

PROGNOZOWANIE KRZYWEJ OSIADANIA PAŁA WIERCONEGO Z INIEKCJĄ CIŚNIENIOWĄ POD PODSTAWĄ

Adam Krasiński✉

Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska, Gdańsk

STRESZCZENIE

Podczas XVII Krajowej Konferencji MGIG zorganizowanej w 2015 roku w Łodzi autor wygłosił referat oraz opublikował artykuł pt.: „Ocena działania iniekcji pod podstawą pała wierconego za pomocą badania statycznego nośności z pomiarem rozkładu siły w trzonie pała”. W artykule przeanalizowano mechanizm działania iniekcji i wykazano, że w głównej mierze uaktywnia ona zwiększone opory gruntu wzdłuż pobocznic pała, poprawiając w ten sposób sztywność osiową pała w gruncie. Analizę poparto wynikami badań pali rzeczywistych, oprzyrządowanych pomiarowo. Na bazie wyników wyżej opisanych analiz i rozważań w niniejszym artykule zaproponowano metodę obliczeniową prognozowania krzywej osiadania pała wierconego z iniekcją ciśnieniową pod podstawą. W schemacie obliczeniowym pała zastosowano charakterystyki współpracy pała z gruntem opisane funkcjami transferowymi. Procedura obliczeniowa przebiega kilkustopniowo i może być zrealizowana w standardowym arkuszu kalkulacyjnym. W artykule przedstawiono dwa przykłady obliczeniowe, w których zaprognozowano krzywą osiadania pała z iniekcją i porównawczo tego samego pała bez iniekcji pod podstawą. Zaproponowana metoda obliczeniowa dobrze odwzorowuje mechanizm i efekt działania iniekcji. Przy swojej przejrzystości i prostocie może znaleźć zastosowanie praktyczne w efektywnym projektowaniu fundamentów palowych.

Słowa kluczowe: pał, pał wiercony, iniekcja pod podstawą pała, krzywa osiadania pała, obliczenia pali

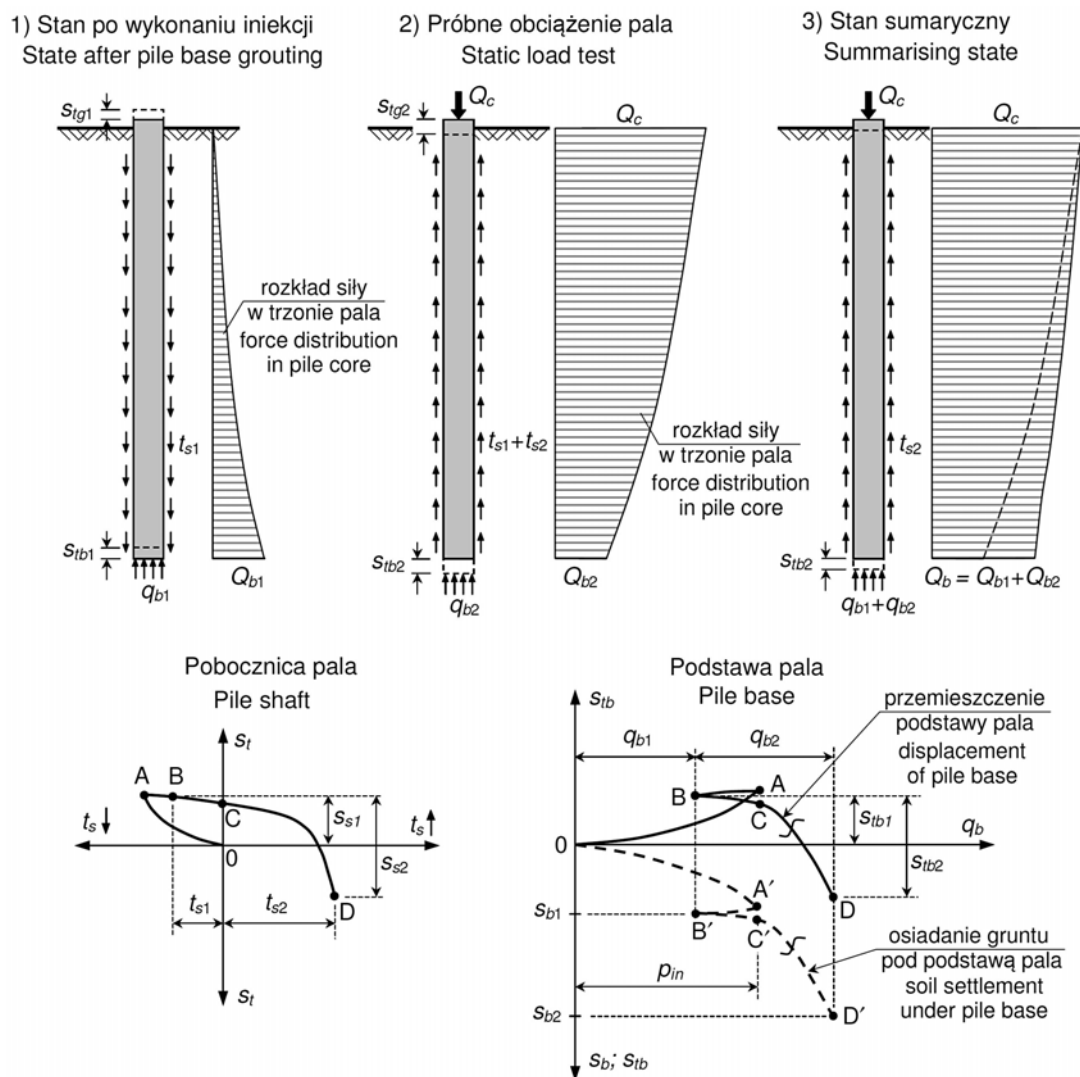
WSTĘP

Mechanizm działania iniekcji ciśnieniowej pod podstawą pała wierconego został szczegółowo opisany i wyjaśniony we wcześniejszej pracy autora (Krasiński, 2015a) oraz przedstawiony schematycznie na rysunku 1. Zadaniem takiej iniekcji jest wprowadzenie wstępnej siły ściskającej między podstawą pała a gruntem, która to siła uaktywnia ujemne (skierowane w dół) opory tarcia gruntu wzdłuż pobocznic pała oraz powoduje wstępne naprężenie i skonsolidowanie gruntu pod jego podstawą. W gruntach niespoistych może dodatkowo dochodzić do cementacji pewnej objętości gruntu i zwiększenia efektywnej powierzchni podstawy pała. Sporo informacji na temat technologii wykony-

wania i efektywności stosowania iniekcji pod podstawą pali wierconych wielkośrednicowych można znaleźć między innymi w pracach Pinkowskiego i Gwizdały (2006), Gwizdały i Pinkowskiego (2007), Gwizdały (2011, 2013), Gwizdały i Krasińskiego (2015).

