

PRZEMYSŁAW KOŚCIK

Przedsiębiorstwo „GEOSERVICE” Sp. z o. o., Wrocław
„GEOSERVICE” Co Ltd., Wrocław

Analiza osiadań pali pojedynczych wykonywanych technologiami iniekcyjnymi w świetle próbnych obciążeń terenowych

Wstęp

Iniekcyjne wzmocnianie gruntów jest dziedziną inżynierii geotechnicznej o ugruntowanej i potwierdzonej wieloletnią praktyką pozycji. Spośród licznych technik iniekcyjnych dwie znalazły zastosowanie w wykonawstwie pali: technologia mikropali iniekcyjnych oraz technologia wysokociśnieniowej iniekcji strumieniowej (jet grouting).

W kraju od początku lat dziewięćdziesiątych obie technologie wykorzystywane są na skalę przemysłową w wielu dziedzinach budownictwa oraz inżynierii lądowej i wodnej.

Wzmocnianie fundamentów istniejących obiektów budowlanych, gdy mają zbyt małą nośność lub, gdy zachodzi konieczność przystosowania ich do zmienionej funkcji, to tylko jedna z form zastosowań. Coraz liczniej wykorzystywane w posadawianiu nowych obiektów, skutecznie konkurują z innymi technologiami, szczególnie tam gdzie trudne warunki geotechniczne lub ciasna zabudowa staromiejskich centrów miast ograniczają zastosowanie klasycznych rodzajów pali.

Opis technologii

Mikropale, w postaci pali „korzeni”, zastosowane zostały po raz pierwszy w roku 1952 we Włoszech, dając początek dynamicznie rozwijającej się na całym świecie technologii.

Mikropale iniekcyjne charakteryzują się trzema szczególnymi cechami: niewielką średnicą (do 300 mm), możliwością wykonania w warunkach ograniczonego dostępu, oraz sposobem iniekcyjnego formowania buławy.

Proces wykonania mikropala iniekcyjnego opracowany przez „Gesoservice” składa się z czterech podstawowych faz:

I - wiercenie w gruncie otworu ϕ 130 ÷ 180 mm na wymaganą projektem głębokość (wiercenie odbywa się na sucho lub z zastosowaniem płuczki),

II - podciąganie świdra do góry z jednoczesnym wypełnianiem otworu zawieszoną cementową lub bentonitowo-cementową,

III - wprowadzenie do otworu wypełnionego nie stężalą zawieszoną stalowej rury pełniącej jednocześnie funkcję konstrukcyjną (zbrojenie) i technologiczną, umożliwiając w fazie IV przeprowadzenie iniekcji strefowej poprzez perforacje rury.

Iniekcje oparte są na bazie zaczynu cementowego przy $c/w = 1,5 \div 2,0$ i ciśnieniach iniekcji rzędu $1,0 \div 2,0$ MPa. Dzięki ciśnieniowemu formowaniu następuje powiększenie przekroju mikropala, który w zależności od średnicy wiercenia, rodzaju gruntu i sposobu iniekcji osiąga średnicę $200 \div 300$ mm, wywołując stan wstępnego naprężenia gruntu. W gruntach niespoistych zaczyn przenika w pory otaczającego gruntu zeskalając go natomiast w gruntach spoistych powoduje w otoczeniu pala ich lokalną konsolidację.

Pierwsze wzmianki na temat iniekcji strumieniowej pochodzą z 1962 r., przy czym rozwój tej technologii przypada na lata siedemdziesiąte w Japonii, gdzie Yahiro i Yoshido przeprowadzili badania dotyczące zdolności rozdrabniania gruntów przez wysokoenergetyczny strumień wody. W Polsce pierwsze zastosowania iniekcji strumieniowej przypadły na początek lat dziewięćdziesiątych.

W przeciwieństwie do klasycznych iniekcji (mikropale) w wyniku, których struktura gruntu i jego skład granulometryczny pozostają właściwie niezmienione, w technologii wysokociśnieniowej iniekcji strumieniowej grunt jest rozdrabniany strumieniem zaczynu cementowego wypływającego z dysz iniekcyjnych z ogromną energią. Prędkość (około 100 m/s) oraz ciśnienie rzędu 50 MPa powodują, że w zasięgu działania strumienia iniektu, cząstki gruntu zostają wymieszane z zaczynem a ich nadmiar wypływa na powierzchnię terenu. Utworzona w ten sposób mieszanina cemento-gruntu uzyskuje wytrzymałość na ściskanie od 3 do 8 MPa w gruntach spoistych oraz $20 \div 25$ MPa w piaskach i żwirach.

