

## WARUNKI GRUNTOWO-WODNE WYBRANYCH REJONÓW CENTRUM WROCŁAWIA

### THE CHARACTERISTICS OF GROUND AND WATER CONDITIONS IN SELECTED AREAS OF THE WROCŁAW CITY CENTRE

KRYSTYNA CHOMA-MORYL<sup>1</sup>

**Abstrakt.** Warunki gruntowo-wodne centrum Wrocławia przedstawiono na podstawie badań wykonanych dla kilku obiektów zlokalizowanych w niewielkiej odległości od koryta Odry, na odcinku pomiędzy mostem Grunwaldzkim a mostem Milenijnym. Na omawianym obszarze gliny zlodowacenia sanu 2 występują na głębokości 12–15 m. Gliny te są skonsolidowane, twardoplastyczne na granicy półzwardych. Powyżej występują piaski i żwiry średniozagęszczone i zagęszczone. Są one nawodnione, a głębokość zwierciadła wody jest ściśle uzależniona od poziomu wody w Odrze. W ich obrębie mogą występować przewarstwienia i soczewy gruntów organicznych, o zróżnicowanej miąższości od kilkudziesięciu centymetrów do 2–3 m. Na powierzchni terenu występują utwory antropogeniczne w postaci warstw kulturowych, nasypów budowlanych i nasypów niebudowlanych będących w dużej mierze pozostałością po działaniach wojennych z okresu II wojny światowej. Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, że posadowienie budynków w tym rejonie będzie uzależnione od głębokości występowania gliny zlodowacenia sanu 2 i zróżnicowanego wykształcenia utworów na nich zalegających.

**Słowa kluczowe:** nasypy, grunty sypkie, gliny lodowcowe, stany gruntów.

**Abstract.** The ground and water conditions of the Wrocław city centre are presented based on the study conducted on several objects located near the Odra riverbed and in-between the Grunwaldzki Bridge and Millenium Bridge. In this area, glacial tills of the Sanian 2 Glaciations are found at the depth of 12–15 m. These tills are consolidated, hard-plastic and with a tendency to becoming semi-solid. They are overlain by compacted and medium-compacted sands and gravels that are irrigated and the water level depth is directly linked to the water levels of the Odra River. Interbedding of soil strata and lenticules of organic soils with variable thickness ranging between a few tens of centimetres and 2–3 m can occur in these deposits. The surface of the area is covered with non-engineering fills resulting mostly from warfare during the World War II. The results allow stating that the construction of buildings in this region will depend on both the depth to the Sanian 2 till and the lithological variability of the overlying deposits.

**Key words:** non-engineering fills, non-cohesive soils, glacial tills, condition of soils.

### WSTĘP

Dynamiczny rozwój dużych miast wymusza dwa kierunki zagospodarowywania terenów. Jeden z nich koncentruje się na zabudowie pustych, niezabudowanych obszarów na obrzeżach miasta w znacznej odległości od jego centrum, drugi kierunek wykorzystuje pozostałe jeszcze w centrum niezabudowane place. Często dochodzi nawet do wyburza-

nia starej zabudowy, na której miejscu budowany jest nowoczesny obiekt. Rozwój budownictwa w centrum każdego dużego miasta, również Wrocławia, wymaga bardzo racjonalnego wykorzystania podłoża gruntowego. Ceny działek wymuszają ekonomiczne wykorzystanie każdego metra kwadratowego. Dlatego większość obiektów budowana jest mak-

---

<sup>1</sup> Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski, pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław; e-mail: krystyna.choma-moryl@ing.uni.wroc.pl

