

Wzmacnianie podłoża fundamentów istniejących budynków metodą iniekcji wysokociśnieniowej

Abstract

Subsoil improvement under existing buildings by jet grouting. The renovation, extension or change utilization of existing buildings usually needs improvement of the subsoil foundations condition. In this paper the experiences with practical application of the jet grouting method are presented.

Key words: jet grouting, subsoil foundation

Wstęp

Remont lub modernizacja starych budynków najczęściej wiąże się ze zwiększeniem nacisków przekazywanych przez fundament na podłoże gruntowe. Jest to efekt wymiany części materiałów lub elementów konstrukcji (najczęściej starych stropów drewnianych na znacznie cięższe stosowane obecnie) albo zmiany jego użytkowania, co wiąże się ze zwiększeniem obciążeń użytkowych. Często dobudowywane są także dodatkowe kondygnacje. Ponadto w wielu przypadkach stare fundamenty przed remontem nie spełniają wymogów obowiązujących obecnie norm. W przeszłości bowiem

często poziom posadowienia limitowany był położeniem zwierciadła wód gruntowych.

Zwiększenie nośności fundamentu można uzyskać poprzez zwiększenie jego wymiarów poziomych (zmniejszenie nacisków jednostkowych na podłoże) lub poprzez obniżenie poziomu posadowienia, co zwiększa miąższość warstwy nadkładu przeciwdziałającego wypieraniu gruntu spod fundamentu. W tradycyjnych rozwiązaniach najczęściej stosuje się metodę "podbijania" fundamentów. Sprowadza się ona do sukcesywnego odkopywania fragmentów fundamentów i wykonywania nowych głębiej posadowionych, a niekiedy poszerzonych łąw. Operacja jest bardzo niebezpieczna i zwykle wymaga specjalnego przygotowania budynku oraz okresowego wyłączenia go z użytkowania. Ponadto możliwa jest przede wszystkim w gruntach spoistych. W gruntach niespoistych należy się liczyć z ryzykiem obsypywania się do wykopu gruntu spod nie odsłoniętych fragmentów fundamentów. W przypadku nawodnionych gruntów niespoistych staje się wręcz niemożli-

*Katedra Geotechniki SGGW, ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa.

wa. Postępowanie takie nie jest zalecane dla fundamentów niezbrojonych, szczególnie murowanych z odsadzkami ceglany. Powstające w czasie remontu naprężenia rozciągające są źle przenoszone przez konstrukcję.

Wymienionych problemów można uniknąć, stosując wzmocnienie metodą iniekcji wysokociśnieniowej.

