

Mirosław Rzyczniak*, Aleksandra Felisiak**

TECHNOLOGIA MIKROPALI INIEKCYJNYCH W ZASTOSOWANIU DO WZMACNIANIA FUNDAMENTÓW STAREJ ZABUDOWY KRAKOWA***

1. WSTĘP

Decydujący wpływ na stan techniczny budynków w aglomeracjach miejskich ma sposób ich posadowienia. Z uwagi na zwartą zabudowę istotne znaczenie mają także warunki posadowienia budynków sąsiednich.

Aglomeracje miejskie posiadają często wielowiekową historię. Powstawały i rozwijały się w okresach o różnym poziomie techniki. Zdarza się, że obok siebie zlokalizowane są obiekty o zupełnie różnych warunkach posadowienia.

Budowniczo, od czasów najdawniejszych, zdawali sobie sprawę z tego, iż trwałość i stabilność budowli zależy od jakości gruntu i sposobu posadowienia budowli. Aby warunek stabilności i trwałości był spełniony, należało posadowić budowlę w taki sposób, aby na całej powierzchni mogła równomiernie osiadać bez naruszenia jej stateczności i spójności. Zadanie to realizowano przez stosowanie różnych sposobów fundamentowania budowli, w zależności od okresu historycznego oraz poziomu rozwoju wiedzy i techniki.

W wieku XIX nastąpił znaczący rozwój nauk związanych z mechaniką budowli oraz mechaniką gruntów. Były to początki obecnie stosowanych technologii posadowienia bezpośredniego i pośredniego budowli. Okres ten to również dogęszczanie zabudowy miejskiej. Liczne były wówczas wyburzenia będących w stanie katastrofalnym obiektów oraz nadbudowy istniejących lub zabudowy działek nowymi obiektami. Po wyburzeniach pozostały w gruncie stare fundamenty, zaś nadbudowy i nowe budynki, szczególnie oficyny, wykonywano bez poprawnego rozeznania warunków ich posadowienia. W efekcie doprowadziło to do powstania wielu defektów budowli i ich postępującej degradacji, a powstrzymanie tego procesu wymaga podjęcia niekiedy bardzo kosztownych i skomplikowanych prac renowacyjnych.

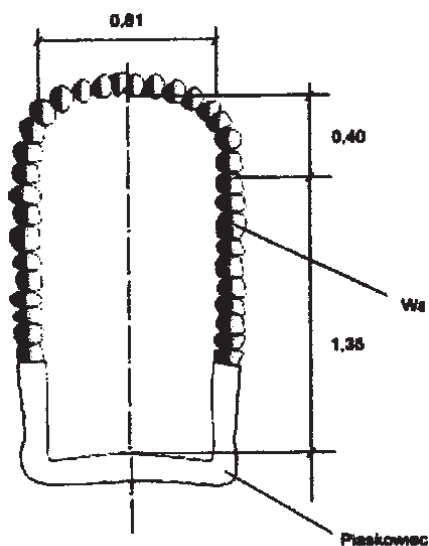
* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

** Firma KROZ, Kraków. Absolwentka Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH

*** Praca wykonana w ramach badań własnych nr 10.10.190.407

2. PRZYCZYNY NIESTABILNOŚCI FUNDAMENTÓW BUDYNKÓW W OBSZARZE STAREJ ZABUDOWY MIEJSKIEJ KRAKOWA

W obszarze starej zabudowy miejskiej Krakowa występuje wiele przyczyn mających duży wpływ na stan posadowienia fundamentów. Są to: doły chłonne, zasypane stare studnie, kanały blokowe, kawerny, pozostałości starej zabudowy [3, 4].



Rys. 1. Przekrój poprzeczny kanału blokowego [7]

Kanały blokowe (rys. 1) budowano w celu odprowadzenia ścieków i fekaliów z budynków mieszkalnych. Częściowo przebiegają one pod ulicami, względnie zieleńcami, w większości jednak wewnątrz bloków domów, wzdłuż tylnych ścian budynków, przez podwórza i pod budynkami oficynowymi. Były one zazwyczaj solidnie zbudowane z łamanego kamienia wapiennego, cegły, płyt piaskowca i innych rodzajów kamienia (rys. 2).