Na rysunku 1 wartości oporów i przemieszczeń, odpowiadające momentowi zadziałania iniekcji, oznaczone są na wykresach punktami A, a wartości ustabilizowane (trwale, po uwzględnieniu strat) – punktami B. Rzeczywiste wartości strat są trudne do pomierzenia, ale można je szacować na poziomie 30–50%. Punktami A' i B' oznaczono przemieszczenia (osiadania) gruntu pod podstawą pała wywołane iniekcją ciśnieniową, które w warunkach rzeczywistych są również trudne do pomierzenia. Podczas przenoszenia

✉akra@pg.edu.pl



Rys. 1. Schemat ideowy działania iniekcji ciśnieniowej pod podstawą pala (Krasiński, 2015a)

Fig. 1. Schematic work idea of the pressure grouting under the pile base (Krasiński, 2015a)

przez pal obciążeń zewnętrznych (np. podczas próbnego obciążenia) obserwuje się wyraźnie zmniejszone osiadania początkowe pala z iniekcją podstawy w stosunku do pala bez iniekcji. Z schematu ideowego na rysunku 1 wynika, że zmniejszenie tego osiadania jest przede wszystkim efektem zwiększonej możliwości przenoszenia obciążeń przez pobocznicę pala. Opór podstawy pala osiąga obniżoną wartość (Q_{b2}), ale trzeba zaznaczyć, że dokłada się on do już istniejącej siły, wygenerowanej przez iniekcję (Q_{b1}).

AUTORSKA METODA PROGNOZOWANIA KRZYWEJ OSIADANIA PALA Z UWZGLĘDNIENIEM INIEKCJI POD PODSTAWĄ

Po przeanalizowaniu opisanego wcześniej mechanizmu działania iniekcji ciśnieniowej pod podstawą pala wierconego autor uznał, że mechanizm ten można stosunkowo prosto odwzorować metodą funkcji transferowych (inaczej transformacyjnych). Metoda ta służy do prognozowania krzywej osiadania pala

pojedynczego. Została opracowana i szczegółowo opisana między innymi przez Gwizdałę (1996, 2011) oraz przedstawiona w wielu innych publikacjach tego samego autora (Gwizdała i Kraśński, 2016). Schemat obliczeniowy pała do metody przedstawiono na rysunku 2.

Funkcje transferowe najczęściej przyjmuje się o postaciach c i e pokazanych na rysunku 2 i wyraża zależnościami potęgowymi:

$$t_s = t_{s,max} \left(\frac{s_s}{z_v} \right)^\alpha \quad \text{dla } t_s \leq t_{s,max} \quad (1)$$

oraz

$$q_b = q_{b,f} \left(\frac{s_b}{z_f} \right)^\beta \quad \text{dla } q_b \leq q_{b,f} \quad (2)$$

gdzie:

α – wykładnik funkcji t_s - z , który przyjmuje się z przedziału 0,3 do 0,5;

z_v – przemieszczenie pobocznic pała, przy którym mobilizuje się maksymalny opór tarcia gruntu $t_{s,max}$; z_v przyjmowane jest najczęściej o wartości

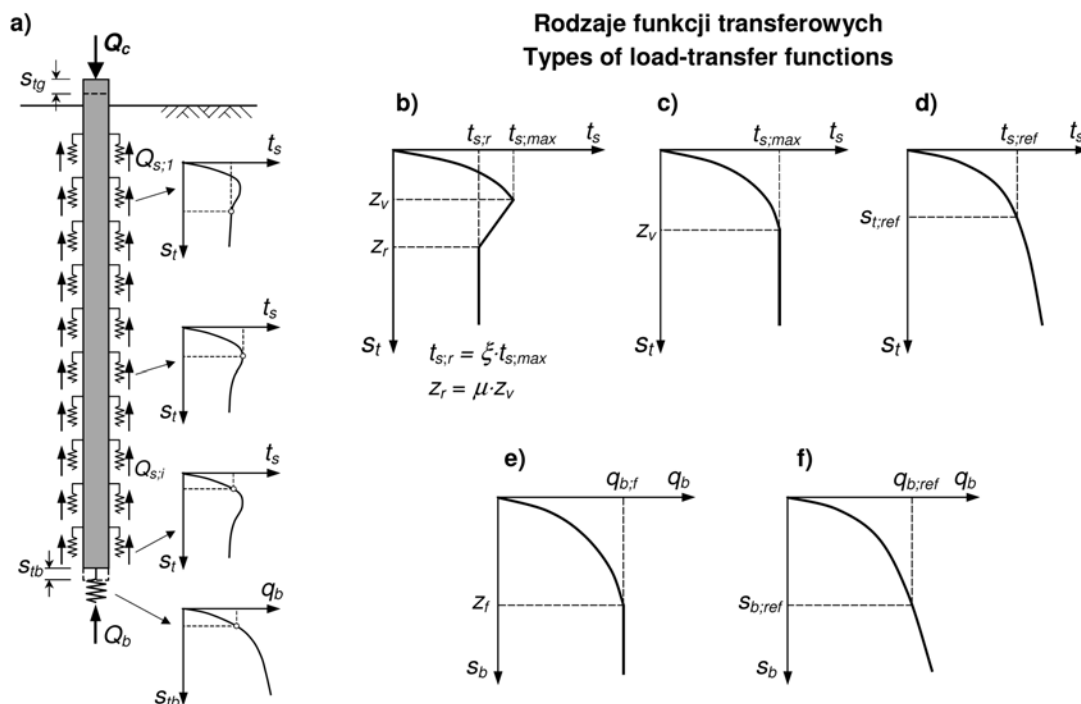
z przedziału 5–10 mm lub równej $0,01D$ (D – średnica pała);

β – wykładnik funkcji q_b - z , którego wartość przyjmuje się najczęściej od 0,25 do 0,6;

z_f – przemieszczenie podstawy pała, przy którym mobilizuje się graniczny opór gruntu $q_{b,f}$ pod podstawą; z_f przyjmowane jest najczęściej o wartości z przedziału $(0,05-0,1)D$.

Wartości oporów granicznych $t_{s,max}$ i $q_{b,f}$ można określać np. metodami wykorzystywanymi do obliczania nośności pali.

