

- [23] Y. Marchadour., B. Jacob, *Development and implementation of a WIM network for enforcement in France* Proceedings of the International Conference on Heavy Vehicles, 5<sup>th</sup> International Conference on Weigh-in-Motion of Heavy Vehicles. Paryż. Wiley, 2008, s. 266–274
- [24] M. Mikłasz, A. Nowosielski, G. Kawka, Ł. Kwiatkowski, *Ważenie pojazdów w ruchu. Rozwiązania i praktyka w Polsce. Magazyn Autostrady*, Nr 5/2011, s. 164–169
- [25] C. Penant, *A brief review of tyre-pavement interaction and an insight on new regulation on tyre rolling resistance in Europe* Proceedings of the International Conference on Heavy Vehicles, 10<sup>th</sup> International Symposium on Heavy Vehicle Transport Technologies. Paryż. Wiley, 2008, s. 125–136
- [26] S. Rembeau, C. Follin, D. Stanczyk, *The French National WIM Network "SIREDO" Pre-Proceedings, COST323 – Weigh in Motion of Road Vehicles, 2<sup>nd</sup> European Conference.* – Lisbona: Office for Official Publications of the European Communities, 1998, s. 47–54.
- [27] R. Sroka, *Raport Końcowy z realizacji projektu badawczego nr 4 T10C 026 25 Dokładne wieloczułkowe systemy ważenia pojazdów samochodowych w ruchu.* Kraków: AGH – UST, 2006
- [28] Z. Tabor *Nacisk 11,5 tony na oś – Wyznaczenie obciążenia ruchem projektowanych nawierzchni po przystąpieniu Polski do Unii Europejskiej* Magazyn Autostrady 10/2005, s. 34–36
- [29] R. Thomson, A. Krusper, *Crash compatibility between heavy foods vehicles and passenger cars: structural interaction analysis and In-depth accident analysis.* Proceedings of the International Conference on Heavy Vehicles, 10<sup>th</sup> International Symposium on Heavy Vehicle Transport Technologies. Paryż. Wiley, 2008, s. 181–190
- [30] F.J. Van Loo, *WIM-Hand Project, 1<sup>st</sup> Intermediate Report – Results of the first phase of the „Weigh-In-Motion for direct Enforcement” Project In 2000* Delft: Road and Hydraulic Engineering Division, 2001
- [31] R. Wardęga, *Analiza nacisków osi pojazdów ciężarowych na nawierzchnie drogowe.* Drogownictwo, Nr 11/2010, s. 400–408
- [32] R. Wardęga, A. Szydło, P. Mackiewicz, K.J. Kowalski, *Wykorzystanie wag HS-WIM na polskich drogach,* Drogownictwo, Nr 4/2007, s. 117–121 ■



ANDRZEJ JAROMINIAK

andrzejjarominiak@gmail.com

Artykuł dotyczy tematu, który Autor przedstawił wcześniej w „Inżynierii i Budownictwie” (Nr 7-8, 2013, poz. 7 Bibliografii). Redakcja DROGOWNICTWA zdecydowała się opublikować ten materiał, ze względu na ważność poruszonych w nim zagadnień oraz uwzględniając różnice treści obu artykułów. W „Inżynierii i Budownictwie” Autor wypuklił zagadnienia projektowe, w DROGOWNICTWIE rozwinął zagadnienia technologiczne.

Iniekcja pod stopy wielkośrednicowych pali wierconych jest wykonywana od ponad półwiecza – od czasu zastosowania jej w 1961 r. przez Francuza, prof. J. Kerisela w budowie fundamentów podpór mostu przez jezioro Maracaibo w Wenezueli. W Polsce stosujemy tę iniekcję od 1991 r. [4]. Mimo upływu ponad 20 lat, używane obecnie w kraju technologie iniekcji pod stopy pali są nieprawidłowe. Dotyczy to zarówno technologii opracowanej przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów, jak i Politechnikę Gdańską. Obie nie wykorzystują możliwości, jakie daje iniekcja. Efekt obu sprowadza się głównie do minimalizacji następstw błędów wykonawcy: nieoczyszczenia dna wywierconego otworu pala, a gdy stopa pala jest w gruncie ziarnistym, to także do wzmocnienia jej podłoża, ale w ograniczonym stopniu. Nie są wykorzystywane możliwe do osiągnięcia nośności pali oraz - szczególnie ważna dla zamawiającego i inwestora - możliwość skontrolowania iniekcją pod stopy nośności każdego pala. Nie jest wykorzystywany istotny walor iniekcji, który ma podstawowe znaczenie dla zamawiającego i projektanta: możliwość skontrolowania iniekcją pod stopę nośności **każdego** pala. Poglądy na temat iniekcji pod stopy pali, np. że wpływa ona

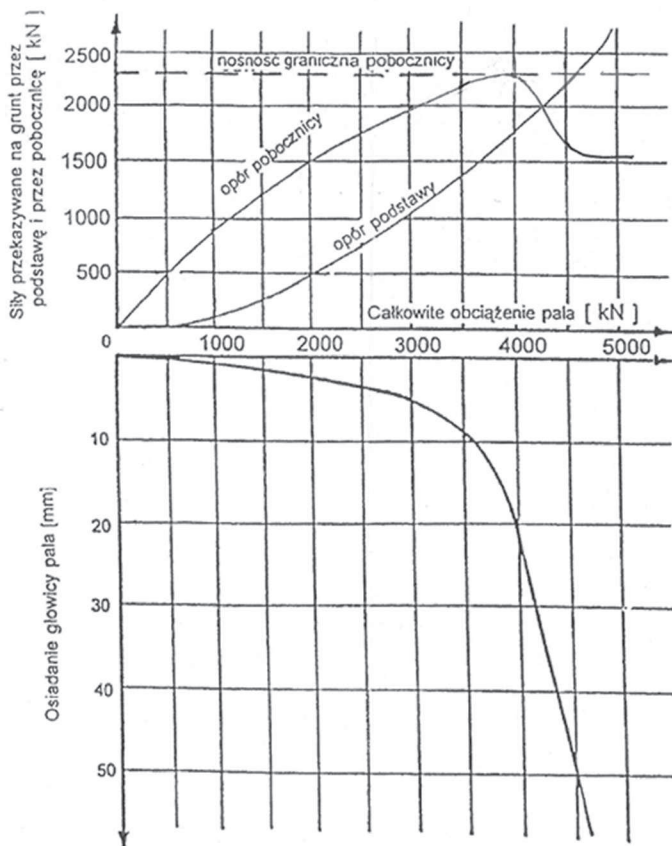
szczególnie na zwiększenie nośności pali w gruntach spolistych [11] sprawiają wrażenie, że zajmujący się tą iniekcją nie w pełni rozumieją jej istotę.

