Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska nr 54, 2011: 344–354
(Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. 54, 2011)
Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences No 54, 2011: 344–354
(Sci. Rev. Eng. Env. Sci. 54, 2011)

Władysław MATUSIEWICZ

Katedra Geoinżynierii SGGW w Warszawie
Departament of Geotechnical Engineering WULS – SGGW

Zagrożenie bezpieczeństwa budowli w wyniku nieprawidłowych metod odwodnienia
Safety abatement of building foundation caused by incorrect method of dewatering

Słowa kluczowe: parametry geotechniczne, podtopienia, drenaż zewnętrzny, studnia chłonna, obszar bezodpływowy
Key words: geotechnical parameters, excessive rise in ground water level, outer drainage, absorbing well, area depression

Wprowadzenie

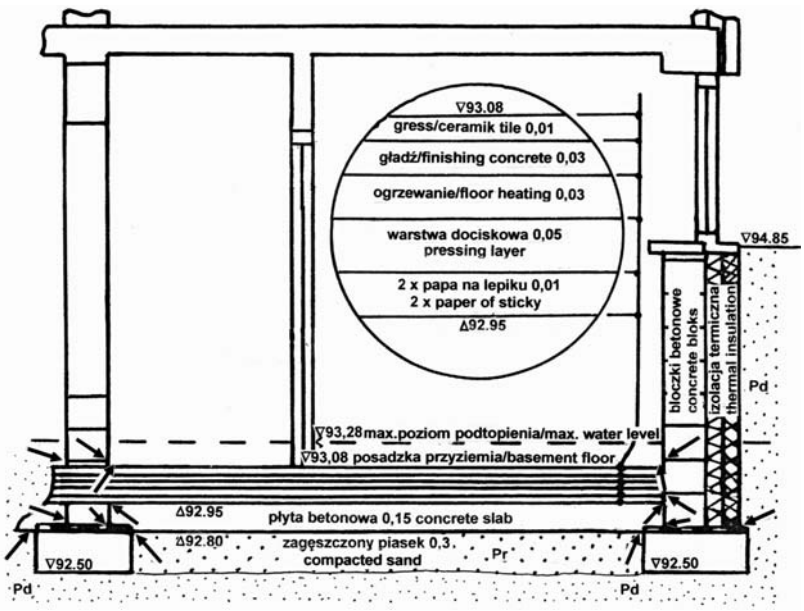
Budynki mieszkalne podpiwniczone usytuowane w obniżeniu terenu są w ostatnich latach podtapiane. Zjawisko ma charakter okresowy, w skrajnych przypadkach trwały. Główną przyczyną podtopień są opady atmosferyczne, które powodują wzrost stanów wód powierzchniowych i podziemnych. W miejscach niżej położonych woda stagnuje na powierzchni terenu, niekorzystnie działając na budynki oraz powodując zmiany w ekosystemach leśnych lub uprawach rolniczych. Taka sytuacja wynika często z braku odbiorników wód opadowych i podziemnych. Te, które istniały wcześniej, bardzo często zostały zasypane, niekiedy odpadami. Część odbiorników przy braku konserwacji zmniejszyło przepustowość nawet do 80%. Jednocześnie przybyło nawierzchni utwardzonych (np. chodniki, drogi i parkingi), z których odpływ jest prawie natychmiastowy. Ponadto istniejące systemy kanalizacji deszczowej mają zbyt małe przekroje i nie są w stanie odpompować coraz większej ilości wód opadowych z nowo powstałych inwestycji. Przykładem podtapianego od ponad 10 lat obiektu jest budynek mieszkalny na obrzeżach Puszczy Kampinoskiej. Stosowane dotychczas sposoby zabezpieczenia przed wodami podziemnymi były nieskuteczne.

Celem pracy było ustalenie przyczyn podtopienia budynku, pomimo wykonania systemu odwadniającego, i zaproponowanie stosownych rozwiązań dla polepszenia sytuacji. Zakres pracy obej-

mował analizę nieskuteczności działania istniejącego odwodnienia obiektu, rozpoznanie warunków gruntowo-wodnych, badanie laboratoryjne próbek gruntów, koncepcję odwodnienia w kontekście aktualnego stanu podłoża oraz wskazówki i zalecenia dotyczące posadowienia i odwadniania obiektów podpiwniczonych na obszarach obniżeń bezodpływowych przy braku odbiorników wód deszczowych i drenażowych.