Proces formowania pala „jet grouting” odbywa się w dwóch zasadniczych fazach:

I - wiercenie otworu o średnicy ok. 100 mm, z zastosowaniem strumienia wody rozmywającego grunt w poziomie końcówki urządzenia wiertniczego, do głębokości, od której rozpocznie się formowanie pala,

II - przestawienie urządzenia na iniekcję i wykonanie pala w gruncie.

Formowanie pala odbywa się z prędkością $0,3 \div 0,4$ m/min. poprzez podnoszenie żerdzi wiertniczej z jednoczesnym jej obrotem wokół własnej osi ($15 \div 20$ obrotów/min.).

Średnice pali przy najczęściej stosowanym w kraju jednomediowym systemie iniekcji (mono-jet) wahają się w granicach $0,5 \div 0,9$ m. Wykonywać je można jako niezbrojone kolumny iniekcyjne, jak również zbroić dowolnymi elementami konstrukcyjnymi (rury, dwuteowniki, prefabrykaty itp.).

Projektowanie pali formowanych iniekcyjnie

Brak uregulowań w zakresie projektowania fundamentów palowych nowych generacji, ogranicza ich szersze rozpropagowanie i wykorzystanie. Nie ma możliwości bezpośredniego zastosowania zamieszczonych w normie PN-83/B-02482 danych do projektowania mikropali iniekcyjnych i pali „jet grouting”. Odnosi się to zarówno do współczynników technologicznych jak i wartości oporów gruntu pod podstawą i na poboczniczy pala.

W projektowaniu mikropali iniekcyjnych pomocne mogą być informacje

zawarte w pracach Bustamante (1994), Żmudzińskiego (1988) i Jarominiaka (1999), a pali „jet grouting” w pracach Żmudzińskiego i Motaka (1995) oraz Gwizdały i Motaka (1997).

Metodyka projektowania zawarta w powyższych opracowaniach obejmuje zagadnienie nośności pali pomijając w zasadzie problematykę osiadań fundamentów palowych, niezbędną do pełnego opisu pracy projektowanej konstrukcji.

Korzyści wynikające z bardziej realistycznego opisu pracy konstrukcji są niewątpliwe, począwszy od zwiększenia bezpieczeństwa a skończywszy na wymiernych efektach finansowych. Szczęólnego znaczenie nabiera to w przypadku omawianych technologii, które bardzo często znajdują zastosowanie we wzmacnianiu posadowień istniejących obiektów budowlanych. Wielkością niezbędną do określenia wpływu wzmocnienia na rozkład sił wewnętrznych we wzmacnianej konstrukcji jest osiadanie pala a dokładniej jego mówiąc sztywność osiowa opisana zależnością:

$$K = \frac{Q}{s} \quad [\text{kN/m}] \quad (1)$$

gdzie:

Q – obciążenie pala, kN,

s - osiadanie pala od siły Q, m.

Jak dotąd brak jest dostatecznie dokładnych i praktycznych z inżynierskiego punktu widzenia metod określania osiadań mikropali oraz pali „jet grouting” i związanej z tym sztywności. Najlepszą metodą nadal pozostaje każdorazowe przeprowadzenie badań nośności i na tej podstawie określenie interesujących nas parametrów. W

przypadku obiektów wzmacnianych często jest to z różnych względów niemożliwe lub utrudnione. Zmusza to do korzystania z metod analitycznych opisujących z pewnym przybliżeniem rzeczywiste zachowanie pala. Mając to na uwadze porównano w dalszej części referatu wielkości osiadań pali iniekcyjnych uzyskane z badań terenowych z osiadaniami określonymi na drodze rozwiązań analitycznych.

Obliczenia osiadań pali „jet grouting” przeprowadzono zgodnie z metodą normową (PN-83/B-02482), opartą na propozycji Poulosa i Davisa, która wykorzystuje rozwiązania teorii sprężystości, natomiast w przypadku mikropali iniekcyjnych zastosowano uproszczoną metodę obliczania osiadań pali zaproponowaną przez Vesica (Gwizdała, 1980).