## Zjawiska wpływające na zachowanie się pala wierconego pod obciążeniem osiowym

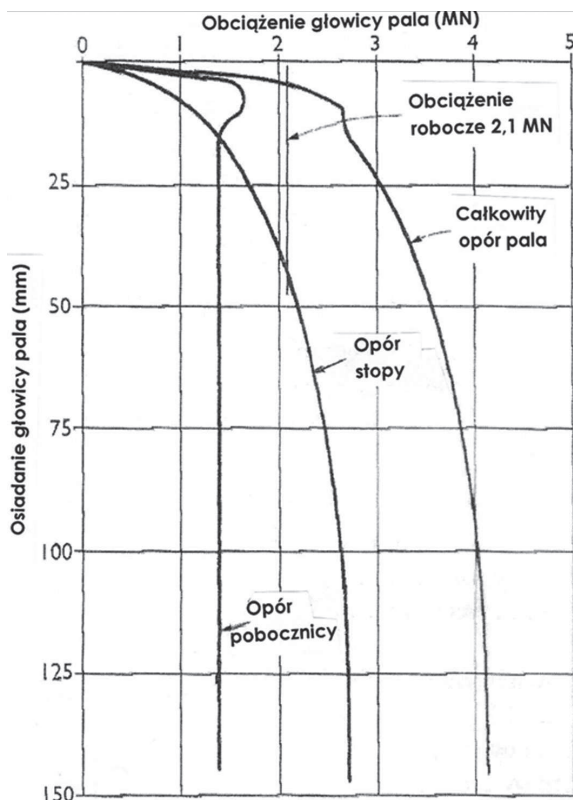
Konwencjonalny (bez iniekcji) wielkośrednicowy pal wiercony obciążony osiowo charakteryzuje się relatywnie małą nośnością stopy. Jest to następstwem:

(1) Naruszenia gruntu w strefie stopy pala wskutek wiercenia jego otworu, relaksacji (odprężenia) podłoża otworu wywołanej zwierceniem nadkładu, napływu wody gruntowej, gdy zwierciadło cieczy w otworze pala jest na zbyt niskim poziomie oraz nadmiernej szybkości wyciągania z otworu narzędzia wierzącego (zależnie od głębokości otworu i szybkości wyciągania, ciecz spływa pod świder z prędkością od kilku do kilkunastu m/s, powodując silną erozję dna i ścian niezarusowanego otworu). W praktyce naruszenia gruntu nie daje się uniknąć. Osiadanie pala konieczne do likwidacji naruszenia podłoża stopy i zmobilizowania znaczącego jej oporu zwykle przekracza wartość dopuszczalnego osiadania pala.

(2) Nieoczyszczenia dna wywierconego otworu pala ze zwiercin i osadów. Są to szczątki, które wypadły z wyciąganego świdra, odpadły ze ścian otworu i sedymentowały z zawiesiny wiertniczej. Warstwa szczątków jest tym grubsza, im więcej czasu upływa pomiędzy zakończeniem wiercenia i rozpoczęciem betonowania pala. Część szczątków gromadzi się w zagłębieniach dna pozostawionych przez narzędzie



Rys. 1. Poglądowy wykres rozkładu całkowitego osiowego obciążenia pala na pobocznice i stopę oraz ich związku z osiadaniami pala



Rys. 2. Poglądowe wykresy zmian oporów pobocznic, stopy i całego pala w miarę zwiększania obciążenia osiowego oraz zwiększania osiadań pala [12].



Rys. 3. Kosze wypełnione otoczkami użyte do rozprowadzania iniektu pod stopami pali pylonów mostu podwieszanego Chaco/Corrientes przez Paranę w Argentynie. Pale mają średnicę 1,8 m, długość 48 m, z tego 27 m w gruncie poniżej dna rzeki o głębokości 21 m. Kosz opuszczano na dno otworu pala przed osadzeniem w nim szkieletu zbrojeniowego [World Construction, March, 1974]

wiertnicze, część – może być na nim nierównomiernie rozłożona. Ponadto mieszanka betonowa wypływająca na dno otworu spycha szczątki do jego obwodu, gdzie tworzą ściślij pierścienie. Nierównomierne rozmieszczenie zanieczyszczeń na dnie zmniejsza powierzchnię nośną stopy pala. Aby w tych warunkach zmobilizować tę nośność, konieczne jest duże osiadanie pala, wielokrotnie większe, niż po starannym oczyszczeniu dna.

Zależnie od rodzaju gruntu i sposobu wiercenia, obciążenie wykonanego pala wywołuje jedno zjawisko lub kombinację kilku zjawisk, które zilustrowano na rys. 1 i 2. Widać na nich, że:

- najpierw obciążenie przejmuje pobocznica pala, a dopiero po wystąpieniu kilkumilimetrowego osiadania zaczyna włączać się stopa – opory stopy przyrastają z opóźnieniem w stosunku do oporów pobocznic i zwiększają się z każdym zwiększeniem obciążenia pala; opóźnienie włączania się stopy jest następstwem zmniejszenia sztywności jej podłoża spowodowanego odprężeniem, rozluźnieniem przez wiercenie otworu i szczątkami pozostałymi na dnie otworu,
- opory pobocznic rosną do wartości granicznej (maksymalnego oporu w stanie spoczynku), a po jej przekroczeniu zmniejszają się do wartości rezydualnej i dalej pozostają praktycznie niezmiennie; największe zmniejszenie oporu występuje w piasku scementowanym i gruntach ilastych wrażliwych na przerobienie; Coyle i Reese, 1966, stwierdzili w ilach maksymalny opór pobocznic przy osiadanii pala 20 mm i następnie zmniejszenie jej oporu o ponad 30%,
- tak długo, jak obciążenie osiowe pala nie przekracza granicznej nośności pobocznic, głównie ona przenosi obciążenie i osiadanie pala jest bardzo małe; po przekroczeniu oporu granicznego pobocznic, obciążenie w coraz większym stopniu przejmuje stopa i przyrost osiadania pala znacznie się zwiększa.

Graniczny opór poboczniczy występuje przy stosunkowo małych osiadaniach, w porównaniu z osiadaniem mobilizującymi graniczną nośność stopy. Opór poboczniczy zwykle osiąga 50% wartości granicznej, gdy osiadanie pała wynosi około 0,2% jego średnicy (D), a pełną wartość graniczną – gdy osiadanie wynosi  $0,5 \div 1,0\%$  D (np. w przypadku poboczniczy pała  $\varnothing$  1500 mm przy osiadaniu  $7,5 \div 15$  mm). Przy pełnym oporze poboczniczy jest zwykle mobilizowana tylko 1/3 nośności stopy. Natomiast mobilizacja 50% jej nośności zwykle występuje przy osiadaniu pała wynoszącym 2% D, zaś pełna mobilizacja – przy osiadaniu  $10 \div 15\%$  D (np. w przypadku stopy pała  $\varnothing$  1500 mm, przy osiadaniu  $150 \div 225$  mm). Czyli graniczna nośność poboczniczy jest osiągana znacznie wcześniej niż stopy – przy osiadaniu pała 10 do 30 razy mniejszym niż osiadanie konieczne do zmobilizowania granicznej nośności stopy. Wprawdzie nośność pała ze stopą w piasku może się zwiększać do osiadania wynoszącego 15% D, ale nie ma to praktycznego znaczenia, gdyż rzadko dopuszcza się tak duże osiadanie fundamentu. Osiadanie pała obciążonego osiowo często przekracza wartość dopuszczalną na długo przed wystąpieniem znaczącego oporu stopy [8].

## Efekty iniekcji

Poprawnie wykonana iniekcja pod stopę wielkośrednicowego pała wierconego minimalizuje niekorzystne następstwa jego wykonania:

- (1) usztywnia podłoże stopy, co przy osiowym obciążeniu pała powoduje natychmiastową mobilizację jej oporu, jednocześnie z mobilizacją oporu poboczniczy,
- (2) zwiększa nośność osiową pała,
- (3) umożliwia kontrolę nośności pała – określenie rzeczywistego oporu poboczniczy i stopy.

Zwiększenie przez iniekcję nośności pała następuje w rezultacie:

- eliminacji następstw rozluźnienia wierceniem gruntu przy dolnym końcu pała i pozostawienia na dnie otworu szczątków z wiercenia,
- spetryfikowania gruntu przepuszczalnego przy stopie pała oraz w gruncie przepuszczalnym,
- krótkotrwałego przeciążenia gruntu pod stopą pała.

Pał z poprawnie wykonaną iniekcją pod stopą charakteryzuje się znacznie mniejszymi osiadaniem, niż pał bez takiej iniekcji. W niektórych warunkach gruntowych iniekcja pod stopy pali zwiększa nawet ponad trzykrotnie graniczną nośność stóp [8]. Uzyskane zwiększenie nośności stóp w różnych gruntach zawiera tabela 1.