Charakterystyka obiektu i przyczyny podtopienia

Analizowany obiekt jest konstrukcją jednopiętrową z pomieszczeniami podziemnymi i poddaszem użytkowym. Na posesji rosną drzewa iglaste i liściaste. W odległości 200 m od budynku znajduje się najniżej położony punkt terenu, na którym przez 9 miesięcy w roku zalega woda powierzchniowa. W pomieszczeniach przyziemia budynku mieszczą się urządzenia techniczne i rekreacyjne. Zero parteru nad częścią podpiwniczoną wynosi 95,80 m, a nad częścią niepodpiwniczoną – 95,45 m. Posadzka parteru położona jest na ławach fundamentowych na dwóch poziomach. Spód ławy pomieszczeń przyziemia jest na rzędnej 92,50 m (rys. 1), a spód ław części niepodpiwniczonej – na rzędnej 93,60. Budynek został wykonany latem 1994 roku. Okres ten charakteryzował się temperaturą powietrza powyżej 35°C i małymi opadami (maj 74 mm, czerwiec 12 mm, lipiec 34 mm). Poziom wody podziemnej układał się około 2 m poniżej posadowienia ław fundamentowych. Po trzech latach eksploatacji, wskutek większych opadów, wody podziemne podniosły się powyżej poziomu posadzek. Pomieszcze-



RYSUNEK 1. Fundamenty budynku i zakres podtopień
FIGURE 1. Building foundation and range of flooding

nia przyziemia budynku, posadowione 1,75 m poniżej terenu, przez krótszy lub dłuższy okres podtapiane były do wysokości 0,2 m powyżej posadzek. W celu wyeliminowania podtopień w przeszłości wykonano kolejno: dwa igłofiltry w obudowie z kręgów betonowych, dwie studnie odwodnieniowe zewnętrzne betonowe, studnię depresyjną wierconą zewnętrzną oraz iniekcję niskociśnieniową wewnątrz obiektu na styku ław i ścian fundamentowych.

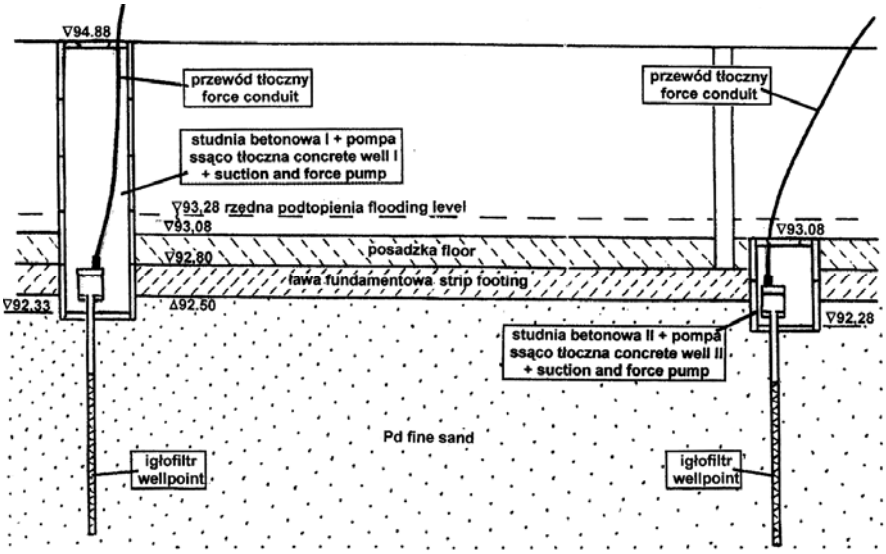
Dotychczasowe sposoby odwodnienia budynku

