

## PROGNOZOWANIE KRZYWEJ OSIADANIA PAŁA WIERCONEGO Z INIEKCJĄ CIŚNIENIOWĄ POD PODSTAWĄ

Adam Krasieński✉

Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska, Gdańsk

### STRESZCZENIE

Podczas XVII Krajowej Konferencji MGilG 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 pałi 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 pałowych.

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

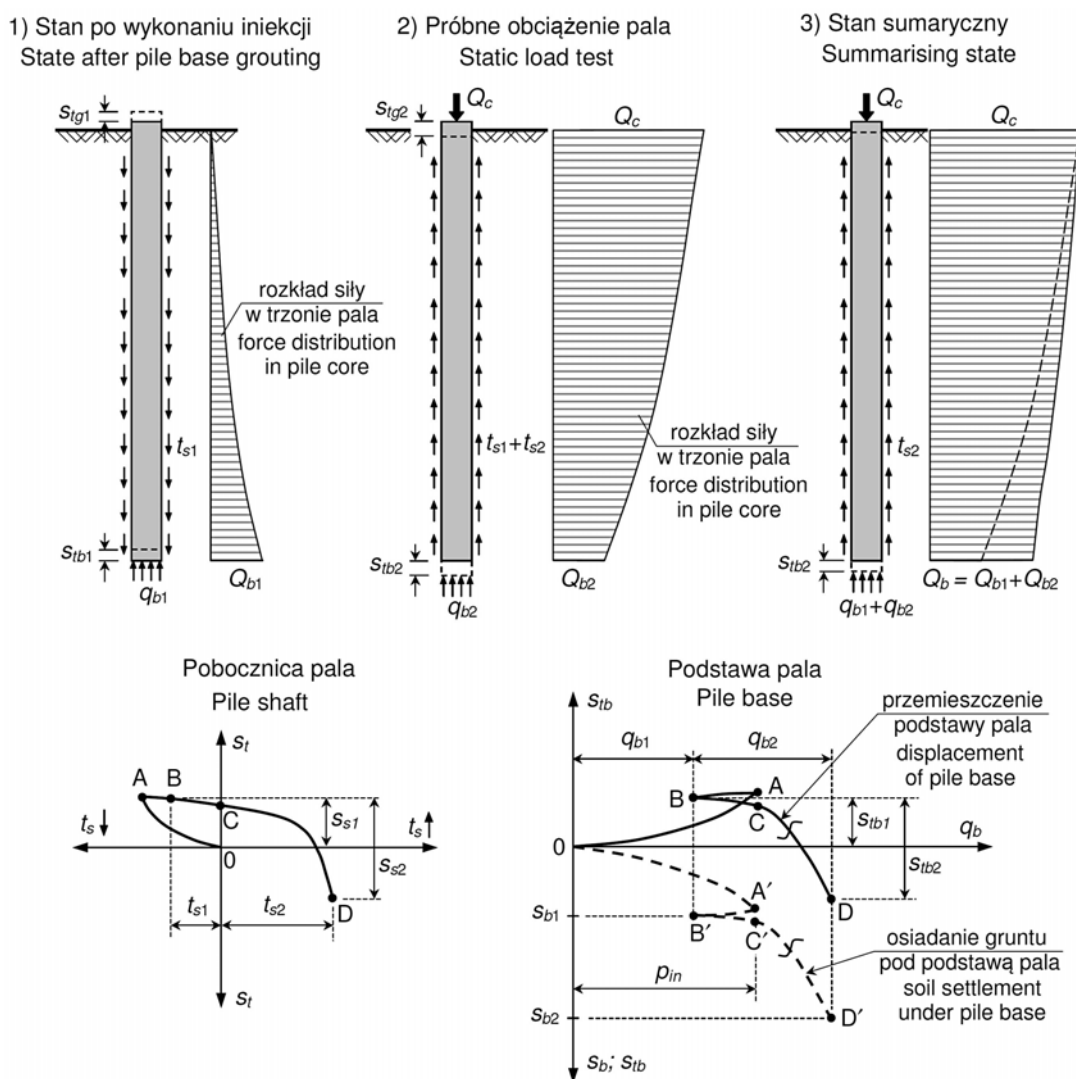
### WSTĘP

Mechanizm działania iniekcji ciśnieniowej pod podstawą pała wierconego został szczegółowo opisany i wyjaśniony we wcześniejszej pracy autora (Krasieński, 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 pałi wierconych wielkośrednicowych można znaleźć między innymi w pracach Pinkowskiego i Gwizdały (2006), Gwizdały i Pinkowskiego (2007), Gwizdały (2011, 2013), Gwizdały i Krasieńskiego (2015).

