

ZASTOSOWANIE INIEKCJI STRUMIENIOWEJ DO WZMACNIANIA POSADOWIEŃ ISTNIEJĄCYCH OBIEKTÓW BUDOWLANYCH

1. Wstęp

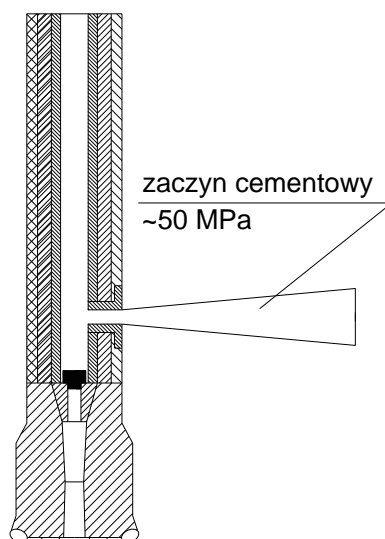
Wysokociśnieniowa iniekcja strumieniowa (*jet grouting*) jako technologia wykorzystywana do wzmocnienia podłoża gruntowego i fundamentów znana jest w świecie od trzydziestu lat. Na grunt europejski przeniesiona została z Japonii w latach siedemdziesiątych.

W Polsce pierwsze zastosowania iniekcji strumieniowej przypadają na początek lat dziewięćdziesiątych.

Proces wzmocnienia podłoża z zastosowaniem wysokociśnieniowej iniekcji strumieniowej polega na niszczeniu naturalnej struktury gruntu strumieniem iniektu (najczęściej na bazie zaczynu cementowego) wprowadzanym w środowisko gruntowe z dużą energią. Stosowane ciśnienia robocze rzędu 50 MPa oraz prędkości, z jaką iniekt wypływa z dysz iniekcyjnych (około 100 m/s) powodują odspajanie i mieszanie cząstek gruntu z wprowadzonym zaczynem.

W trakcie iniekcji, unoszenie żerdzi wiertniczej ku górze kojarzone z jednoczesnym ruchem obrotowym powoduje formowanie w gruncie pali iniekcyjnych. Lżejsze frakcje wypłukiwane są po żerdzi iniekcyjnej na powierzchnię terenu tworząc urobek technologiczny, który jest usuwany i najczęściej traktowany jako odpad poprodukcyjny. Natomiast pod powierzchnią terenu, powstaje mieszanina gruntowo-cementowa, która po związaniu osiąga znaczne wytrzymałości porównywalne z wytrzymałościami betonu.

Rozróżnia się trzy podstawowe systemy iniekcji strumieniowej: system jednomediowy (rys. 1), system dwumediowy (powietrzny lub wodny) oraz system trójmediowy.

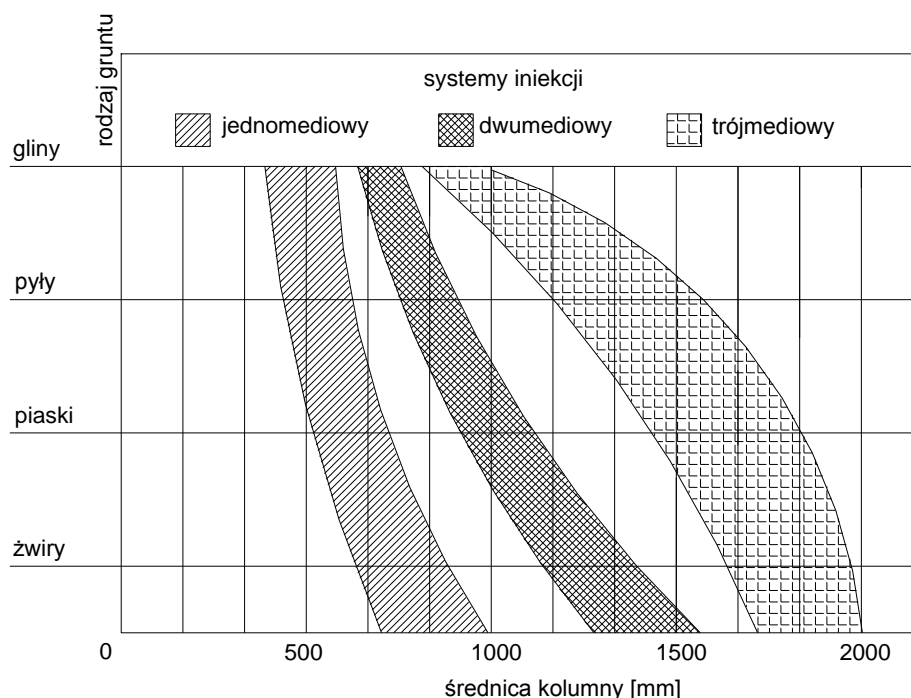


Rys. 1. Schemat głowicy iniekcyjnej w systemie jednomediowym.