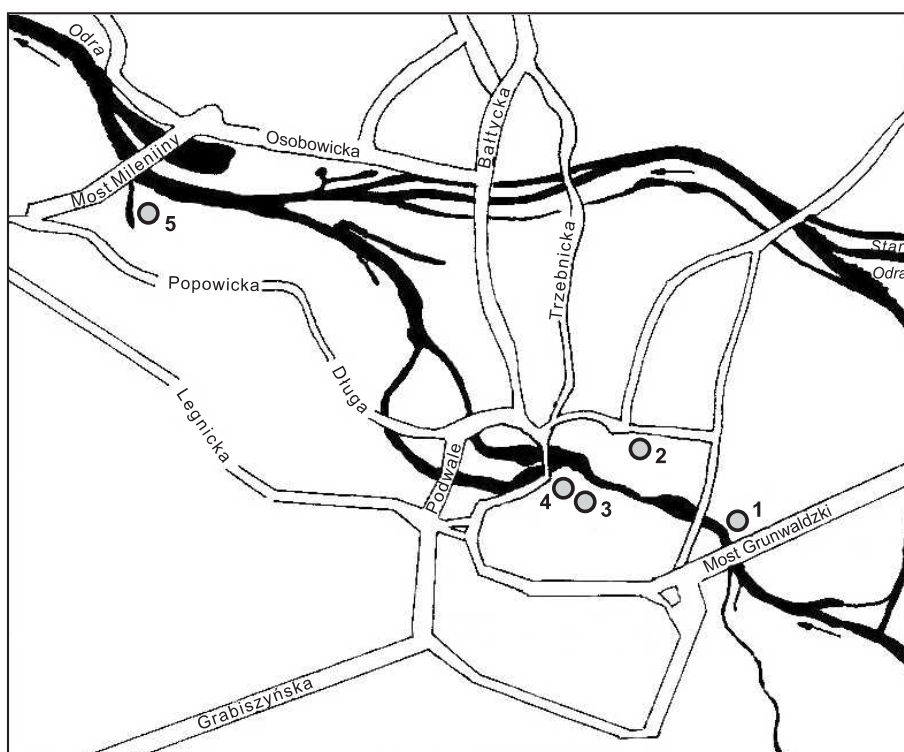
symalnie w górę, z jednoczesnym głębokim fundamentowaniem umożliwiającym wykonanie wielopoziomowych garaży podziemnych. Wysokość budynków oczywiście jest ograniczana sąsiednią, często zabytkową zabudową. Prowadzenie prac ziemnych musi być poprzedzone badaniami i pracami archeologicznymi. Prace ziemne wymagają przeważnie specjalistycznego sprzętu, gdyż od powierzchni terenu do głębokości kilku metrów występują grunty antropogeniczne, będące pozostałością po starej zabudowie, działaniach i wyburzeniach w czasie II wojny światowej oraz pracach porządkowych po jej zakończeniu. Prace te muszą być prowadzone bardzo umiejętnie, aby nie spowodowały uszkodzenia starych budynków, w których bezpośrednim sąsiedztwie budowane są nowe obiekty. Te wszystkie czynniki wymuszają bardzo dokładne rozpoznanie warunków gruntowo-wodnych w podłożu projektowanych obiektów. Zgromadzenie jak największej ilości danych na temat tych warunków umożliwi podjęcie najbardziej właściwych decyzji na etapie projektowania lokalizacji i rozwiązań konstrukcyjnych nowych obiektów.

W artykule szczegółowo omówiono warunki gruntowo-wodne w czterech rejonach centrum Wrocławia, zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie koryta Odry lub w niewielkiej od niego odległości. Są to: rejon ulic Polaka–Jo-

liot-Curie, ulica Kanonia, rejon ulic Uniwersyteckiej–Szewskiej–Kuźniczej oraz rejon Portu Rzecznego Popowice przy ulicy Białowieskiej (fig.1).

Na podstawie tych przykładów zwrócono uwagę na istotne zagadnienia wpływające na sposób posadowienia obiektów budowlanych w tym rejonie, który jest determinowany głębokością występowania glin zlodowacenia sanu 2 oraz zróżnicowanym wykształceniem osadów zalegających na tych glinach. Odrębnym zagadnieniem jest zachowanie się gruntów spoistych, występujących pod fundamentami istniejącej zabudowy, w warunkach podwyższenia się poziomu wody. Jest to ważne zarówno przy budowaniu nowych obiektów w sąsiedztwie już istniejących, jak również dla ustalenia przyczyn uszkodzeń starej zabudowy.

Badania były prowadzone przez Pracownię Usług Geologicznych WRO-MIN na zlecenie Uniwersytetu Wrocławskiego celem opracowania dokumentacji geologiczno-inżynierskich i opinii geotechnicznych dla nowo budowanych budynków Instytutu Informatyki i Wydziału Prawa i Administracji oraz modernizowanych obiektów Instytutu Botaniki i Instytutu Historii. W rejonie Portu Rzecznego Popowice projektowana jest budowa osiedla mieszkaniowego, inwestorem przedsięwzięcia jest E.F. Rank Progress Sp.j. Bartnicki–Mrocza.



**Fig. 1. Lokalizacja miejsc badań w centrum Wrocławia**

1 – rejon ulic Polaka–Joliot-Curie; 2 – ul. Kanonia; 3, 4 – rejon ulic Uniwersyteckiej–Szewskiej–Kuźniczej; 5 – rejon portu rzeczno Popowice

Sketch of location of study sites in the centre of Wrocław

1 – vicinity of Polak–Joliot-Curie streets; 2 – Kanonia Street; 3, 4 – vicinity of Uniwersytecka–Szevska–Kuźnicza streets; 5 – vicinity of Popowice River Port

## ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ WROCŁAWIA

Wrocław leży w pobliżu granicy dwóch dużych jednostek geologiczno-strukturalnych. W swoich granicach administracyjnych położony jest na monoklinie przedsudeckiej, natomiast tuż za miastem, na SW od linii Smolec–Rzeplin przebiega granica z blokiem przedsudeckim zbudowanym ze skał metamorficznych facji amfibolitowej i zieleńcowej należących do proterozoiczno-staropaleozoicznego piętra strukturalnego. Na granicy tych jednostek występuje strefa uskózków środkowej Odry. Całość przykryta jest kompleksem osadów kenozoicznych. W budowie geologicznej Wrocławia widać wyraźne zróżnicowanie wykształcenia i rozprzestrzenienia utworów neogenu i plejstocenu w zachodniej części miasta w porównaniu z obszarem centralnym i wschodnim.