Wybór tych dwóch metod nie był przypadkowy; po pierwsze miały być to metody stosunkowo proste i w miarę znane, po drugie możliwie realnie opisujące zachowanie pala w ośrodku gruntowym. O ile metoda normowa nie wymaga większego komentarza, o tyle metoda Vesica oraz powody, dla których zastosowano ją w analizie osiadań mikropali wymagają pewnego wyjaśnienia.

Udział odkształceń własnych w całkowitym osiadanu głowicy mikropala jest znacznie większy niż w palach innych rodzajów. Opis pracy pala ściśliwego w ośrodku gruntowym proponowany przez PN-83/B-02482 umożliwia wyznaczenie skrócenia jego trzonu. Z tego też powodu w analizie osiadań mikropali iniekcyjnych zdecydowano się wykorzystać metodę, która w sposób bezpośrednio opisuje to zjawisko. W metodzie zaproponowanej

przez Vesica osiadanie wynikające z osiowej deformacji trzonu pala jest jednym z trzech elementów całkowitego osiadania głowicy pala i ujęte zostało we wzorze:

$$s = s_s + s_{bb} + s_{bs} \quad (2)$$

gdzie:

s_s – osiadanie wynikające z osiowej deformacji trzonu pala,

s_{bb} – osiadanie podstawy pala powodowane przez obciążenie w podstawie,

s_{bs} – osiadanie podstawy pala powodowane przez przekazywanie obciążeń wzdłuż trzonu pala.

Osiadanie wynikające z osiowej deformacji pala wyznacza się ze wzoru:

$$s_s = (Q_b + \beta' Q_s) \frac{L}{AE_t} \quad (3)$$

gdzie:

Q_b i Q_s - są aktualnymi obciążeniami podstawy i poboczniczy pala, kN,

L – długość pala, m,

E_t – moduł sprężystości materiału pala, kPa,

A – pole przekroju porzecznego pala, m^2 ,

β' – współczynnik zależny od rozkładu oporu bocznego wzdłuż trzonu pala.

Opierając się na dotychczasowych badaniach oraz metodach analiz nośności mikropali można we wzorach (2) i (3) pominąć człony „odpowiedzialne” za osiadanie pala wywołane obciążeniem podstawy (przyjmuje się, że mikropal przenosi niemal całe obciążenie pobocznicą). Pozostaje zatem określenie osiadań pala powodowane przez przekazywanie obciążeń wzdłuż trzonu pala wyznaczane ze wzoru:

$$s_{bs} = \frac{f_m D}{E_s} I_{bs} \quad (4)$$

gdzie:

f_m – opór na poboczniczy, kPa,

D – średnica pala, m,

$E_s = \frac{E_0}{1 - \nu^2}$ - moduł podatności gruntu,

I_{bs} – współczynnik wpływu aproksymowany w zakresie $0 < h/D < 50$ przez zależność:

$$I_{bs} = 2 + 0,35\sqrt{h/D} \quad (5)$$

Istotną trudnością przy obliczaniu osiadań pali iniekcyjnych, zarówno w odniesieniu do propozycji normowej jak i metody Vesica jest określenie rzeczywistych wielkości modułu sprężystości E_t materiału pala i modułu odkształceń gruntu E_0 . Dla pali „jet grouting” formowanych w gruntach niespoistych moduł sprężystości cemento-gruntu można przyjąć na poziomie 8-12 GPa (por. badania Rawickiego, Żmudzińskiego i Motaka). W przypadku mikropali moduł sprężystości materiału trzonu pala (rura zbrojeniowa + otaczająca ją zaczyn) zawiera się w granicach od 16 GPa do 22 GPa. Natomiast moduły odkształceń gruntów skorygowane o odpowiednie współczynniki (w przypadku braku innych danych) można ustalić na podstawie normy PN-81/B-03020.

Osobnym problemem jest także dobór współczynnika β' we wzorze (3), którego dokładna wielkość jest stosunkowo trudna do określenia i wymaga osobnych badań. Przy szacowaniu osiadań dobre wyniki daje przyjęcie wartości β' na poziomie 0,5 (Gwizdała, Korkotkiewicz).