¹ dr hab. inż. prof. Politechniki Gdańskiej

² dr inż. Franki Fundamenty Sp. z o. o. Poznań

Średnica formowanego z użyciem iniekcji strumieniowej pala zależy przede wszystkim od rodzaju i stanu gruntu w jakim jest formowany. I tak w glinach oraz pyłach średnice formowanych systemem jednomediowym pali zawierają się w przedziale 400÷600 mm, w piaskach 600÷800 mm, natomiast w żwirach dochodzą do 1000 mm (por. rys. 2.).



Rys. 2. Zależność pomiędzy średnicą kolumn a rodzajem gruntu i systemem prowadzenia iniekcji

2. Zastosowanie iniekcji strumieniowej

Metodę iniekcji strumieniowej stosuje się m. in. do:

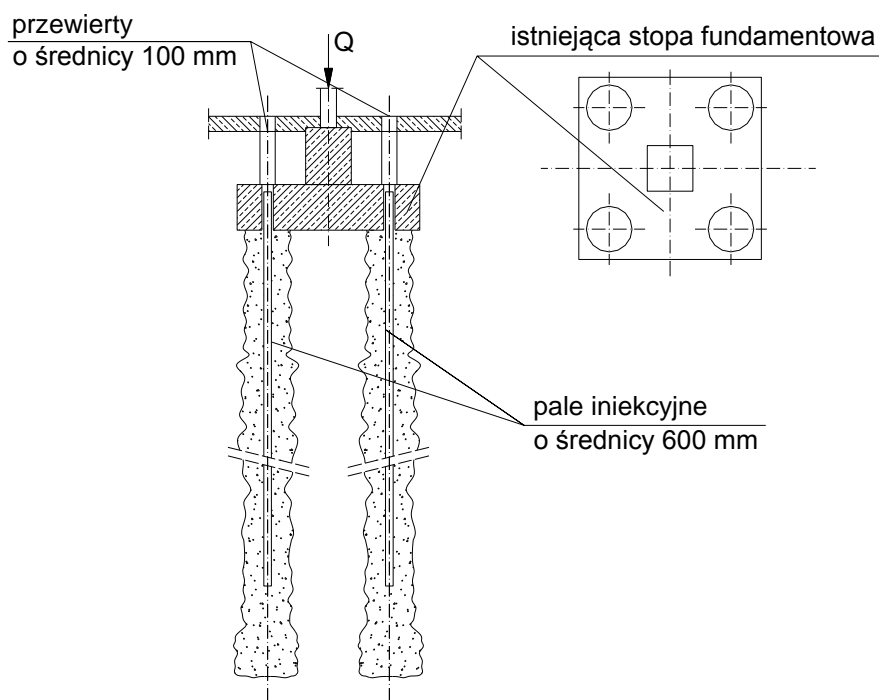
- zabezpieczania posadowienia budynków w sąsiedztwie głębokich wykopów,
- formowania tymczasowych obudów tuneli,
- zabezpieczenia budynków podczas budowy tuneli metra,
- stabilizacji osuwisk,
- formowania kotew,
- wykonywania szczelnych ekranów wokół składowisk odpadów i budowli wodnych,
- uszczelniania wałów przeciwpowodziowych,
- wzmocnienia podłoża pod nasypy drogowe i kolejowe, nawierzchnie lotniskowe oraz fundamenty podpór obiektów mostowych,
- pogłębiania fundamentów (piwnic) istniejących budynków,
- uszczelnień dna wykopów,
- zabezpieczania filarów i przyczółków obiektów drogowych oraz hydrotechnicznych przed erozją,
- formowania iniekcyjnych pali fundamentowych różnych średnic pod nowo wznoszone obiekty,
- wzmocnienia istniejących fundamentów obiektów zabytkowych (rys. 3.),



Rys. 3. Arkady Kubickiego w Warszawie (fot. Geoservice)

3. Wzmacnianie posadowień istniejących obiektów budowlanych w technologii iniekcji strumieniowej

Iniekcję strumieniową charakteryzują trzy, szczególne cechy przydatne w zastosowaniach mających związek ze wzmacnianiem posadowień obiektów budowlanych. Po pierwsze jest to możliwość stosowania niewielkich średnic przewiertów fundamentów (około $100 \div 150$ mm), po drugie bezdarurowość tych wierceń i wreszcie po trzecie przy względnie niewielkiej średnicy wiercenia utworzenie pala o znacznej średnicy (por. rys, 4).



Rys.4. Schemat wzmocnienia istniejącego fundamentu stopowego

Cechy te przy jednoczesnym zastosowaniu sprzętu wiertniczego o niewielkich gabarytach umożliwiają skuteczne wykonanie robót wzmacniających w niemalże każdych warunkach technicznych, nawet z poziomu pomieszczeń piwnicznych o wysokościach nie przekraczających 1,50 m.