Na budowie mostu autostradowego przez Wisłę w Toruniu Grabowcu [5], iniekcja pod stopy pali przez zainstalowane pod nimi komory, według koncepcji autora artykułu, zwiększyła nośność pali od co najmniej 25% do ponad 30%. W ten

sposób uzyskano skrócenie pali wielkośrednicowych ogółem ponad 1,5 km.

Kontrolowanie nośności każdego pała iniekcją pod stopę umożliwia stosowanie mniejszych współczynników bezpieczeństwa. Współczynnik bezpieczeństwa nośności stopy wielkośrednicowego pała wierconego z iniekcją można przyjmując o wartości  $1,35 \div 1,40$ . W celu porównania: współczynnik nośności stopy takiego pała bez iniekcji przyjmuje się o wartości 1,60, pała wbijanego – 1,30, pała CFA – 1,45. Iniekcja zwiększa niezawodność pała. Dlatego jest szczególnie celowa, gdy fundamentem jest pojedynczy pał lub mała liczba pali. Jest konieczna, gdy pale mają stanowić fundament maszyny generującej drgania (które redukują opory pobocznic) oraz gdy długo trwa wykonanie pała (co zwiększa osad na dnie jego otworu i zmniejsza opory poboczniczy).

## Mechanizmy działania iniekcji

Wykorzystuje się głównie dwa działania iniekcji: penetracyjne i zagęszczające.

**Działanie penetracyjne.** Iniekt wtlaczany pod stopę pała penetruje w pory gruntu przepuszczalnego, nie powodując znacznego jego ściśnięcia. Pod stopą pała powstaje strefa spetryfikowanego gruntu, tym większa, im iniekt jest z drobniejszego cementu, płynniejszy i ma mniejszą lepkość. Działanie penetracyjne iniekcji nie jest możliwe, gdy stosuje się urządzenie rozprowadzające ze szczelną membraną (takie, jak np. w koncepcji Politechniki Gdańskiej).

**Działanie zagęszczające.** W tym rodzaju iniekcji, iniekt nie wnika w grunt, ale go zagęszcza i konsoliduje. Pod pałem powstaje bulwa z iniektu, która rozprzestrzenia się w miarę jego wtlaczania. Do tego rodzaju iniekcji używa się iniekt gęsty, lepki, jednorodny, typowo cementowy. Gdy iniekt jest wtlaczany bezpośrednio pod pał lub w umieszczoną pod nim komorę z wiotkiej membrany, to równomiernie naciska na podłoże stopy pała. Natomiast, gdy jest wtlaczany w komorę mającą odsuwane dno z blachy, to wywołuje w podłożu pała stan równomiernego odkształcenia.

W gruntach przepuszczalnych maksymalne zwiększenie nośności pała uzyskuje się stosując początkowo iniekt płynny i o małej lepkości, a następnie gęsty. Zwiększa to skutecznie naprężenia efektywne gruntu wokół bulwy.

W geomateriałach zawierających pustki (m.in. w utworach krasowych) były przypadki poprzedzania palowych robót wiertniczych wykonaniem iniekcji rozrywającej.

## Przydatność gruntu do iniekcji pod stopy pali

Chociaż większość geomateriałów można ulepszyć techniką iniekcijną, to jej efektywność, wskutek działania zagęsz-

Tabela 1. Zwiększenia nośności stóp pali w różnych gruntach, według [9]

Rodzaj/ stan gruntu	Piasek pylasty luźny	Piasek z muszlami luźny do średnio zagęszczonego	Piasek luźny do średnio zagęszczonego	Pył zwarty	Piasek scementowany	Pył średnio zagęszczony	Il bardzo zwarty	Piasek zagęszczony
Zwiększenie nośności [%]	743	349	263	109	83	77	71	41

czającego i penetracyjnego, jest kilkakrotnie większa w gruntach ziarnistych niż w spoistych i pylastych.

**Grunty piaszczyste.** Iniekcja najskuteczniej zwiększa nośność stopy w piaskach luźnych do średnio zagęszczonych, zalegających na głębokości co najmniej kilkunastu metrów. W tych gruntach jest stosowana zarówno iniekcja penetracyjna, jak i zagęszczająca. Iniekcją penetracyjną można łatwo spetryfikować grunt pod palą, iniekcją zagęszczającą – skutecznie zwiększyć sztywność podłoża stopy pala. Obie iniekcje są realizowane iniektem cementowym.

W piaskach zagęszczonych działanie penetracyjne iniekcji jest bardzo ograniczone, a ulepszenie podłoża stopy polega głównie na zagęszczeniu gruntu rozluźnionego wierceniem i petryfikacji szczątek na dnie otworu pala. Objętość iniektu zużywanego w piaskach zagęszczonych jest znacznie mniejsza niż w luźnych i średnio zagęszczonych. W przypadku piasków występuje bezpośrednia zależność między zwiększeniem obciążenia granicznego stopy i objętością wtłoczonego pod nią iniektu cementowego.

**Grunty pylaste.** Są bardziej przepuszczalne niż ility i mniej niż piaski. Iniekcja stóp w pyłach jest mniej efektywna niż w piaskach, bardziej – niż w ilach. Ulepszenie pyłów jest bardziej podobne do ulepszenia iltów niż piasków. Iniekcje w pyły i w ility najbardziej różni wartość osiągalnego jej ciśnienia – w pyły może być większe niż jego naturalna nośność, bez iniekcji. Pyły piaszczyste można ulepszyć iniekcją zagęszczającą, z użyciem zwykłych iniektów cementowych, ale jest mniej efektywna niż w piaskach.

**Grunty ilaste.** Iniekcja powoduje jedynie nieznacznie zwiększenie nośności stopy – głównie eliminuje następstwa błędów wykonania pala: pozostawienie na dnie otworu szczątek i rozluźnienie gruntu wskutek wiercenia. Praktycznie, nie konsoliduje podłoża stopy. Czas trwania obciążenia iltu ciśnieniem iniektu nie wystarcza do spowodowania znaczącego zmniejszenia porów i zwiększenia wytrzymałości iltu na ścinanie. Sprężona woda iniektu może niekorzystnie wpłynąć na cechy wytrzymałościowe iltu, który styka się z iniektem, ale w małym zakresie przestrzennym. Duże ciśnienie iniekcji może spowodować spękania hydrauliczne matrycy iltu i jego pęcznienie w powierzchni kontaktu z iniektem. Gdy ciśnienie iniektu osiąga graniczną nośność iltu, to zaczyna go załamywać. Dlatego jako maksymalną, osiągalną w ility nośność stopy z iniekcją, należy przyjmować równoważną graniczną nośność stopy bez iniekcji, określonej w założeniu naturalnych cech iltu. Stąd, gdy iniektuje się w ility, to nie należy stosować ciśnienia przekraczającego graniczne naprężenie pod stopą konwencjonalnego pala w tym samym gruncie. Czyli efektem iniekcji w ility jest de facto tylko eliminacja szkodliwych następstw instalowania pala. Do tego, według AASHTO, górną granicą ciśnienia iniekcji w ility powinny być 4 MPa. Mimo wymienionych ograniczeń, iniekcja pod stopy pali w gruntach spoistych jest celowa, gdyż zwiększa niezawodność fundamentu palowego.

W gruntach spoistych najbardziej efektywnymi sposobami zwiększenia nośności stóp pali jest jet-grouting oraz głębokie mieszanie in situ gruntów ich podłoża ze spoiwem (metoda DSM).

Zarówno w gruntach piaszczystych i pylastych, jak i ility, poprawnie wykonana iniekcja stóp umożliwia skontrolowanie nośności pali.