Wyniki terenowych badań nośności mikropali i pali „jet grouting”

Analizie poddano 14 sztuk mikropali iniekcyjnych oraz 14 sztuk pali „jet grouting”. Materiał ten w całości pochodzi z prób przeprowadzonych na palach wykonywanych przez „Geosevice” i obejmuje pale formowane w gruntach niespoistych.

Stanowiska do badań przygotowywane były przez wykonawcę robót natomiast pomiarów dokonywały niezależne jednostki projektowo-badawcze.

Stanowiska do badań składały się ze stalowych belek: głównej oraz dwóch poprzecznych, które mocowano do czterech sąsiednich pali konstrukcyjnych przy użyciu specjalnych cięgien. W jednym przypadku badania przeprowadzono metodą balastową (por. tabela nr 1). Pale obciążano przy użyciu siłownika hydraulicznego, ustawionego na specjalnie skonstruowanych głowicach, które wykonano z żelbetu, lub stalowych płyt.

W trakcie prowadzenia obciążeń obserwowano osiadania pali za pomocą 4 czujników zegarowych z dokładnością 0,01 mm w oparciu o niezależną od systemu obciążającego ramę pomiarową.

Z pełnej krzywej obciążenie – osiadanie każdego analizowanego pala wybrano jeden punkt odpowiadający projektowanemu obciążeniu i dla niego odczytywano osiadanie trwałe oraz sprężyste. Wyniki poszczególnych pomiarów zestawiono w tabelach nr 1 i nr 2.

Analiza osiadań pali

Analizując osiadania pali iniekcyjnych formowanych iniekcją klasyczną i strumieniową daje się zauważyć wyraźna różnica między nimi polegająca na udziale osiadań sprężystych w osiadaniu całkowitym (przynajmniej w zakresie obciążeń roboczych). W odniesieniu do pali „jet grouting” udział ten waha się w granicach 35 % natomiast w przypadku mikropali kształtuje się na poziomie 70 %. Generalnie należy zauważyć niewielkie osiadania pali iniekcyjnych obydwu rodzajów w zakresie obciążeń roboczych. W przypadku mikropali poddanych obciążeniom 100–300 kN osiadania te kształtują się na poziomie nie większym niż 2 mm, jedynie w dwóch przypadkach wartości te zbliżyły się do 4 mm (rys. 3). Natomiast pale „jet grouting” poddane obciążeniom rzędu 500-700 kN doznają osiadań rzędu 4-5 mm (rys. 1).

Związana z całkowitymi osiadaniami, odpowiadająca powyższym obciążeniom sztywność mikropali kształtuje się na poziomie 100–200 MN/m a pali „jet grouting” na poziomie 150–350 MN/m. W tabelach nr 3 i nr 4 zestawiono wyniki rzeczywistych osiadań pali z osiadaniami obliczonymi. Z porównania tych wielkości wynika, iż średni współczynnik zgodności $\bar{\eta}$ określony jako średnia ze stosunku osiadań obliczonych do pomierzonych kształtuje się na poziomie 1,214 przy odchyleniu standardowym $\sigma = 0,687$ i współczynniku zmienności $v = 0,566$ (pale „jet grouting”) oraz $\bar{\eta} = 1,166$, $\sigma = 0,455$ i $v = 0,390$ (mikropale iniekcyjne). Zbli-

zone parametry uzyskano dla sztywności osiowych.

Podsumowanie

Przedstawiona powyżej analiza osiadań pali iniekcyjnych (mikropali i pali formowanych iniekcją strumieniową) pozwala na następujące podsumowanie:

1. Osiadania pali iniekcyjnych w gruntach niespoistych w zakresie obciążeń roboczych są stosunkowo niewielkie i nie przekraczają 5 mm.
2. Znaczna część osiadań mikropali iniekcyjnych przypada na deformację osiową trzonu pala.
3. Pomimo znacznych rozrzutów wyników pomiędzy osiadaniami obliczonymi, a pomierzonymi można szacować osiadania oraz sztywność pali podanymi powyżej metodami z zastrzeżeniem, iż powinny być one weryfikowane w terenie próbnymi obciążeniami.
4. Uzyskanie powyższymi metodami dokładniejszych wyników wymaga przeprowadzenia badań dotyczących wpływu wykonania pali iniekcyjnych na zmianę wartości modułu odkształcenia gruntu w otoczeniu pala oraz wyznaczenia rzeczywistych wartości β' .
5. W zakresie obciążeń roboczych pali iniekcyjnych zmienność sztywności ze wzrostem obciążenia nie jest zbyt duża,

jednakże rozkład wartości nie wykazuje jednoznacznych prawidłowości.