Poniżej przedstawiono przykłady zastosowań iniekcji strumieniowej we wzmacnianiu istniejących obiektów budowlanych. Krótko scharakteryzowano roboty przeprowadzone na dwóch obiektach zabytkowych oraz na jednym z obiektów handlowych południowej Polski.

3.1. Centrum Handlowe Carrefour w Krakowie (wykonawca robót TS FRANKI Poznań/GEOSERVICE Wrocław)

Centrum Handlowo-Usługowe „Zakopianka” w Krakowie zostało wybudowane w roku 1997 na miejscu wyburzonych, starych zakładów przemysłowych co wymagało przeprowadzenia specjalistycznych zabiegów wzmacniających podłoże gruntowe. Zalegający na całym obszarze grunt nasypowy o zmiennej miąższości wzmocniony poprzez konsolidację dynamiczną. Po zagęszczeniu nasypów teren wyrównano i zniwelowano do rzędnej posadowienia fundamentów. Na przygotowanym w ten sposób podłożu posadowiono fundamenty oraz wykonano nasyp budowlany pod płytę posadzki.

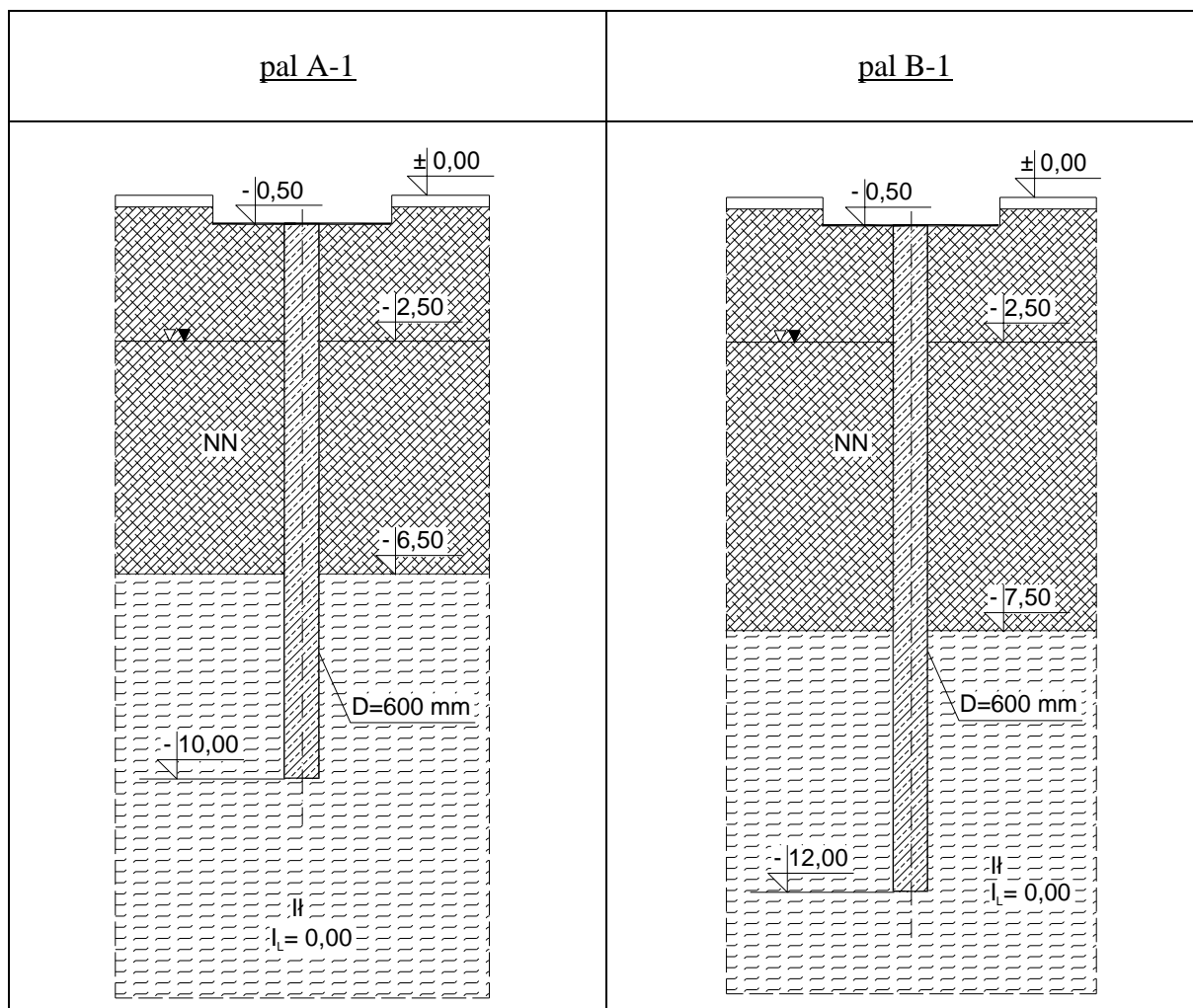
Na początku 2001 roku w rejonie jednego z budynków zaobserwowano nagle i znaczne osiadania słupów stalowej konstrukcji hali oraz spękania posadzki. Od tego czasu w rejonie tym prowadzone były ciągle obserwacje oraz zabiegi techniczne mające na celu doraźne wzmocnienie gruntu i poprawienie warunków posadowienia istniejących fundamentów. W trakcie prowadzenia robót wzmacniających wykonano odkrywki na podstawie których stwierdzono, że pod fragmentami fundamentów występują zapadliska oraz pustki. Strop gruntów nośnych w postaci twar doplastycznych lub półzwartych, trzeciorzędowych ilów mioceńskich występuje na głębokości od -4,0 do -7,80 m poniżej poziomu posadzki (rys. 5).