Funkcje transferowe zaproponowane przez Gwizdałę (1996, 2011) odnoszą się do obciążeń pierwotnych pała. Do procedury prognozowania krzywej osiadania pała z iniekcją podstawy potrzebne są także funkcje do odciążenia i obciążeń wtórnych. Wykorzystując własne doświadczenia oraz znajomość zachowania się gruntów autor, po przeprowadzeniu testów próbnych, zaproponował następujące modyfikacje funkcji transferowych do odciążenia i obciążeń wtórnych:



Rys. 2. Schemat współpracy pała z gruntem w metodzie funkcji transferowych

Fig. 2. Soil-pile interaction scheme in the load-transfer functions method

– do odciążenia:

$$\Delta t_s = -2 \cdot t_{s;\max} \left(\frac{\Delta s_s}{0,5 \cdot z_v} \right)^\alpha$$

przy $t_s \leq t_{s;0}$ dla $t_s, t_{s;0} > 0$

oraz $t_s \geq t_{s;0}$ dla $t_s, t_{s;0} < 0$

$$\Delta q_b = -2 \cdot q_{b;f} \left(\frac{\Delta s_b}{0,5 \cdot z_f} \right)^\beta \quad \text{przy } q_b \leq q_{b;0} \quad (4)$$

– do obciążeń wtórnych:

$$\Delta t_s = 1,5 \cdot t_{s;\max} \left(\frac{\Delta s_s}{z_v} \right)^\alpha$$

przy $t_s \leq t_{s;0}$ dla $t_s, t_{s;0} > 0$

oraz $t_s \geq t_{s;0}$ dla $t_s, t_{s;0} < 0$

$$\Delta q_b = 1,5 \cdot q_{b;f} \left(\frac{\Delta s_b}{z_f} \right)^\beta \quad \text{przy } q_b \leq q_{b;0} \quad (6)$$

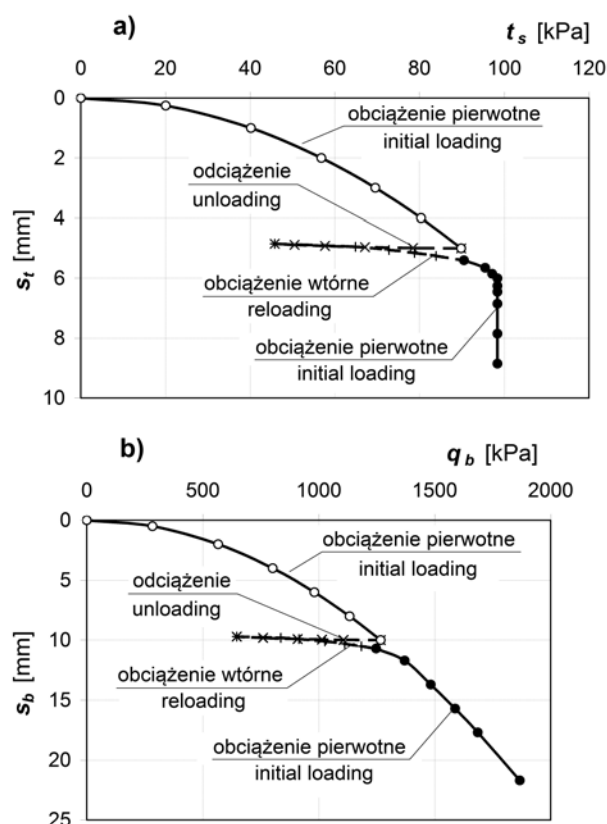
Parametry $t_{s;\max}$, z_v , α , $q_{b;f}$, z_f oraz β należy przyjmować takie same jak w funkcjach transferowych do obciążeń pierwotnych, określonych wzorami (1) i (2). Wielkości $t_{s;0}$ i $q_{b;0}$ oznaczają wartości oporów gruntu w końcowej fazie obciążenia pierwotnego, tuż przed odciążeniem. Znak minus we wzorach (3) i (4) oznacza, że kierunek odciążenia jest przeciwny do obciążenia pierwotnego.

Pokazane na rysunku 3 wyniki testów z zaproponowanymi funkcjami transferowymi do odciążenia i obciążeń wtórnych ogólnie przedstawiają się korzystnie i realistycznie.

Procedura obliczeniowa wyznaczania krzywej osiadania pala z iniekcją pod podstawą składa się z pięciu zasadniczych etapów.

W etapie I odwzorowuje się reakcję gruntu w fazie wykonywania iniekcji ciśnieniowej pod podstawą pala. Wykorzystuje się w nim funkcje transferowe do obciążeń pierwotnych.

W etapie II odwzorowuje się stan w okresie od wykonania iniekcji do próbnego obciążenia pala. W okresie tym następuje redukcja reakcji gruntu w wyniku strat w ciśnieniu iniekcji oraz z powodu zjawisk reologicznych w gruncie. W rozpatrywanym etapie wykorzystuje się funkcje transferowe do odciążenia.



Rys. 3. Wykresy przykładowych testów funkcji transferowych do odciążenia i obciążeń wtórnych

Fig. 3. Graphs of exemplary tests of transfer functions for unloading and reloading

W etapie III odwzorowuje się początkową fazę próbnego obciążenia pala do momentu, w którym stan naprężenia w gruncie pod podstawą pala wraca do poziomu z końca etapu I. W etapie tym wykorzystuje się funkcje transferowe do odciążenia w odniesieniu do oporów gruntu wzdłuż pobocznic, natomiast funkcje transferowe do obciążeń wtórnych w odniesieniu do oporów gruntu pod podstawą pala.

W etapie IV odwzorowuje się pozostałe fazy próbnego obciążenia pala. Wykorzystuje się w nim funkcje transferowe do obciążeń pierwotnych zarówno do oporów gruntu wzdłuż pobocznic, jak i pod podstawą pala. Należy przy tym pamiętać, że do oporów gruntu wzdłuż pobocznic przyjmuje się przyrosty osiadań ($s_{t;IV} = \Delta s_{t;IV}$), a do oporów gruntu pod podstawą pala – wartości osiadań zsumowane ze wszystkich etapów ($s_{b;IV} = s_{b;I} + \Delta s_{b;II} + \Delta s_{b;III} + \Delta s_{b;IV}$).

W etapie V tworzy się składowe i całkowitą krzywą osiadania, $Q_s(s)$, $Q_b(s)$ i $Q_c(s)$. Otrzymuje się je z sumowania oddziaływań i przemieszczeń (osiadań) z etapów III i IV. Jako stan początkowy w etapie V ($s = 0$, $Q_s = 0$, $Q_b = 0$) przyjmuje się stan z początku etapu III. Przebieg procedury obliczeniowej można dokładniej prześledzić na przykładach obliczeniowych.

PRZYKŁADY OBLICZENIOWE

Poniżej przedstawiono przykłady obliczeniowe dotyczące dwóch pali wierconych wielkośrednicowych o identycznych parametrach geometrycznych (średnica $D = 1,2$ m i długość $L = 16,0$ m), ale zagłębionych w różnych warunkach gruntowych (rys. 4 i 11). Przykłady mają charakter akademicki i nie odnoszą się do przypadków pali rzeczywistych.