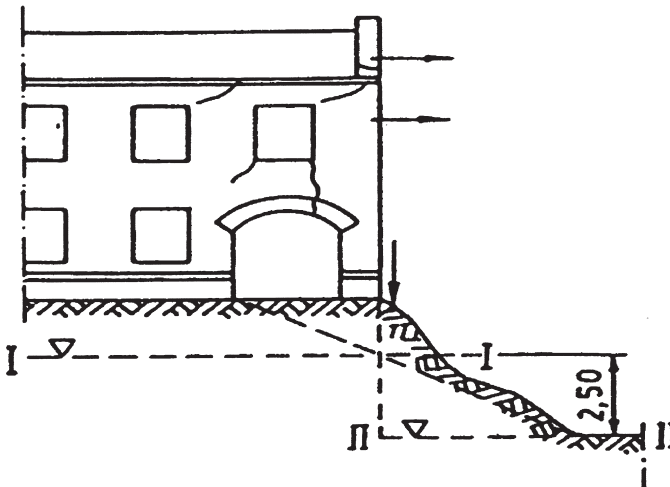
Spoiwo stanowiła zaprawa wapienna. Jednak kilkusetletni okres ich użytkowania, wpływ ścieków od wewnątrz kanału i szkodliwe działanie wody gruntowej od zewnątrz spowodowały, że materiał użyty do budowy oraz spoinowanie zostały częściowo zużyte, co doprowadziło do obniżenia wytrzymałości konstrukcji i wzrostu niebezpieczeństwa zawalenia się ich ścian i sklepień [7].

W czasach kiedy brak było infrastruktury kanalizacyjnej, występowała konieczność gromadzenia fekaliów bezpośrednio pod pomieszczeniami sanitarnymi. W tym celu wykopywano dół (tzw. dół chłonny), w którym gromadzono fekalia. Często na doły chłonne wykorzystywano stare studnie.



Rys. 2. Widok kanału blokowego [3, 4]

Podczas wykonywania późniejszej zabudowy, szczególnie oficyn, zdarzało się, że nie uwzględniano przy wykonywaniu posadowienia budynków faktu istnienia dołów chłonnych. Natomiast istnienie tych inkluzji gruntowych ma silny destrukcyjny wpływ na stan techniczny budynków posadowionych nad nimi. Przede wszystkim ze względu na ich obecny, przeważnie zły, stan techniczny oraz wypełnienie ich nienośną mieszanką organiczną.



Rys. 3. Powstanie rys i pęknięć w ścianach zewnętrznych budynku na skutek wykonania obok głębokiego wykopu (I–II poziom fundamentu; II–II poziom wykopu) [1]

Przyczyną osiadania gruntów pod fundamentami budynków mogą być również zmiany w spoiściwości gruntu spowodowane częstymi zmianami poziomu wód gruntowych lub wód napływowych, np. na skutek awarii przewodów wodociągowych lub centralnego ogrzewania przebiegających w pobliżu fundamentów.

Pęknięcie budynków może także nastąpić w przypadku prowadzenia głębokich wykopów w bliskiej odległości lub poniżej poziomu fundamentów istniejącego budynku (rys. 3) [1].

3. ZASTOSOWANIE MIKROPALI INIEKCYJNYCH

Do nowoczesnych technik wzmocnienia podłoża pod projektowanymi lub istniejącymi fundamentami budowli należą mikropale iniekcyjne. Są to żelbetowe pale o średnicy do 300 mm [6]. Długość mikropali, w zależności od warunków gruntowych, może wynosić do 30 m. Wykonywane mogą być we wszystkich typach gruntów oraz skał jako mikropale pionowe lub ukośne pod różnymi kątami odchylenia [9].

W zależności od wymiarów, rodzaju zbrojenia oraz rodzaju gruntu, w którym są wykonywane, mikropale iniekcyjne mogą przenosić obciążenie ok. 100÷500 kN [8].

Zbrojenie mikropala może stanowić stalowy kształtownik, kosz wykonany z prętów zbrojeniowych lub rura stalowa [10].