Na rysunku 1 wartości oporów i przemieszczeń, odpowiadające momentowi zadziałania iniekcji, oznaczone są na wykresach punktami A, a wartości ustabilizowane (trwałe, 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 (Kraśński, 2015a)

**Fig. 1.** Schematic work idea of the pressure grouting under the pile base (Kraśński, 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 pobocznice 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:

$\alpha$  – 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

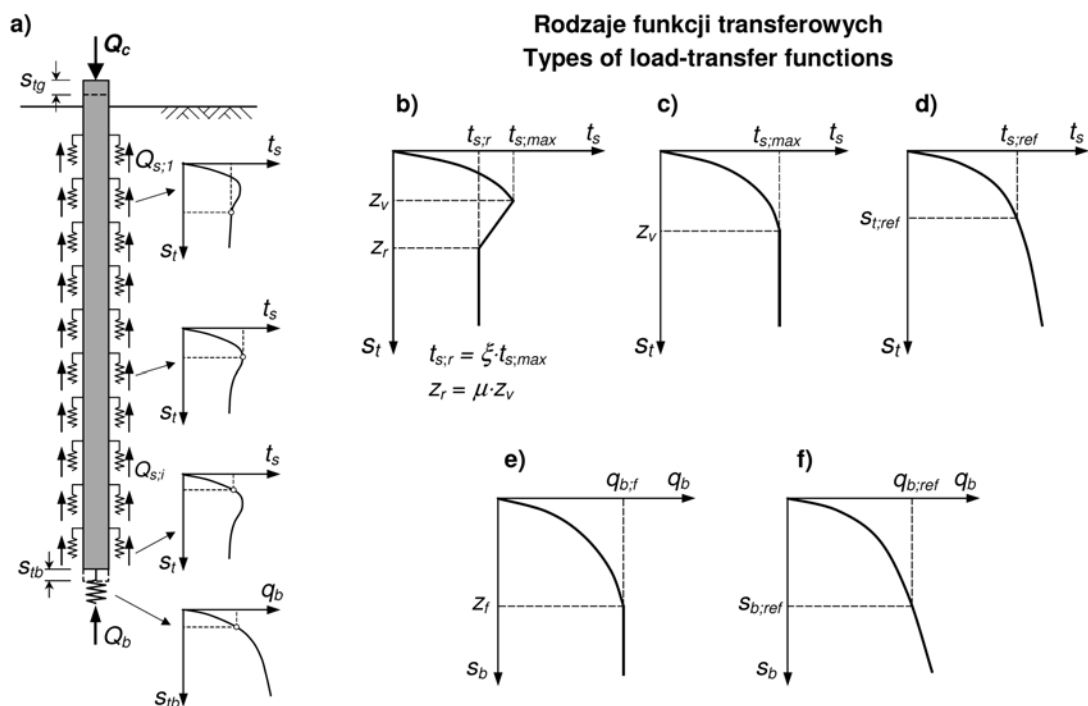
z przedziału 5–10 mm lub równej  $0,01D$  ( $D$  – średnica pała);

$\beta$  – 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 obliczenia 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  $t_s, t_{s;0} < 0$

(3)

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

przy  $q_b \leq q_{b;0}$

(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  $t_s, t_{s;0} < 0$

(5)

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

przy  $q_b \leq q_{b;0}$

(6)