Igłofiltry

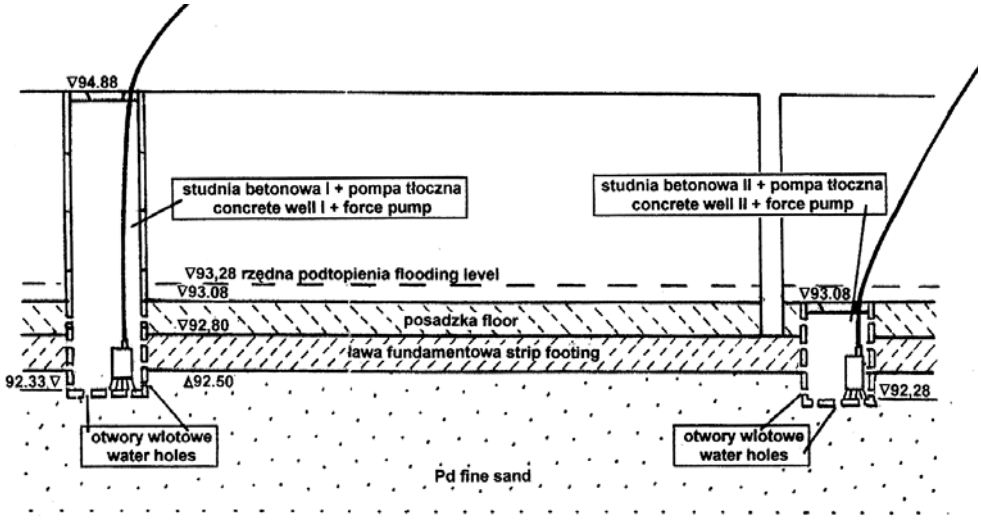
Odwodnienie stanowiły dwa igłofiltry o średnicy 1,75 cala i długości 2,5 m zainstalowane w studniach żelbetowych o średnicy 1 m (rys. 2). Studnia żelbetowa I, o głębokości 2,55 m, zlokalizowana jest na zewnątrz w odległości 1,5 m od budynku i sięga do powierzchni terenu. Studnia żelbetowa II, o głębokości 0,79 m, położona jest przed wejściem zewnętrznym na poziomie przyziemia Odprowadzenie wody odbywa się za pomocą pomp ssąco-tłoczących, nakręcanych na górną część rury stalowej nadfiltrowej igłofiltrów znajdujących się wewnątrz kręgów żelbetowych. Wody podziemne z powodu braku odbiorników pompowano na powierzchnię terenu własnej posesji. Po kilku latach działania zrezygnowano z odwadniania tym sposobem, ponieważ nastąpiło zmniejszenie wydatku igłofiltrów z powodu kolmatacji.

Studnie odwodnieniowe żelbetowe

Z powodu braku skuteczności odwodnienia igłofiltrami kręgi żelbetowe, stanowiące dotąd obudowę igłofiltrów, dostosowano do funkcji drenażu pionowego (rys. 3). Modernizacja polegała na



RYSUNEK 2. Dwa igłofiltry stalowe w obudowie z kręgów żelbetowych z pompami ssąco-tłoczącymi
FIGURE 2. Two well point concrete well with suction-force pumps



RYSUNEK 3. Studnie żelbetowe z otworami i pompami zatapialnymi z pływakową regulacją poziomu
FIGURE 3. Concrete two wells drilled with submersible pumps with float level control

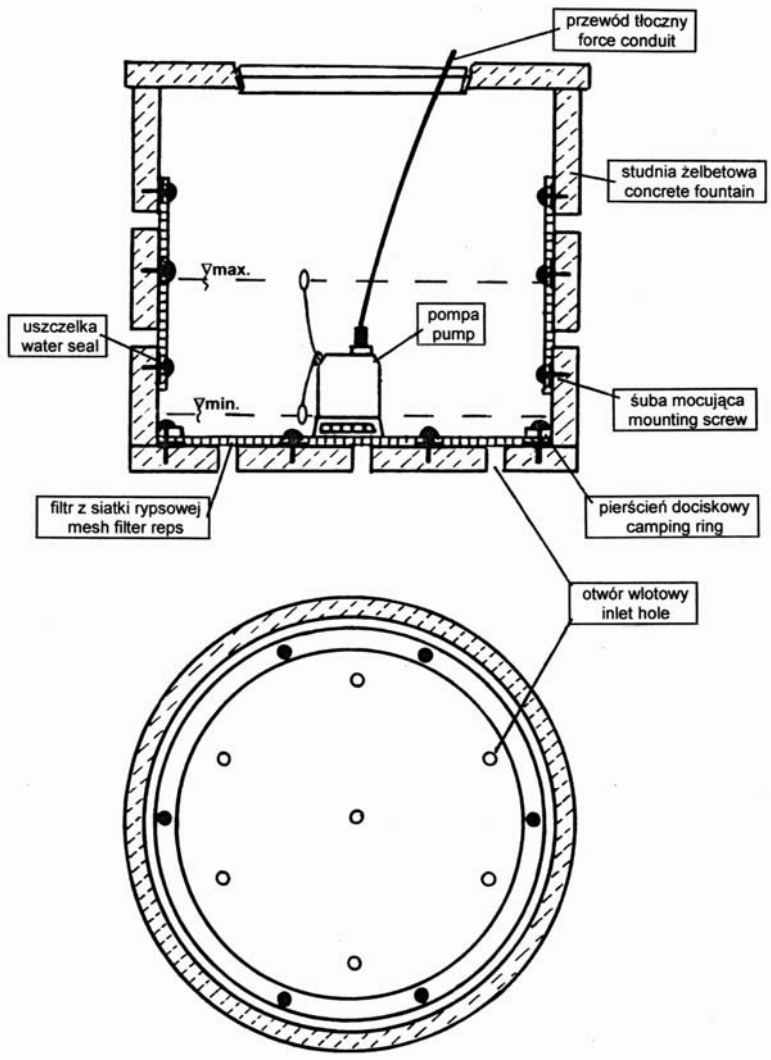
wywierceniu w dnach i ściankach kręgów studni otworów o średnicy 32 mm, przez które woda podziemna wpływała do środka. Ze studni wodę pompowano za pomocą pomp zatapialnych tłocznych na teren własnej posesji. Brak filtru w obrębie wywierconych otworów wlotowych (zbyt duża średnica otworów wlotowych) powodował, że woda dopływająca wnosiła do wnętrza studni przez otwory wlotowe znaczną ilość gruntu piaszczystego podłoża. Grunt ten był co pewien czas ze studni usuwany. Po kilku latach ilość wyniesionego gruntu podłoża w obrębie fundamentów szacuje się na minimum 5 m^3.