W zachodniej części Wrocławia osady neogenu zalegają głównie na utworach permu. Najstarszymi utworami neogenu są środkowomiocenijskie piaski, pyły, ropy węgliste i ropy z wkładkami węgla brunatnych. Miocen górny i pliocen dolny reprezentowane są przez poziom ropy płomienistych serii poznańskiej (Dyjur, 1970, 1992). Ropy, ropy pylaste barwy szarej, szarozielonej lub oliwkowej z charakterystycznymi czerwonymi, rdzawymi i wiśniowymi smugami i plamami sugerują sedymentację w spokojnych, dobrze dotlenianych zbiornikach. Zalegają bardzo płytko na całym obszarze zachodniej części Wrocławia. W dzielnicach Leśnica, Marszowice, Maślice występują przeważnie na powierzchni terenu, bezpośrednio pod glebą. Pliocen górny reprezentowany jest przez utwory serii Gozdnicy, występujące w postaci izolowanych płatów, np. w rejonie Maślic (Łabno, 1991).

Największe rozprzestrzenienie i zróżnicowanie wykazują utwory zlodowacenia środkowopolskiego – stadiała maksymalnego. Utwory wodnolodowcowe występują na większości powierzchni zachodnich dzielnic Wrocławia, drugie pod względem zajmowanej powierzchni są gliny zwałowe. Miąższość utworów wodnolodowcowych wynosi 3–6 m, glin zwałowych – 3–5 m.

Utwory zlodowacenia północnopolskiego, reprezentowane przez piaski i żwiry, występują fragmentarycznie w dolinie Odry pod osadami holocenu i w dolinach Bystrzycy i Strzegomki. Holocen reprezentowany jest głównie przez osady rzeczne – piaski, żwiry, namuły piaszczyste i mady tarasów zalewowych (3,0–4,0 m n.p. rzeki) oraz piaski i żwiry tarasów zalewowych (1,5–2,0 m n.p. rzeki) (Łabno, 1991).

W centralnej i wschodniej części Wrocławia utwory neogenu zalegają na osadach triasu. Są one reprezentowane przez środkowomiocenijskie szare i jasnoszare ropy z wkładkami ropy pstrych i przewarstwieniami pyłów i piasków.

Plejstocen reprezentowany jest przez osady zlodowacenia południowopolskiego i środkowopolskiego. Najstarszymi utworami zlodowacenia południowopolskiego są mułki,

ropy i piaski zastoiskowe oraz piaski i żwiry wodnolodowcowe. Dwa poziomy glin zwałowych tego zlodowacenia są wykształcone jako ciemnoszare gliny piaszczyste z wkładkami piasków lub dużą zawartością drobnego żwiru. Są one zaliczane do zlodowacenia sanu 2 (Lindner, 1988). W centrum Wrocławia gliny tego zlodowacenia tworzą ciągłą pokrywę, której strop znajduje się na zróżnicowanej głębokości (Goldsztein, Skrzypek, 2004). Zmienne ukształtowanie ich stropu jest efektem działalności erozyjnej Odry, odprowadzającej wody topniejącego lądolodu w czasie wycofywania się po zlodowaceniu Sanu 2 oraz zlodowaceniach środkowo- i północnopolskim. Gliny zlodowacenia środkowopolskiego mają zabarwienie szarobrunatne, niebieskie, przeważnie są piaszczyste z przewagą otoczków skał północnych (70–80%). Od glin zlodowacenia północnopolskiego są oddzielone utworami zastoiskowymi lub wodnolodowcowymi. Mogą też być nierozdzielone i tworzą wtedy jeden poziom glin lodowcowych. Utworami zlodowacenia północnopolskiego są piaski i żwiry tarasów nadzalewowych (4,0–6,0 m n.p. rzeki). Holocen reprezentowany jest przez piaski i żwiry tarasów zalewowych 3,0 m n.p. rzeki oraz mady (Winnicka, 1988).

Wykształcenie płytko występujących osadów w granicach administracyjnych Wrocławia, powoduje duże zróżnicowanie problemów przy posadowieniu obiektów budowlanych. W samym centrum miasta problemy te wynikają zarówno z charakteru budowy geologicznej, jak i czynnika antropogenicznego. Wymusza to konieczność głębszego rozpoznania budowy geologicznej do kilkunastu lub kilkudziesięciu metrów. Taka głębokość rozpoznania jest niezbędna dla posadowienia wysokich budowli, które coraz częściej wznoszone są w centrum Wrocławia i niedługo prawdopodobnie będą dominować w jego krajobrazie. Projektowane obiekty, na przykład przy ulicach Traugutta, Sikorskiego czy Wierzbowej, wymagały rozpoznania warunków gruntowo-wodnych do głębokości 20–30 m. Warunki gruntowo-wodne w podłożu wieżowca Sky Tower zostały rozpoznane odwiertami badawczymi do głębokości 45 m. Obiekt ten został posadowiony na palach, opartych na twardeplastycznych glinach zwałowych zalegających na głębokości do 35 m (Kłosiński, Andrzejewski, 2009). Również w przypadku wielu innych obiektów gliny lodowcowe są pierwszą nośną warstwą, o dostatecznej miąższości i rozprzestrzenieniu, występującą w podłożu.