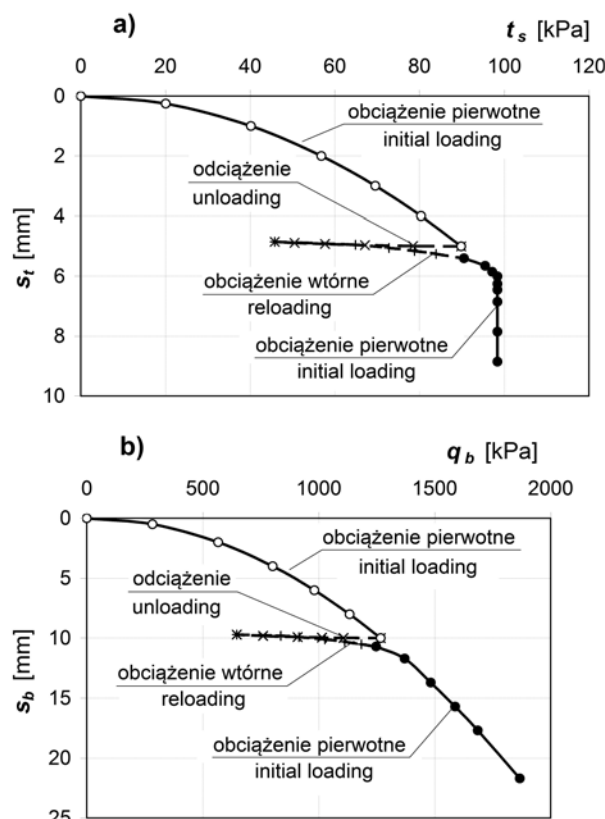
Parametry  $t_{s;\max}$ ,  $z_v$ ,  $\alpha$ ,  $q_{b;f}$ ,  $z_f$  oraz  $\beta$  należy przyjmować takie same jak w funkcjach transferowych do obciążeń pierwotnych, określonych wzorami (1) i (2). Wielkości  $t_{s;0}$  i  $q_{b;0}$  oznaczają wartości oporów gruntu w końcowej fazie obciążenia pierwotnego, 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

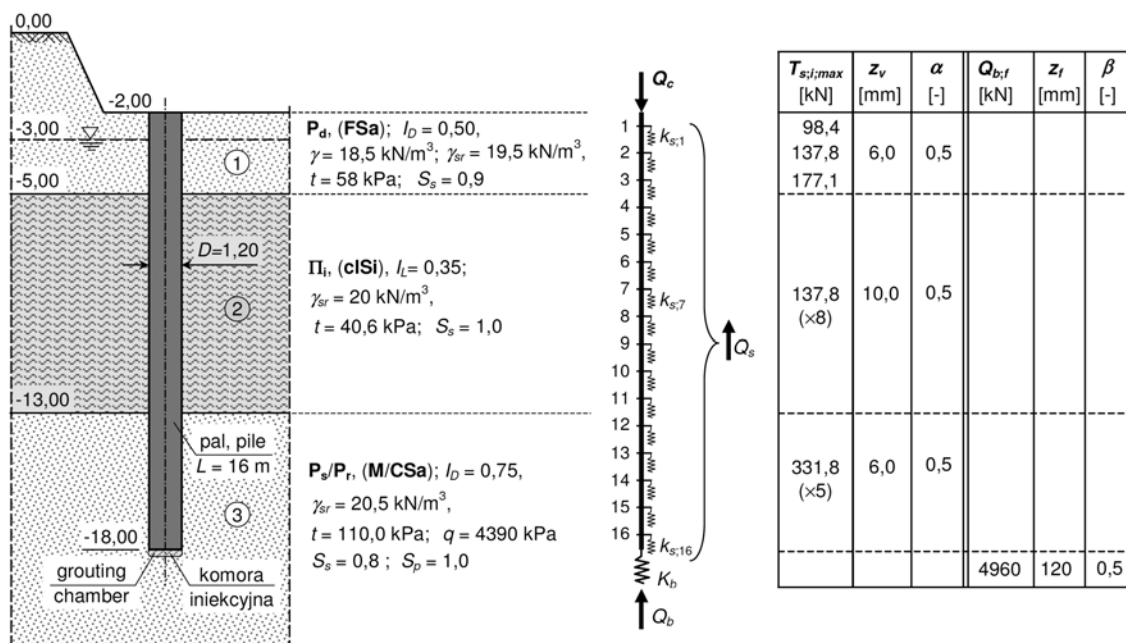
nych według standardów EC7 (PN-EN 1997-1:2008. Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne), w których pełna mobilizacja oporów granicznych następuje przy osiadaniach pala równych  $0,1D$ . W obliczeniach obu przykładów pominięto skrócenie własne trzonu pala, ze względu na bardzo dużą jego sztywność osiową,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