Pierwszym objawem negatywnego wpływu ubytku gruntu było 15-milimetrowe osiadanie słupa żelbetowego, podtrzymującego podciągi stropu parteru budynku. Istniała uzasadniona obawa, że mogło nastąpić rozluźnienie gruntu na znacznej przestrzeni, co grozić mogło katastrofą budowlaną.

Czasowa modernizacji odwodnienia studniami żelbetowymi

W celu wyeliminowania groźnego dla stateczności budynku wynoszenia piasku drobnego podłoża zaprojektowano zabezpieczenie otworów wlotowych w kręgach żelbetowych filtrem z siatki rypsowej do czasu przeprowadzenia badań i zaproponowania drenażu trwałego.

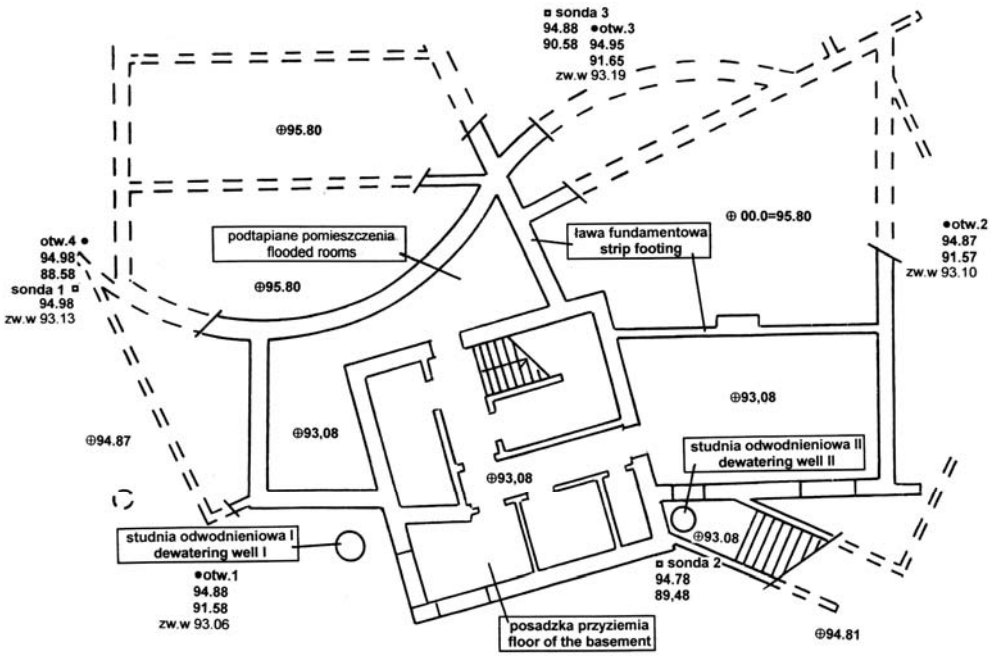
Przyjęto filtr nr 14 (piaski bardzo drobne). Konstrukcję zabezpieczającą otwory wlotowe studni pokazano na rysunku 4. Po tym zabiegu proces wynoszenia piasku do studni przy działającym odwodnieniu został zmniejszony o 99%.



RYSUNEK 4. Tymczasowy filtr z siatki rypsowej zabezpieczający wynoszenie gruntu do studni
FIGURE 4. Temporary filter with mesh reps protecting internal erosion wells

Warunki geotechniczne

Dla oceny warunków geotechnicznych wykonano pięć otworów wiertniczych i trzy sondy dynamiczne SL10 (rys. 5). Dwa badania (otwór 1 i 2 oraz sonda 1 i 2) zlokalizowano między budynkiem a istniejącą kanalizacją sanitarną z szambami, gdzie grunt był naruszony. Jedno badanie (otwór 3 i sonda 3) zostały wykonane po przeciwnej stronie budynku, gdzie grunt był nienaruszony. Otwory 4 i 5 zlokalizowano od strony dwóch pozostałych ścian prostopadłych.