Mikropale iniekcyjne mogą być stosowane do [2]:

- prac wykonywanych w warunkach ograniczonego dostępu,
- wykonywania fundamentów nowych konstrukcji, szczególnie posadawianych na bardzo niejednorodnych gruntach lub masywach skalnych,
- zbrojenia lub wzmocnienia istniejących konstrukcji w celu zwiększenia zdolności przekazywania obciążeń na głębsze warstwy gruntu, np. przy wzmocnianiu fundamentów,
- ograniczenia osiadań i/lub przemieszczeń fundamentów budowli,
- formowania ścian oporowych,
- zbrojenia gruntu w celu wytworzenia konstrukcji nośnej i/lub oporowej,
- poprawy stateczności zboczy,
- zabezpieczenia przeciw wypieraniu hydraulicznemu,
- innych zastosowań, do których technika mikropali jest przydatna.

Do wykonania mikropali powinien być stosowany zaczyn cementowy przygotowany na miejscu budowy w odpowiednim mieszalniku. Zaleca się stosowanie cementów portlandzkich klasy CEM I 32,5 i CEM I 42,5R.

Zbrojenie stalowe stanowiące element nośny mikropala powinno umożliwić swobodny przepływ iniektu wokół każdego jego elementu. Połączenia prętów zbrojenia należy wykonać w taki sposób, by nie następowały ich przemieszczenia podczas wykonywania mikropala.

Projekt technologii wykonywania mikropali iniekcyjnych powinien zawierać [6]:

- identyfikację, cel i zakres stosowania mikropali,
- opis warunków gruntowych,

- warunki środowiskowe,
- wymagania techniczne,
- sprzęt i procedury wykonania prac (wiercenie, montaż zbrojenia, iniekcja),
- sposób zagospodarowanie urobku oraz procedury kontroli jakości.

Metodę wiercenia otworów przeznaczonych do wykonania mikropali należy wybrać z uwzględnieniem występujących warunków gruntowych, tak aby zapewnić osiągnięcie projektowanej głębokości i założonego przekroju poprzecznego na całej długości.

Formowanie mikropala powinno rozpocząć się bezpośrednio po zakończeniu wiercenia. Podczas wypełnienia otworu wiertniczego powietrze, ciecz i zwierciny powinny zostać całkowicie usunięte przez iniekt.

Przyjmując typ pala, jego wymiary oraz znając rodzaj i stan gruntów w warstwach geotechnicznych, oblicza się nośność pojedynczego pala wzorami [7]:

- dla pali wciskanych

$$N_i = N_p + N_s = S_p \cdot q^{(r)} \cdot A_p + \sum S_{Si} \cdot t_i^{(r)} \cdot A_{Si} \quad (1)$$

- dla pali wyciąganych

$$N_w = \sum S_i^w \cdot t_i^{(r)} \cdot A_{Si} \quad (2)$$

4. PRZYKŁADY WZMOCNIENIA POSADOWIENIA BUDYNKÓW ZA POMOCĄ MIKROPALI INIEKCYJNYCH

W artykule opisano przykłady zastosowania mikropali iniekcyjnych do wzmacniania posadowienia zabytkowych budynków w Krakowie, zagrożonych bliskością głębokiego wykopu (przykład 1) oraz istnieniem pod fundamentami budynku zdegradowanego kanału blokowego (przykład 2).

Przykład 1

Wzmocnienie posadowienia budynku znajdującego się w obszarze oddziaływania głębokiego wykopu (Kraków, ul. Kopernika).

Coraz częściej występującym, w obszarach miejskich, zadaniem inżynierskim jest konieczność wykonania nowych inwestycji budowlanych w bezpośrednim sąsiedztwie istniejących budynków.

Umiejscowienie infrastruktury nowej inwestycji pociąga za sobą konieczność wykonania głębokich wykopów, których poziom dna znajduje się najczęściej poniżej spodu fundamentów sąsiednich budynków. W takich przypadkach najbardziej logicznym działaniem inżynierskim jest obniżenie posadowienia istniejących budynków poniżej dna projektowanego wykopu, ponieważ wykonanie głębokiego wykopu w bezpośrednim sąsiedztwie stwarza niebezpieczeństwo powstania w tych budynkach uszkodzeń zagrażających niekiedy nawet ich konstrukcji. Uszkodzenia budynków są wynikiem nierównomiernych przemieszczeń podłoża występujących w strefie oddziaływania wykopu [1].