Występujące powyżej stropu ilów grunty stanowią bardzo niejednorodny konglomerat nasypów (z fragmentami gruzu, bloków betonowych i prawdopodobnie starych fundamentów) przemieszany z gruntami rodzimymi o bardzo zróżnicowanych cech geotechnicznych co w połączeniu ze stwierdzonymi pod fundamentami i płytą posadzki lokalnymi pustkami oraz zapadliskami uniemożliwiało potraktowanie tej warstwy jako technicznie przydatnej do posadowienia fundamentów.

W celu wzmocnienia posadowienia konstrukcji obiektu oraz posadzki zaprojektowano i wykonano wzmocnienia w postaci niezbrojonych pali iniekcyjnych o średnicach 600 mm.

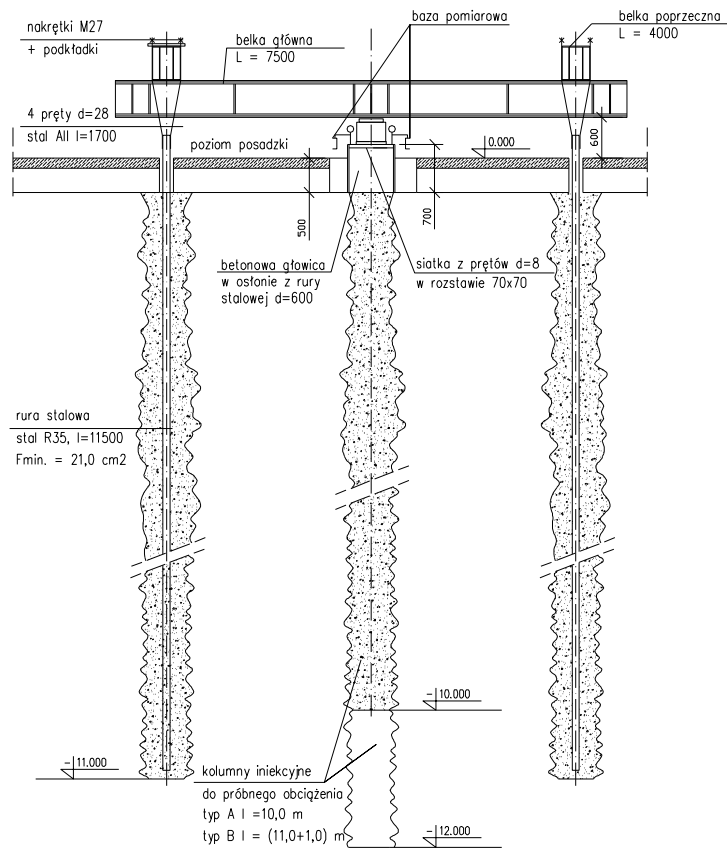
Pod fundamentami wzmacnianego obiektu wykonano łącznie 52 sztuki pali iniekcyjnych o całkowitej długości 572,0 m, natomiast pod płytą posadzki 112 szt. o całkowitej długości 1120,0 m.

Do próbnych obciążeń wykonano dodatkowo dwa pale ϕ 600 mm – jeden o długości $L = 12,0$ m, drugi o długości $L = 10,0$ m. Ze względu na przyjęty sposób przykładania obciążeń (rozpieranie siłownika hydraulicznego o zakotwioną belkę) stanowisko, oprócz pala badawczego wymagało wykonania 4 szt. pali kotwiących. Jako pale kotwiące wykorzystano pale wykonywane w ramach wzmacniania podłoża pod posadzką (por. rys. 6. Konstrukcja stanowiska do próbnych obciążeń)



