektrycznej i hydrauliki siłowej, elementy instalacji powietrznej i iniekcyjnej, wzmacniacz sygnałów pomiarowych, układy elektroniczne, układy bezprzewodowej transmisji danych, układ bezprzewodowego nadzoru wideo oraz specjalistyczne oprogramowanie komputerowe.

Autor rozprawy w Rozdziale 4.2 przedstawił przykłady wykonania pali z użyciem EGP. Do pierwszych zastosowań systemu EGP na budowie zaliczył wykonanie robót palowych dla posadowienia obiektu przemysłowego w Przemyśle w 2017 roku. W ramach wykonywania posadowienia, zastąpiono zaprojektowane 304 sztuk pali CFA palami z użyciem systemu EGP w liczbie 196. Jak podaje mgr inż. Aleksander Siry, w latach 2017-2022 zrealizowano 15 budów z wykorzystaniem palowania wraz z systemem EGP; najdłuższe pale wykonano o długości 14,5 m, zaś najkrótsze miały długość 3,5 m. Łączna liczba pali to ponad 2 tysiące, co daje łączną długość pali ok. 15 tysięcy m.b. Według danych podanych przez Autora rozprawy, średni czas potrzebny do rozpoznania gruntu do głębokości 150 cm pod palem metodą EGP wynosi 5 minut, a średnia wydajność użycia systemu EGP na budowie wynosi 20 pali na zmianę roboczą.

Doktorant wskazuje również na jeszcze jeden aspekt związany z oceną nośności pali. Jak opisuje mgr inż. Aleksander Siry, w kilku przypadkach wcześniejszych analiz pomimo dobrze rozpoznanych parametrów podłoża pod podstawą, pale zbadane pod próbnym obciążeniem wykazywały większą nośność od oszacowanej na podstawie obliczeń. Jedną z hipotez dotyczących przyczyn uzyskania większych nośności niż wynikało to z obliczeń było przypuszczenie, że podstawy pali zostały poszerzone w czasie formowania w gruncie. Wyniki ocen doświadczalnych pali testowych potwierdziły taką możliwość. Wskutek zwiększenia średnicy trzonu pala z 500 mm do 600 mm, nastąpiło zwiększenie powierzchni podstawy pala o ponad 40%. Ten fakt oraz pomiary EGP potwierdzają technologiczne możliwości powiększenia podstaw pali, a co za tym idzie poprawę nośności pali wierconych w technologii przemieszczeniowej. Takie możliwości dają duże korzyści techniczne i ekonomiczne, wynikające z wierceń wykonywanych z użyciem opomiarowanego świdra.

W Rozdziale 5 pracy, mgr inż. Aleksander Siry przedstawił aktualne metody obliczania nośności pali przemieszczeniowych. Wśród metod wyróżnił m.in.: metodę opartą na wymaganiach normowych, oraz metody oparte na wynikach sondowań CPT, w tym: Bustamante-Gianeselliego (1993), Energopolu (Gwizdała, 2013), Philipponnata (1980), Eslamiego-Felleniusa (1997), Schmertmanna (1978), de Ruitera-Beringena (1979), metodę według Eurokodu 7 (1999), metodę European Regional Technical Committee on Piles (ERTC 3, 1997), Toglianiego (2008), Gwizdały-Stępczniewskiego (2004), Krasińskiego (2013) oraz Meyera-Kowalowa (2010).

Po dokładnym przedstawieniu każdej z wyżej wymienionych metod obliczeniowych, przyszedł czas na przedstawienie autorskiej oceny nośności pali z wykorzystaniem pomiarów

EGP. Autor rozprawy przyjął, że pomiary z użyciem czujników zainstalowanych w systemie EGP dostarczą informacji o rzeczywistych oporach pomiędzy gruntem a poboczną świdra/pala oraz pod podstawą pala. Własną propozycję obliczeń, Autor rozprawy opracował na podstawie analiz teoretycznych, badań pali i z wykorzystaniem własnych doświadczeń nabytych w wyniku długoletnich prac wykonawczych i konstrukcyjnych związanych z robotami palowymi.