6. Zachowanie pali iniekcyjnych w gruncie predysponuje je szczególnie do wzmacniania istniejących obiektów budowlanych.

TABELA nr 1. Osiadania pali „jet grouting”

Lp.	Długość pala L	Średnica ϕ	Mięższość gruntów nienośnych	Rodzaj i stan gruntu nośnego	Obciążenie pala Q	Osiadania sprężyste s_{ps}	pomierzone całkowite s_p
	[m]	[mm]	[m]		[kN]	[mm]	[mm]
1.	4,95	600	2,95 (NN)	P_O/P_S o $I_D=0,4$	136	0,20	0,30
2.	8,65	600	3,65 (NN)	P_O/P_S o $I_D=0,4$	545	0,50	1,90
3.	9,60	600	2,65 (NN)	P_O/P_S o $I_D=0,4$	591	0,40	1,70
4.	9,05	600	3,65 (NN)	P_O/P_S o $I_D=0,4$	591	0,60	1,60
5.	9,55	600	5,15 (NN)	P_O/P_S o $I_D=0,4$	545	0,60	0,90
6.	8,20	600	2,65 (NN)	P_O/P_S o $I_D=0,4$	545	2,60	3,80
7*	6,25	700	3,25 (Nm, T)	P_d o $I_D=0,7$	473	1,00	2,00
8.	5,00	600	-	P_S o $I_D=0,6$	777	1,50	7,70
9.	4,90	600	-	P_S o $I_D=0,6$	764	1,00	4,70
10.	4,90	600	-	P_S o $I_D=0,6$	764	1,30	4,00
11.	4,50	500/600	-	P_S/P_d o $I_D=0,3$	344	0,40	2,30
12.	6,00	500/600	-	P_S/P_d o $I_D=0,3$	458	1,30	4,40
13.	4,50	500/600	-	P_S/P_d o $I_D=0,3$	344	0,70	2,50
14.	6,00	500/600	-	P_S/P_d o $I_D=0,3$	591	1,70	4,20