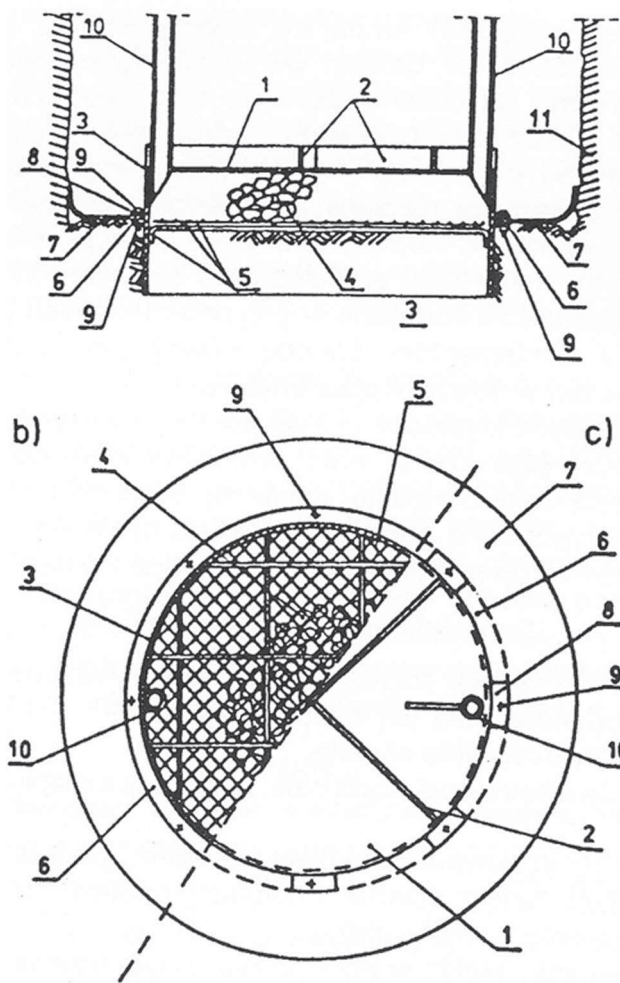
## Rozprowadzenie iniektu pod stopą pala

Warunkiem uzyskania pełnego, możliwego efektu iniekcji jest skuteczne rozprowadzenie iniektu pod całą powierzchnią stopy. Większość opracowanych systemów rozprowadzania można pogrupować następująco:

- stosujące „komory otwarte” – pakiet grubego żwiru lub otczaków, przez który iniekt rozplywa się pod całą stopą pala (rys. 3). Do tej grupy należy opracowana przez autora komora iniekcyjna (rys. 4),
- stosujące płaski siłownik mający wierzch i ściany z blachy, a dno z nieprzepuszczalnej membrany (rys. 5), albo komorę wykonaną z membrany rozdzielonej dystanserami (jak np. urządzenie Politechniki Gdańskiej (rys. 6)); dystansery mają umożliwić działanie ciśnienia iniektu pod całą powierzchnią stopy. Odmianą tego urządzenia jest zawierające w membranie jedną (u góry) lub dwie (u góry i na dole) blachy. Stosowanie urządzeń z membraną jest szczególnie wskazane, gdy stopy pali są gruncie spoistym lub w podłożu ze słabymi przewarstwieniami – wtedy uzyskuje się minimalizację szkodliwego nawodnienia gruntu wodą z iniektu oraz zapobiega się jego „ucieczce” poza strefę ulepszoną,
- zawierające zespoły rur w kształcie „U” (rys. 7). Zespół składa się z poziomego odcinka rury rozprowadzającej i połączonych z nim kolankami (90°) pionowych rur: doprowadzającej iniekt i odprowadzającej. W rurze rozprowadzającej są grupy otworów zakryte elastycznymi opaskami, spełniającymi rolę zaworów jednokierunkowych. Jest to system „TAM” – *tube-à-manchette*, wzorowany na iniekcyjnych kotwach gruntowych. Rura tego systemu, w przeciwieństwie do płaskiego siłownika, rozprowadza iniekt tylko pod częścią powierzchni stopy pala. Aby rozplynął się pod całą stopą i była możliwa kontrola nośności pala, stosuje się w nim kilka zespołów „U”. Do tej grupy należy rozwiązanie IBDiM (rys. 8), ale zawiera ono tylko jeden zespół „U”, z rurą rozprowadzającą, umieszczoną wzdłuż średnicy stopy i oddzieloną od betonu pala wiotką geotkaniną. Dlatego nie zapewnia rozprowadzenia iniektu pod całą stopą, co uniemożliwia skontrolowanie nośności pala. System „TAM” stosowano za granicą na wiele lat przed opatentowaniem rozwiązania IBDiM, ale zawsze przyjmowano w palu kilka, zwykle cztery, zespoły iniekcyjne „U” oraz, ewentualnie, na dnie otworu pala umieszczano warstwę żwiru i blachę nad rurami rozprowadzającymi.

Za granicą system „TAM” jest obecnie najbardziej popularny. Stosuje się w nim wiele odmian urządzenia rozprowadzającego iniekt pod stopą pala. Przykład z USA pokazano na rys. 9. W palach  $\varnothing$  2,5 m fundamentów pylonów mostu podwieszono Sutong przez Jangcy w Chinach zastosowano 6 zespołów „U” z 12 odcinkami rur rozprowadzających (rys. 10).

Przykładem rury „TAM” rozprowadzającej iniekt jest galwanizowany odcinek rury stalowej, o średnicy wewnętrznej 32 mm, z kilkoma zespołami po 7 par otworów średnicy 8 mm, w jednakowych rozstawach, przewierconych przez obie ściany rury (są po przeciwnych stronach średnicy i przesunięte na przemian o 90°). Każdym zespołem otworów jest zakryty elastyczną opaską z gumy o grubości 6 mm i początkowej średnicy wewnętrznej około 36 mm. Nacią-



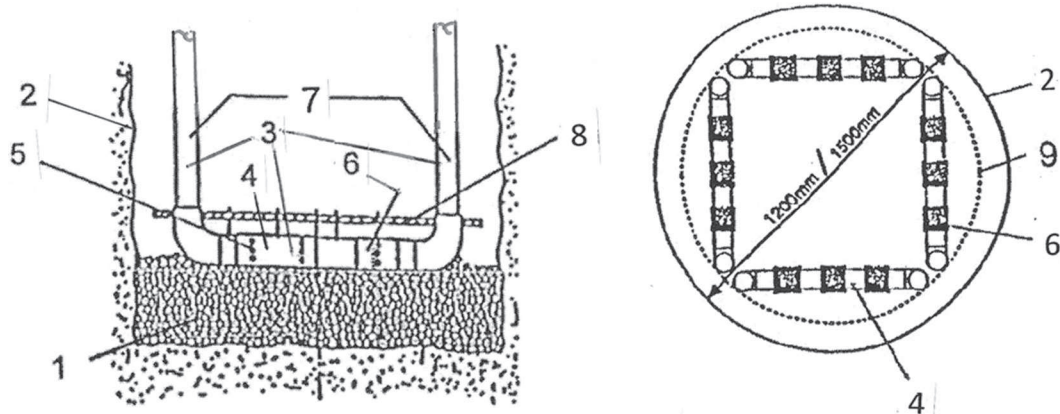
Rys. 4. Otwarta komora iniekcyjna opracowana przez autora artykułu: a – przekrój poprzeczny, b – widok od dołu, c – widok z góry; 1 – szczelna pokrywa, 2 – żebra usztywniające pokrywę, 3 – odcinek rury stalowej stanowiący ściankę komory, 4 – otoczaki średnicy 5–10 cm, 5 – siatkowe dno komory (siatka druciana ogrodzeniowa, pręty zbrojeniowe), 6 – pierścień z płaskownika, 7 – odkształcalny kołnierz (np. z PCW), 8 – nakładka dociskająca kołnierz (7) do płaskownika (6), 9 – śruby, 10 – rurki do wtlaczania iniektu i odpływowa, 11 – ściana otworu pała wywierconego w gruncie