Aby znaleźć odpowiedzi na postawione przez siebie pytania, dotyczące m.in. mechanizmu przekazywania obciążeń na grunt w obrębie podstawy pala, mgr inż. Aleksander Siry wyznaczył sobie obszerny program prac, który obejmował m.in.:

- przeprowadzenie badań geotechnicznych i sondowań podłoża CPT,
- wykonanie pali testowych z użyciem opomiarowanej głowicy przemieszczeniowej EGP,
- wykonanie pomiarów oporów wiercenia pali testowych z wykorzystaniem czujników zainstalowanych na świdrze EGP,
- wykonanie sondowania CPT pod podstawami pali testowych wykonywanych z użyciem świdra EGP,
- przeprowadzenie próbnych obciążeń pali testowych,
- porównanie wyników pomiarów z wykonywania pali testowych oraz wyników próbnych obciążeń,
- sformułowanie założeń dotyczących sposobu obliczania nośności podstawy oraz poboczniczy pala przemieszczeniowego EGP,
- opracowanie metody obliczeniowej i jej weryfikacja na podstawie danych z próbnych obciążeń pali.

Jak podaje Autor rozprawy, ze względów technicznych, organizacyjnych i ekonomicznych przyjął w pracy następujące założenia:

- analizował posadowienie pali w gruntach niespoistych,
- do analiz obliczeniowych przyjął pale o średnicy 500 mm,
- badania i analizy wykonał dla pali o długości do 15 m,
- analizy obliczeniowe przeprowadził bazując na badaniach terenowych dla 11 pali testowych,
- maksymalne obciążenie pali testowych wynosiło 2500 kN.

Dla opracowania metody obliczania pali, mgr inż. Aleksander Siry przyjął dwa stałe parametry, traktując je jako specyficzne dla pali wykonywanych z użyciem osprzętu wiertniczego EGP, a mianowicie:

- umowna wartość osiadania granicznego pala w gruncie $s.g. = 0,1 \cdot D$,
- umowna wartość osiadania kompensacyjnego, wynikająca głównie ze ściśliwości betonu i niwelowania nierówności głowicy pala pod obciążeniem $s.k. = 0,001 \cdot D$.

Należy również wymienić przyjęte przez Doktoranta w rozprawie główne założenia obliczeniowe:

- wykres osiadania gruntu pod wpływem obciążenia najlepiej odwzorowuje funkcja logarytmiczna,
- wartości oporu gruntu $q.c$ na wykresie z badania sondą CPT przedstawiają stan graniczny gruntu w badanym miejscu pod podstawą pala,
- pal traktuje się jako element sztywny, pomimo możliwego niewielkiego skrócenia trzonu pala rzędu 0,01% jego długości, wynikającego ze ściśliwości betonu,
- obciążenie wyniku, którego przemieszczenie pala osiąga wartość $0,1 \cdot D$ wytwarza w gruncie pod podstawą pala umowny stan graniczny,
- przemieszczenie pala rzędu 0,01 – 0,03% jego długości jest traktowane umownie jako kompensacyjne, wywołane ściśliwością betonu, dlatego w zakresie małych przemieszczeń nie występuje przemieszczenie podstawy,

- przemieszczenie pala o wartości większej niż 0,03% jego długości, powoduje zerwanie wiązań statycznych (uśpionych) poboczniczy pala z gruntem, w wyniku czego możliwe jest osiadanie podstawy. Ruch pala względem gruntu wpływa na zmniejszenie wartości współczynnika tarcia, który zależy od jego chropowatości,
- do momentu zerwania wiązań statycznych (braku przemieszczenia podstawy), obciążenie jest przekazywane z pala na grunt tylko przez pobocznice. Tarcie pośrednie może osiągać wartości od 30% do 100% większe niż tarcie kinetyczne,
- przyjmuje się, że sumaryczna wartość tarcia kinetycznego na poboczniczy pala ma stałą wartość, mimo zróżnicowania na poszczególnych odcinkach pala,
- wraz z przyrostem obciążenia pala zwiększa się zasięg strefy oddziaływania podstawy na grunt. Maksymalny zasięg strefy oddziaływania obciążeń przekazywanych na grunt pod podstawą pala wynosi $2 \cdot D$,
- największy wpływ na osiadanie pala ma zwykle najślabszy obszar (warstwa) gruntu w strefie pod podstawą.