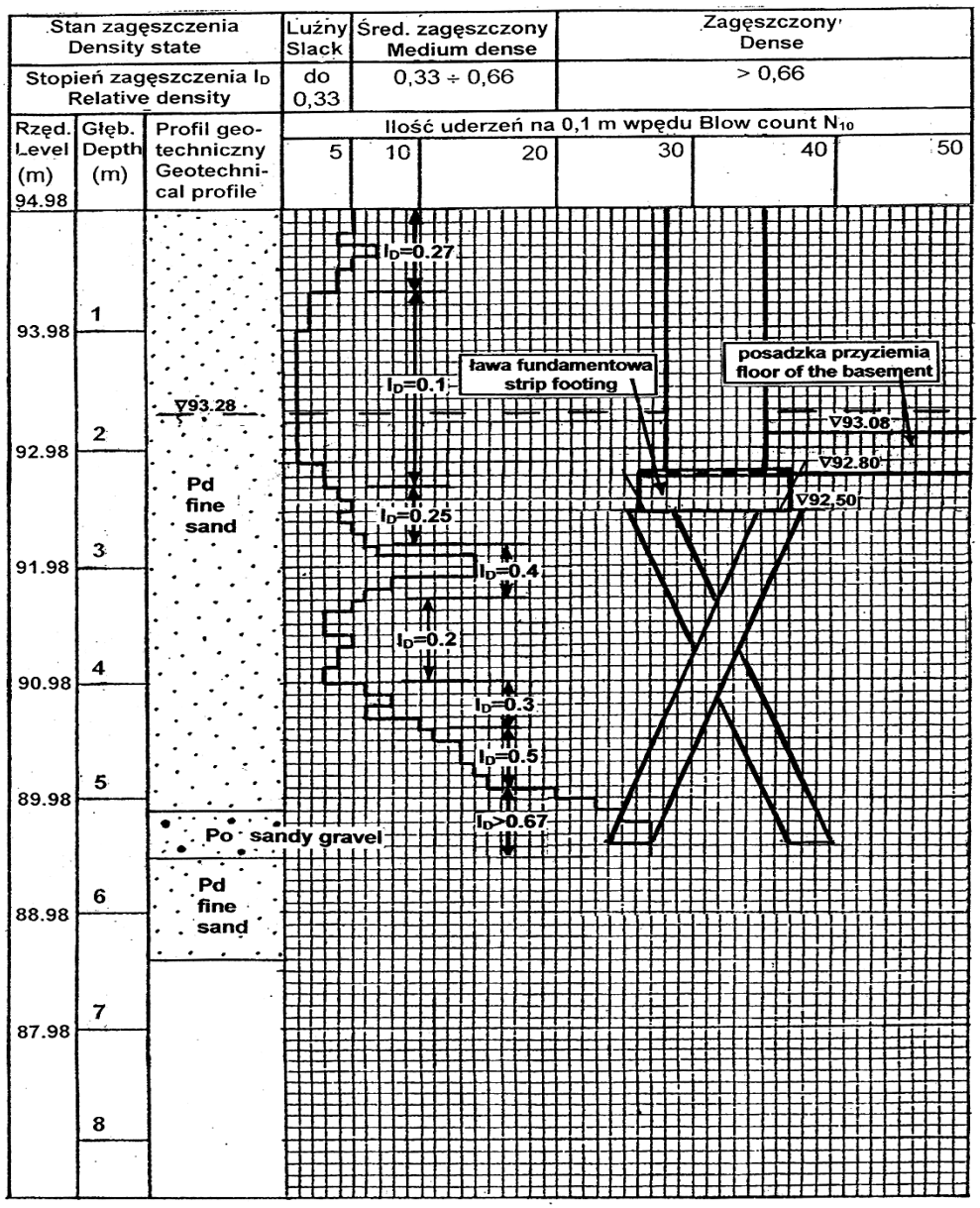


RYSUNEK 5. Plan badań geotechnicznych
FIGURE 5. Geotechnical testing plan

Badania wykazały że w obrębie istniejących odwodnień i podziemnej kanalizacji sanitarnej do głębokości 5,2 m zalegają piaski drobne, od 5,2 do 5,5 m – pospółka, a od 5,5 do 6,4 m – ponownie piaski drobne. Grunt do głębokości 4 m był w stanie luźnym (I_D = 0,07–0,329), a głębiej – w stanie średnio zagęszczonym (I_D = 0,329–0,66) i zagęszczonym (I_D = 0,661–0,72). Z drugiej strony budynku, gdzie podłoże było nienaruszone, grunt do głębokości 1 m był w stanie średnio zagęszczonym (I_D = 0,33–0,66), a głębiej – w stanie zagęszczonym (I_D > 0,66). Zwierciadło wody podziemnej układało się na rzędnych: otw. 1 – 93,06 m, otw. 2 – 93,10 m, otw. 3 – 93,19 m, otw. 4 – 93,13 m, i miało horyzont swobodny.