Charakterystyka metody iniekcji wysokociśnieniowej

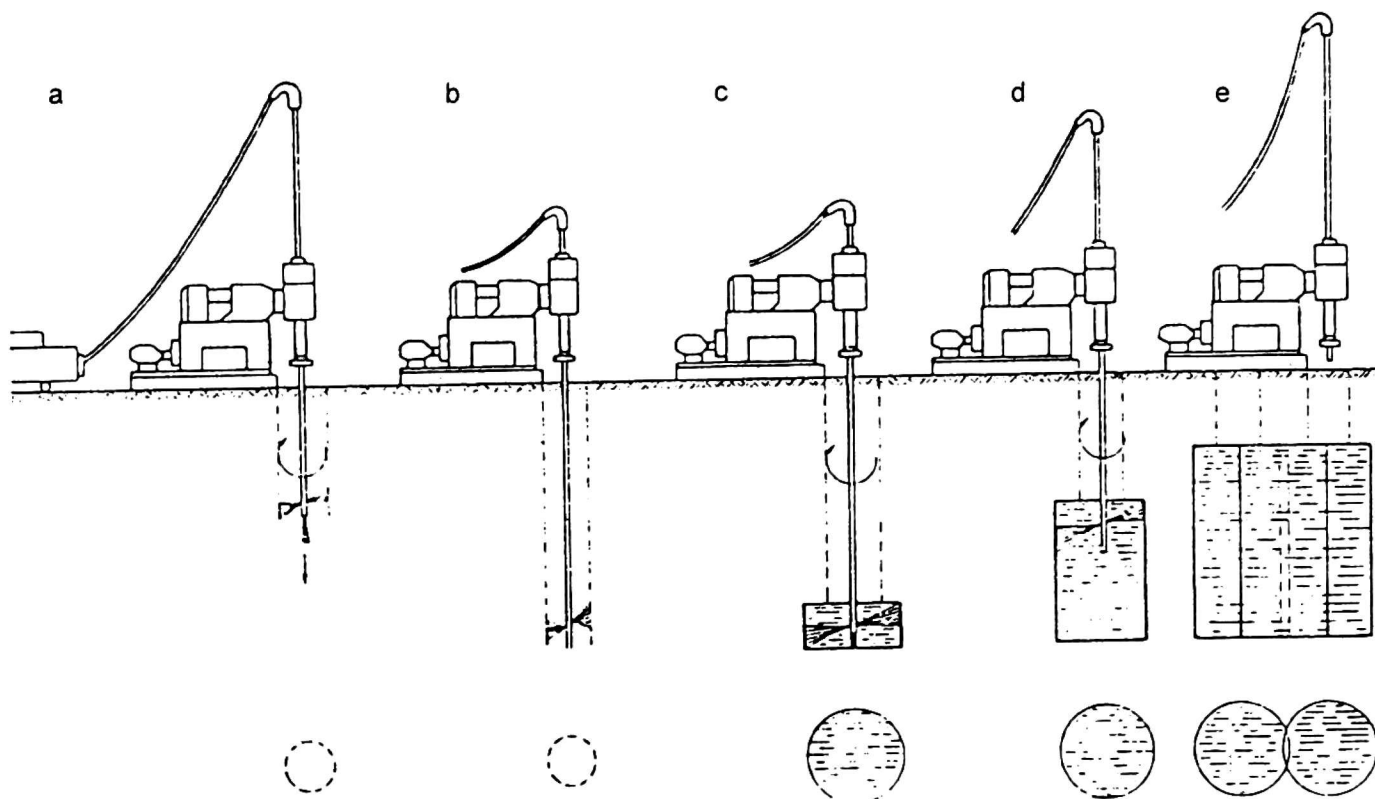
Tradycyjne metody iniekcji gruntów i skał polegają na wypełnieniu w nich porów lub szczelin wiążącym wypełniaczem, przy czym zazwyczaj struktura ośrodka nie ulega przeobrażeniu. W gruntach o drobnym uziarnieniu rozwiązanie takie jest mało skuteczne, bowiem penetracja iniektu jest bardzo ograniczona. Strefa jego rozchodzenia się jest tak niewielka, iż wiele porów pozostaje niewypełnionych. W metodzie iniekcji wysokociśnieniowej powoduje się całkowite naruszenie szkieletu gruntowego i jego całkowite wymieszanie z podawanym spoiwem.

Wynaleziona w Japonii [Miki 1973] metoda iniekcji wysokociśnieniowej (jet grouting – iniekcja strumieniowa) od dłuższego czasu z powodzeniem stosowana jest w Europie Zachodniej. Między innymi w dużym zakresie wykorzystywano ją przy budowie Eurotunelu pod kanałem La Manche. Ostatnio coraz większe uznanie znajduje w Polsce, stosowana zarówno przez firmy obce, jak i coraz częściej polskie. Istota jej polega na wprowadzeniu w grunt na żadaną głębokość specjalnej żerdzi obrotowej zakończonej