Wartości oporów granicznych $t_{s,max}$ i $q_{b,f}$ określono na podstawie propozycji polskiej normy PN-B-02482:1983 z uwzględnieniem współczynników technologicznych S_s i S_p oraz interpolacji względem głębokości. Zastosowano też wskazówkę Sobali (2012, 2014) zwiększenia o 25% normowych wartości oporów t_s i q_b w celu zbliżenia ich do wartości granicznych

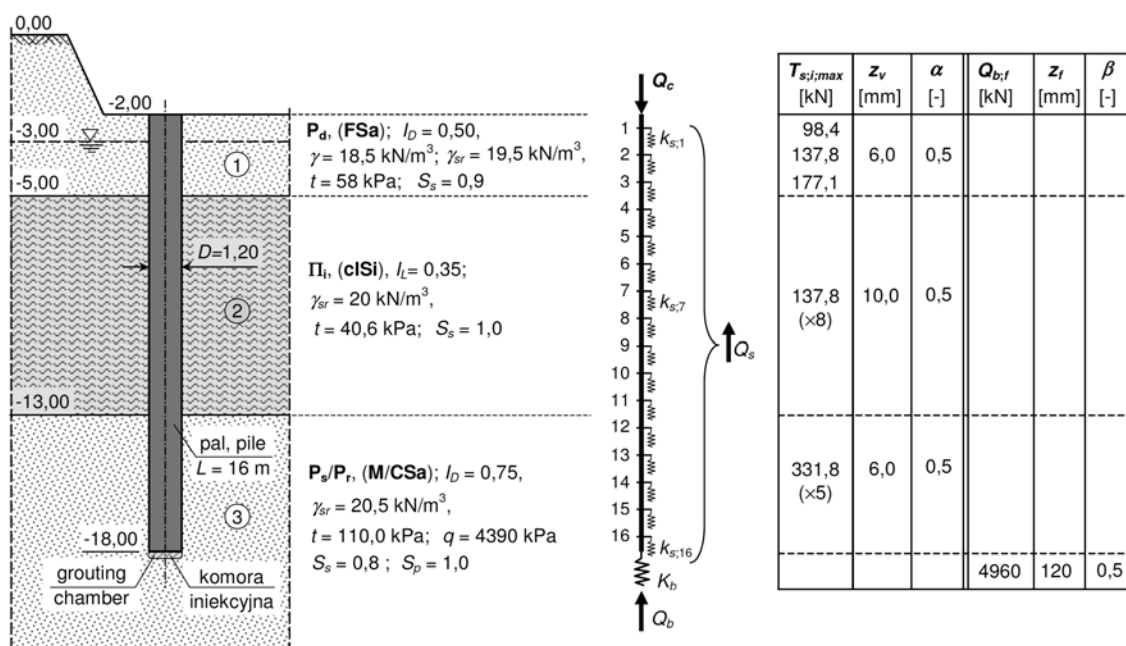
według standardów EC7 (PN-EN 1997-1:2008. Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne), w których pełna mobilizacja oporów granicznych następuje przy osiadaniach pala równych $0,1D$. W obliczeniach obu przykładów pominięto skrócenie własne trzonu pala, ze względu na bardzo dużą jego sztywność osiową, dzięki czemu obliczenia można było wykonać bez iteracji.

Przykład obliczeniowy 1

Przykład dotyczy pala zagłębionego w podłożu z gruntów mineralnych, z których warstwa o obniżonych parametrach mechanicznych zbudowana jest nieskonsolidowanego pyłu ilastego (głina pylasta) w stanie plastycznym. Dane geometryczne i materiałowe do przykładu oraz przyjęty schemat obliczeniowy pala z parametrami funkcji transferowych przedstawiono na rysunku 4.

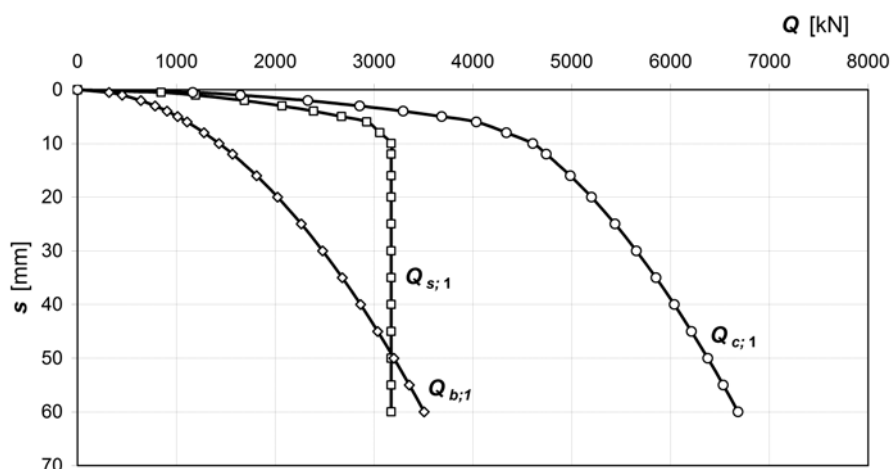
Na początku wyznaczono krzywe osiadania pala bez iniekcji podstawy, które obliczono standardową, jednoetapową procedurą funkcji transferowych do obciążeń pierwotnych. Krzywe te przedstawiono je na rysunku 5.

Następnie przeprowadzono obliczenia etapów I i II, których wyniki przedstawiono na rysunku 6. W etapie I zadano takie ciśnienie iniekcji pod podstawą pala, które spowodowało uniesienie jego trzonu o wartość



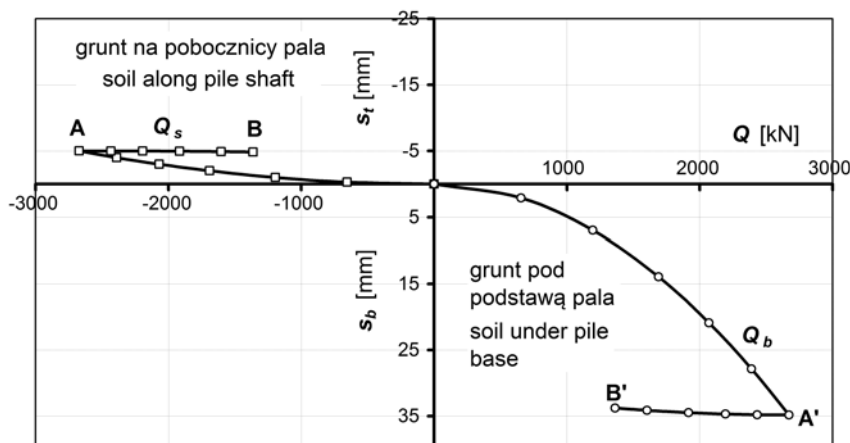
Rys. 4. Dane do przykładu obliczeniowego 1

Fig. 4. Data for the calculation of example 1



Rys. 5. Przykład 1 – krzywe osiadania pała bez iniekcji podstawy, wyznaczone z obliczeń

Fig. 5. Calculation example 1 – load-settlement characteristics for pile without grouting under the base



Rys. 6. Przykład 1 – wykresy oporów gruntu, otrzymane z etapów obliczeniowych I i II