Stabilizacja gruntu podłoża

Dotychczasowe, niezgodne ze sztuką inżynierską sposoby odwodnienia, stanowiły zagrożenie stateczności budynku. Potwierdziły to badania geotechniczne, które wykazały, że w pierwszym etapie należało wzmocnić rozluźniony grunt pod ławami fundamentowymi. Zaproponowano metodę „jet grauting" za pomocą kolumn iniekcyjnych sięgających do głębokości 1 m w warstwy, których podłoże naturalne spełnia warunek określony stopniem zagęszczenia $I_D \geq 0{,}5$ (rys. 6). Po wzmocnieniu podłoża pod fundamentami można będzie podjąć decyzję dotyczącą drenażu budynku.



RYSUNEK 6. Propozycja wzmocnienia fundamentów kolumnami iniekcyjnymi
FIGURE 6. Proposal of strengthening conditions footing using jet grouting columns

Odwodnienie za pomocą studni wierconej

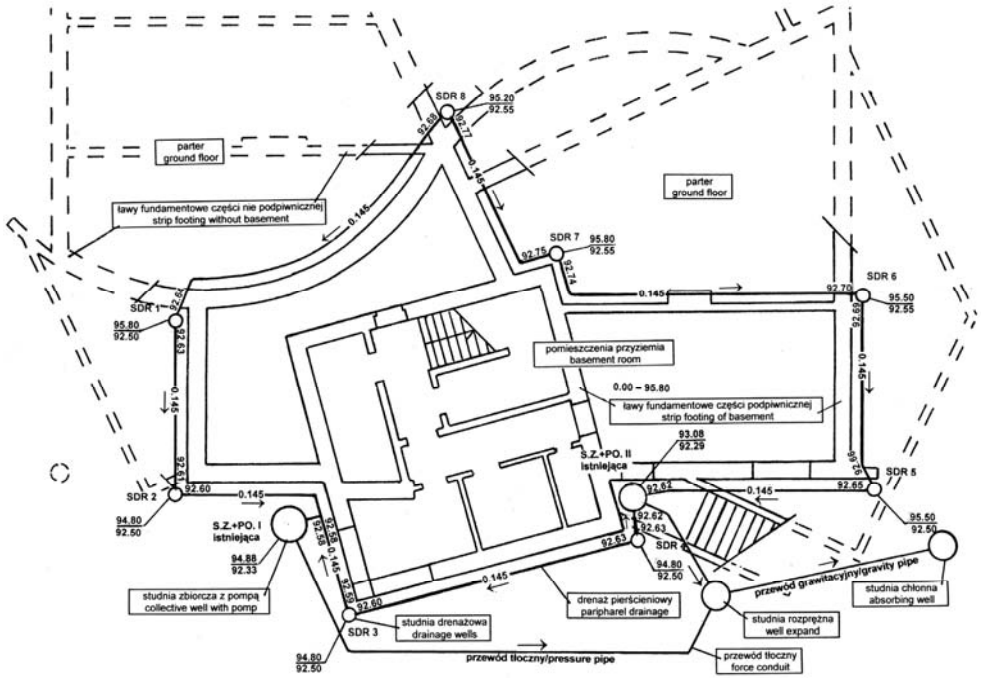
Duże koszty wzmocnienia podłoża metodą „jet grouting" i wiążąca się z tym konieczność usunięcia znajdujących się przy budynku nasadzeń roślin oraz przyległych obiektów małej architektury sprawiło, że odwodnienie terenu wykonano za pomocą studni depresyjnej wierconej o głębokości około 15 m, bez uprzedniego wzmocnienia gruntu. Zwierciadło wody obniżono do głębokości 1 m poniżej spodu ław fundamentowych. Efektem odwodnienia było osiadanie pomieszczeń posadzki parteru, pod którym nie było pomieszczeń przyziemia. Wysokość osiadania wynosiła 6–8 mm, dlatego też odwodnienie przerwano. Jak się później okazało, osiadła również studnia redukcyjna wodociągowa znajdująca się między budynkiem a instalacją kanalizacji sanitarnej.