dwiema poziomymi dyszami. Jedną dyszą podawana jest woda pod ciśnieniem do 70 MPa (najczęściej 20 MPa), drugą – zaczyn cementowy pod niskim ciśnieniem. Żerdź jest obracana i podnoszona jednocześnie do góry. Rozcięty przez wodę grunt mieszany jest z zaprawą, co powoduje efekt "podziemnej betoniarki" [Biernatowski i in. 1987, Bustamante 1994]. W efekcie powstaje pal cementogruntowy, w którym kruszywem jest miejscowy grunt, spoiwem zaś podawany cement (rys. 1). Zasięg iniekcji (wynoszący od 0,6 do 3 m) i wytrzymałość cementogruntu uzależnione są od rodzaju gruntu i stosowanego ciśnienia. Najlepsze efekty uzyskuje się w żwirach oraz piaskach grubych i średnich. Na przykład w czwartorzędowych piaskach wodnolodowcowych przy ciśnieniu 20 MPa uzyskuje się pale o średnicy 0,8–1,0 m i wytrzymałości 8–10 MPa. Możliwe są również i takie rozwiązania, gdzie pod dużym ciśnieniem podaje się bezpośrednio zaprawę cementową. Niektóre technologie umożliwiają również wzmocnienia gruntów spoistych, a nawet organicznych. Stosuje się wtedy specjalną technikę odsysania z gruntu części drobnych lub wypłukiwania ich pod dużym ciśnieniem w pierwszej fazie podczas wprowadzania w podłoże obrotowej żerdzi.

Ogólne zasady wzmocniania fundamentów metodą iniekcji wysokociśnieniowej

Wzmocnienie ław fundamentowych metodą iniekcji wysokociśnieniowej sprowadza się do wykonania pod fundamentem palisady cementogruntovej. Pa-

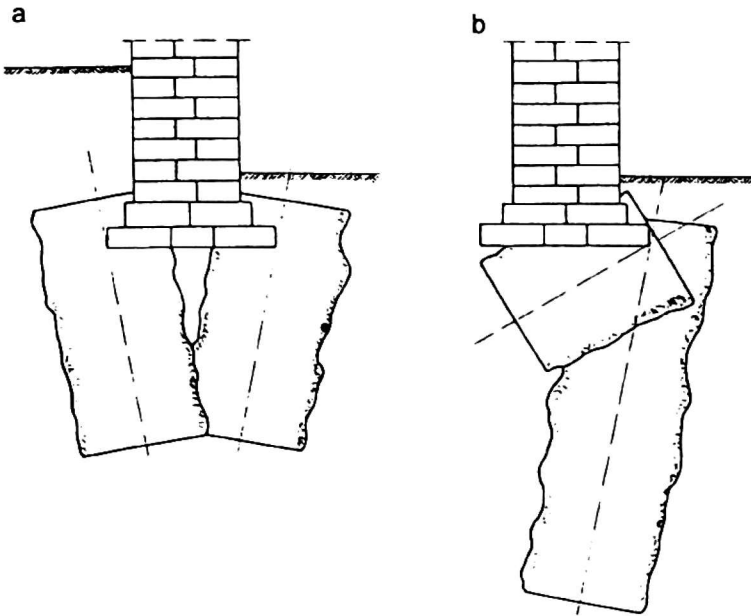


Rys. 1. Schemat wykonywania iniekcji wysokociśnieniowej [Biernatowski i in. 1987; Miki 1973]: a, b – fazy wprowadzania żerdzi, c, d – fazy formowania buławy pala cementogrunтового, e – zakończona palisada

palisada ta powinna sięgać gruntów bardziej nośnych i mniej odkształcalnych lub spowodować dostateczne zwiększenie miąższości warstwy nadkładu przeciwdziałającej wypieraniu D_{min} (rys. 2). Najlepszym rozwiązaniem będzie wykonanie palisady mijankowo, po obu stronach wzmocnianej ściany, przy czym pale powinny wzajemnie do siebie przylegać (rys. 2). W przypadku braku obustronnego dostępu (np. ze względu na istnienie sąsiedniej zabudowy) można wykonać iniekcję jednostronną. W takim przypadku w celu pełnego podparcia istniejących fundamentów niezbędne będzie wykonanie, pod niewielkim kątem do poziomu, dodatkowych buław podścielających. Kierunek posadawiania pali może być dowolny. Zaleca się także ich poprowadzenie, aby w nowym poziomie posado-

wienia oś fundamentu pokrywała się z kierunkiem działania wypadkowej obciążenia. Uniknie się wtedy powstawania charakterystycznych dla ścian zewnętrznych mimośrodów. Przy realizacji prac należy pamiętać, aby nie upłynąć jednocześnie dużych partii podłoża grunтового. Dlatego też kolejne iniekcje powinny być wykonywane w odstępie co najmniej 3 pali (co ok. 3 m).