Jedną z efektywnych metod obniżenia posadowienia istniejącego budynku poniżej dna projektowanego wykopu jest wykonanie pali iniekcyjnych.

Przedmiotowy budynek zbudowany w 1907 r. znajduje się w zabudowie zwartej przy ul. Kopernika. Konstrukcja budynku wykonana została w technologii tradycyjnej. Ściany murowane z cegły ceramicznej pełnej, na zaprawie wapiennej i wapienno-cementowej. Ściany fundamentowe wykonano z cegły ceramicznej pełnej, a częściowo z kamienia, na zaprawie wapienno-cementowej oraz wapiennej.

W bezpośrednim sąsiedztwie istniejącego budynku zaprojektowano wykonanie nowego budynku, z podpiwniczeniem całej posesji.

Projektowana głębokość wykopu, zgodnie z dokumentacją, wynosi 3,2 m poniżej poziomu istniejącego terenu i osiąga rzędną 207,70 m n.p.m. Natomiast na podstawie wyników badań wykonanych w odkrywkach fundamentów istniejącego budynku stwierdzono, że w obszarze ściany granicznej obu budynków (istniejącego i budowanego) spód fundamentów istniejącego budynku znajduje się na poziomie od 208,0 m do 208,9 m n.p.m., to jest od 0,3 do 1,2 m ponad poziomem projektowanego wykopu [3].

W celu zabezpieczenia zagrożonego budynku podjęto decyzję o zwiększeniu głębokości posadowienia jego fundamentów w warstwie nośnej, poniżej dna wykopu nowej inwestycji, za pośrednictwem pali iniekcyjnych zbrojonych.

Upřednio, do określenia rodzajów i stanów gruntów występujących poniżej poziomu posadowienia istniejącego budynku, wykonano badania geologiczne podłoża [3]. W tym celu odwiercono dwa otwory geotechniczne i wykonano dwa sondowania sondą wbijaną lekką SL 10. Badania prowadzono z dna odkrywek, czyli z poziomu posadowienia budynku, do głębokości końcowej 9 m p.p.t.

W profilu rozpoznanych gruntów mineralnych rodzimych wydzielono trzy warstwy geotechniczne (tab. 1) [5]:

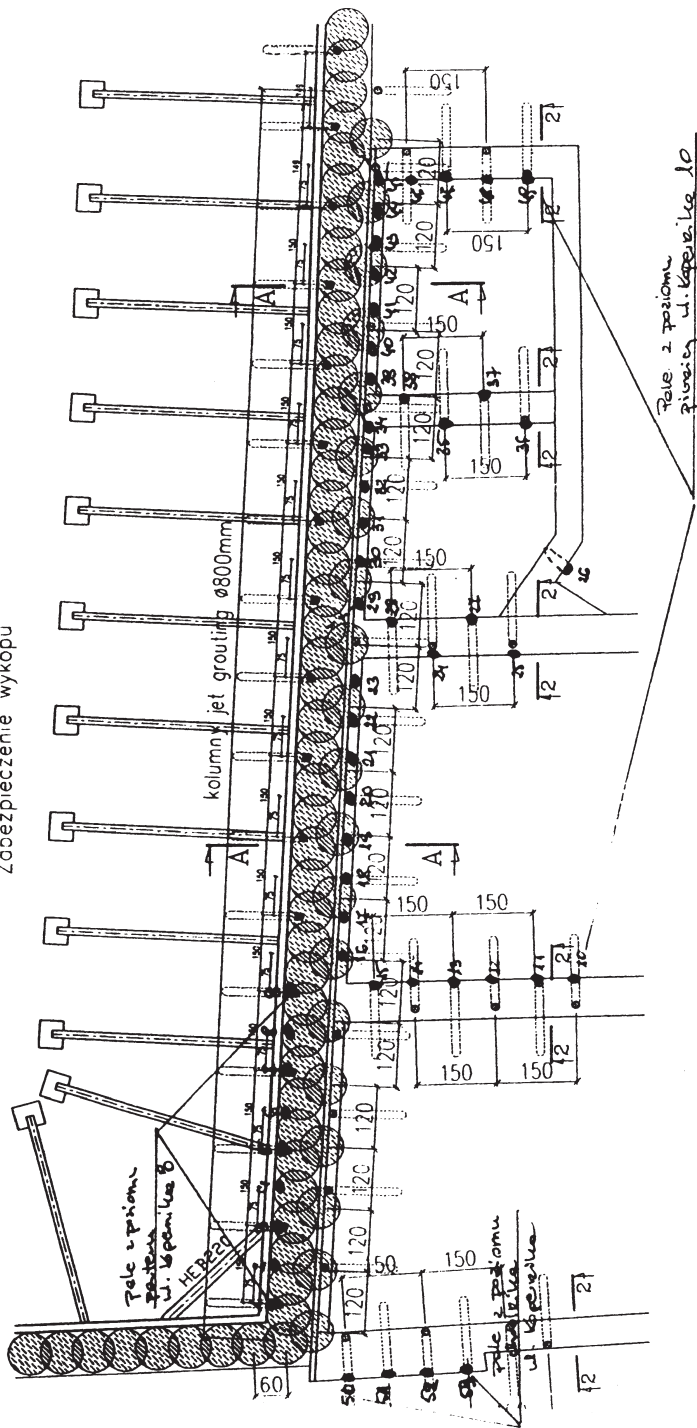
I warstwa geotechniczna – piaski drobne, barwy jasnożółtej, wilgotne, zagęszczone i średnio zagęszczone; głębokość zalegania warstwy: od dna wykopu do głębokości 1,7–2,0 m p.p.t.;