Iniekcja niskociśnieniowa

Podjęte dotychczas próby odwodnienia i nieuwzględnienie na pewnym etapie proponowanej potrzeby wzmocnienia gruntu nie spełniły oczekiwań podmiotów proponujących takie rozwiązania, a wręcz zaszkodziły obiektowi. Zmieniono więc koncepcję odcięcia się od wód podziemnych. Wykonano uszczelnienie pomieszczeń przyziemia za pomocą metody iniekcji niskociśnieniowej. Polegało to na wywierceniu wewnątrz budynku na styku posadzki i ław fundamentowych otworów co 0,2 m, przez które wtłaczano iniekt wodoszczelny. Prace przeprowadzono przy poziomie wody podziemnej układającej się na wysokości dna płyty betonowej posadzki, tj. na rzędnej 92,80 m (rys. 1). W ciągu 3 miesięcy po zakończeniu robót, kiedy poziom wody podniósł się ponownie do wysokości powyżej posadzek, intensywność dopływu do pomieszczeń była większa niż przed wykonaniem iniekcji. Dopływ odbywał się jak poprzednio na połączeniu izolacji poziomej fundamentu ze ścianą piwnicy oraz przez większość otworów iniekcyjnych. Wzmożony dopływ powstał prawdopodobnie z powodu poprzerywania w trakcie wierceń izolacji poziomej ławy ze ścianą i posadzką.

Drenaż pierścieniowy zewnętrzny

Na skutek braku efektów uszczelnienia pomieszczeń przyziemia i podjętych wcześniej sposobów odwodnienia powróciła koncepcja wzmocnienia podłoża. Zaproponowano trwałe odwodnienia budynku za pomocą drenażu pierścieniowego zewnętrznego części podpiwniczonej (rys. 7). Jako studnie zbiorcze zostaną wykorzystane istniejące studnie żelbetowe po zasklepieniu otworów wlotowych. W studniach zainstaluje się pompy zatapialne z pływakowym sposobem regulacji poziomu. Wody drenażowe będą odprowadzane (do czasu wykonania ulicznej kanalizacji deszczowej) na teren własnej posesji do studni chłonnych.



RYSUNEK 7. Plan pierścieniowego drenażu zewnętrznego
FIGURE 7. The plan of peripheral drainage

Podsumowanie

Podtapiany obiekt położony jest na eolicznych piaskach w zagłębieniu bezodpływowym i wodnolodowcowym. Zwierciadło wody podziemnej układało się na poziomie 93,28 m. Budynek odwadniany był początkowo dwoma igłofiltrami, na których zamocowano pompy ssąco-tłoczące. Igłofiltry znajdowały się w dnach studni z kręgów żelbetowych. Pompowaną wodę odprowadzano na teren własnej posesji. Po krótkim okresie studnie przestały działać z powodu zakolmatowania.

Następnie próbowano odwodnić budynek, wykorzystując studnie żelbetowe, stanowiące wcześniej obudowę igłofiltrów. Modernizacja polegała na wywierceniu w dnach i ściankach kręgów otworów o średnicy 3,2 mm i umieszczeniu w nich pomp zatapialnych z pływakową regulacją poziomu wody. Wywiercone otwory nie zostały zabezpieczone filtrem odwrotnym. Odwodnienie działało ponad pięć lat. Skutkiem negatywnym tego rozwiązania było wypłukiwanie gruntu z podłoża spod fundamentów i posadzki pomieszczeń przyziemia do wnętrza studni, z których był usuwany. Skala zjawiska była duża, objętość wypłukiwanego gruntu mogła wynieść około 5 m^3. Wystąpiło 1,5-centymetrowe osiadanie słupa przenoszącego obciążenia od podciągów parteru.

W celu wstrzymania procesu wynoszenia gruntu podłoża do studni żelbetowych zaproponowano zabezpieczenie

tymczasowe otworów wlotowych filtrem z siatki rypsowej dla piasków bardzo drobnych. Przyjęte rozwiązanie zmniejszyło ilość wypłukiwanego gruntu podłoża o 99%. Po wstrzymaniu niekorzystnych procesów filtracyjnych opracowano koncepcję drenażu trwałego.

Na podstawie badań i zakresu podtopień zaproponowano w pierwszej kolejności wzmocnienie fundamentów metodą „jet grauting", a następnie drenaż pierścieniowy zewnętrzny z odprowadzeniem wód drenażowych studni chłonnej na własnej posesji do czasu wykonania ulicznej kanalizacji deszczowej.