Wzmocnione metodą iniekcji wysokociśnieniowej fundamenty pozostają nadal posadowieniem bezpośrednim. Dlatego też obliczenia statyczne posadowienia powinny być przeprowadzone zgodnie z postanowieniami normy PN-81/B-03020 *Grunty budowlane. Posadowienia bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie*. Dla sprawdzenia I stanu granicznego zazwyczaj wystarczające



Rys. 2. Zasady wzmocniania istniejących fundamentów: a – iniekcja obustronna, b – iniekcja jednostronna

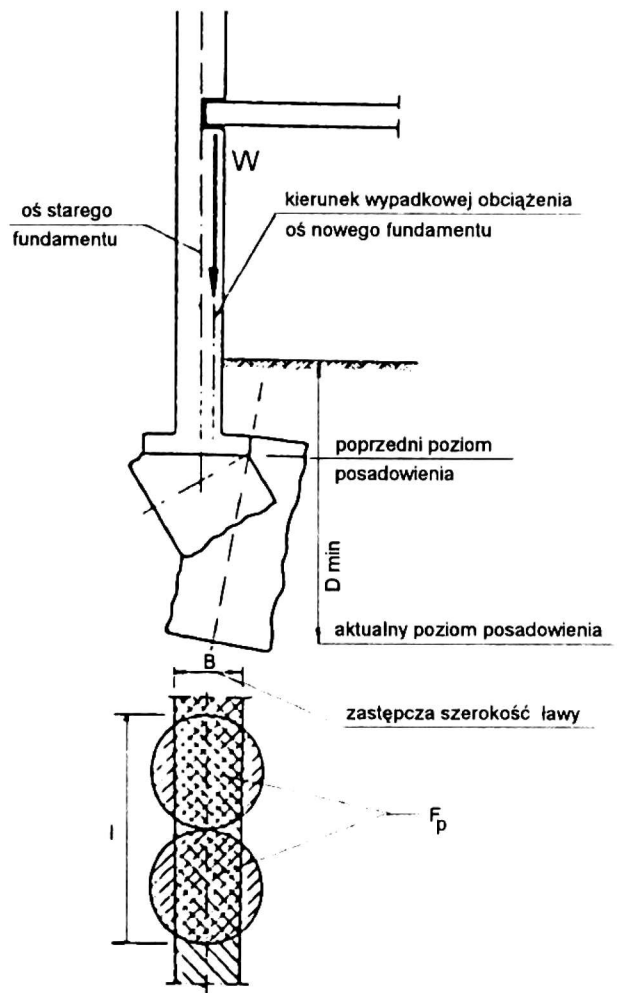
będzie wyznaczenie jednostkowego oporu granicznego podłoża q_{fn} wg wymienionej normy.

Powyższe obliczenia wymagają wyznaczenia zastępczej szerokości ławy fundamentowej. Można ją wyznaczyć poprzez podzielenie powierzchni pali tworzących palisadę (F_p) w poziomie posadowienia na określonej długości przez tę długość (L) (rys. 3).

Przykłady zastosowania

Podbijanie fundamentów starych budynków w celu wykonania w bezpośrednim sąsiedztwie budynku nowego

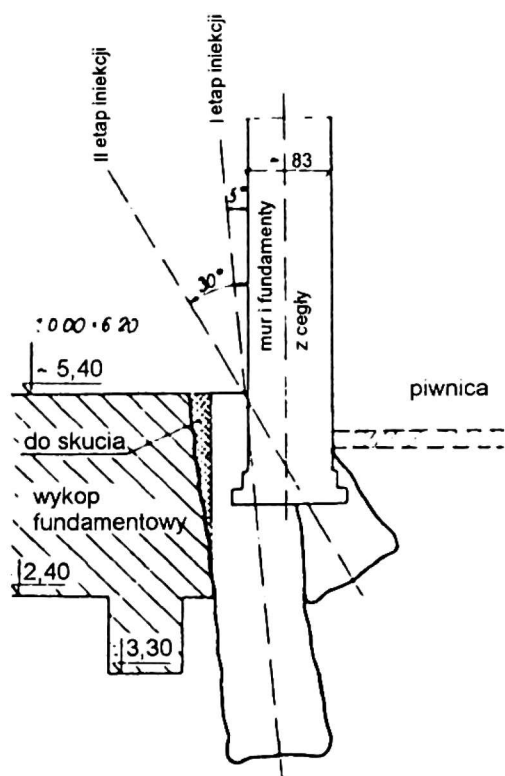
Fundamenty nowego 7-kondygnacyjnego budynku w Warszawie przy ul. Kopackiej, przylegającego jedną ścianą do budynku istniejącego, były obniżone w stosunku do fundamentów budynku istniejącego o 1,5 m [Geoteko 1993]. Aby