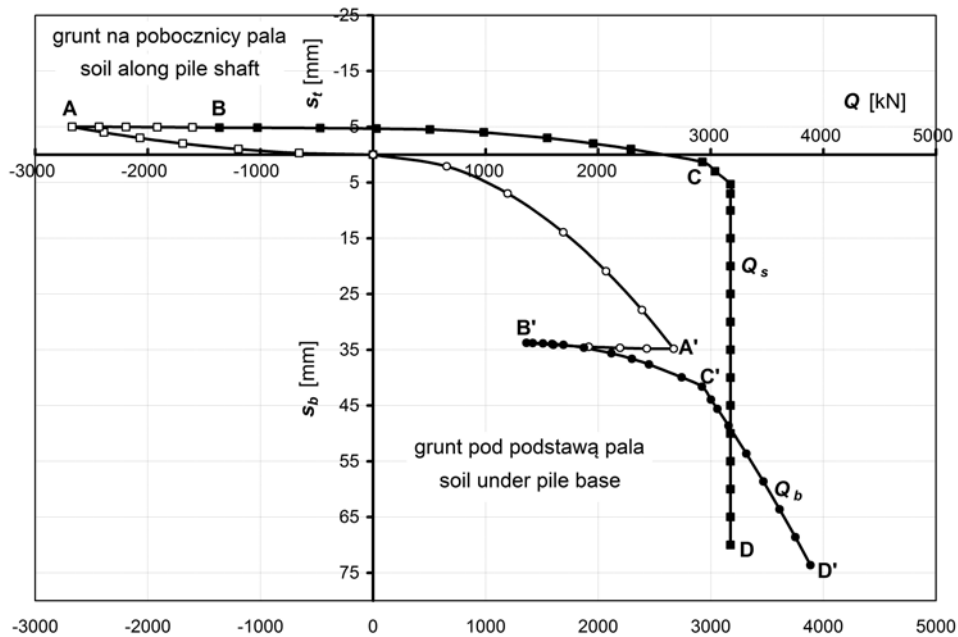
Fig. 6. Calculation example 1 – soil resistance graphs obtained from the calculation phases I and II

$s_t = 5$ mm. Wymagane ciśnienie wyniosło $p_{in,1} = 2,36$ MPa i wywołało wstępną siłę sprężającą trzon pała i grunt pod jego podstawą o wartości $Q_{in,1} = 2670$ kN (punkty A i A' na rys. 6). Siła ta spowodowała osiadania gruntu pod podstawą pała o wartości około $s_b = 35$ mm (punkt A'). W etapie II założono straty w sile sprężającej na poziomie 50%, w wyniku czego wartość tej siły spadła do $Q_{b,1} \approx 1360$ kN (punkty B i B' na rys. 6).

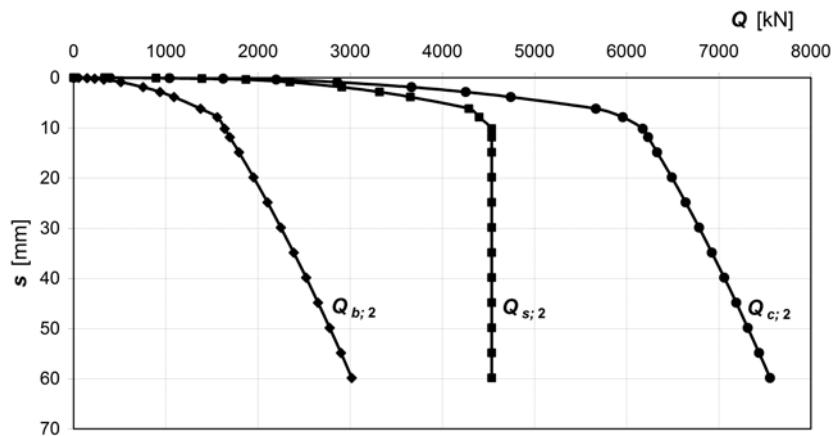
Wyniki dalszych obliczeń z uwzględnieniem kolejnych etapów III i IV przedstawiono na rysunku 7 (punkty C, C' oraz D, D').

Wyniki obliczeń etapu V, w którym dokonano zestawienia przemieszczeń s_t i s_b oraz zsumowania sił Q_s i Q_b , przyjmując za stan początkowy punkty B i B' na rysunku 7 (wartości Q_s , Q_b , s_t i s_b przyjęto w tych punktach jako zerowe). Poprawność sumowania sił Q_s i Q_b wymagała zastosowania zgodności przyrostów przemieszczeń s_t i s_b . Uzyskane krzywe pokazano na rysunku 8.

Zestawienie porównawcze krzywych osiadania pała bez iniekcji i pała z iniekcją podstawy przedstawiono na rysunkach 9 i 10. Daje się zauważyć wyraźny efekt



Rys. 7. Przykład 1 – wykresy oporów gruntu, otrzymane z etapów obliczeniowych I do IV
Fig. 7. Calculation example 1 – soil resistance graphs obtained from the calculation phases I to IV

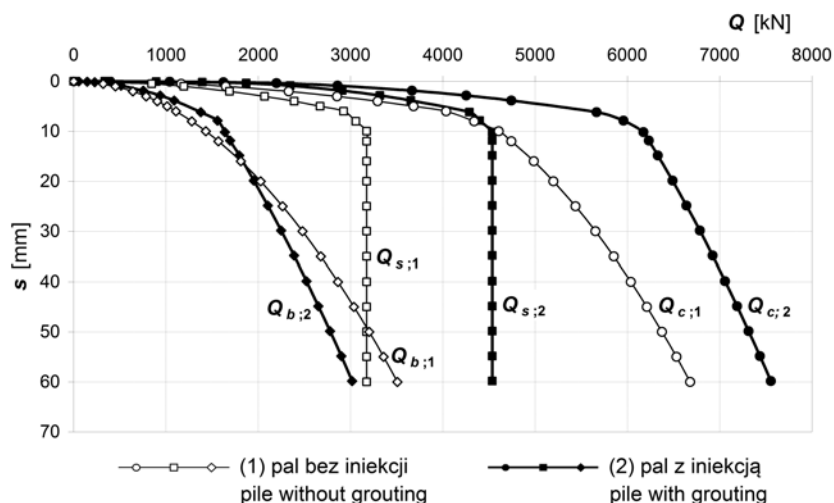


Rys. 8. Przykład 1 – obliczone krzywe osiadania pała z iniekcją podstawy
Fig. 8. Calculation example 1 – load-settlement characteristics for pile with grouting under the base

zastosowania iniekcji ciśnieniowej pod podstawą pała objawiający się zwiększoną sztywnością osiową pała w zakresie obciążeń projektowych oraz przesunięcia do przodu punktu zagięcia na wykresie $Q-s$.