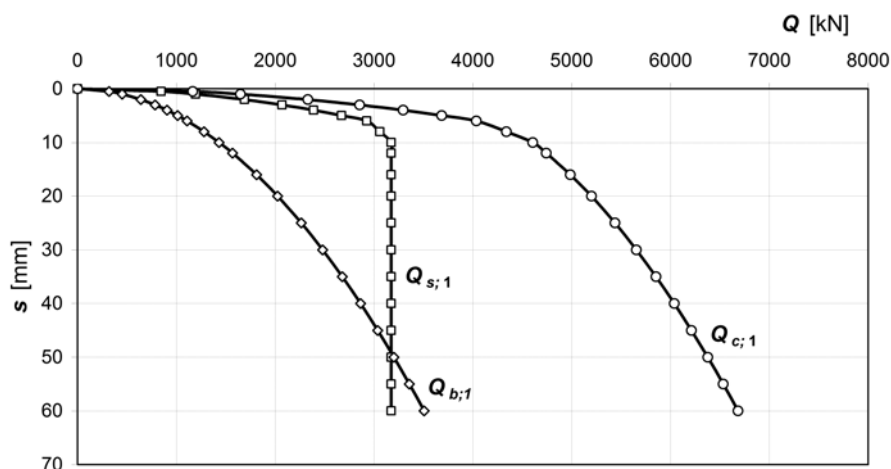
Na początku wyznaczono krzywe osiadania pala bez iniekcji podstawy, które obliczono standardową, jednoetapową procedurą funkcji transferowych do obciążeń pierwotnych. Krzywe te przedstawiono je na rysunku 5.

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

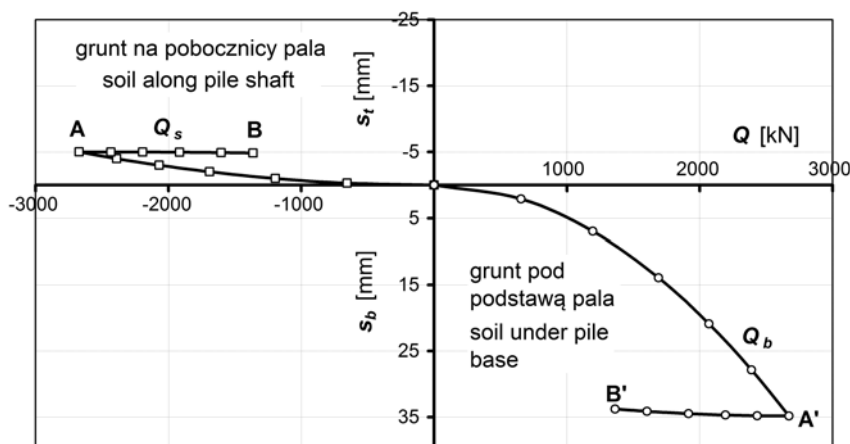


Rys. 4. Dane do przykładu obliczeniowego 1

Fig. 4. Data for the calculation of example 1



**Rys. 5.** Przykład 1 – krzywe osiadania pala bez iniekcji podstawy, wyznaczone z obliczeń  
**Fig. 5.** Calculation example 1 – load-settlement characteristics for pile without grouting under the base