Rys.5. Profile gruntu w miejscach wykonania pali iniekcyjnych

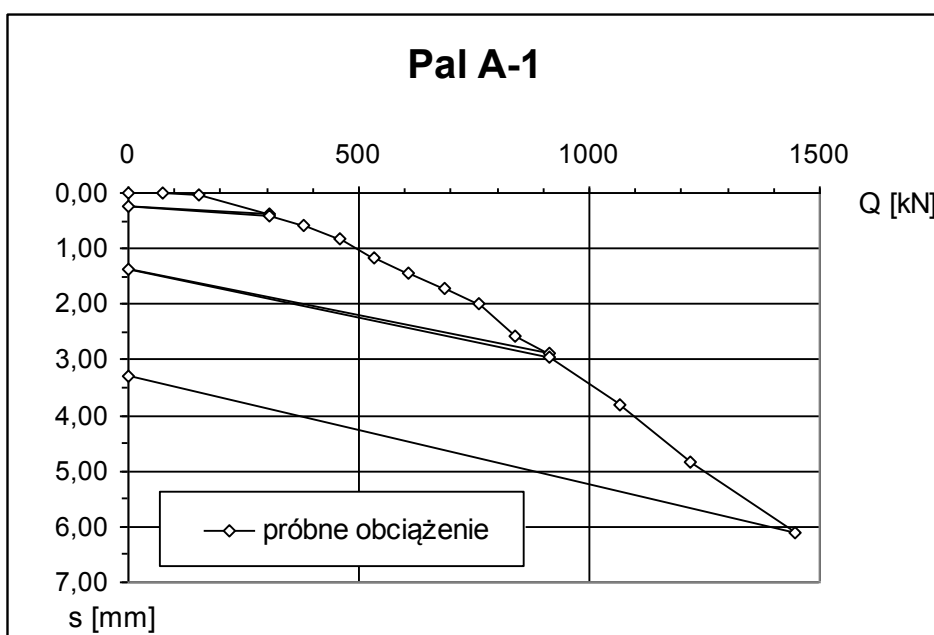
<p><u>Opis pala A-1</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - pal iniekcyjny ϕ 600 mm; - długość L = 9,5 m; - bez zbrojenia; <p>Parametry procesu iniekcji:</p> <ul style="list-style-type: none"> - system iniekcji: mono-jet; - ciśnienie iniekcji 40-45 MPa; - wydatek zaczynu – brak danych; - zaczyn z cementu hutniczego - CEM III/B 32,5 przy c/w = 2/1; - prędkość obrotowa żerdzi iniekcyjnej 20 obr./min.; - prędkość posuwu żerdzi iniekcyjnej 4 cm/10 sek 	<p><u>Opis pala B-1</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - pal iniekcyjny ϕ 600 mm; - długość L = 11,5 m; - bez zbrojenia; <p>Parametry procesu iniekcji:</p> <ul style="list-style-type: none"> - system iniekcji: mono-jet; - ciśnienie iniekcji 40-45 MPa; - wydatek zaczynu – brak danych; - zaczyn z cementu hutniczego - CEM III/B 32,5 przy c/w = 2/1; - prędkość obrotowa żerdzi iniekcyjnej 20 obr./min.; - prędkość posuwu żerdzi iniekcyjnej 4 cm/10 sek
--	---



Rys. 6. Konstrukcja stanowiska do próbnych obciążeń

Próbné obciążenia pali badawczych przeprowadzono po miesiącu od daty ich wykonania. Podczas badań zweryfikowano nośności zaprojektowanych pali, które określono dla pali pod fundamentami na 945 kN natomiast dla pali pod posadzką na 600 kN.

Krzywą zależności obciążenie osiadanie określoną w trakcie próbnego obciążenia dla pala nr A-1 przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Wynik próbnego obciążenia pala A-1

3.2. Zabytkowy „Dwór Młyniska” w Gdańsku. (wykonawca robót GEOSERVICE Wrocław)

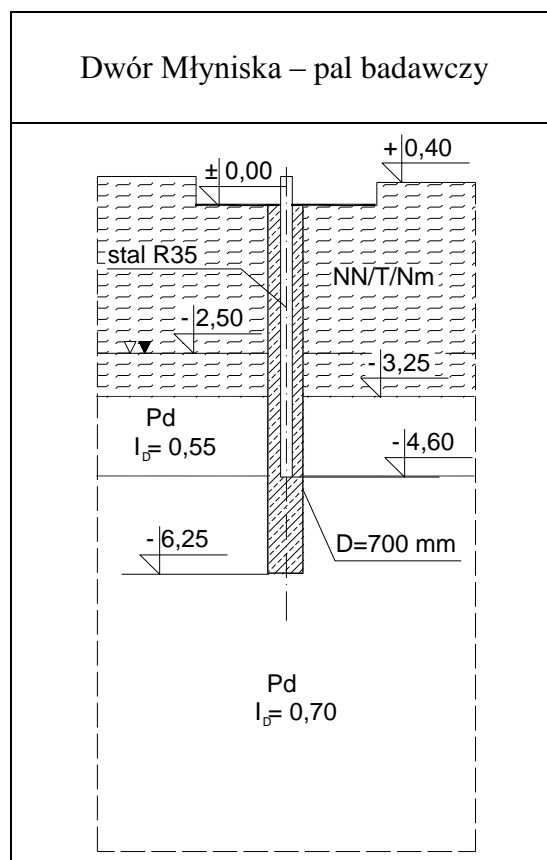
Zabytkowy „Dwór Młyniska” należący do Elektrociepłowni Gdańsk został poddany w roku 1998 generalnemu remontowi oraz rozbudowie. Ze względu na zmianę funkcji obiektu i związanym z tym wzrostem obciążeń jak również z powodu zalegających w podłożu słabonośnych gruntów zaprojektowano wzmocnienie fundamentów za pomocą studni. Ostatecznie całość prac związanych ze wzmocnieniem fundamentów zrealizowano w oparciu o technologię iniekcji strumieniowej. W sumie pod obiektem wykonano ponad 50 szt. pali iniekcyjnych o całkowitej długości około 220,0 m. W sąsiedztwie wzmocnianego budynku wykonano dodatkowy pał badawczy, który posłużył do zweryfikowania nośności pali przyjętych w projekcie wzmocnienia (por. rys. 8 i 9)