Rys. 5. Płaski siłownik iniekcyjny: z lewej – widok ogólny [3], z prawej – widok membrany zamykającej siłownik od dołu [8]



Rys. 6. Etapy instalowania na dolnym końcu szkieletu zbrojeniowego urządzenia Politechniki Gdańskiej do rozprowadzania iniektu pod stopą pała. Budowa mostu autostradowego przez Wisłę w Grudziądzu [fot. A. Jarominiak]



Rys. 7. System iniekcji stopy „TAM” z czterema zespołami rur „U”: 1 – warstwa żwiru gruboziarnistego mieszczona na dnie otworu pała, 2 – ściana otworu, 3 – zespół rur „U”, 4 – rura zespołu „U” rozprowadzająca iniekt, 5 – otwory wypływu iniektu z rury rozprowadzającej pod stopę pała, 6 – elastyczna opaska zakrywająca otwory (5), 7 – przewody: doprowadzający i odprowadzający iniekt, 8 – blacha stalowa, 9 – kontur szkieletu zbrojeniowego

gnięcie opaski na rurę ułatwia posmarowanie jej wodą z mydłem i wtfacanie przez dyszę, między opaskę i rurę, sprężonego powietrza [9].

Iniekt w zasadzie wypływa tylko przez otwory przy końcach opaski. Pozostałe otwory umożliwiają wypływanie iniektu, gdy pierwsze zostaną zablokowane. Dlatego stosuje się małe zespoły otworów i krótkie opaski.

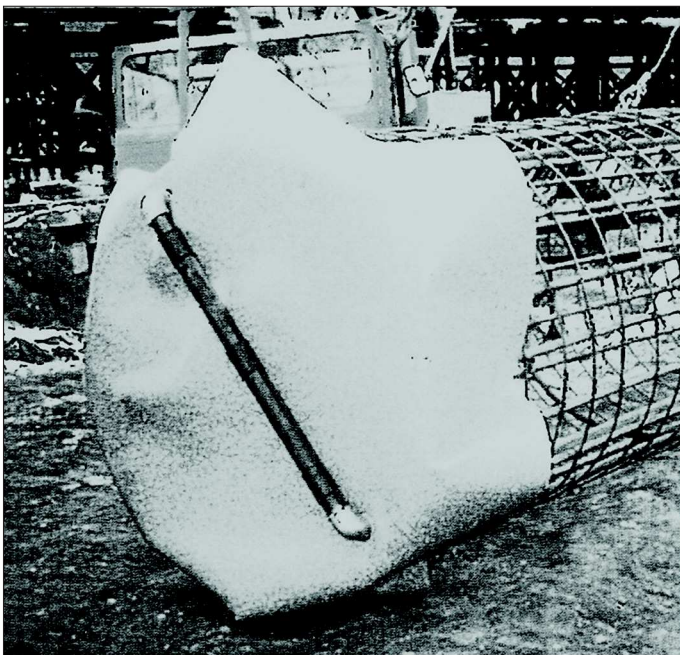
Korzystnie wpływa na rozprowadzanie iniektu umieszczenie nad rurami „TAM” stalowej blachy (grubości  $\geq 6$  mm). Blacha oddziela urządzenie rozprowadzające od betonu pała, a przez to:

- zabezpiecza je w czasie betonowania przed uszkodzeniem przez rurę wlewową,
- ułatwia iniekcję po wielu dniach od zabetonowania pała, gdy beton ma projektową wytrzymałość,
- ułatwia rozprowadzenie iniektu pod całą stopą pała,
- zapewnia kontakt iniektu z pełną powierzchnią stopy.

W rezultacie uzyskuje się dokładniejszą zależność siły unoszącej pał od ciśnienia iniektu, a przez to lepszą kontrolę procesu jego wtfacania

pod stopę i dokładniejszą ocenę nośności pała. Blacha bywa stosowana w palach nawet o średnicy większej niż 2 m, jest zbędna – w przypadku małego oporu pobocznicy.

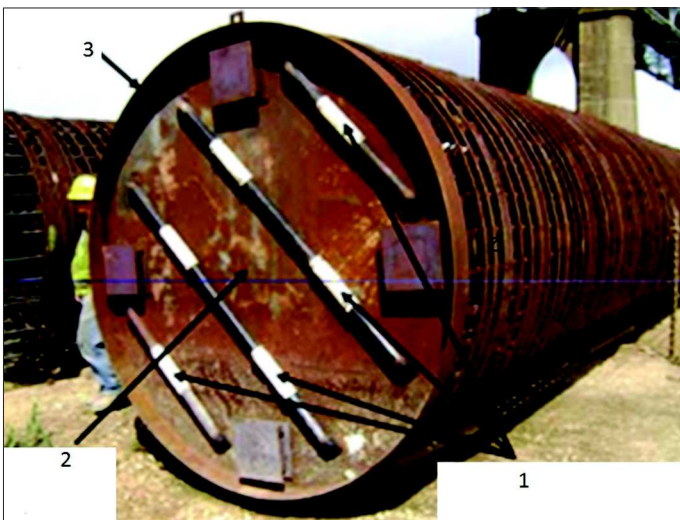
Korzystny efekt daje użycie wokół urządzenia rozprowadzającego iniekt „pierścienia wcinającego” o wysokości kilku do kilkunastu centymetrów, przyspawanego do spodu płaskiego siłownika lub do blachy nad rurami „TAM”. Pierścień chroni urządzenie rozprowadzające przed uszkodzeniem w czasie umieszczania go razem ze szkieletem zbrojeniowym w otworze pała i reguluje zakres rozplywania się iniektu pod stopą.



Rys. 8. Urządzenie IBDiM rozprawiające iniekt pod stopą pala przez jeden odcinek perforowanej rury z elastycznymi opaskami, umieszczone pod geotkaniną [fot. K. Grzegorzewicz]



Rys. 10. System rozprawiania iniektu „TAM” użyty pod stopami pali średnicy 2,5 m w moście Sutong, zawierający 2 x 6 odcinków rur rozprawiających, Chiny [1]



Rys. 9. Urządzenie rozprawiające iniekt systemu „TAM” użyte pod stopami pali średnicy 2,43 m i 2,74 m, długości 60,8 m, w fundamentach mostu przez Mississippi w Luizjanie: 1 – elastyczne opaski zakrywające otwory, 2 – blacha nad rurami rozprawiającymi, 3 – „pierścień wcinający” wokół urządzenia rozprawiającego są widoczne cztery kwadratowe blachy, które zmniejszają wciśnięcie w grunt rur rozprawiających iniekt [S. Dapp, LA Transportation Conference, 2011]

Rury doprowadzająca i odprowadzająca, połączone z urządzeniem rozprawiającym, są z PCW lub stalowe i mają średnicę 20÷50 mm.

Stosując system „TAM”, aby skutecznie rozprawiać iniekt pod całą stopą, należy przestrzegać właściwej kolejności pompowania go w poszczególne zespoły „U” zwłaszcza, gdy nad rurami rozprawiającymi nie stosuje się blachy [8].

Dużą zaletą systemu „TAM” jest możliwość etapowania iniekcji: nawet kilkakrotne przerywanie wtłaczania iniektu, przepłukiwanie instalacji wodą i wznowianie iniekcji. Pozwala to uszczelnić grunt wokół pala i ograniczyć „ucieczkę” iniektu oraz doprowadzić jego ciśnienie do wartości projektowej (rys. 1 i 2).