Dodatkowo, Autor rozprawy przyjął kilka założeń dla poboczniczy, m.in., że maksymalna siła na poboczniczy pala występuje przy 5 mm przemieszczeniu pala.

Weryfikację obliczeń pali zaproponowaną autorską metodą, Doktorant przeprowadził w oparciu o 11 przypadków próbnych obciążeń, natomiast w rozprawie doktorskiej zostały przedstawione dane i obliczenia dla pala testowego nr 52 (długość pala 6,48 m, średnica pala 500 mm; szacowane technologiczne powiększenie podstawy pala = 560 mm), wykonanego na budowie w Dębicy przy ulicy Cmentarnej. Zestawienie wyników obliczeń pala testowego nr 52 zostało przedstawione w Tablicy 7.3, w Rozdziale 7.

Jak wykazał Autor rozprawy, dopiero w obliczeniach pala metodą Gwizdały-Stęczniewskiego możliwe było uwzględnienie specyfiki pali przemieszczeniowych. Nośność całkowita analizowanego pala jest najwyższa w porównaniu ze wszystkimi innymi metodami i jest najbardziej zbliżona do wyniku z próbnych obciążeń.

Autorskie podejście do obliczeń pali przedstawione w rozprawie doktorskiej przez mgr inż. Aleksandra Sirego pokazuje nieco odmienną metodę określania parametrów zastępczych oporów gruntu pod podstawą pala q.c.z. W praktyce, metoda bazująca na pomiarach z wykonywania pali EGP została zweryfikowana w oparciu o dane z 11 próbnych obciążeń. Obliczenia wykazują dobrą korelację z wynikami przeprowadzonych testów statycznych pali. Doktorant ma jednak świadomość, że dotychczasowa liczba testów weryfikujących autorską metodę jest jeszcze zbyt mała do jej jednoznacznej oceny.

Biorąc pod uwagę zakres pracy można stwierdzić, że postawiony na początku rozprawy doktorskiej przez mgr inż. Aleksandra Sirego cel został osiągnięty.

4. Uwagi szczegółowe i dyskusyjne

Rozprawa doktorska została napisana przez mgr inż. Aleksandra Sirego poprawnym językiem polskim. Autor opracował rysunki, tabele oraz wzory bardzo starannie. Pomimo to, Autor nie ustrzegł się jednak drobnych błędów redakcyjnych. Poniżej wymieniono usterki, które w przyszłych publikacjach można w łatwy sposób skorygować:

- str. 19 i 20: brakuje rysunku 4.8, natomiast na str. 22 Autor powołuje się na rys. 4.8,
- str. 27: we wzorze (5.2) występują współczynniki γ_m i γ_{mi} , natomiast brakuje w tekście objaśnienia tych symboli,
- str. 30: poniżej wzoru (5.9) występuje objaśnienie symbolu ψ_3 – „współczynnik nośności poboczniczy pala w-tej warstwie (dla oporu f_c), [-]”. Pojawia się pytanie czy jest mowa o oporze f_c czy też o oporze f_{si} ?
- str. 34: w objaśnieniu wzoru (5.19) dla symbolu q_{cl} Autor powołuje się na rys. 5.5 zamiast na rys. 5.4,