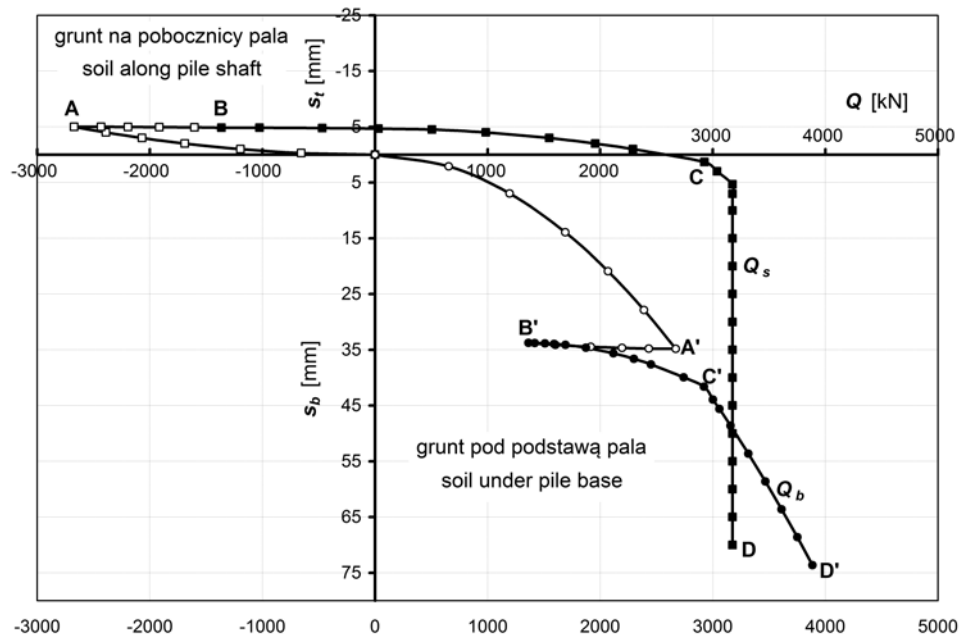
**Rys. 6.** Przykład 1 – wykresy oporów gruntu, otrzymane z etapów obliczeniowych I i II  
**Fig. 6.** Calculation example 1 – soil resistance graphs obtained from the calculation phases I and II

$s_t = 5$  mm. Wymagane ciśnienie wyniosło  $p_{in,1} = 2,36$  MPa i wywołało wstępną siłę sprężającą trzon pala 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 pala 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).

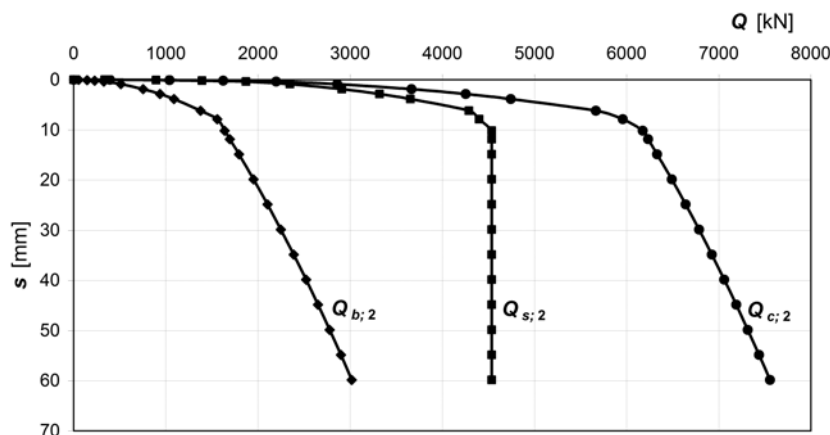
Wyniki dalszych obliczeń z uwzględnieniem kolejnych etapów III i IV przedstawiono na rysunku 7 (punkty C, C' oraz D, D').

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 pala bez iniekcji i pala 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

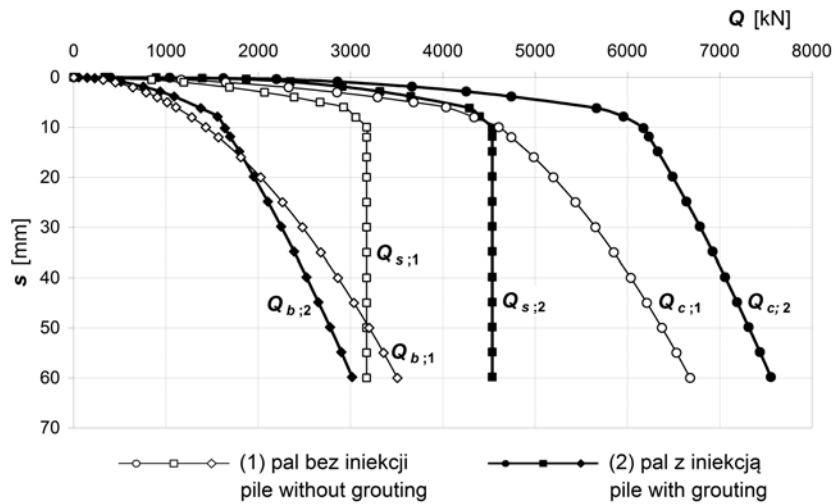


**Rys. 8.** Przykład 1 – obliczone krzywe osiadania pała z iniekcją podstawy  
**Fig. 8.** Calculation example 1 – load-settlement characteristics for pile with grouting under the base