Opis badanego pala:

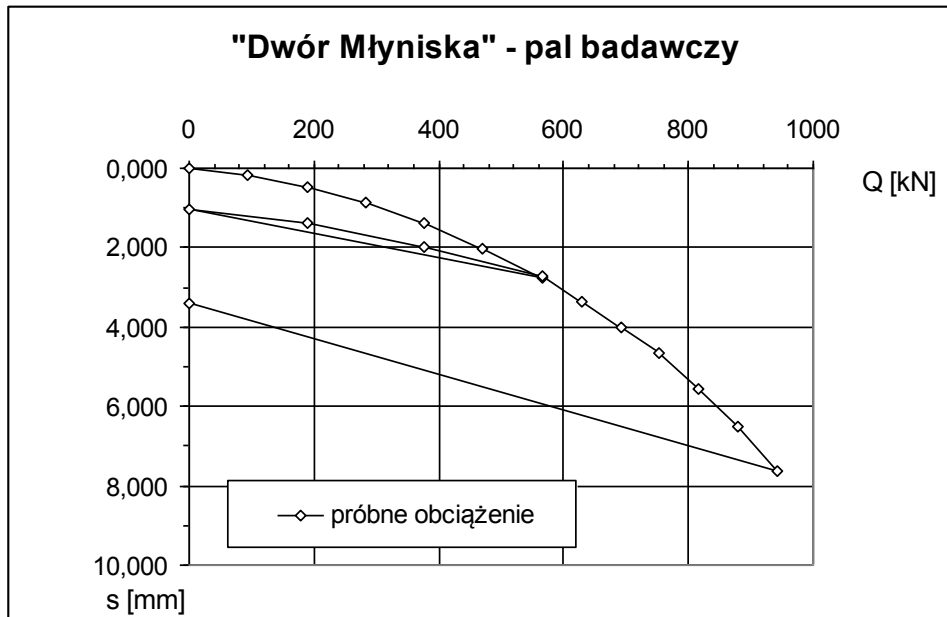
- pał iniekcyjny ϕ 700 mm;
- długość pala $L = 6,25$ m;
- długość zbrojenia $l = 4,60$ m;
- rodzaj zbrojenia: rura stalowa o przekr. $25,4 \text{ cm}^2$ ze stali R35.

Parametry procesu iniekcji:

- system iniekcji: mono-jet;
- ciśnienie iniekcji 45 - 50 MPa;
- zaczyn z cementu portlandzkiego marki 35 przy $c/w = 2/1$;
- wydatek zaczynu – 3250 dcm^3 ;
- prędkość obrotowa żerdzi iniekcyjnej 20 obr./min.;
- prędkość posuwu żerdzi iniekcyjnej 4 cm/10 sek.



Rys. 8. „Dwór Młyniska” - uśredniony profil geotechniczny w rejonie badanego pala