## Podniesienie pala przez iniekcję

Wartość dopuszczalnego podniesienia pala w czasie iniekcji ma duży wpływ na jego nośność. Od tej wartości zależą bowiem w znacznym stopniu:

- możliwe do uzyskania maksymalne ciśnienie iniekcji (stąd nośność stopy pala),
- przedział czasu, w którym iniekt wywiera nacisk na podłoże stopy i penetruje wokół podstawy pala,
- objętość wtłoczonego iniektu oraz
- stopień mobilizacji oporu poboczniczy.

Różnice podniesień poszczególnych pali fundamentu, przy takiej samej wartości ciśnienia iniekcji, świadczą o różnych warunkach gruntowych i/lub różnej jakości wykonania pali. Wartość podniesienia jest sprawdzianem technologii instalowania pali i ewentualnie sygnałem konieczności jej skorygowania. Wykonanie pali bez iniekcji stopy nie daje takich możliwości.

Powszechnie uważa się, że wtłaczanie iniektu pod stopę nie powinno spowodować podniesienia pala, przy którym zostaje przekroczony graniczny opór (tarcie/adhezja) poboczniczy, gdyż powoduje to zmniejszenie wartości oporu, w skrajnych przypadkach nawet ponad 30%.

W celu nieprzekroczenia granicznego oporu poboczniczy jest podawane dopuszczalne podniesienie pala iniekcją albo w procentach jego średnicy, rutynowo, 5% D, albo w milimetrach – zwykle 5÷6 mm; z tym że niektórzy podają jako górną

granicę podniesienia 20 mm [2]. Trzeba jednak zwrócić uwagę, że:

- bez wykonania w warunkach geotechnicznych placu budowy pala badawczego (lub pali badawczych) nie jest możliwe z zadowalającą dokładnością określenie wartości podniesienia pala, które zmobilizuje graniczny opór jego pobocznic; bez takiego badania wartość dopuszczalnego podniesienia pala jest przyjmowana ostrożnie, zbyt mała, co ma niekorzystne następstwa,
- kryterium dopuszczalnego podniesienia pala dotyczy głowicy i nie uwzględnia ruchu stopy; relacja przemieszczeń głowicy i stopy zależy także od sprężystego ścisknięcia trzonu pala; w przypadku bardzo długiego pala, nawet stosunkowo duże podniesienie stopy nie powoduje podniesienia głowicy (przy osiowym obciążeniu pala relacje obniżenia głowicy i stopy są odwrotne),
- większe podniesienie głowicy jakiegos pala niż głowic pozostałych pali grupy świadczy zwykle o nieodpowiedniej jakości wykonania tego pala.

Argumentem za niedopuszczalnością przekroczenia w czasie iniekcji stopy granicznej nośności pobocznic jest zmniejszenie jej oporu w etapie użytkowania pala. W rzeczywistości jest to jednak zagadnienie bardzo złożone. Nośność pobocznic zależy bowiem od wielu czynników:

- od warunków geotechnicznych wokół pala,
- od użytego sposobu zabezpieczania równowagi ścian otworu w czasie instalowania pala (czy był rurowany, rozparty zawieszoną wiertnicą, czy „bosy”),
- od stopnia naruszenia w czasie instalowania pala naturalnego stanu otaczających go gruntów.

Gdy otwór pala jest wywiercony w gruntach ziarnistych z rozpięciem zawieszoną bentonitową, to na ścianie otworu powstaje filtracyjne ciasto ilowe i opór pobocznic w okresie użytkowania pala praktycznie nie zależy od tego, czy w czasie iniekcji została przekroczona nośność graniczna pobocznic (czy nastąpił poślizg pala względem ściany otworu pokrytej ciastem bentonitowym). Przy instalowaniu pala w gruncie ilastym wprawdzie na ścianie otworu nie tworzy się ciasto filtracyjne, ale jest na niej „rozsmarowywany” świdrem wilgotny grunt spoisty. W jego warstwie następuje poślizg pala i można oczekiwać, że graniczny opór pobocznic pala jest wartością powtarzalną.

Gdy otwór pala wywiercono z zabezpieczeniem rurą inwentarzową, to w gruntach spoistych powierzchnia ściany jest wygładzona przez rurę i mało prawdopodobne, że znaczne przemieszczenie pala wywołane iniekcją nieodwracalnie zmniejsza opór pobocznic. Natomiast w gruntach ziarnistych, gdy pal wykonano z użyciem rury inwentarzowej, to mleko cementowe z mieszanki betonowej penetruje w grunt i tworzy wokół pala strefę wzmocnioną. Wtedy przekroczenie granicznego oporu pobocznic ewidentnie niszczy więź pala i gruntu, zmniejszając trwale nośność pobocznic. Ale i w tym przypadku może być racjonalnym podniesienie pala iniekcją kilkanaście milimetrów (nawet kosztem przekroczenia granicznej nośności pobocznic), jeżeli pozwala to zwiększyć maksymalne ciśnienie i objętość wpompowanego iniektu. Zmniejszenie nośności pobocznic wcale nie musi spowodować zmniejszenia całkowitej osiowej nośności pala, gdyż uzyskuje się zwiększony zakres polepszenia gruntu wokół jego podstawy.

Analizując konsekwencje przekroczenia granicznej nośności pobocznic w czasie iniekcji pod stopę pala należy także uwzględnić, że:

- obciążenie robocze poprawnie zaprojektowanego pala jest mniejsze niż powodujące jego stan graniczny,
- pomiędzy wywołaniem przez iniekcję stopy pala obciążenia granicznego pobocznic, a pełnym obciążeniem roboczym pala zwykle upływa kilka tygodni, jeżeli nie miesięcy, w czasie których bez wątplenia zachodzą w gruncie procesy regenerujące następstwa chwilowego przekroczenia granicznej nośności pobocznic i trwają dalej, jeżeli robocze obciążenie fundamentu nie powoduje przekroczenia granicznych nośności pobocznic pali.

Autor stosował podniesienie głowicy pala przez iniekt wtlaczany pod stopę nie kilka, ale 15 mm. Dawało to:

- możliwość skontrolowania nośności osiowej każdego pala; natomiast przy kilkumilimetrowym podniesieniu głowicy nie wiadomo, jaki jest opór graniczny pobocznic i nie można stwierdzić, czy pal spełnia wymaganie projektowe,
- dłuższy okres działania na podłożu stopy pala nacisku iniektu, a przez to skuteczniejsze, niż w przypadku krótszego czasu przy małym podniesieniu, ulepszenie gruntu wokół podstawy pala (większą wokół niej penetrację iniektu i skuteczniejszą eliminację rozluźnienia spowodowanego wierceniem).

Żadna z budowli opartych na palach, pod których stopy wykonano iniekcję z zużyciem opracowanych przez autora komór i doprowadzeniem uniesienia głowic pali do 15 mm nie osiadła nadmiernie. Uzyskiwane przy tym skrócenie pali, w stosunku do długości bez iniekcji pod stopy, zwykle przekraczało 30%.

## Maksymalne ciśnienie iniekcji

Generalnie, ciśnienie iniekcji ( $q_{in}$ ) powinno być możliwie duże, gdyż od niego zależy zwiększenie nośności pala, z tym, że w gruntach spoistych zbyt duże ciśnienie iniektu może spowodować ich spękania hydrauliczne. Iniekcja wywołuje siłę dwukierunkową: skierowaną w podłoże stopy i w górę pala. Maksymalne ciśnienie, możliwe do wywarcia na stopę, zależy od granicznego oporu pobocznic,  $T_{gr}$ , oraz średnicy,  $D$ , i ciężaru,  $Q_p$  pala (z uwzględnieniem wyporu):

$$\max q_{in} = (T_{gr} + Q_p) / 0,785 D^2 \quad (1)$$

Wymagane jest, aby po osiągnięciu docelowej wartości, ciśnienie iniekcji było utrzymywane przez kilka minut.