II warstwa geotechniczna – piaski średnie, barwy żółtej i ciemnożółtej z domieszką zmiennej zawartości żwirów wapienno-krzemionkowych w profilu geologicznym; otworami wykonanymi do głębokości 9,0 m p.p.t. nie osiągnięto spagu warstwy; piaski były wilgotne, a przy dnie otworów mokre i nawodnione, o stopniu zagęszczenia od luźnych do zagęszczonych;

III warstwa geotechniczna – pospółki barwy żółtej zbudowane z piasków średnich i żwirów wapienno-krzemionkowych; warstwę tę umiejscowiono w profilu otworu nr 2, w obrębie warstwy geotechnicznej II, na głębokości 2,3–2,9 m p.p.t. oraz 3,8–5,5 m p.p.t.; pospółki były wilgotne, występowały w stanie zagęszczonym.

Obciążenie w poziomie posadowienia fundamentów istniejącego budynku zostało przeniesione na grunt nośny przez układ koźłowy pali iniekcyjnych (rys. 4) o długości 8 m (5 m w gruncie nośnym) i średnicy 150 mm, zbrojonych prętami ze stali żełrowej $3 \times \varnothing 16$ mm, z kołowymi strzemionami wykonanymi z prętów stalowych gładkich, o średnicy 6 mm, rozmieszczonymi w odległości co 20 cm. Nośność pojedynczego pala, na odcinku o długości 5 m, w gruncie o średnim stopniu zagęszczenia $I_D = 0,5$, wyniosła 207,55 kN. Pale iniekcyjne wykonywano z zastosowaniem wiertnicy Speed Drill (rys. 5).

Zabezpieczenie wykopu

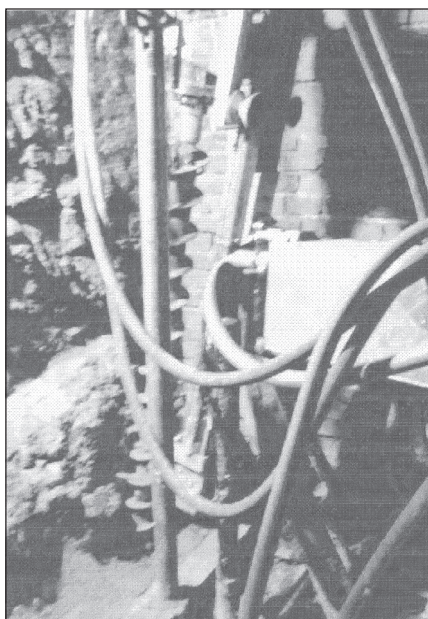


Rys. 4. Rozmieszczenie pali iniekcyjnych w piwnicach budynku przy ul. Kopernika [3]