Rys. 9. „Dwór Młyniska” - wynik próbnego obciążenia pala badawczego

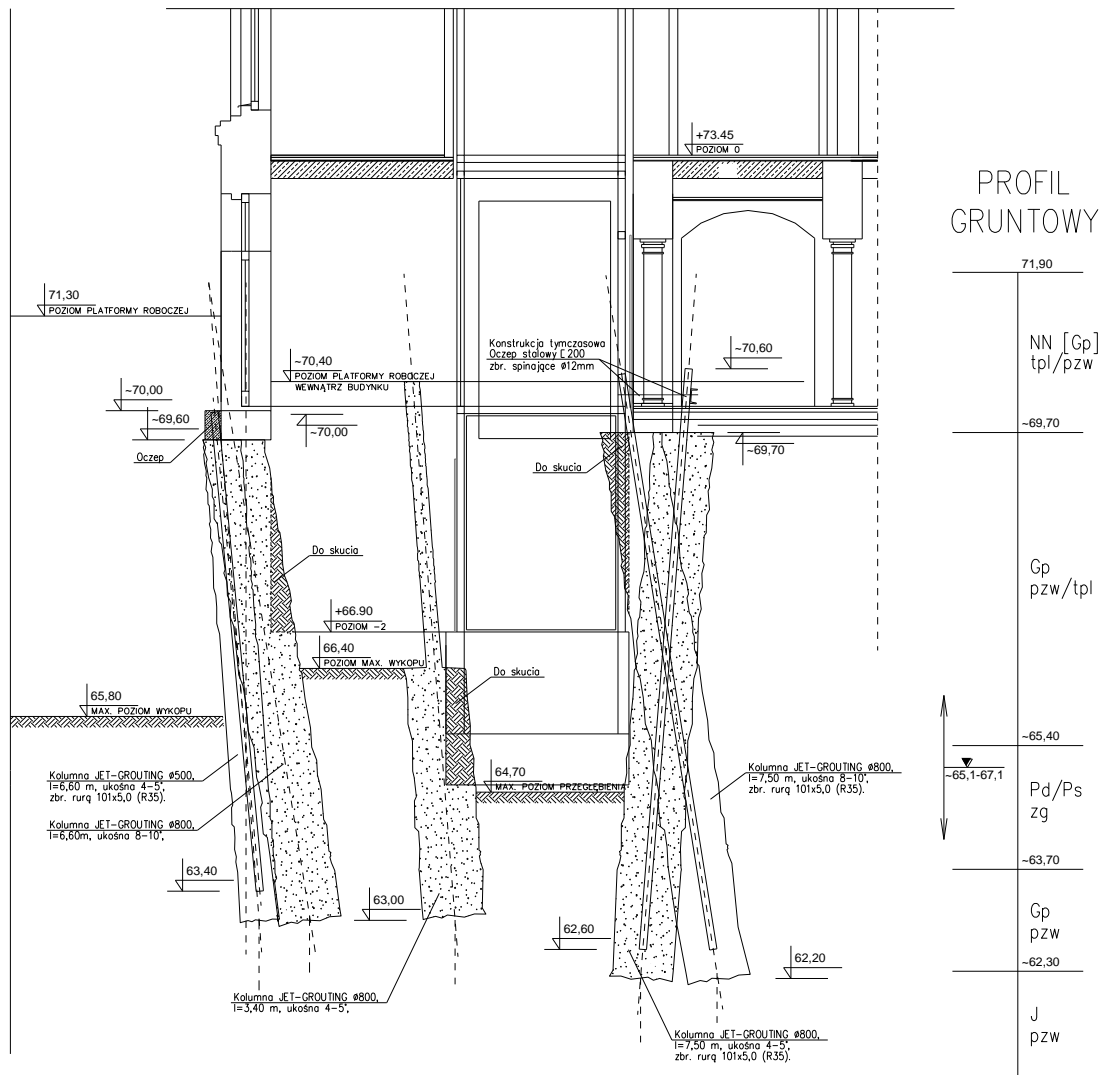
3.3. „Stary Browar” w Poznaniu (wykonawca robót TS FRANKI Poznań)

„Stary Browar” obiekt kojarzony przez mieszkańców Poznania z centrum handlowym zlokalizowanym w samym sercu miasta, powstał w roku 2003 na bazie i po gruntownej przebudowie oraz rekonstrukcji niszczących budynków dawnego Browar Hungera – nieruchomości której początki sięgają roku 1844. Z początkiem roku 2005 zapadła decyzja o dalszej rozbudowie tego potężnego obiektu z jednoczesną rewitalizacją objętych inwestycją zabytkowych budynków. Jednym z nich był XIX budynek tzw. „prokuratury”, który podlegał kompleksowej przebudowie wewnątrz w celu dostosowania ich do planowanej funkcji hotelowej. Z dawnego zabytkowego obiektu pozostały tylko ściany zewnętrzne oraz dach.

Najbardziej skomplikowanym przedsięwzięciem związanym z przebudową tego obiektu okazało się wykonanie głębokiego wykopu na długości jednej ze ścian przy projektowanej różnicy poziomu pomiędzy dnem wykopu a poziomem posadowienia budynku wynoszącym około 4,0 m. Zabezpieczenia pionowego wykopu dokonano poprzez wykonanie ściany z zachodzących na siebie kolumn iniekcyjnych o średnicach 500 i 800 mm.

W trakcie realizacji robót inwestor zdecydował o wykonaniu dodatkowej kondygnacji piwnicznej pod całością budynku „prokuratury” chcą w ten sposób zwiększyć powierzchnię użytkową obiektu. Przegłębienie piwnic o ponad 3,0 m oraz zabezpieczenie ściany głębokiego wykopu wymagało wykonania około 200 sztuk kolumn o całkowitej długości 1500,0 m (rys. 10).