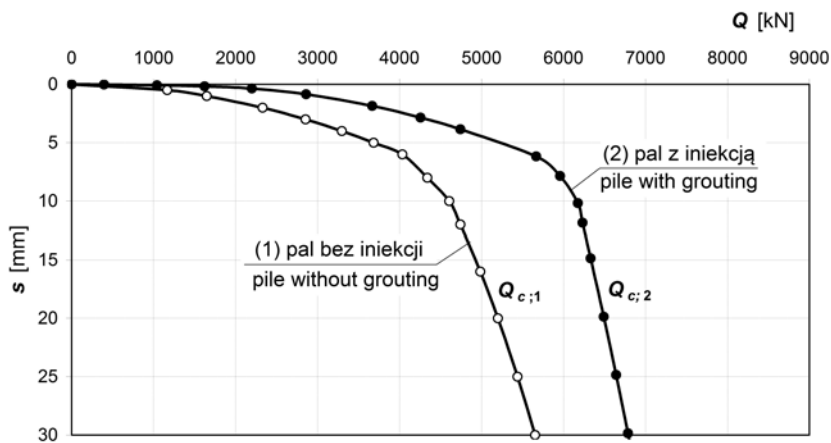
zastosowania iniekcji ciśnieniowej pod podstawą pała objawiający się zwiększoną sztywnością osiową pała w zakresie obciążeń projektowych oraz przesunięcia do przodu punktu zagięcia na wykresie  $Q-s$ .

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

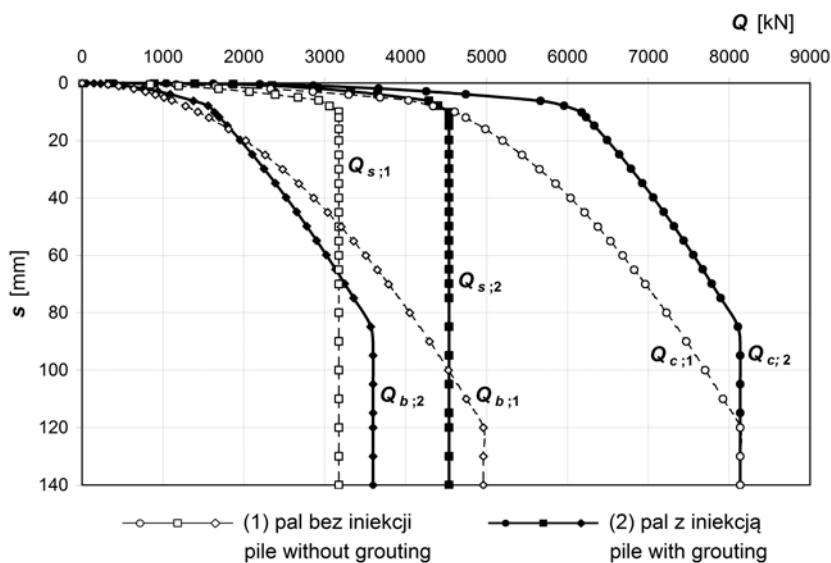
a jedynie zwiększenie jego sztywności w gruncie w początkowym zakresie obciążeń. W przedstawionych obliczeniach przyjęto założenie, że iniekcja nie spowoduje zwiększenia powierzchni podstawy pała. Założenie takie jest po stronie bezpiecznej. Wynik przedstawiony na rysunku 11 wskazuje, że faktycznie wzrosła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



**Rys. 9.** Przykład 1 – porównanie krzywych osiadania pala bez iniekcji i pala 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  $Q-s$  pali 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.