Zamiast proponowanego wzmocnienia podłoża pod fundamentami i drenażu wykonano studnię depresyjną do głębokości 15 m. Po obniżeniu poziomu wody gruntowej osiadła posadzka w pomieszczeniu parteru budynku o 7 cm. Odwadnianie studnią depresyjną przerwano.

Kolejną próbą odcięcia pomieszczeń przyziemia od wody podziemnej było uszczelnienie posadzki na połączeniu ze ścianą fundamentową za pomocą iniekcji niskociśnieniowej. Po wywierceniu otworów co 0,2 m wtłoczono masą iniekcyjną. Uszczelnienie było nieskuteczne, podtopienia nie ustąpiły.

Podjęte cztery próby zabezpieczenia budynku przed podtopieniami wykazały wysoką niekompetencję osób realizujących te prace. Podejmowane decyzje, bez przeprowadzenia stosownych badań geotechnicznych w celu rozpoznania podłoża, spowodowały niekontrolowane uruchomienie niekorzystnych zjawisk filtracyjnych w obrębie stosowanych ujęć depresyjnych przy fundamentach. Szczególnie niebezpieczne dla stateczności budynku było nieprzemyślane usuwanie gruntów wynoszonych z wodą do studni depresyjnej, zamiast zabezpieczyć ją filtrem. Średnice otworów wlotowych w ścianach studni odwodnieniowych przekraczały kilkadziesiąt razy wymiary dopuszczalne. Nie wzięto pod uwagę wyników ekspertyzy, w której wykazano nieprawidłowości i zaproponowano rozwiązanie dające gwarancję bezpieczeństwa budowli. Dopiero po wystąpieniu usterek spowodowanych wymienionymi błędami (osiadanie słupa nośnego i posadzki oraz studni redukcyjnej) zdecydowano się na zalecane wzmocnienie podłoża, a w drugiej kolejności – na drenaż budynku. Przedstawiony przykład powinien być przestrogą dla inżynierów, projektantów i wykonawców, że brak stosownych badań i lekceważenie objawów wcześniej podjętych niewłaściwych rozwiązań technicznych może doprowadzić do niekorzystnych, a w ostatnim etapie niekontrolowanych zjawisk zagrażających bezpieczeństwu budowli.

Literatura

ABRAMOW K. 1973: Poziemnyje drenaži w promyślennom i gorodskom stroitielstwie. ILPS, Moskwa.

EDEL R. 2002: Odwodnienie dróg. WKŁ, Warszawa.

KUBRAK J. 1992: Hydraulika techniczna. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.

MATUSIEWICZ W. 1993: Przykłady obliczeń odwodnień zabezpieczających szczelne zbiorniki betonowe przed skutkami wyporu wody. Przegląd Naukowy Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska SGGW 2: 49–55.

MATUSIEWICZ W. 2003a: Działanie systemu kanalizacji deszczowej w zlewni miejskiej w warunkach deszczu nawalnego. *Acta Scientiarum Polonorum, Architectura* 2 (2): 83–95.

MATUSIEWICZ W. 2003b: Zabezpieczenie obiektów budowlanych przed skutkami desz-

czów nawalnych w warunkach ograniczonego odpływu. *Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej SGGW* 2: 22–27.
MATUSIEWICZ W. 2005: Odwodnienie dużego wykopu fundamentowego Świątyni Świętej Opatrzności Bożej w Warszawie. *Acta Scientiarum Polonorum, Architectura* 4 (1): 4–20.
MATUSIEWICZ W. 2009: Odwodnienie budowli posadowionej na gruntach spoistych w rejonie skarpy wiślanej. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 1: 49–60.
MIELCARZEWICZ E. 1971: Melioracje terenów miejskich i przemysłowych. ARKADY, Warszawa.
SOKOŁOWSKI J., ŻBIKOWSKI A. 1993: Odwodnienia budowlane i osiedlowe. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.

Summary

Safety abatement of building foundation caused by incorrect method of dewatering. This paper presents reasons of excessive rise in ground water level and for manners of dewatering solutions ie. wall point two wells on the type concrete wells with suction-force pumps, concrete two wells drilled with a diameter of 0.032 min the bottom and wells of submersible pumps with float control, well of depressive pit depth 16 m with submersible pump, low-pressure injection of the level of the floor and foundation well. The solutions were in effective, the soil was distanced from under the building by pumped water and floor pole supporting the root ware settled. Geotechnical study has shown that after dewatering, soil under strip footing was in loose state. To improve foundation seditions jet grouting and peripheral drainage were proposed.

Author's address:
Władysław Matusiewicz
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Geoinżynierii
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
Poland
e-mail: wladyslaw_matusiewicz@sggw.pl