Rys. 3. Schemat do obliczania nośności wzmocnianych fundamentów

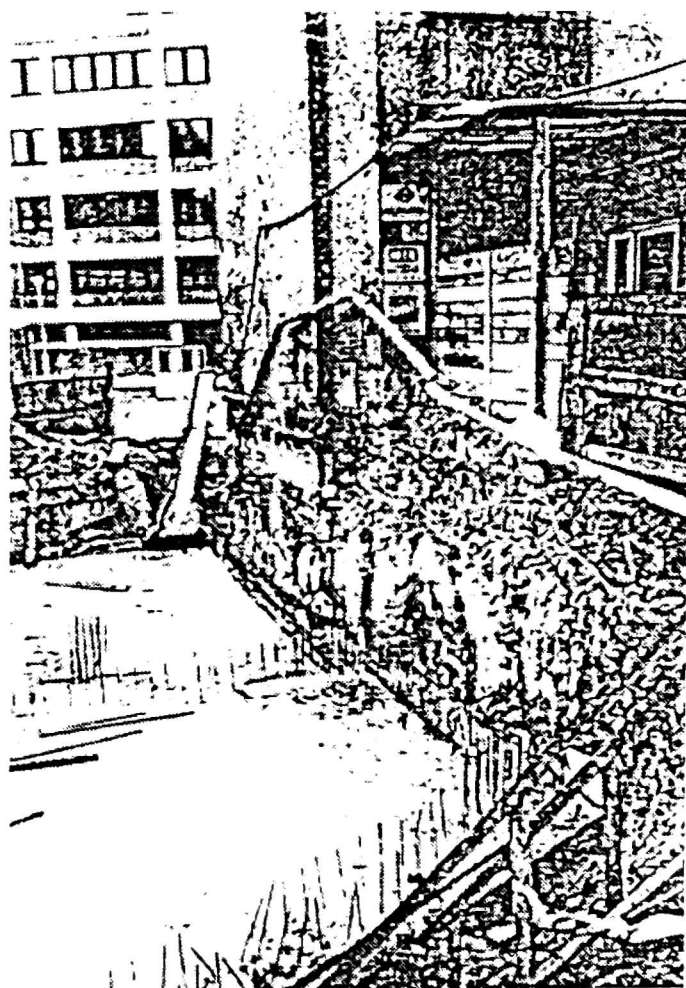
wykonać wykop fundamentowy dla posadowienia nowego budynku konieczne było wglębne wzmocnienie podłoża fundamentów przylegającej ściany budynku istniejącego, które wykonano z zewnątrz budynku za pomocą iniekcji wysokociśnieniowej (rys. 4). Iniekcja była wykonywana w gruntach piaszczystych w rozstawie punktów co 1,0 m. Średnice pali iniekcyjnych, które określono na podstawie wykonanych odkrywek, wynosiły średnio ok. 1,0 m. Roboty wykonywane były w okresie zimowym (grudzień 1993 i styczeń 1994).