Głębokość zalegania stropu glin lodowcowych zlodowacenia sanu 2 jest szczególnie istotna dla budowy obiektów zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie koryta Odry. W tych rejonach gliny te są pierwszą warstwą nośną oraz warstwą, w którą można zagłębić ścianki szczelne umożliwiające odwadnianie wykopów i prowadzenie prac ziemnych.

## METODYKA BADAŃ

Warunki gruntowo-wodne ustalono na podstawie otworów badawczych, odkrywek fundamentów i sondowań. Wykonano wiercenia mechaniczne, okrętne do głębokości od 6 do 20 m.

W rejonie ulic Polaka–Joliot-Curie w 2000 roku odwiercono 12 otworów do głębokości 10–20 m. W rejonach ulic Uniwersyteckiej–Szewskiej–Kuźniczej w 2000 roku oraz w rejonie Portu Rzecznego Popowice przy ulicy Białowieskiej w 2007 roku wykonano po kilkanaście otworów badawczych do maksymalnej głębokości 16 m. W celu wyjaśnienia przyczyn powstawania rys i spękań budynku Instytutu Botaniki przy ulicy Kanonia, w 1999 roku wykonano siedem otworów do głębokości 6 m.

Stopień zagęszczenia określono na podstawie sondowań sondą dynamiczną SD-10. Wykonano również odkrywki fundamentów pod budynkiem Instytutu Botaniki i pod budynkami przy ulicy Uniwersyteckiej i Kuźniczej, żeby stwierdzić głębokości ich posadowienia, szerokości fundamentów oraz rodzaje i stan gruntów występujących pod nimi.

W trakcie wierceń pobierano próbki gruntów i wody do badań laboratoryjnych, zgodnie z obowiązującymi zasadami. Na ich podstawie oznaczono właściwości fizyczne gruntów, zgodnie z normą PN-88/B-04481. Agresywność wody w stosunku do betonu określono na podstawie pH, twardości ogólnej, zawartości wolnego CO<sub>2</sub>, zawartości jonów siarczanowych i magnezowych, według normy PN-80/B-01800 i obecnie obowiązującej PN-EN 206-1.

Prowadzenie badań terenowych na obszarach miejskich często stwarza znaczne problemy, związane między innymi z dostępnością terenu. W wielu przypadkach niemożliwe jest

wjechanie ze sprzętem na teren badań, a wykonanie wierceń systemem ręcznym utrudniają nasypy o miąższości do kilku metrów. W takich sytuacjach bardzo korzystne jest wykonanie badań podłoża gruntowego georadarem.

Georadar – radar do penetracji gruntu (GPR – Ground Penetrating Radar), jest elektroniczną aparaturą do geofizycznych badań gruntu. Składa się z: anteny nadawczej, anteny odbiorczej, jednostki centralnej i komputera przenośnego z monitorem. Elementy te połączone są światłowodami. Urządzenie działa na zasadzie zliczania opóźnień impulsów elektromagnetycznych o bardzo wysokiej częstotliwości (10–1000 MHz), wysyłanych przez antenę nadawczą, które odbite od granic litologicznych gruntu, różniących się stałą dielektryczną, odbierane są przez antenę odbiorczą i przekazywane do jednostki centralnej w celu zliczania czasu opóźnień powrotu fali. Impulsy trafiają do jednostki centralnej sterującej systemem, a następnie są przetwarzane i przesyłane do rejestratora. Uzyskane wyniki można porównać z obrazami wzorcowymi lub skorelować z profilami otworów badawczych.

W stosunku do innych metod terenowych pozwala na bezinwazyjne badanie zmienności litologii i płytkich struktur geologicznych. W rejonie budynku Instytut Historii wykonanie otworów badawczych było bardzo utrudnione, dlatego do badania podłoża gruntowego zastosowano georadar. Przeprowadził je dr Adam Szykiewicz z Instytutu Nauk Geologicznych UW w przenośnym georadarem do penetracji gruntu RAMAC/GPR produkcji szwedzkiej firmy GeoScience Mala, zasilanym akumulatorami 12 V. Do profilowań zastosowano anteny nieekranowane, o częstotliwości centralnej 100 MHz, przenoszone ok. 10 cm nad powierzchnią gruntu.

## WYNIKI BADAŃ

Badania w rejonach ulic Polaka–Joliot-Curie, Uniwersyteckiej–Szewskiej–Kuźniczej i Białowieskiej (Port Rieczny Popowice) były wykonywane w celu rozpoznania warunków gruntowo-wodnych pod projektowane budynki. Na powierzchni omawianych terenów występują utwory antropogeniczne w postaci niekontrolowanych nasypów o średniej miąższości od 1,5 do 4,0 m. Największe zróżnicowanie miąższości od kilkudziesięciu centymetrów do 5,3 m stwierdzono w rejonie Portu Rzecznego Popowice. W nasypach tych dominuje gruz ceglany, żużel i gleba.