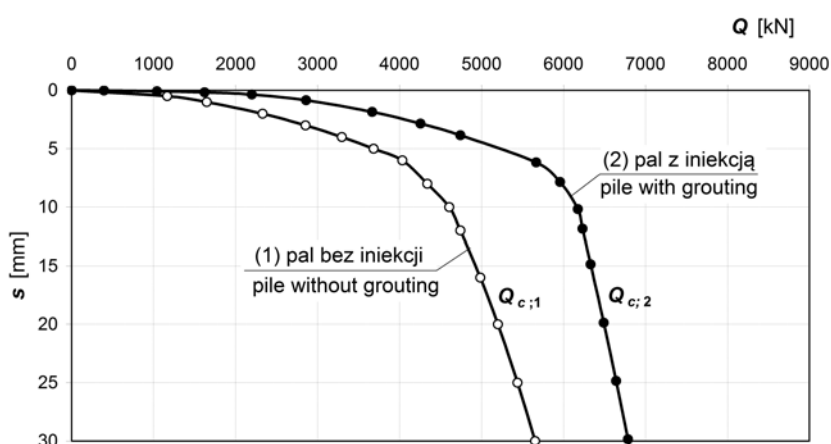
Generalnie uważa się, że gdy iniekcja ciśnieniowa nie zwiększa powierzchni podstawy pała, to nie powoduje ona zwiększenia nośności granicznej pała,

a jedynie zwiększenie jego sztywności w gruncie w początkowym zakresie obciążeń. W przedstawionych obliczeniach przyjęto założenie, że iniekcja nie spowoduje zwiększenia powierzchni podstawy pała. Założenie takie jest po stronie bezpiecznej. Wynik przedstawiony na rysunku 11 wskazuje, że faktycznie wzrosła jedynie sztywność pała, a nie wzrosła



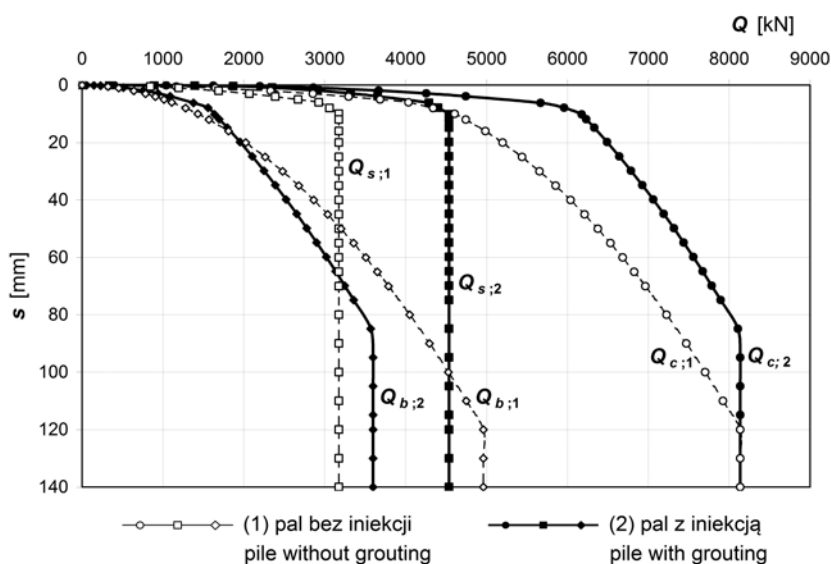
Rys. 9. Przykład 1 – porównanie krzywych osiadania pąła bez iniekcji i pąła z iniekcją podstawy

Fig. 9. Calculation example 1 – comparison of load-settlement characteristics for pile without grouting and pile with grouting under the base



Rys. 10. Przykład 1 – powiększenie krzywych z rysunku 9 dla obciążeń całkowitych (Q_c)

Fig. 10. Calculation example 1 – enlarging of curves from Figure 9 for total loads (Q_c)



Rys. 11. Przykład 1 – charakterystyki $Q-s$ pąła przedłużone do przemieszczeń granicznych

Fig. 11. Calculation example 1 – $Q-s$ characteristics of piles extended to ultimate values

nośność graniczna – krzywe $Q_c(s)$ obu pali, bez iniekcji i z iniekcją, zbiegają się w tym samym punkcie. Trzeba jednak zaznaczyć, że uzyskany wynik jest częściowo efektem założenia w metodzie funkcji transferowych, że po przekroczeniu przemieszczeń granicznych z_v i z_f opory gruntu t_s i q_b przestają przyrastać.

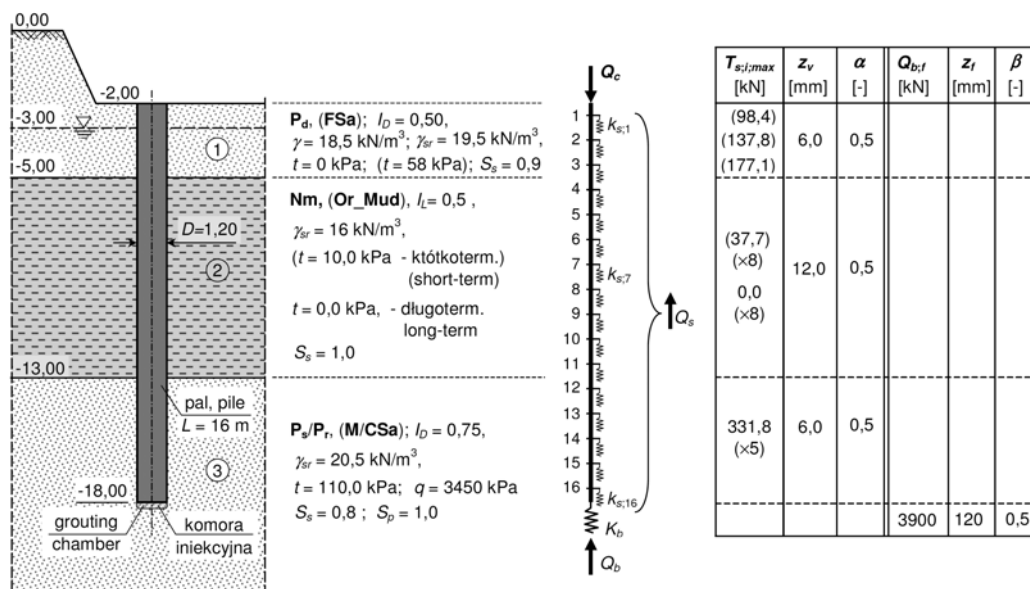
Przykład obliczeniowy 2

Przykład 2 dotyczy pala zagłębionego w podłożu z warstwą słabonośną zbudowaną z namułu organicznego w stanie na pograniczu plastycznego i miękkoplastycznego. Dane do obliczeń przedstawiono na rysunku 12.