Opór pobocznic można zwiększyć wykonując wzdłuż trzonu pala iniekcję przez pionowe rury z otworami zakrytymi elastycznymi opaskami (metodą „TAM”), a w przypadku otworu niezarurowanego, zarówno w gruncie spoistym, jak i w niespoistym rozpartym zawieszoną mineralną lub polimerową wycinając w ścianach otworu pierścieniowe lub spiralne bruzdy (o szerokości co najmniej 75 mm, głębokości co najmniej 50 mm, w rozstawie pionowym około 0,5 m).

Ciśnienie iniektu jest bardzo ważnym parametrem sterowania iniekcją, gdyż od niego zależy zwiększenie nośności pala oraz możliwość kontroli oporu pobocznic i stopy. Po ustaleniu oporu pobocznic można zweryfikować wartość projektową ciśnienia iniekcji i określić maksymalne uniesienie gło-



wicy pała, po przekroczeniu którego opór poboczniczy zmniejsza się do wartości rezydualnej. Wtórny parametrem sterowania jest czas utrzymywania ciśnienia iniektu. Może być wskaźnikiem zwiększenia nośności stopy.

## Objętość wtłoczonego iniektu

Wielokrotnie stwierdzano bezpośredni związek zwiększenia nośności pała z objętością iniektu wtłoczonego pod stopę. Jednak ten związek istnieje, gdy:

- wtłoczony iniekt pozostaje w bulwie uformowanej z niego pod stopą pała (nie odpływa poza ulepszoną strefę gruntu),
- iniekcja nie powoduje spękań hydraulicznych podłoża stopy. Dlatego często w praktyce objętość wtłoczonego iniektu ma mały wpływ na nośność stopy pała [8].

Objętość iniektu wtłoczonego pod stopę pała zależy od:

- jego średnicy,
- zastosowanego urządzenia rozprowadzającego,
- maksymalnego ciśnienia iniekcji,
- stanu gruntu wokół podstawy pała (naturalnego naruszenia gruntu, pustek w nim, odpływu iniektu w stabe lub uwarstwione geomateriały).

Najmniejsza projektowa objętość wtłoczonego iniektu powinna odpowiadać objętości odcinka pała długości około  $0,15 \div 0,20$  m, natomiast maksymalna – długości  $0,6 \div 0,8$  m. (podane wartości nie dotyczą stosowania płaskiego siłownika). Zwykle wymagane jest, aby minimalna objętość wtłoczonego iniektu nie była mniejsza niż 80% minimalnej wartości projektowej.

Najsukutekniej można regulować objętość wtłaczanego iniektu, gdy jest rozprowadzany pod stopą pała systemem „TAM”, ponieważ umożliwia on przerwanie iniekcji, gdy wtłaczana objętość iniektu zaczyna znacznie przekraczać wartość minimalną i wznowienie iniektowania po kilku godzinach. Parametrami kontrolnymi takiej iniekcji są: maksymalna objętość wtłaczania w etapie i minimalne ciśnienie iniektu. Podstawą ustalenia maksymalnej objętości jest rozsądne założenie objętości bulwy iniekcyjnej, uwzględniające warunki geotechniczne wokół podstawy pała.

Należy jednak zwrócić uwagę, że duże zużycie iniektu wcale nie musi być stratą – zwiększa bowiem zakres wzmocnienia gruntu naruszonego wierceniem. Świadczy o tym analiza przebiegu iniekcji pod stopy pali mostu autostradowego przez Wisłę w Toruniu Grabowcu [5]. Wykazano, że przyczyną nadmiernej objętości iniektu wtłoczonego pod kilka pali były ewidentnie nieprawidłowości ich wykonania (rozluźnienia wokół nich gruntu). Jest zupełnie nieprawdopodobne, aby koszt zwiększonego zużycia iniektu przekroczył koszt następstw wadliwego wykonania pała.

## Projektowanie

Projektowanie geotechniczne pała z iniekcją pod stopę jest procesem iteracyjnym. Wstępne projektowanie zawiera następujące kroki:

**Krok 1.** Przyjęcie średnicy i długości pała; stopa pała powinna być wprowadzona w warstwę gruntu nośnego, najlepiej ziarnistego.

**Krok 2.** Obliczenie ciężaru pała z uwzględnieniem wyporu wody ( $Q_p$ ).

**Krok 3.** Obliczenie pola powierzchni stopy ( $F_b$ ) i pól odcinków poboczniczy ( $F_{pi}$ ) pała w warstwach gruntu o różnych jednostkowych granicznych oporach tarcia/adhezji ( $T_{pi}$ ).

**Krok 4.** Obliczenie teoretycznego granicznego oporu poboczniczy pała:

$$T_{gr} = \sum F_{pi} \times T_{pi} \quad (2)$$

**Krok 5.** Obliczenie maksymalnego, możliwego ciśnienia  $P_s$  wtłaczania iniektu pod stopę pała:

$$\begin{aligned} \max q_{in} \times F_b &= T_{gr} + Q_p \\ \max q_{in} &= \frac{T_{gr} + Q_p}{F_b} \end{aligned} \quad (3)$$

$\max q_{in} \times F_b = N_b$  – graniczna nośność stopy pała po wykonaniu iniekcji;

**Krok 6.** Obliczenie dopuszczalnego osiowego obciążenia pała:

$$N_{dop} = \frac{T_{gr}}{1,3} + \frac{N_b}{S_b} \quad (4)$$

przy czym

1,3 – współczynnik bezpieczeństwa nośności poboczniczy,  
 $S_b = 1,35 \div 1,40$  – współczynnik bezpieczeństwa nośności stopy.

Jeżeli obliczone dopuszczalne obciążenie pała nie odpowiada założeniom konstrukcyjnym fundamentu, to należy zmienić wymiary pała (średnicę, długość) i powtórzyć obliczenia – do uzyskania pożądanego wyniku.

Powyższa procedura pomija wpływ na projektowanie pała z iniektowaną stopą wartości dopuszczalnego osiadania. Metodę, która to uwzględni opublikowano w [12]. Jest scharakteryzowana w artykule [7].

Każde przedsięwzięcie wymagające zainstalowania wielu pali wierconych z iniekcją stóp powinno być poprzedzone wykonaniem na placu budowy pali badawczych, przeprowadzeniem próbnych iniekcji pod ich stopy i osiowymi obciążeniami pali. Ma to na celu: sprawdzenie poprawności projektu pali, ocenę metody ich wykonania, ustalenie kryteriów iniekcji pod pale robocze oraz określenie parametrów sterowania iniekcją i uzyskanie danych do opracowania programu monitoringu wykonywania pali roboczych. Jeżeli budowy fundamentów nie poprzedzają badania pali, to dane do ewentualnej korekty projektowych parametrów iniekcji należy uzyskać podczas wykonywania jej w pierwszych palach roboczych.