W rejonie ulic Polaka–Joliot-Curie poniżej nasypów występują holocenijskie gliny rzeczne, wykształcone jako gliny piaszczyste, pylaste lub pylaste zwięzłe, są one plastyczne do miękkoplastycznych ( $I_L$  wynosi od 0,35 do 0,60). Nie tworzą ciągłej warstwy lecz występują w postaci soczew o zmiennym rozprzestrzenieniu i zmiennej miąższości od 0,5 do 2,0 m. Lokalnie pod nasypami występują piaski drobnoziarniste, średnio zagęszczone ( $I_D = 0,4$ ) w postaci soczew o miąższości 0,3–1,0 m. Natomiast prawie ciągłą warstwę

na omawianym terenie tworzą namuły barwy szarej lub ciemnoszarej o zmiennej zawartości części organicznych (5,6–10,1%). Na podstawie składu granulometrycznego zaliczono je do glin pylastych oraz piasków gliniastych i pyłów. Są one miękkoplastyczne ( $I_L = 0,75$ ). Zalegają warstwą o zmiennej miąższości od 0,9 do 2,9 m. Występujące poniżej osady piaszczysto-żwirowe, są najprawdopodobniej związane ze zlodowaczeniem północnopolskim. W holocenie, w okresie subborealnym, na skutek zaostrenia klimatu rzeka rozpoczęła akumulację materiału piaszczysto-żwirowego. Średnio zagęszczone ( $I_D = 0,40$ – $0,45$ ) piaski drobno- i średnioziarniste występują w postaci soczew, o miąższości od kilkudziesięciu centymetrów do około 1,5 m (Moryl, 2000a).

W podłożu całego badanego terenu piaski średnio- i gruboziarniste tworzą ciągłą warstwę, o miąższości około 5 m (fig. 2). Są średnio zagęszczone na granicy zagęszczonych ( $I_D = 0,65$ ). Poniżej, warstwą o kilku metrowej miąższości zalegają pospółki i żwiry, w stropie zagęszczone ( $I_D = 0,8$ ), a następnie bardzo zagęszczone ( $I_D = 0,9$ ).