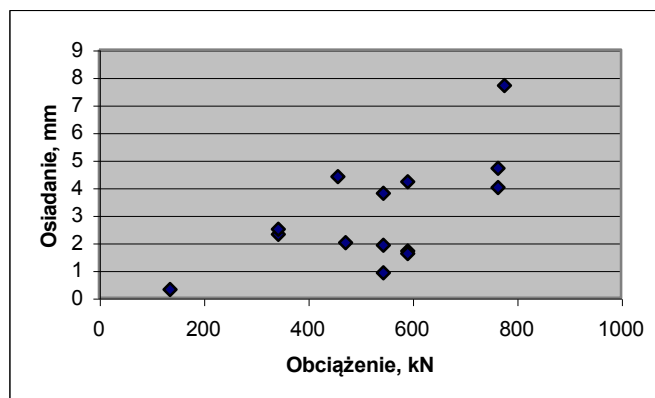
* pal obciążany metoda balastową

TABELA nr 2. Osiadania mikropali iniekcyjnych

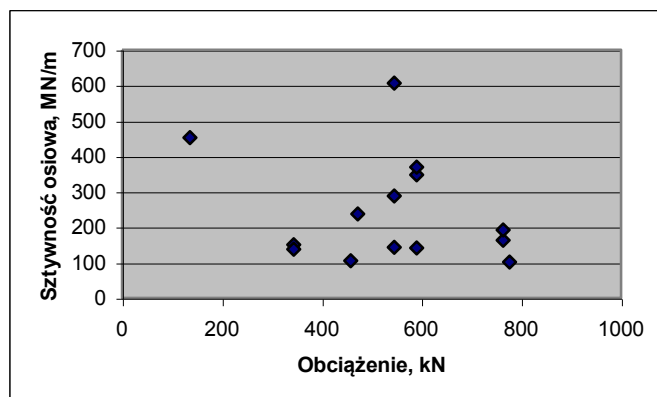
Lp.	Długość pala L	Średnica ϕ	Mięższość gruntów nienośnych	Rodzaj i stan gruntu nośnego	Obciążenie pala Q	Osiadania sprężyste s_{ps}	pomierzone całkowite s_p
	[m]	[mm]	[m]		[kN]	[mm]	[mm]
1.	10,80	290	6,50 (NN)	P_S o $I_D=0,4$	117	0,56	1,20
2.	8,80	290	5,50 (NN)	P_S o $I_D=0,4$	151	1,20	1,55
3.	10,20	290	3,50 (NN)	P_S o $I_D=0,4$	210	1,29	1,85
4.	8,00	200	-	P_S/Z o $I_D=0,6$	312	1,06	1,24
5.	8,00	200	-	P_S/Z o $I_D=0,6$	277	0,95	1,17
6.	8,00	200	-	P_S/Z o $I_D=0,6$	277	0,97	1,06
7.	6,95	200	3,45 (NN)	P_S/P_d o $I_D=0,6$	210	0,85	1,29
8.	6,95	200	3,45 (NN)	P_S/P_d o $I_D=0,6$	210	1,04	1,16
9.	6,80	250	4,20 (NN)	P_S o $I_D=0,5$	210	1,5	4,10
10.	6,70	180	4,20 (NN)	P_S o $I_D=0,5$	151	0,96	1,15
11.	6,00	180	4,00 (NN)	P_S o $I_D=0,5$	119	0,68	1,00
12.	7,50	180	3,40 (NN)	P_S o $I_D=0,5$	245	1,65	3,50
13.	6,00	250	2,00 (NN)	P_S o $I_D=0,55$	113	0,40	0,55
14.	6,00	250	1,5 (NN)	P_S o $I_D=0,55$	113	0,36	0,54

TABELA nr 3. Porównanie osiadań pali „jet grouting” obliczonych wg PN-81/B-03020 z osiadaniami rzeczywistymi

Lp.	Moduł odkształcenia gruntu E_0 [MPa]	Osiadania obliczone s [mm]	Osiadania pomierzone s_p [mm]	Wsp. zgodności η_s	Podatność osiowa pala obliczona K [MN/m]	Podatność osiowa pala pomierzona K_p [MN/m]	Wsp. zgodności η_K
1.	56	0,80	0,30	2,667	170,0	453,0	0,375
2.	63	2,10	1,90	1,105	259,5	286,8	0,905
3.	67	2,11	1,70	1,241	280,1	347,6	0,806
4.	64	2,24	1,60	1,400	263,8	369,4	0,714
5.	58	2,26	0,90	2,511	241,2	605,5	0,398
6.	67	2,08	3,80	0,547	262,0	143,4	1,827
7.	65	3,98	2,00	1,990	118,8	236,5	0,502
8.	90	2,77	7,70	0,360	280,5	100,9	2,780
9.	90	2,77	4,70	0,589	275,8	162,6	1,696
10.	90	2,77	4,00	0,693	275,8	191,0	1,444
11.	50	2,60	2,30	1,130	132,3	149,6	0,884
12.	50	3,21	4,40	0,730	142,7	104,1	1,371
13.	50	2,60	2,50	1,040	132,3	137,6	0,961
14.	50	4,14	4,20	0,986	142,7	140,7	1,014
			$\bar{\eta}$	1,214		$\bar{\eta}$	1,120
			σ	0,687		σ	0,633



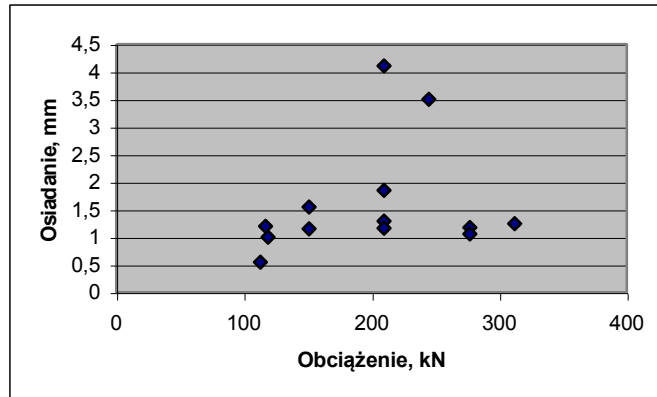
Rysunek 1. Zmienność osiadania pali „jet grouting” w funkcji obciążenia