- str. 36: we wzorze (5.23) występuje symbol $S_u(tip)$, natomiast w objaśnieniach jest podany symbol S_u ,
- str. 40 i 41: występuje rozbieżność w oznaczeniach – w tekście pracy średnica pała = D , zaś na rysunku 5.7 występuje symbol D_b ,
- str. 43-49: rys. 5.8, rys. 5.10, rys. 6.1b są mało czytelne; pojawia się wątpliwość dotycząca interpretacji rys. 5.10,
- budzi wątpliwości różnorodność stosowania w pracy podobnych symboli, np. q_c , q_c , $q.c.z.$, q_c , $s.g$, $S.g$, $s.k$, $S.k$, f_s , $f.s.stat$, $f.s.kin$, $f.s.max$, f_{SEGP} , D_s , $q_{b,k}$, $q_{c,k}$, $q.c.z.$, $q.c.ch$, $q.c.ch.sp$, $q.c.z.sp$, $q.c.min$, $q.c.1$, $q.c.2$, $Z.v$, Z_v , $s.sp$, $\alpha.sp.$, $\alpha_{s,p}$, $\beta_{s,p}$, $\beta.sp$, $\beta_{s,p}$, β , $R.S.s.p$, $T(s)$, $T(s)$, $N(s_2)$, $N(s_2)$, $N(s_1)$, $N(s_1)$, itp.,
- str. 52: na rys. 6.5 występuje opis: „ ψ_1 współczynnik nośności podstawy wzór 4.47”, natomiast w pracy nie ma wzoru 4.47,
- str. 53 i 54: rys. 6.8 i rys. 6.9 są mało czytelne, na rys. 6.8 brakuje całości opisu: „Sklepienie rdzenia o bardzo mocnym zagęszczeniu i”,
- str. 66 i 75: rys. 6.23 i rys. 7.2 są mało czytelne,
- str. 76: na rys. 7.3 podana jest wartość -6,49 a w tekście pracy -6,48,
- występują niedokładności w cytowanej literaturze, np.:
 - str. 6: jest Kempfert (2009), powinno być Kempfert i Becker (2009); jest Meyer (2010), powinno być Meyer i Kowalow (2010),
 - str. 8: jest Jardine (2013), powinno być Jardine i in. (2013); jest Larisch (2014), powinno być Larisch i in. (2014); jest Eslami (1997), powinno być Eslami i Fellenius (1997); jest Gwizdała i in. (1998), powinno być Gwizdała i Stęczniwski (1998); jest Bagińska (2016), powinno być Bagińska i Sacha (2016);
 - str. 8 i 13: jest Siegel i in. (2017), zaś w spisie literatury jest Siegel i in. (2018);
 - str. 12: jest Singh (2011), powinno być Singh i in. (2011);
 - str. 51: jest Springman i in. (2005), powinno być Springman i Mayor (2005);
 - str. 53: jest Kempfert (2001), powinno być Kempfert i Smolczyk (2001);
 - str. 56 i 57: jest Blajerski (2013), powinno być Blejarski (2013);
 - str. 57: jest Kempfert (2006), powinno być Kempfert i Gebreselassie (2006);
- w spisie bibliograficznym brakuje następujących pozycji literatury, które są cytowane w tekście pracy: Gwizdała (1996), Gwizdała (2010), Żarkiewicz (2019).

Należy podkreślić, z całym przekonaniem, że występujące w pracy drobne usterki redakcyjne nie obniżają w żaden sposób wartości merytorycznej pracy doktorskiej.

Po zapoznaniu się z treścią pracy nasuwają się pytania:

- czy autorską metodę obliczania nośności pali przemieszczeniowych można wykorzystać dla innych rodzajów pali? Jeśli tak, to dla jakich rodzajów pali?
- czy jest możliwe, aby pracownicy firm zajmujących się projektowaniem i wykonawstwem fundamentów palowych wykorzystali podany przez Autora rozprawy innowacyjny sposób wyznaczania nośności pała z wykorzystaniem systemu EGP?

5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Autor rozprawy w swojej pracy przedstawił sposób wykorzystania danych otrzymanych z badania gruntu in situ sondą CPT zainstalowaną w świdrze do oceny nośności podstawy pała EGP oraz sposób wykorzystania wyników pomiarów oporów gruntu na styku świdra – grunt do szacowania nośności poboczniczy pała.

Na podstawie otrzymanych wyników mgr inż. Aleksander Siry zaproponował metodę szacowania nośności pali w pełnym zakresie obciążenia, aż do osiągnięcia umownego stanu

granicznego pala (osiadanie $0,1 \cdot D$). Doktorant wykazał duże możliwości badawcze osprzętu EGP oraz jego praktyczne zastosowanie. Badania terenowe obejmowały próbne obciążenia pali w skali naturalnej oraz sondowania sondą CPT zrealizowane w miejscu wykonywania pali testowych. W niektórych przypadkach, jak podaje Autor rozprawy, wykonano dodatkowe sondowania gruntu przed rozpoczęciem betonowania i po jego zakończeniu, aby wykazać, że sposób rozpoczęcia formowania pala w gruncie może mieć wpływ na parametry gruntu niespoistego pod stopą pala oraz na jego nośność.