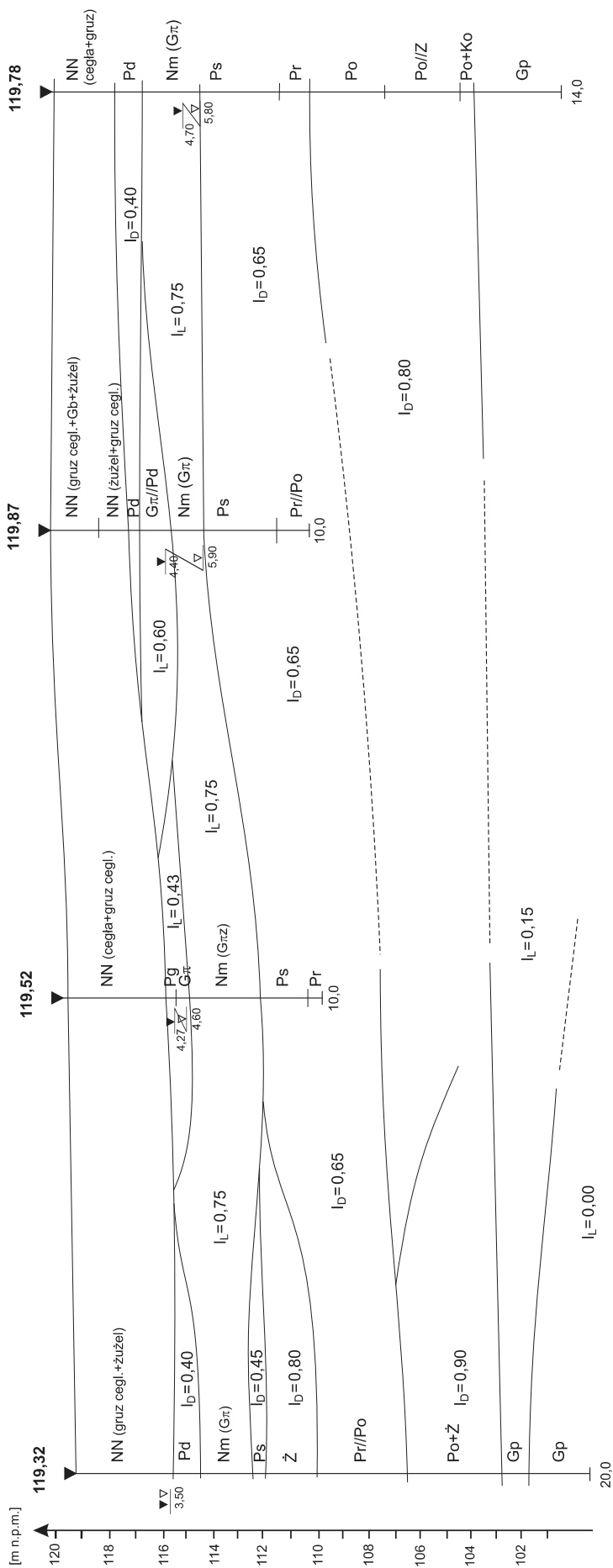


Fig. 2. Przekrój geologiczno-inżynierski w rejonie ulic Polaka–Joliot-Curie

**Objaśnienia do figur 2-5:** NB – nasypy budowlane, NN – nasypy niebudowlane, Pd – piasek drobnoziarnisty, Ps – piasek średnioziarnisty, Pr – piasek gruboziarnisty, Po – pospółka, Ż – żwir, Ko – otoczaki, Nm – namul, Nmg – namuł gliniasty, Gb – gleba, G – glina, Gp – glina piaszczysta, Gπ – glina pylasta, Gπz – glina pylasta zwięzła, I<sub>p</sub> – stopień zagęszczenia, I<sub>L</sub> – stopień plastyczności, pl – stan plastyczny, mpl – stan miękkoplastyczny

Engineering geological cross-section in the vicinity of Polak and Joliot-Curie streets

**Explanation to Figures 2-5:** NB – engineering fills, NN – non-engineering fills, Pd – fine-grained sand, Ps – medium-grained sand, Pr – coarse-grained sand, Po – sand-gravel mix, Ż – gravel, Ko – pebbles, Nm – aggregated mud, Nmg – clayey aggregated mud, Gb – soil, G – loam, Gp – sandy loam, Gπ – silty loam, Gπz – silty-clayey loam, I<sub>p</sub> – density index, I<sub>L</sub> – liquidity index, pl – plastic state of soil, mpl – soft-plastic state of soil

Odmienne wykształcone są utwory występujące pod nasypami w rejonie ulic Uniwersyteckiej–Szewskiej–Kuźniczej. Nie stwierdzono tutaj namulów, a gliny rzeczne pojawiają się lokalnie.

W podłożu nowego budynku Wydziału Prawa i Administracji bezpośrednio pod nasypami zalegają grunty sykie. Jedynie w jednym otworze, zlokalizowanym od strony ulicy Uniwersyteckiej, nawiercono gliny rzeczne, których miąższość w tym rejonie wynosi 0,7 m (fig. 3). Są to gliny pylaste zwięzłe, wilgotne, plastyczne, o stopniu plastyczności  $I_L = 0,3$ . W pozostałych otworach pod nasypami występują drobnoziarniste piaski, średnio zagęszczone, o stopniu zagęszczenia  $I_D = 0,45$ . Miąższość ich waha się od około 1 do około 2,5 m. Niżej występują piaski średnio- i gruboziarniste, średnio zagęszczone ( $I_D = 0,6$ ), warstwą o zróżnicowanej miąższości od 0,25 do 4,0 m, maksymalnie do głębokości 7,2 m. Bezpośrednio pod tymi osadami zalegają pospółki i żwiry z przewarstwieniami piasków i glin piaszczystych, zagęszczone ( $I_D = 0,85$ ), tworzące warstwę o maksymalnej miąższości 7,0 m. Są to nawodnione utwory pochodzenia rzeczne.

Gliny rzeczne pojawiają się w kierunku południowo-wschodnim, w rejonie budynku Instytutu Historii, gdzie

występują pod nasypami warstwą miąższości około 1m. Są wykształcone jako gliny pylaste zwięzłe, miękkoplastyczne ( $I_L = 0,6$ ). Pod nimi znajdują się piaski drobnoziarniste, średnio zagęszczone ( $I_D = 0,45$ ), niżej piaski średnio- i gruboziarniste, ( $I_D = 0,6$ ). Utwory te zalegają do głębokości 9–10 m. Następnie, w tym rejonie występuje druga warstwa glin rzecznych, o zmiennej miąższości od 1 do 1,5 m. Są to gliny zwięzłe, wilgotne, plastyczne ( $I_L = 0,3$ ). Pod nimi występują zagęszczone ( $I_D = 0,8$ ) pospółki.

Ponieważ nowy budynek Wydziału Prawa i Administracji miał graniczyć bezpośrednio ze starą zabudową, niezbędne było wykonanie pięciu odkrywek fundamentów istniejących budynków. Na ich podstawie stwierdzono, że budynki te są posadowione na zróżnicowanej głębokości od 220 do 348 cm. Fundamenty i ściany są przeważnie ceglane, w jednym budynku tworzyła je 65-centymetrowa warstwa kamieni. Były one w nie najlepszym stanie, miały ciągły lub okresowy kontakt z wodą. Niektóre były posadowione na 80-centymetrowej warstwie miękkoplastycznych namulów gliniastych ( $I_L = 0,6$ ), pozostałe na drobno lub średnioziarnistych piaskach średnio zagęszczonych, o  $I_D = 0,45–0,50$  (Moryl, 2000b). Przed przystąpieniem do prac ziemnych należało zabezpieczyć istniejące budynki i odpowiednio prowadzić te prace, aby nie spowodowały