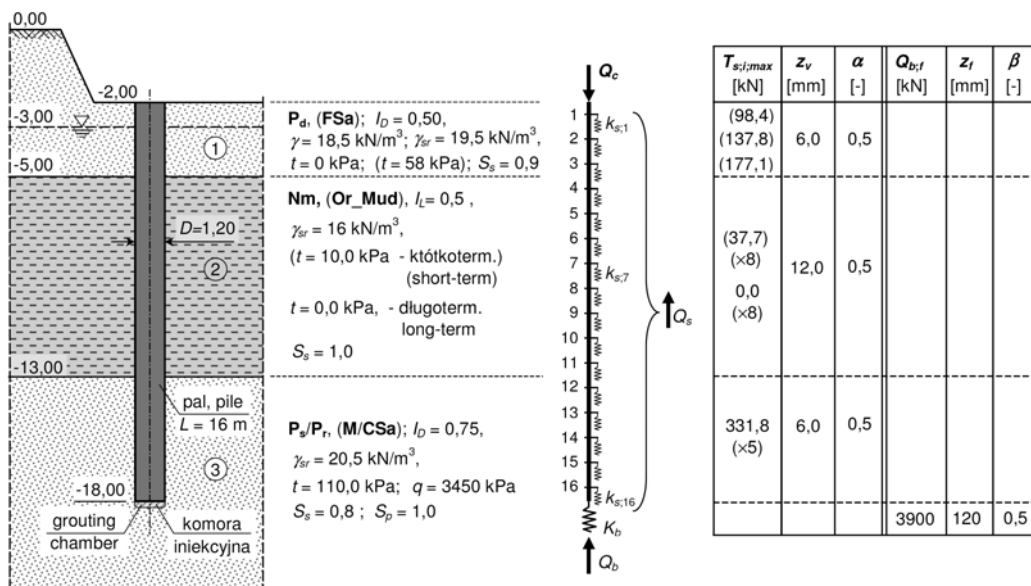
### Przykład obliczeniowy 2

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).

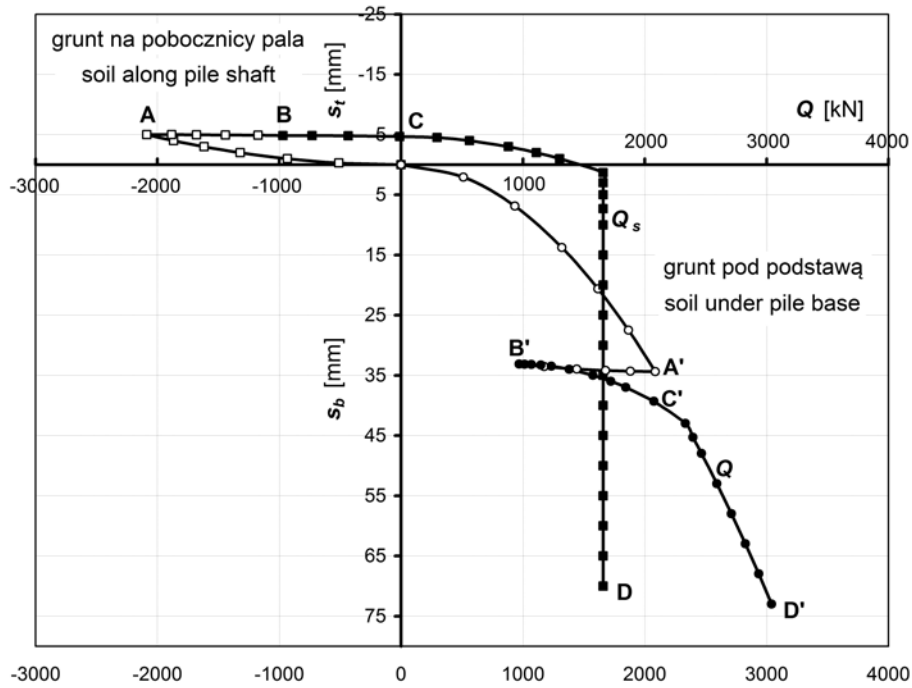
Cały proces obliczeniowy został przeprowadzony w taki sam sposób, jak w przykładzie 1. W etapie I, do uniesienia trzonu pala o wartość  $s_t = 5$  mm konieczne było zadanie ciśnienia iniekcji o wartości  $p_{in;2} = 1,85$  MPa, co wywołało wstępną siłę sprężającą trzonu pala i grunt pod jego podstawą 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 stratę 50% w oporach dolnej warstwy nośnej piasku średniego i grubego, a stratę 100% w oporach na pobocznicę 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 ( $Q_c$ ).