Tabela 1

Charakterystyka warstw gruntu występujących poniżej fundamentów budynku przy ul. Kopernika [3, 4]

Oznaczany parametr	Numer warstwy geotechnicznej					
	Ia	Ib	IIa	IIb	IIc	III
Rodzaj gruntu	Pd		Ps + Ż			Po
Stan gruntu	szg	zg	szg	szg	zg	zg
Wilgotność naturalna w_n , %	16	14	15	14	12	10
Gęstość objętościowa ρ , g/cm ³	1,75	1,85	1,80	1,85	1,90	2,00
Stopień zagęszczenia I_D	0,53	0,67	0,37	0,56	0,66	0,70
Kąt tarcia wewnętrznego) Φ , °	30	31	31	32	34	38



Rys. 5. Wzmacnianie posadowienia fundamentów budynku przy ul. Kopernika z zastosowaniem wiertnicy Speed Drill [3, 4]

Przykład 2

Wzmocnienie posadowienia budynku usytuowanego nad kanałem blokowym (Kraków ul. Floriańska)

Ogólnie przyjęło się uważać kanały blokowe za główną przyczynę licznych spękań i nierównych osiadań budowli na terenie śródmieścia Krakowa.

Przeprowadzone badania i oględziny licznych budynków położonych nad kanałami blokowymi i w ich sąsiedztwie wykazały, że niektóre budynki są zarysowane i uległy nierównym pionowym przemieszczeniom. Obszar tych uszkodzeń jest niejednokrotnie znacznie szerszy niż sam kanał blokowy i sięga w wielu przypadkach 4÷6 m w każdą stronę od osi kanału.

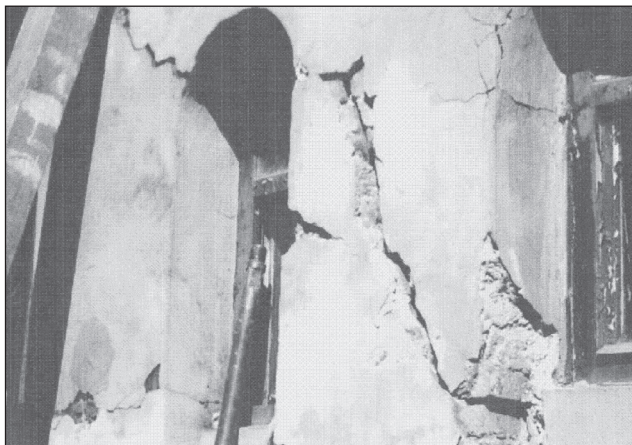
Ujemny wpływ kanałów blokowych na zabudowę miejską można ująć w trzech grupach [7]:

- 1) w trakcie budowy kanałów blokowych uległa zaburzeniu równowaga statyczna budynku w poziomie posadowienia;
- 2) budowle posadowiono nad kanałem, który spoczywa na osiadających gruntach nasypowych;
- 3) przecieki do podłoża gruntowego wód prowadzonych kanałami powodują zmiany strukturalne tego podłoża, co pociąga za sobą nierównomierne osiadanie oraz zawilgocenie budynków.

Przykładem uszkodzeń budynku usytuowanego nad kanałem blokowym jest oficyna znajdująca się na posesji przy ul. Floriańskiej.

Budynek oficyny usytuowany jest w zabudowie zwartej, ma konstrukcję murowaną, posiada trzy kondygnacje i jest niepodpiwniczony [3].

Morfologia uszkodzeń oficyny: rys, pęknięć i rozwarstwień murów (rys. 6), wskazuje na niekontrolowane osiadanie ścian fundamentowych obiektu.