W bardzo podobny sposób wykonano podbicie fundamentów istniejącego budynku w Olsztynie przy ul. B. Linki, do którego jedną ścianą przylega nowy budynek Totalizatora Sportowego [Geoteko 1994]. Iniekcję wykonano również od strony zewnętrznej budynku istniejącego,



Rys. 4. Iniekcyjne zabezpieczenie podłoża fundamentów ściany budynku przy ul. Konopackiej w Warszawie

jednakże w średniej rozstawie 75 cm, ze względu na bardzo zróżnicowane grunty podłoża (gliny piaszczyste i pylaste w stanie twaroplastycznym i plastycznym z przewarstwieniami piasków średnio zagęszczonych i zagęszczonych). Roboty wykonywano w okresie wiosennym 1994 r. Badania i pomiary wykonywane w wykopie wykazały, że pale iniekcyjne były ze sobą połączone (rys. 5). W obu wymienionych przypadkach konieczne było skucie części palisady cementogruntowej, która znalazła się w granicach wykopu pod fundamenty nowych budynków (rys. 4).



Rys. 5. Iniekcyjne zabezpieczenie podłoża fundamentów ściany budynku przy ul. B. Linka w Olsztynie (budynek z prawej – nad wylaną płytą fundamentową budynku nowego)

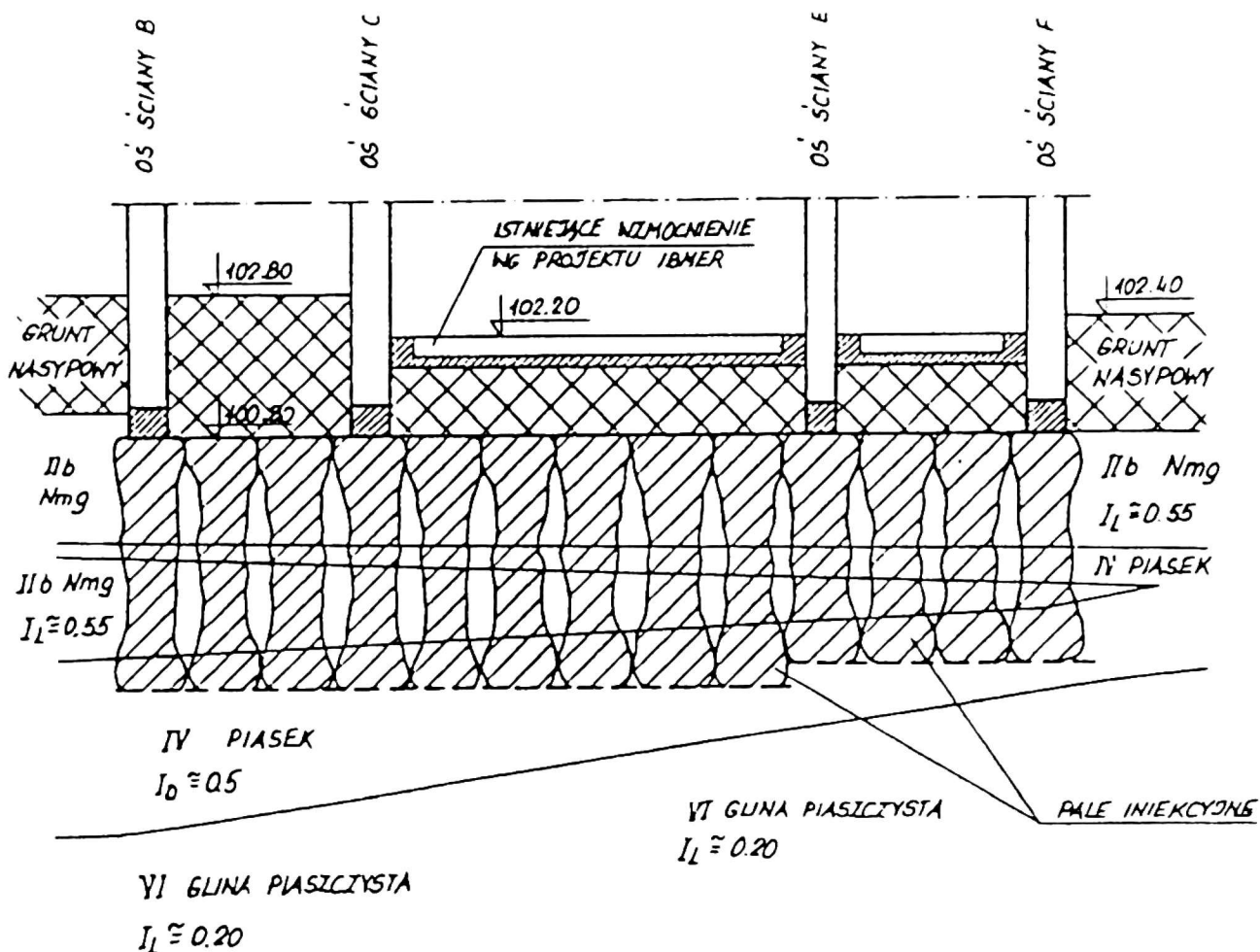
Podbijanie fundamentów w celu obniżenia poziomu posadzek i umożliwienia zwiększenia obciążeń