Roboty wzmacniające posadowienie fundamentów wykonywane były zarówno z zewnątrz jak i z wewnątrz budynku przy użyciu małogabarytowych wiertnic. Pale iniekcyjne wykonywane były pod istniejącymi fundamentami (po ich uprzednim przewierceniu), które w większości zbudowane były z polnych kamieni o różnej wielkości powiązanych ze sobą zaprawą cementową.



Rys. 10. „Stary Browar” – schemat wzmocnienia fundamentów

4. Podsumowanie

1. Technologię iniekcji strumieniowej cechuje duża uniwersalność i możliwość wielorakiego zastosowania w prawie wszystkich rodzajach gruntów.
2. Ze względu na bezdusarowość wierceń i stosowanie małych średnic przewiertów technologia iniekcji strumieniowej nadaje się szczególnie do wzmocniania posadowień obiektów zabytkowych.
3. Technologia iniekcji strumieniowej może być stosowana do wzmocniania podłoża i realizacji posadowień obiektów budowlanych, konkurując z posadowieniem na palach innych technologii.
4. Pale iniekcyjne można zbroić prętami stalowymi, profilami stalowymi itp. Mogą one pracować na wciskanie i na wyciąganie osiągając znaczne nośności.
5. Ze względu na stosowanie zaczynów cementowych są one ekologicznie obojętne dla środowiska naturalnego.

Literatura

- [1]. Borys R., Bolsewicz L., Noga L.: Zastosowanie techniki jet grouting w Polsce. Materiały Konferencji: Krajowe doświadczenia wzmocnienia podłoża. Gdańsk 1992.
- [2]. Bukowski M., Rymsza B.: Obliczanie technologicznych osiadań fundamentu przy wzmocnianiu podłoża iniekcją strumieniową.
- [3]. Bustamante M., Gianceselli L.: Nośność pionowa wiązki słupów formowanych w gruncie metoda iniekcji strumieniowej. Inżynieria i Budownictwo, nr 8/1994.
- [4]. Gwizdała K.: Zagadnienie przemieszczeń pali w ośrodku gruntowym pod wpływem obciążenia. Archiwum Hydrotechniki, nr 1/1980.
- [5]. Gwizdała K.: Ocena zależności osiadań pali od obciążenia. Inżynieria i Budownictwo, nr 10/94.
- [6]. Gwizdała K., Motak E.: Ocena krzywej osiadania wysokociśnieniowych pali iniekcyjnych. XLII Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZiTb. Kraków –Krynica 1996.
- [7]. Gwizdała K., Motak E.: Analityczna i doświadczalna ocena nośności pali fundamentowych nowych technologii. XI Krajowa Konferencja Mechaniki Gruntów i Fundamentowania. Geotechnika w Budownictwie i Transporcie. Gdańsk 1997.
- [8]. Gwizdała K., Kokotkiewicz P.: Praktyczne określenie skrócenia trzonu pala. Inżynieria i Budownictwo, nr 11/1998.
- [9]. Gwizdała K., Kościak P.: Osiadanie pali „jet grouting” w świetle próbnych obciążeń terenowych. Inżynieria i Budownictwo, nr 6/2000.
- [10]. Kościak P.: Analiza osiadań pali pojedynczych wykonywanych technologiami iniekcyjnymi w świetle próbnych obciążeń terenowych. I Krajowa Konferencja Młodych Geotechników. Warszawa 2001.
- [11]. Rawicki Z., Motak E.: Wybrane właściwości tworzywa gruntowo-cementowego wysokociśnieniowych pali iniekcyjnych. Konferencja Naukowo-Techniczna. Zagadnienia Materiałowe Inżynierii Lądowej. Kraków 1996.
- [12]. Rawicki Z., Motak E.: Badania tworzywa gruntowo-cementowego wysokociśnieniowych pali iniekcyjnych. XLII Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZiTb. Kraków –Krynica 1996.
- [13]. Rybak Cz., Rybak J.: Zabezpieczenia wykopów i posadowienia obiektów z zastosowaniem technologii jet grouting. V Konferencja Naukowo – Techniczna. Warsztaty Pracy Rzeczoznawcy Budowlanego. Kielce 1999.
- [14]. Rybak Cz., Borys R., Noga L.: Iniekcja strumieniowa – nowoczesna technologia wzmocnienia podłoża i posadowienia budowli. Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 4/1993.
- [15]. Żmudziński Z., Motak E.: Ocena obliczeniowa nośności pali wykonywanych metodą wysokociśnieniowej iniekcji strumieniowej. Problemy Naukowo-Badawcze Konstrukcji Inżynierskich. Monografia 194. Politechnika Krakowska. Kraków 1995.
- [16]. Żmudziński Z., Motak E.: Badania nośności i tworzywa pali iniekcyjnych jet grouting. Zeszyt 3-B. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej. Kraków 1995.