Rys. 6. Pęknięcia i rozwarstwienia murów budynku przy ul. Floriańskiej [3, 4]

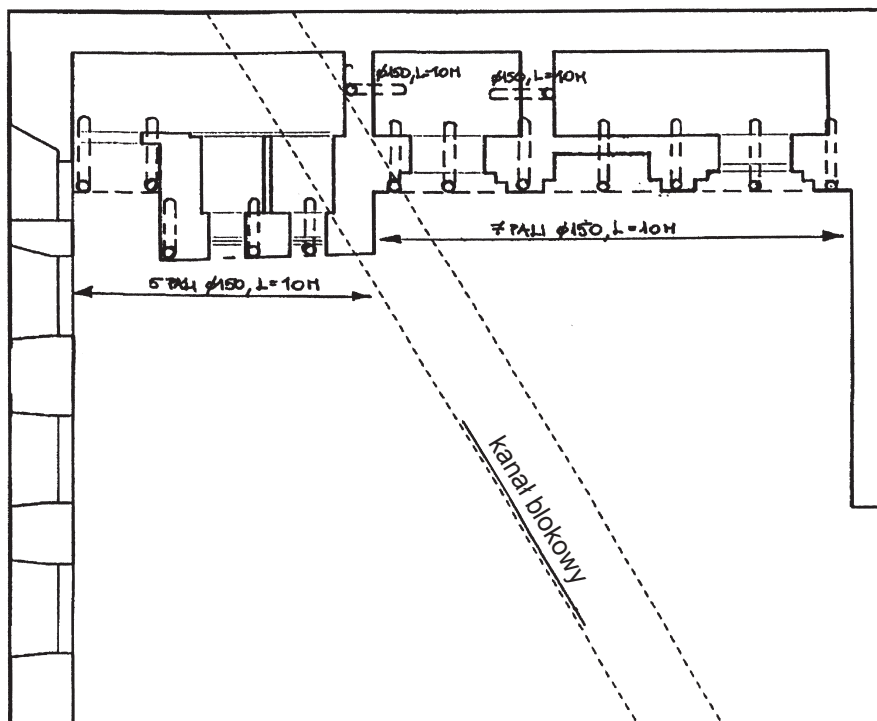
W obszarze fundamentów przebiega stary (nieczynny) kanał blokowy, który w dużym stopniu zaburza jednorodność podłoża i może być przyczyną wielu procesów o charakterze destrukcyjnym dla budynku.

W wykonanych odkrywkach fundamentowych stwierdzono, że budynek oficyny posadowiony został na głębokości około 5 m poniżej poziomu podwórka. Ściany fundamentowe wykonano z kamienia wapiennego i cegły ceramicznej pełnej, na zaprawie wapiennej.

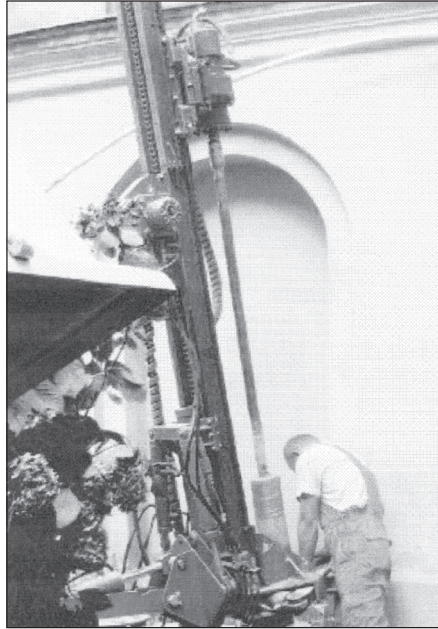
W poziomie posadowienia zalegają grunty nienośne w postaci nasypów niekontrolowanych o zmiennej miąższości. Poniżej nasypów niekontrolowanych zalegają grunty nośne niespoiste w postaci piasków drobnych i średnich z domieszką żwirów o stopniu zagęszczenia $I_D = 0,2 \div 0,8$ [3].

W celu zapewnienia stabilności fundamentów uszkodzonych ścian obciążenie w poziomie posadowienia fundamentów zostało przeniesione na grunt nośny przez układ 14 pali iniekcyjnych (rys. 7) o długości 10 m (5 m w gruncie nośnym), średnicy 150 mm, w rozstawie co 85 cm, zbrojonych prętami ze stali żebrowej $3 \times \varnothing 16$ mm, o kołowych strzemionach wykonanych z prętów ze stali gładkiej $\varnothing 6$ mm, rozmieszczonych w odstępach co 20 cm [3]. Nośność pojedynczego pała, na odcinku o długości 5 m, w gruncie o średnim stopniu zagęszczenia $I_D = 0,5$, wyniosła 207,55 kN.

Pale iniekcyjne wykonano z zastosowaniem wiertnicy MWG-1 (rys. 8).