W 5-kondygnacyjnym budynku w Olsztynie przy pl. Wolności, w którym mieści się PH-D "Książnica Polska" Sp. z o.o. zdecydowano zagospodarować użytkowo pomieszczenia piwniczne, co wiązało się z koniecznością obniżenia poziomu posadzek w trzech głównych pomieszczeniach oraz podbicia fundamentów ścian zewnętrznych i wewnętrznych budynku [Geoteko 1994]. Część budynku posadowiona jest na średnio zagęszczonych piaskach o miąższości do 2,0 m, pod którymi znajdują się morenowe gliny piaszczyste w stanie twaroplastycznym. Gliny te zalegają bezpośrednio pod fundamentami drugiej części budynku. Woda gruntowa występuje w warstwie piasków nadmorenowych oraz w lokalnych przewarstwieniach glin zwałowych (sączenia śródglinowe).

Wykonane w rozstawie od 0,8 m (w gruntach spoistych) do 1,0 m (w gruntach niespoistych) pale iniekcyjne utworzyły szczelną palisadę. Głębokości iniekcji były: 1,0 m poniżej poziomu posadowienia istniejących fundamentów w rejonie zalegania gruntów spoistych oraz 2,5 m ppf. w rejonie występowania gruntów niespoistych. W ten sposób wszystkie podbite fundamenty zostały posadowione w warstwie glin morenowych, co pozwoliło ograniczyć dopływ wód gruntowych od strony ulicy. Iniekcja była wykonywana od strony wewnętrznej piwnic budynku. W celu zwiększenia szczelności cementogruntovej palisady do iniektu dodawano CERESIT.

W podobny sposób wykonano podbicie fundamentów innego 3-kondygnacyjnego zabytkowego budynku w Olsztynie przy ul. Okopowej 25 [Geoteko 1994]. Budynek ten (wybudowany w końcu XIX wieku i następnie rozbudowany w 1916 roku), przed przejściem go przez Stowarzyszenie Polsko-Niemieckiego Centrum Młodzieży w Olsztynie na obiekt o charakterze hotelowym, wymagał gruntownego remontu. Zasadniczego wzmocnienia wymagały fundamenty, które są posadowione na stosunkowo grubej warstwie gruntów o niedostatecznej nośności. W podłożu budynku, który stoi nad rzeką Łyną, występują m.in. piaszczysto-gliniaste grunty nasypowe, zawierające również gruz ceglany i miękkoplastyczne gliny piaszczyste oraz namuły organiczne gliniaste (rys. 6).

Ze względu na znaczne i nierównomierne osiadanie budynku w przeszłości podejmowane były różne zabiegi techniczne zmierzające do ograniczenia tych osiadań, m.in. w 1949 r. część fundamentów wzmocniono za pomocą pali Straussa i dźwigarów stalowych wykonanych na podstawie ekspertyzy prof. Cebertowicza, a w 1990 r. rozpoczęto prace wg projektu IBMER o/Olsztyn, polegające na wykonaniu żelbetowej uźebrowanej płyty opartej na krótkich wierconych palach żelbetowych usytuowanych wzdłuż ścian na zewnątrz i wewnątrz budynku. Wymienione zabiegi nie dały jednak oczekiwanych rezultatów i stąd zdecydowano posadowić budynek na palach wykonanych metodą iniekcji wysokociśnieniowej. Głębokość iniekcji poniżej poziomu posadowienia istniejących fundamentów była zróżnicowana (od ok. 2,5 do 5,5