Przy wyznaczaniu charakterystyk pala bez iniekcji podstawy przyjęto, że górne dwie warstwy nie przenoszą obciążeń ($t = 0$ – stan długoterminowy). W przypadku pala z iniekcją podstawy założono, że warstwy te będą przenosić obciążenia jedynie w fazach krótkoterminowych, tzn. w etapach I i II. Dodatkowo założono, że w etapie II nastąpi całkowita redukcja do zera oporów w obu wymienionych warstwach. Wartość maksymalną oporu t dla namułu przyjęto według polskiej normy PN-B-02482:1983 jak dla tarcia negatywnego ($t = 10$ kPa).

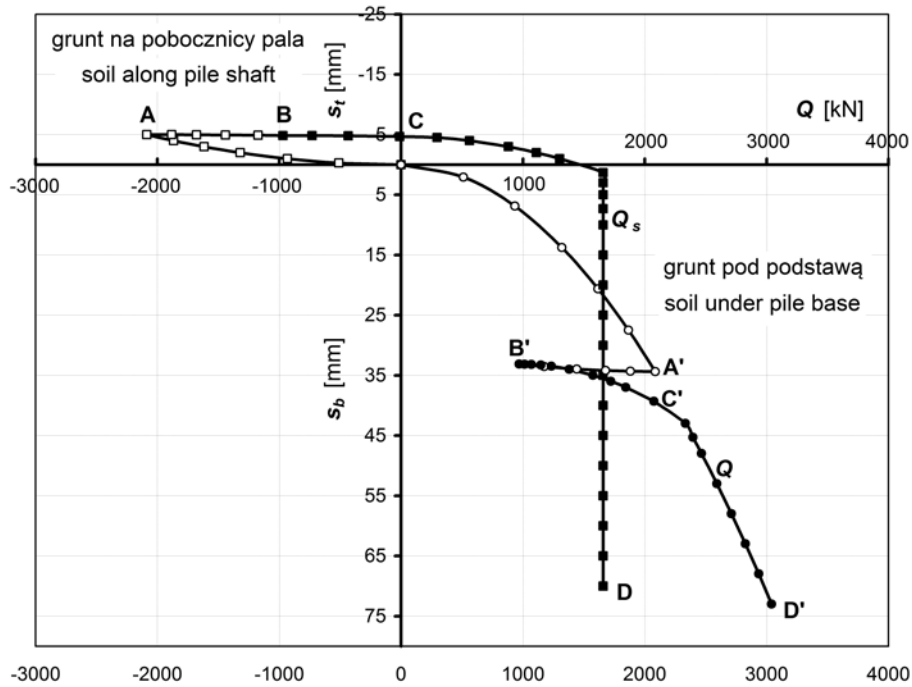
Cały proces obliczeniowy został przeprowadzony w taki sam sposób, jak w przykładzie 1. W etapie I, do uniesienia trzonu pala o wartość $s_t = 5$ mm konieczne było zadanie ciśnienia iniekcji o wartości $p_{in,2} = 1,85$ MPa, co wywołało wstępną siłę sprężającą trzon pala i grunt pod jego podstawą o wartości $Q_{in,2} = 2090$ kN (punkty A i A' na rys. 13) oraz osiadania gruntu pod podstawą pala o wartości około $s_b = 35$ mm (punkt A'). Podobnie jak wyżej, w etapie II założono 50% stratę w oporach dolnej warstwy nośnej piasku średniego i grubego, a stratę 100% w oporach na pobocznicy w warstwie namułu oraz w górnej warstwie piasku drobnego, o czym wspomniano już wcześniej. W wyniku strat wartość siły sprężającej spadła do $Q_{b,1} \approx 970$ kN (punkty B i B' na rys. 13). Na rysunku 13 pokazano również wyniki dalszych obliczeń z uwzględnieniem kolejnych etapów III i IV (punkty C, C' oraz D, D').

Krzywe osiadania $Q-s$, stanowiące wynik obliczeń końcowego etapu V, wraz z porównaniem z takimi samymi krzywymi dla pala bez iniekcji podstawy, przedstawiono na rysunku 14, a na rysunku 15, podobnie jak w przykładzie 1, pokazano powiększone, początkowe odcinki krzywych dla oporów całkowitych (Q_c).

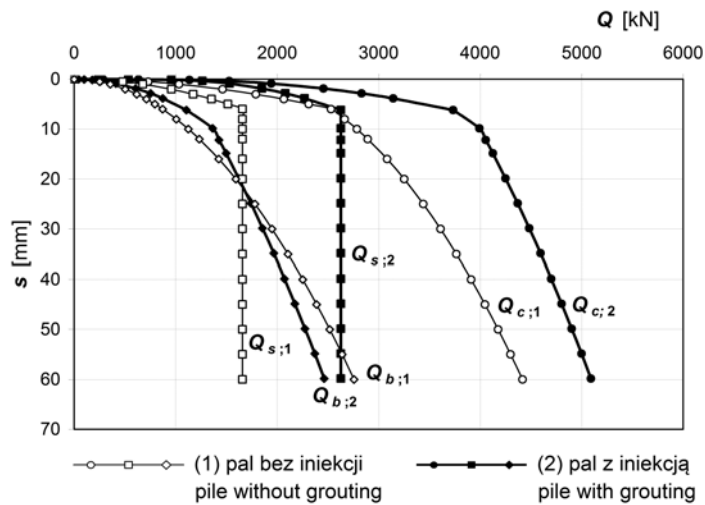


Rys. 12. Dane do przykładu obliczeniowego 2

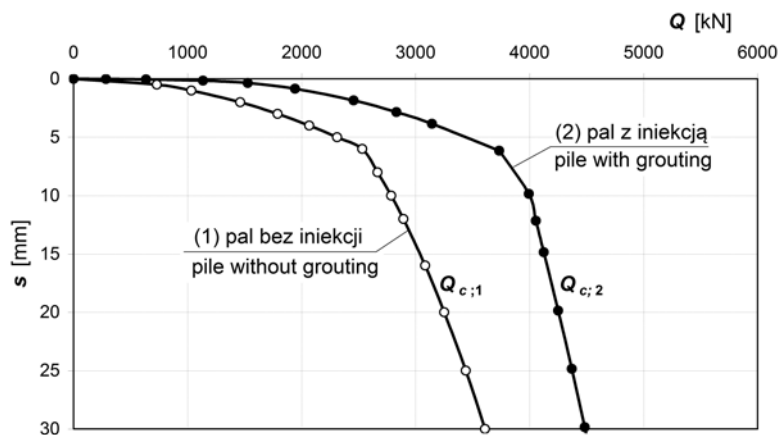
Fig. 12. Data for the calculation of example 2



Rys. 13. Przykład 2 – wykresy oporów gruntu, otrzymane z etapów obliczeniowych I do IV
Fig. 13. Calculation example 2 – soil resistance graphs obtained from the calculation phases I to IV



Rys. 14. Przykład 2 – porównanie krzywych osiadania pala bez iniekcji i pala z iniekcją podstawy
Fig. 14. Calculation example 2 – comparison of load-settlement characteristics for pile without grouting and pile with grouting under the base



Rys. 15. Przykład 2 – powiększenie krzywych z rysunku 14 dla obciążeń całkowitych (Q_c)
Fig. 15. Calculation example 2 – enlarging of curves from Figure 14 for total loads (Q_c)

Można zauważyć podobny jak w przykładzie 1 efekt zastosowania iniekcji ciśnieniowej pod podstawą pała – zwiększenie się sztywności osiowej pała w zakresie obciążeń projektowych oraz przesunięcie do przodu punktu zagięcia na wykresie $Q-s$. Różnica w stosunku do wyników z przykładu 1 polega jednak na tym, że pał wykazuje mniejszą zdolność przenoszenia obciążeń zewnętrznych, co jest wynikiem obecności warstwy namułu, która została przyjęta jako nienośna. Spowodowało to obniżenie nośności zarówno poboczniczy, jak i podstawy pała.