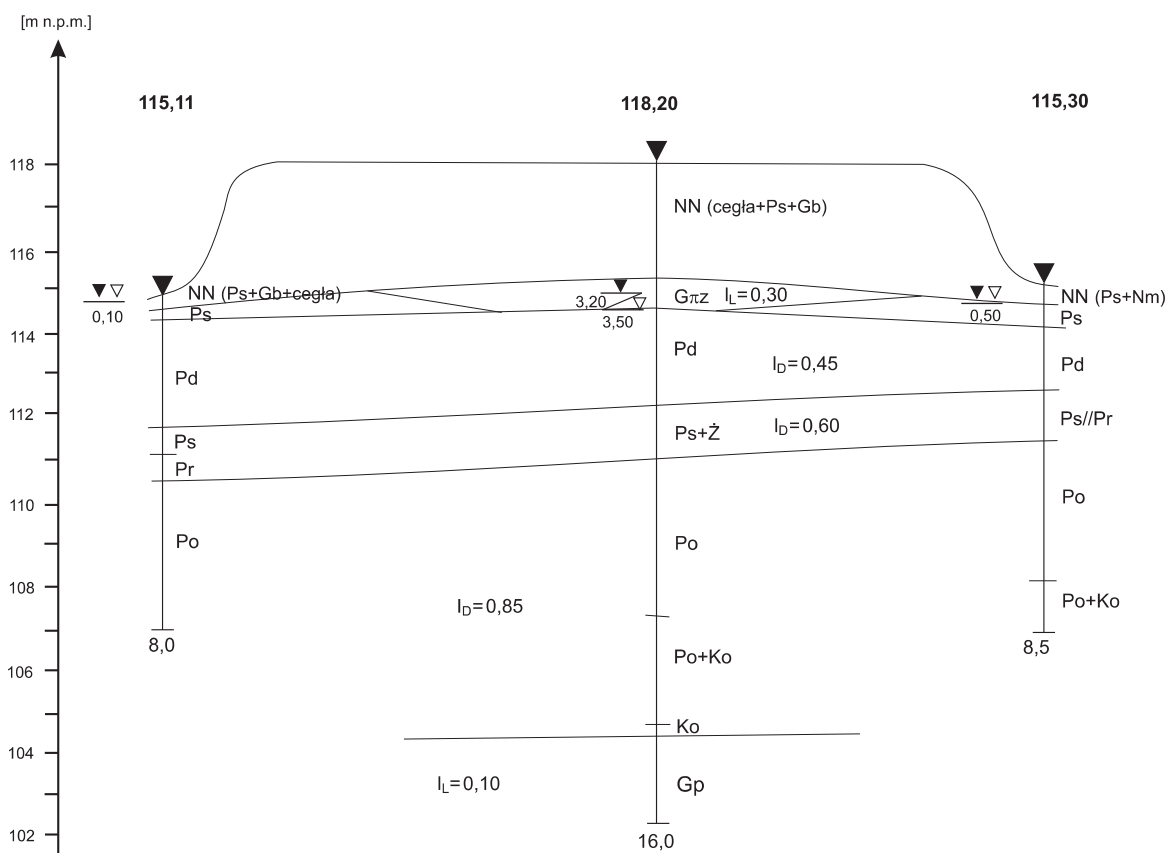


Fig. 3. Przekrój geologiczno-inżynierski w rejonie ulic Uniwersyteckiej–Szewskiej–Kuźniczej

Engineering geological cross-section in the vicinity of Uniwersytecka–Szevska–Kuźnicza streets

wać upłynnienia namulów gliniastych, a w konsekwencji doprowadzić do uszkodzenia starej zabudowy.

W rejonie Portu Rzecznego Popowice przy ul. Białowiejskiej pod nasypami występują piaski, pospółki i żwiry rzeczne. W partiach stropowych dominują piaski drobno-, średnio- i gruboziarniste, poniżej przeważają pospółki, które również występują w postaci przewarstwień w obrębie piasków. Piaski posiadają zróżnicowane zagęszczenie, od luźnych do będących na granicy średnio zagęszczonych i zagęszczonych. Ich stopień zagęszczenia  $I_D$  waha się od 0,2 do 0,65. W tym rejonie w obrębie piasków pojawiają się lokalnie soczewki plastycznych ( $I_L = 0,3$ ) piasków gliniastych i glin piaszczystych z wkładkami namulów o miąższości 0,2–3,2 m. Pospółki występujące w tym rejonie na głębokości 6,3–10,0 m, są zagęszczone, ich stopień zagęszczenia  $I_D$  równa się 0,75 (Choma-Moryl, Moryl, 2007).

Tak duże zróżnicowanie stopnia zagęszczenia spowodowane jest prawdopodobnie wtórnym wymyciem przez nurt rzeki wcześniej złożonych osadów rzecznych i ponownym ich osadzeniem. Sedymentacja ta przebiegała w bardzo niespokojnych i zmiennych warunkach.