Rys. 7. Rozmieszczenie pali iniekcyjnych w oficynie budynku przy ul. Floriańskiej [3, 4]



Rys. 8. Wzmacnianie posadowienia fundamentów budynku przy ul. Floriańskiej z zastosowaniem wiertnicy MGW-1 [3, 4]

5. WNIOSKI

- 1) Przed zaprojektowaniem budynku należy przeprowadzić szczegółowe badania warstw gruntu, na których zostanie on wzniesiony, określić ich rodzaj i wytrzymałość, a także zidentyfikować wszystkie defekty w gruncie mogące wpływać na stabilność budynku.
- 2) Na stan posadowienia fundamentów starej zabudowy miejskiej Krakowa duży wpływ mają występujące w jej obrębie: doły chłonne, zasypane stare studnie, kanały blokowe, kawerny oraz pozostałości starej zabudowy.
- 3) Technologia wzmacniania posadowienia budynków z zastosowaniem pali iniekcyjnych znajduje coraz szersze zastosowanie z uwagi na następujące zalety:
 - dużo niższy koszt wykonania prac w porównaniu z technologiami wymagającymi niebezpiecznych głębokich wykopów;
 - statyczny sposób przeniesienia obciążeń na warstwy gruntu;
 - możliwość zastosowania w przypadku starych obiektów budowlanych wznoszonych metodami tradycyjnymi, których sztywność jest niewielka, znacznie mniejsza jak aktualnie wznoszonych sztywnych konstrukcji żelbetowych;
 - fakt, że jest najbezpieczniejszym dla budowlę sposobem wzmacniania fundamentów.
- 4) Mikropale iniekcyjne wykonywane są z użyciem małych, lekkich i poręcznych wiertnic, dzięki czemu mogą być zastosowane do wzmacniania posadowienia budowli znajdujących się w zwartej zabudowie oraz w miejscach trudno dostępnych.

LITERATURA

- [1] Biernatowski K., Dembicki E., Hera E.: *Fundamentowanie*, tom 2. Arkady, Warszawa 1988
- [2] Gwizdała K.: *Projektowanie fundamentów na palach*. XX Ogólnopolska Konferencja Wisła–Ustroń 01–04.11.2005
- [3] Dokumentacja firmy KROZ. Praca niepublikowana, Kraków 2007
- [4] Felisiak A.: *Wykorzystanie mikropali iniekcyjnych przy wzmacnianiu posadowienia budynków*. Praca dyplomowa. Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, Kraków 2008
- [5] Norma PN-B-02480:1986: *Grunty budowlane – określenia, symbole, podział i opis gruntów*
- [6] Norma PN-EN 14199:2008: *Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych. Mikropale*
- [7] Tobiasz M., Wałacha K.: *Kanały zabytkowego Krakowa*. Krakowskie Przedsiębiorstwo Geodezyjne. Praca niepublikowana. Kraków 1976
- [8] www.geoservice.wroc.pl
- [9] www.prg-w.lubin.pl
- [10] www.stump-hydrobudowa.pl

SPIS OZNACZEŃ

- A_p – pole przekroju poprzecznego podstawy pała, m²,
- A_{Si} – pole poboczniczy pała zagłębionego w gruncie w obrębie i -tej warstwy, m²,
- I_D – stopień zagęszczenia,
- N_p – opór podstawy pała, kN,
- N_s – opór poboczniczy pała wciskanego, kN,
- Pd – piasek drobny,
- Po – pospółka,
- Ps – piasek średni,
- $q^{(r)}$ – jednostkowa, obliczeniowa wytrzymałość gruntu pod podstawą pała, wartości stabelaryzowane [7],
- szg – średnio zagęszczony,
- S_p, S_s, S_i^w – współczynniki technologiczne, wartości stabelaryzowane [7],
- $t_i^{(r)}$ – jednostkowa, obliczeniowa wytrzymałość gruntu wzdłuż poboczniczy pała w obrębie i -tej warstwy, wartości stabelaryzowane [7],
- w_n – wilgotność naturalna, %,
- zg – zagęszczony,
- Ż – żwir,
- ρ – gęstość objętościowa, g/cm³,
- Φ_u – kąt tarcia wewnętrzznego, °.