W ramach pracy doktorskiej, Pan mgr inż. Aleksander Siry przeprowadził ogólny przegląd metod obliczania nośności pali na podstawie sondowań CPT, a następnie bazując na tych metodach, wykonał własne obliczenia dla pala testowego EGP wykonanego w rzeczywistych warunkach budowy. Porównał otrzymane wyniki testu statycznego pala z wynikami obliczeń wykonanych własną metodą. Wyniki obliczeń okazały się bardzo zbliżone do wyników z badań pala pod próbnym obciążeniem. Podjęta próba opracowania metody obliczeniowej dla wierconego pala przemieszczeniowego wykonanego z użyciem świdra EGP wypadła pomyślnie, wobec czego mgr inż. Aleksander Siry mógł sformułować wnioski dotyczące oceny przydatności opomiarowanego świdra w praktycznych zastosowaniach.

W moim przekonaniu, o oryginalności pracy świadczą następujące osiągnięcia Autora rozprawy doktorskiej:

- opracowanie autorskiej metody określania nośności granicznej pali przemieszczeniowych z wykorzystaniem danych z sondowania pod podstawą pala i pomiarów oporów tarcia na powierzchni bocznej w czasie wiercenia świdrem EGP,
- zaadaptowanie empirycznych korelacji jednostkowych oporów gruntu pod podstawą pala oraz oporów q_c stożka sondy statycznej CPT do nowej metody obliczeń z wykorzystaniem pomiarów wykonywanych w czasie wiercenia EGP. Korelacje te zostały opracowane wcześniej przez zespół prof. Kazimierza Gwizdały z Politechniki Gdańskiej,
- propozycja nowego podejścia do określania zastępczych oporów gruntu pod podstawą wywierconego pala z zastosowaniem przeskalowanych wartości q_c ,
- ocena oporu poboczniczy pala w oparciu o bezpośrednie wyniki pomiarów wykonywanych w czasie wiercenia z użyciem innowacyjnych czujników nacisku i tarcia zainstalowanych na głowicy EGP,
- uzyskanie pełnego przebiegu krzywej osiadania pala pod obciążeniem wraz z możliwością oszacowania nośności poboczniczy i podstawy każdego wykonanego pala dzięki autorskiej metodzie obliczeń opartej na wykorzystaniu danych pomiarowych z czujników i sondy zainstalowanej na świdrze EGP,
- opracowanie nowego rozwiązania technicznego EGP do praktycznych zastosowań oraz jego weryfikacja w praktyce geoinżynierskiej.

Autor rozprawy na podstawie badań terenowych, wykorzystanych różnych metod obliczania nośności pali oraz na podstawie autorskiej propozycji określania nośności granicznej pali przemieszczeniowych udowodnił, że technologia EGP pozwala zminimalizować skutki błędów związanych z niewłaściwym rozpoznaniem podłoża gruntowego, błędów projektowych oraz w dużym stopniu pozwala ograniczyć błędy wynikające z procesów technologicznych wiercenia i formowania pali w gruncie.

Reasumując, stwierdzam, że praca doktorska Pana mgr inż. Aleksandra Sirego pt. „Ocena nośności pali przemieszczeniowych posadowionych w gruncie niespoistym na podstawie pomiarów parametrów wiercenia” spełnia warunki i wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku (Dz.U. z 2017 r., poz. 1789 z późn. zm.) o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.

Recenzowana rozprawa doktorska spełnia również art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r., poz. 1668 z późn. zm.), stanowiąc oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Biorąc powyższe pod uwagę oraz moją pozytywną ocenę rozprawy doktorskiej, wnioskuję o przyjęcie rozprawy doktorskiej przez Radę dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza oraz dopuszczenie Pana mgr inż. Aleksandra Sirego do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Z uwagi na ważność i aktualność podjętego przez Doktoranta tematu pracy doktorskiej, dogłębne rozpoznanie problemu związanego z rzeczywistym szacowaniem nośności pali, ogrom pracy włożony w realizację badań terenowych, a następnie w detaliczne analizy wyników badań, a co najważniejsze, za skuteczne wdrożenie autorskiego rozwiązania jakim jest nowe narzędzie do wykonywania pali przemieszczeniowych, wnoszę o wyróżnienie recenzowanej rozprawy doktorskiej.