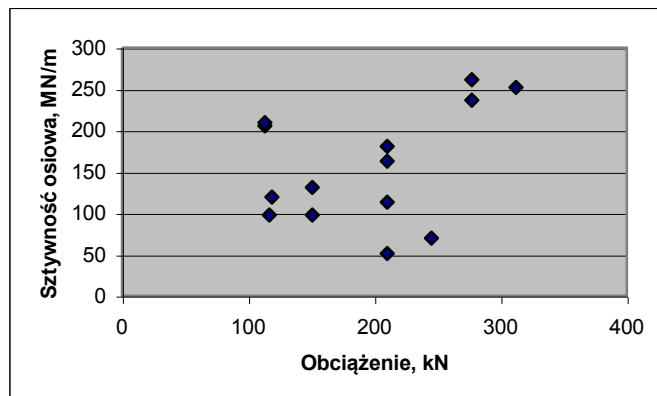
Rysunek 2. Sztwywność osiowa pali „jet grouting” w funkcji obciążenia

TABELA nr 4. Porównanie osiadań mikropali iniekcyjnych obliczonych wg metody VESICA z osiadaniami rzeczywistymi

Lp.	Moduł odkształcenia gruntu E_0 [MPa]	Osiadania obliczone s [mm]	Osiadania pomierzone s_p [mm]	Wsp. zgodności η_s	Podatność osiowa pala obliczona K [MN/m]	Podatność osiowa pala pomierzona K_p [MN/m]	Wsp. zgodności η_K
1.	46	0,72	1,20	0,600	162,5	97,5	1,667
2.	45	0,91	1,55	0,587	165,9	97,4	1,703
3.	56	1,19	1,85	0,643	176,5	113,5	1,555
4.	130	1,86	1,24	1,500	167,7	251,6	0,666
5.	130	1,65	1,17	1,410	167,9	236,7	0,709
6.	130	1,65	1,06	1,557	167,9	261,3	0,643
7.	50	2,19	1,29	1,697	95,9	162,8	0,589
8.	50	2,19	1,16	1,888	95,9	181,0	0,530
9.	55	1,61	4,10	0,392	130,4	51,2	2,547
10.	55	1,76	1,15	1,530	85,8	131,3	0,653
11.	53	1,31	1,00	1,310	90,8	119,0	0,763
12.	62	3,02	3,50	0,863	81,1	70,0	1,159
13.	70	0,65	0,55	1,182	173,8	205,4	0,846
14.	75	0,63	0,54	1,167	179,4	209,3	0,857
			$\bar{\eta}$	1,166		$\bar{\eta}$	1,063
			σ	0,455		σ	0,570