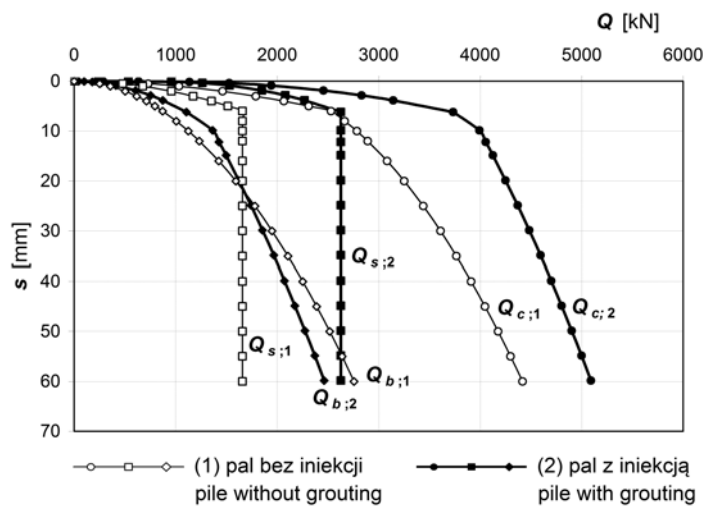


Rys. 12. Dane do przykładu obliczeniowego 2

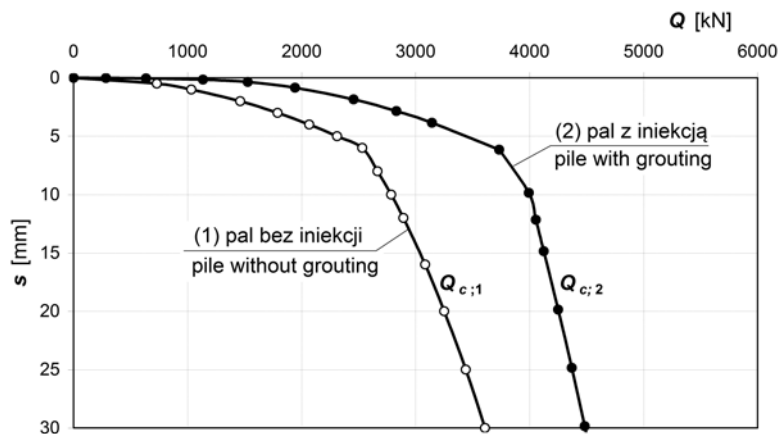
Fig. 12. Data for the calculation of example 2



**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 pala – zwiększenie się sztywności osiowej pala 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 pal 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 pala.

## 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 pala 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 pala 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 uznaną jako nienośna, pokazał dodatkowo, że pomimo takich samych wymiarów pala 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 pala z przykładu 1. Iniekcja pod podstawą nie może być zatem traktowana jako sposób na zwiększenie nośności granicznej pala.

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 pala 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 pala połączy się z koncepcją nowego (alternatywnego) podejścia do projektowania i obliczania fundamentów palowych, zaproponowaną i opublikowaną w pracach autora (Krasiński, 2015b; Gwizdała i Krasiński, 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 Krasiński, A. (2015). Zastosowanie pali wierconych wielkośrednicowych w fundamentowaniu obiektów mostowych. *Mosty*, 4, 24–29.
- Gwizdała, K. i Krasiński, A. (2016). Fundamenty palowe, obliczenia z zastosowaniem zasad Eurokodu 7 i doświadczeń krajowych. *Acta Scientiarum Polonorum Architectura*, 15(2), 3–22.
- Krasiński, A. (2015a). Ocena działania iniekcji pod podstawą pala wierconego za pomocą badania statycznego nośności z pomiarem rozkładu siły w trzonie pala. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 3, 461–464.
- Krasiński, 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 Kraśiński 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 transfer 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