## Praktyczne wskazówki dotyczące technologii iniekcji

Do iniekcji pod stopy pali stosuje się wyłącznie zawiesiny cementowe (bez piasku). Ilość cementu w mieszance iniekcyjnej powinna zapewnić wytrzymałość stwardniałego iniektu konieczną do przenoszenia maksymalnego obciążenia stopą pała. Stosunek woda/cement (w/c) iniektu powinien zapewnić jego pompowalność i uzyskanie projektowych parametrów wytrzymałości. W przypadku iniekcji z użyciem systemu „TAM” należy stosować w/c =  $0,45 \div 0,5$ . Większe wartości (w/c = 0,6) są stosowane w piaskach, gdyż odpły-

wa w nie część wody z iniektu. Jeżeli stosuje się urządzenie rozprowadzające z membraną uniemożliwiającą odpływ wody, to należy przyjąć  $w/c \leq 0,4$ ; gdy według receptury  $w/c > 0,4$ , to stosuje się środek redukujący konieczną ilość wody w iniekcji [8]. Iniekt powinien być zawieszoną semikoloidalną. Jest to konieczne do zapewnienia jego stabilności w czasie pompowania pod stopę pala. Dlatego należy wytwarzać iniekt w mieszalniku działającym z prędkością ponad 700 obrotów/min. Do wtlaczania iniektu należy stosować pompę wytwarzającą ciśnienie co najmniej o 25% wyższe niż maksymalne projektowe ciśnienie iniekcji. Pompa powinna umożliwiać regulację prędkości pompowania. Od tempa pompowania zależy bowiem zachowanie się gruntu pod stopą pala i odporność gruntu ilastego na spękania hydrauliczne. Aby zapewnić równomierny wzrost ciśnienia iniektu prędkość pompowania powinna wynosić  $1 \div 3$  l/min.

Jeżeli zmniejszają się przyrosty ciśnienia, to należy zmniejszyć prędkość pompowania lub je zatrzymać, aby umożliwić rozproszenie w gruncie ciśnienia porowego, zwiększonego iniekcją. Zmniejszenie stosunku przyrostu ciśnienia do objętości wtlaczanego iniektu wskazuje, że prawdopodobnie wystąpiły spękania gruntu. Powolne pompowanie iniektu minimalizuje spękania i unoszenie gruntu spod stopy pala, ale wydłuża iniekcję. Dlatego stałe cząstki iniektu powinny pozostawać w nim w stanie zawieszenia kilkakrotnie dłużej niż trwa pompowanie jego porcji.

Po zakończeniu betonowania pala system iniekcyjny „TAM” należy przepłukać wodą i po kilkunastu godzinach rozerwać nią beton otaczający rury rozprowadzające, stosując odpowiednio wysokie ciśnienie i mały przepływ wody. Jest to konieczne, aby umożliwić wykonanie iniekcji po osiągnięciu przez beton pala odpowiedniej wytrzymałości (zwykle po 20 dniach). Jeżeli szkielet zbrojeniowy z przymocowanymi zespołami „TAM” nie zostanie doprowadzony do dna otworu pala, to pod rurami rozprowadzającymi powstaje gruba warstwa betonu. Wtedy należy rozerwać beton bezzwłocznie po związaniu, gdy ma małą wytrzymałość. Bez tego iniekcja jest niemożliwa, gdyż nie udaje się utworzyć dróg wypływu iniektu [3].

Jeżeli przy stosowaniu płaskiego siłownika lub komory z membraną nie udaje się zwiększyć ciśnienia iniektu, to prawdopodobnie została uszkodzona membrana. Iniekcja następnego dnia też nie doprowadza do uzyskania wymaganego ciśnienia.

Głównymi parametrami sterowania iniekcją stopy pala powinny być:

- ciśnienie iniektu,
- uniesienie głowicy pala,
- objętość wtlaczanego iniektu (minimalna i maksymalna).

Parametry te należy sumiennie monitorować i na podstawie uzyskiwanych danych weryfikować projektowe wartości oporu poboczniczy i stopy oraz, ewentualnie, korygować technologię realizacji iniekcji.

## Podsumowanie

Stosowane obecnie w kraju technologie iniekcji pod stopy wielkośrednicowych pali wierconych nie wykorzystują możliwości, jakie daje ta iniekcja. Rozpowszechniono praktyki,

które uniemożliwiają osiąganie dostępnej w lokalnych warunkach geotechnicznych nośności osiowej pali oraz sprawdzenie ich nośności, a przez to nie zwiększają niezawodności fundamentów palowych. Efekty tych technologii ograniczają się do zmniejszenia (i to nie całkowicie), niekorzystnych następstw wiercenia otworów pali. Następtwem są nadmierne, zbędne koszty pali wielkośrednicowych. W celu uzyskania dostępnych nośności osiowych pali i możliwości ich kontroli, jakie daje iniekcja pod stopy, należy odstąpić od obecnej wadliwej praktyki. Podstawowym warunkiem poprawnego postępowania jest określanie w projektach pali właściwych parametrów iniekcji oraz kontrolowanie ich używania w czasie wtlaczania iniektu pod stopy pali.

Biorąc pod uwagę poziom jakości krajowego wykonawstwa wielkośrednicowych pali wierconych należy preferować stosowanie do rozprowadzania iniektu pod ich stopami komory otwarte i system „TAM”, ale z **kilkoma** zespołami „U”. Systemy z membranami powinny być stosowane głównie w gruntach spoistych.

## Bibliografia

- [1] R.B. Bittner i inni, *Design and Construction of the Sutong Bridge Foundations*. The Journal of the Deep Foundation Institute. Vol. 1 No 1. November 2007
- [2] A. Bolognesi, O. Moretto, *Stage Grouting Preloading of Large Pile on Sand*. Proc. of 8<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering (ICSMFE), Moscow, 1973
- [3] S. Dapp, D. Brown, M. Muchard, *Experiences with Base Grouted Drilled Shafts in the Southeastern US*. Proc. of 10<sup>th</sup> International Conference of Deep Foundation, Amsterdam, Netherlands, 2006
- [4] A. Jarominiak, *Posadowienie absorbera siarki w Elektrowni Bełchatów – nowa generacja fundamentów palowych*. Inżynieria i Budownictwo Nr 10/1992
- [5] A. Jarominiak, K. Trojnar, L. Folta, *Ocena skuteczności zastosowania pali z komorami iniekcyjnymi w podporach mostu autostradowego przez Wisłę koło Torunia*. Inżynieria i Budownictwo, Nr 12/2000
- [6] A. Jarominiak, *Zwiększanie nośności pali wielkośrednicowych i słupów szczelinowych*. Inżynieria i Budownictwo, Nr 6/2004
- [7] A. Jarominiak, *Problemy iniekcji pod stopy wielkośrednicowych pali wierconych*. Inżynieria i Budownictwo, Nr 7-8/2013.
- [8] G. Mullins i inni: *Post Grouting Drilled Shaft Tips, Phase I*, Final Report. Florida Department of Transportation, 2001
- [9] G. Mullins, D. Winters, *Post Grouting Drilled Shaft Tips, Phase II*, Final Report. Florida Department of Transportation, 2004
- [10] G. Mullins, D. Winters, S. Dapp, *Predicting End Bearing Capacity of Post-Grouted Drilled Shaft in Cohesionless Soils*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, April, 2006
- [11] A. Pinkowski, K. Gwizdała, *Wpływ iniekcji cementowych na osiadanie i nośność pali wierconych w glinie*. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej Nr 283/2012
- [12] M. Tomlinson, J. Woodward, *Pile Design and Construction Practice*. Fifth Edition, Taylor & Francis, London, 2010
- [13] S. Wade, B. Handley, J. Martin, *Base grouting*. Institution of Civil Engineers Manual of Geotechnical Engineering, p. 1204. London, 2012 ■

## Z prasy zagranicznej

### Symposium na temat wyzwań w zakresie infrastruktury

Europejska Federacja Drogowa (ERF) planuje symposium „Wyzwania infrastrukturalne – przyszłość drogowa”, które odbędzie się 18 czerwca w Brukseli. Tematami objęte będą m.in. przyszłe plany inwestycji infrastrukturalnych, inteligentne systemy transportu, finansowanie i innowacja.

22.05.2014 r.

[www.WorldHighways.com](http://www.WorldHighways.com)