Rys. 6. Budynek w Olsztynie przy ul. Okopowej 25 (przekrój w osi ściany 1-1); widok wzmocnienia iniekcyjnego podłoża fundamentów

m) i wynikała ze zmiennego położenia w głębszym podłożu stropu warstwy gruntów nośnych (średnio zagęszczone piaski oraz twardeplastyczne gliny piaszczyste). Iniekcję wykonywano od strony zewnętrznej i wewnętrznej budynku, a rozstawa pali iniekcyjnych i technologia ich wykonania zapewniały w podłożu pod budynkiem swobodny przepływ wód gruntowych w kierunku do rzeki Łyny. Prace były wykonywane w okresie zimowym w 1994 roku.

Innym przykładem zrealizowanym w 1995 roku było podbicie fundamentów parterowej części budynku Inspektoratu ZUS w Gdyni [9]. Konieczność podbicia fundamentów budynku wynikała z planowanej nadbudowy trzech pięter (zwię-

kszenie obciążenia na fundamenty) oraz z potrzeby obniżenia poziomu piwnic i stworzenia z nich pomieszczeń użytkowych. W podłożu obniżanych metodą iniekcji wysokociśnieniowej fundamentów zalegają średnio zagęszczone piaski średnie i drobne. Zwierciadło wody gruntowej układa się bardzo nisko (ok. 7 m ppf). Ze względu na konieczność utworzenia ciągłej ławy fundamentowej pale iniekcyjne wykonywane były w średniej rozstawie 80 cm.

W bardzo podobnych warunkach i w podobnym celu wykonano podbicie fundamentów budynku przy ul. Targowej 69 w Warszawie [Geoteko 1993], gdzie iniekcja wykonywana była wg metody pokazanej na rysunku 2.

Podsumowanie

Przedstawione w artykule przykłady zrealizowanych obiektów, gdzie do podbijania fundamentów budynków zastosowano iniekcję wysokociśnieniową (jet grouting) dowodzą, że metoda ta stanowi obecnie optymalne rozwiązanie dla tego rodzaju robót. Jest ona szybka w realizacji, bezpieczna dla ludzi i środowiska, nie wymaga wyłączenia z użytkowania oraz wysiedlania budynków. Pozwala na podbijanie fundamentów nawet do znacznych głębokości oraz na kształtowanie w gruncie dowolnych form geometrycznych tworzonych nowych fundamentów. Potwierdzone badaniami znaczne wartości wytrzymałości na ściskanie pali cementogruntowych oraz średnic tych pali, które w zasadzie można kształtować dowolnie w zależności od zadanego ciśnienia, rozszerzają możliwości stosowania tej metody także w innych rodzajach budownictwa.

Literatura

- BIERNATOWSKI K., DEMBICKI E., DZIEWAŃSKI K., WOLSKI W. 1987: *Fundamentowanie*. Arkady.
- BUSTAMANTE M., GIANESELLI L. 1994: *Poortance d'un groupe de colonnes de sol traité par "jet grouting" sous charge verticale axiale*. Bulletin de Liaison des laboratoires des ponts et chaussées. No 189.
- Miki C. 1973: *Chemical stabilization of sandy soils by grouting in Japan*. VIII ICSMFE. Moscow.
- GEOTEKO 1993: *Wzmocnienie fundamentów budynku przy ul. Targowej 69 w Warszawie metodą iniekcji wysokociśnieniowej*. PTJ. Warszawa-Wesoła.
- GEOTEKO 1993: *Projekt iniekcji podłoża budynku przy ul. Konopackiej 9 w Warszawie*.
- GEOTEKO 1994: *Iniekcja cementowa podłoża fundamentów północno-wschodniej ściany budynku OCMB w Olsztynie*.
- GEOTEKO 1994: *Projekt iniekcji PH-D "Książnica Polska" w Olsztynie, pl. Wolności 2/3*.
- GEOTEKO 1994: *Wzmocnienie podłoża fundamentów budynku przy ul. Okopowej 25 w Olsztynie. Projekt iniekcji wysokociśnieniowej*.