WNIOSKI

Przedstawione w artykule rozważania i wyniki przykładowych obliczeń wykazały, że odpowiednio zastosowana i zmodyfikowana metoda funkcji transferowych może być dobrym oraz prostym narzędziem do prognozowania krzywej osiadania pała wierconego z iniekcją ciśnieniową pod podstawą.

Przy zastosowaniu zaproponowanej w artykule autorskiej procedury obliczeniowej uzyskuje się efekt działania iniekcji bardzo zbliżony do obserwowanego w rzeczywistości, polegający na zwiększeniu się sztywności osiowej pała w zakresie obciążeń projektowych, a nawet w obszarze przekraczającym ten zakres.

Przytoczone wyniki dwóch przykładów obliczeniowych wskazują ponadto, że metoda i procedura obliczeniowa mogą być zastosowane do różnych warunków gruntowych. Przykład 2, z pośrednią warstwą namułu uznana jako nienośna, pokazał dodatkowo, że pomimo takich samych wymiarów pała i takiego samego jego zagłębienia w identycznej warstwie nośnej co w przykładzie 1, iniekcja pod podstawą nie jest w stanie zapewnić charakterystyki $Q-s$ porównywalnej z charakterystyką pała z przykładu 1. Iniekcja pod podstawą nie może być zatem traktowana jako sposób na zwiększenie nośności granicznej pała.

Zawarte przykłady obliczeniowe mają charakter czysto akademicki. Głównym ich celem, a także całego artykułu, było przedstawienie przebiegu oraz efektów działania procedury obliczeniowej. Jak każda nowa metoda obliczeniowa, również i ta zaprezentowana, mogąca mieć zastosowanie praktyczne, wymaga weryfikacji ilościowej z wynikami badań na obiektach rzeczywistych. Prace nad taką weryfikacją będą podjęte w najbliższej przyszłości, a jej wyniki będą przedmiotem

kolejnych publikacji. Obecnie można zapewnić, że zarówno metoda funkcji transferowych, jak i przedstawiona autorska metoda dają oszacowania po bezpiecznej stronie.

Przy właściwym rozpoznaniu podłoża gruntowego i miarodajnym określeniu parametrów funkcji transferowych, zaprognozowana charakterystyka osiadania pała wierconego z iniekcją podstawy może być z powodzeniem wykorzystana do miarodajnego i efektywnego obliczania oraz projektowania fundamentów posadowionych na tego rodzaju palach. Efektywność takiego projektowania dodatkowo się zwiększy, gdy uzyskaną z obliczeń krzywą osiadania pała połączy się z koncepcją nowego (alternatywnego) podejścia do projektowania i obliczania fundamentów palowych, zaproponowaną i opublikowaną w pracach autora (Kraśiński, 2015b; Gwizdała i Kraśiński, 2016).

PIŚMIENNICTWO

- Gwizdała, K. (1996). Analiza osiadań pali przy wykorzystaniu funkcji transformacyjnych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej*, 532, *Budownictwo Wodne* 41, 1–190.
- Gwizdała, K. (2011). *Fundamenty palowe*. Tom 1. *Technologie i obliczenia*. Warszawa: PWN
- Gwizdała, K. (2013). *Fundamenty palowe*. Tom 2. *Badania i zastosowania*. Warszawa: PWN.
- Gwizdała, K. i Pinkowski, A. (2007). Wpływ iniekcji pod podstawą na osiadanie pali wierconych w piaskach. *Inżynieria i Budownictwo*, 6(7–8), 379–381.
- Gwizdała, K. i Kraśiński, A. (2015). Zastosowanie pali wierconych wielkośrednicowych w fundamentowaniu obiektów mostowych. *Mosty*, 4, 24–29.
- Gwizdała, K. i Kraśiński, A. (2016). Fundamenty palowe, obliczenia z zastosowaniem zasad Eurokodu 7 i doświadczeń krajowych. *Acta Scientiarum Polonorum Architectura*, 15(2), 3–22.
- Kraśiński, A. (2015a). Ocena działania iniekcji pod podstawą pała wierconego za pomocą badania statycznego nośności z pomiarem rozkładu siły w trzonie pała. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 3, 461–464.
- Kraśiński, A. (2015b). Propozycja alternatywnego podejścia do obliczania i projektowania fundamentów palowych. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 5, 703–709.
- Pinkowski, A. i Gwizdała, K. (2006). Analiza wpływu iniekcji pod podstawami pali wierconych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. Budownictwo*, 28(2), 213–222.

Sobala, D. (2012). Projektowanie pali według Eurokodu 7 – metody i przykłady praktycznego wykorzystania. W Materiały Seminarium *Podłoże i Fundamenty Budowli Drogowych, Autostrada Polska* (strony 81–92). Kielce.

Sobala, D. (2014). Sposoby określania nośności geotechnicznej pali wciskanych – procedury i przykłady

obliczeniowe według Eurokodu 7. *Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture*, 31(61), 287–310.

PN-EN 1997-1:2008. Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.

PN-B-02482:1983. Fundamenty budowlane. Nośność pali i fundamentów palowych.

PREDICTION OF LOAD-SETTLEMENT CHARACTERISTIC OF BORED PILE WITH PRESSURE GROUTING UNDER THE BASE

ABSTRACT

In the paper of 2015 by Kraśński the analysis and described the mechanism of pressure grouting action under the base of bored pile were presented. The considerations were supported by static load tests on instrumented bored piles of large diameter. The conclusion was that the grouting primarily activates and increases the pile shaft resistance and thanks to it improves the characteristics of bored pile interaction with soil. As a continuation of previous paper, the calculation method for prediction of load-settlement characteristic of bored pile with base grouting was proposed by the author in presented paper. In the calculation procedure the load transform functions were applied and tested on two calculation examples. The computations, which can be carried out by using a spreadsheet like Excel give good results, which well reflect the real advantages of grouting under the base of bored pile.

Key words: pile, bored pile, grouting under the pile base, load-settlement characteristic of pile, calculation of piles