Rysunek 3. Zmienność osiadania mikropali iniekcyjnych w funkcji obciążenia



Rysunek 4. Szttywność osiowa mikropali iniekcyjnych w funkcji obciążenia

Literatura

- BORYS R., i in., 1992: *Zastosowanie techniki jet grouting w Polsce*. Materiały Konferencji: Krajowe doświadczenia wzmocnienia podłoża. Gdańsk.
- BORYS R., i in., 1992: *Fundamenty obiektów przemysłowych na mikropalach iniekcyjnych*. Krajowe doświadczenia wzmocnienia podłoża. Gdańsk.
- BUSTAMANTE M., DOIX B., 1985: *Une méthode pour le calcul des triants et des micropieux injectés*. Bull. Liaison labo P. et Ch., nr 140.
- BUSTAMANTE M., GIANESELLI L., 1994: *Nośność pionowa wiązki słupów formowanych w gruncie metodą iniekcji strumieniowej*. Inżynieria i Budownictwo nr 8.
- GWIZDAŁA K., 1980: *Zagadnienie przemieszczeń pali w ośrodku gruntowym pod wpływem obciążenia*. Archiwum Hydrotechniki, nr 1.
- GWIZDAŁA K., 1994: *Ocena zależności osiadań pali od obciążenia*. Inżynieria i Budownictwo, nr 10.
- GWIZDAŁA K., MOTAK E., 1996: *Ocena krzywej osiadania wysokociśnieniowych pali iniekcyjnych*. XLII Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZiTB. Kraków – Krynica.
- GWIZDAŁA K., MOTAK E., 1997: *Analityczna i doświadczalna ocena nośności pali fundamentowych nowych technologii*. XI Krajowa Konferencja Mechaniki Gruntów i Fundamentowania. Geotechnika w Budownictwie i Transporcie. Gdańsk.
- GWIZDAŁA K., KOKOTKIEWICZ P., 1998: *Praktyczne określenie skrócenia trzonu pala*. Inżynieria i Budownictwo, nr 11.
- GWIZDAŁA K., KOKOTKIEWICZ P., 2000: *Obliczenie skrócenia trzonu pala*. XII Krajowa Konferencja Mechaniki Gruntów i Fundamentowania. Problemy geotechniczne obszarów przybrzeżnych. Szczecin – Międzyzdroje.
- GWIZDAŁA K., KOŚCIK P., 2000: *Osiadanie pali „jet grouting” w świetle próbnych obciążeń terenowych*. Inżynieria i Budownictwo, nr 6.
- JAROMINIĄK A., 1999: *Lekkie konstrukcje oporowe*. WKŁ, Warszawa.
- KŁOSIŃSKI B., 1988: *Pale małośrednicowe*. Inżynieria i Budownictwo, nr 11.
- KŁOSIŃSKI B., 2000: *Doświadczalna ocena sztywności osiowej mikropali*. XII Krajowa Konferencja Mechaniki Gruntów i Fundamentowania. Problemy geotechniczne obszarów przybrzeżnych. Szczecin – Międzyzdroje.
- KRASIŃSKI A. i in., 1998: *Obliczanie fundamentów palowych z uwzględnieniem zmiennej podatności pal*. I Problemowa Konferencja Geotechniki. Współpraca budowlana z podłożem gruntowym. Białystok – Wigry.
- RAWICKI Z., MOTAK E., 1996: *Wybrane właściwości tworzywa gruntowo-cementowego wysokociśnieniowych pali iniekcyjnych*. Konferencja Naukowo-Techniczna. Zagadnienia Materiałowe Inżynierii Lądowej. Kraków.
- RAWICKI Z., MOTAK E., 1996: *Badania tworzywa gruntowo - cementowego wysokociśnieniowych pali iniekcyjnych*. XLII Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZiTB. Kraków – Krynica.
- RYBAK Cz., RYBAK J., 1999: *Zabezpieczenia wykopów i posadowienia obiektów z zastosowaniem technologii jet grouting*. V Konferencja Naukowo – Techniczna. Warsztaty Pracy Rzeczoznawcy Budowlanego. Kielce.
- RYBAK Cz., BORYS R., NOGA L., 1993: *Iniekcja strumieniowa – nowoczesna technologia wzmocnienia podłoża i posadowienia budowli*. Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 4.
- STOCKER M., 1994: *40 lat mikropali, 20 lat gwoździowania gruntu. Gdzie jesteśmy dzisiaj?* Inżynieria i Budownictwo, nr 8.
- ŻMUDZIŃSKI Z., 1988: *Ocena nośności mikropali iniekcyjnych na podstawie wyników próbnych badań geotechnicznych*. XXXIV Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZiTB. Krynica
- ŻMUDZIŃSKI Z., SALA A., 1992: *Analiza wyników obciążeń próbnych mikropali iniekcyjnych w gruncie niespoistym i spoistym*. Krajowe doświadczenia wzmocnienia podłoża. Gdańsk.
- ŻMUDZIŃSKI Z., MOTAK E., 1995: *Ocena obliczeniowa nośności pali wykonywanych metodą wysokociśnieniowej iniekcji strumieniowej*. Problemy Naukowo-Badawcze Konstrukcji Inżynierskich. Monografia 194. Politechnika Krakowska. Kraków.
- ŻMUDZIŃSKI Z., MOTAK E., 1995: *Badania nośności i tworzywa pali iniekcyjnych jet*

grouting. Zeszyt 3-B. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej. Kraków.
PN-81/B-03020. *Posadowienie bezpośrednie budowli*.
PN-83/B-02482. *Nośność pali i fundamentów palowych*.

Summary

Analysis of settlements of single injected piles in the light of the field load tests.

In this paper was done the loading test results survey of injected micropiles and "jet grouting" 's piles. These loading tests have been done on the structure realized by "Geoservice" Company from Wrocław. On the basis of the received results, the axial stiffness of the piles was described and the measured settlements were compared with the analytical solutions.

Autor's adress:

Przemysław Kościak

Przedsiębiorstwo „Gesoervice” Sp. z o. o.
ul. Odrzańska 23, 50-114 Wrocław
Poland