We wszystkich omawianych obszarach badań nawodnione piaski, pospółki i żwiry zalegają na glinach lodowcowych Sanu 2. Gliny te występują na głębokościach 9,7–16,0 m, na rzędnych 102,8–105,1 m n.p.m. Na podstawie składu granulometrycznego zaliczono je do glin piaszczystych często ze żwirami. W stropie są one twaroplastyczne ( $I_L = 0,1$ ), głębiej – półzwarte ( $I_L = 0,0$ ). Na podstawie badań przeprowadzonych georadarem w rejonie budynku Instytutu Historii i otworów badawczych w rejonie Portu Rzecznego Popowice, w stropie tych glin stwierdzono niewielkiej miąższości warstwę otoczków i kamieni o charakterze bruku morenowego.

Na omawianym obszarze do głębokości objętej rozpoznaniem, tj. do 15–20 m, występuje jeden czwartorzędowy poziom wód gruntowych. Warstwę wodonośną stanowią piaski drobno- i średnioziarniste przechodzące ku spągowi w pospółki i żwiry. Osiąga ona miąższość około 10 m i jest podścielona praktycznie nieprzepuszczalnymi glinami lodowcowymi zlodowacenia sanu 2. W rejonie ulic Uniwersyteckiej–Szewskiej–Kućniczej zwierciadło wody ma charakter swobodny i występuje średnio na głębokości 3,0 m (na rzędnej 115,1–115,2 m n.p.m.), praktycznie bezpośrednio pod nasypami. Również generalnie swobodne zwierciadło wody występuje w rejonie Portu rzeczno Popowice, stabilizujące się na głębokości 4,1–6,5 m poniżej powierzchni terenu, tj. na rzędnej około 110,3–110,8 m n.p.m. Na obu obszarach zwierciadło napięte obserwuje się tylko lokalnie na różnych głębokościach, w zależności od występowania warstw napinających, którymi są soczewy glin pylastych lub piaszczystych. Odmienny charakter ma zwierciadło pierwszego poziomu wód gruntowych w rejonie ulic Polaka–Joliot-Curie. Ze względu na występującą na tym terenie ciągłą warstwę namulów jest ono napięte. Zostało nawiercone na głębokości 5,9–6,1 m, a stabilizuje się na głębokości 4,20–4,70 m.

Położenia zwierciadła wody na omawianych obszarach, stwierdzone w latach 1999–2000 i w roku 2007, odpowia-

dają średnim wartościom z dwulecia 2004–2005 podanym przez Worsę-Kozak (2006), która określa średnią jego głębokość w przedziale 0,9–6,5 m p.p.t. Wynika z tego, że położenie poziomu pierwszego zwierciadła wody w dwa, trzy lata po powodzi w 1997 osiągnęło już wartości średnie. Wszystkie omawiane przykłady dotyczą obszarów położonych w bliskim sąsiedztwie Odry, 50–100 m od jej koryta. Zarówno rytm wahań zwierciadła wody, jak i wielkość ich amplitudy będzie uzależniona od stanów wody w rzece. Worsa-Kozak (2006) stwierdza, że wpływ ten obejmuje obszar do odległości kilkuset metrów od koryta rzeki. Również badania modelowe pokazują ścisłą zależność pierwszego poziomu wodonośnego od poziomu wód w Odrze i Fosie Miejskiej (Bocheńska i in., 2003).

Na podstawie analizy chemicznej określono, że wody na omawianych obszarach wykazują agresywność kwasową, węglanową i siarczanową w stosunku do betonu. W rejonie ulic Polaka–Joliot-Curie pH wody wynosiło 6,6–6,8, a zawartość jonów siarczanowych  $SO_4^{2-}$  – 385–436 mg/l. Występująca tu woda posiada cechy słabej agresywności kwasowej i słabej agresywności siarczanowej w stosunku do betonu (wg PN-80/B-01800). Natomiast według normy PN-EN 206-1 jest to środowisko chemicznie mało agresywne.

W rejonie ulic Uniwersyteckiej–Szewskiej–Kućniczej pH wody wynosiło 7,0–7,2, zawartość jonów  $SO_4^{2-}$  – od 312 do 387 mg/l, a agresywnego  $CO_2$  – od 17,5 do 28,2 mg/l. Wartości te wskazują, że posiada ona cechy słabej agresywności siarczanowej i węglanowej w stosunku do betonu (PN-80/B-01800). Według normy PN-EN 206-1 jest to środowisko chemicznie średnio agresywne.

Zagadnienie wpływu wysokich poziomów wody na stan starej zabudowy omówiono na przykładzie budynku Instytutu Botaniki. Badania warunków gruntowo-wodnych w rejonie ul. Kanonia wykonano w 1999r w związku z pojawianiem się na budynku rys i spękań, których ilość i rozwarście zaczęły się zwiększać. Pierwsze uszkodzenia pojawiły się po powodzi w 1997 r, jakkolwiek Ostrów Tumski w tym czasie nie był zatopiony.

Stwierdzono, że na powierzchni terenu lub pod warstwą gleby występują nasypy o zróżnicowanej miąższości, przekraczającej często 5 m. Są to stare, skonsolidowane nasypy powstające od wczesnego średniowiecza do II wojny światowej. Mają charakter warstwowy. Niższe warstwy to głównie nasypy ziemne, w wyższych występuje gruz ceglany, którego ilość miejscami dochodzi do 70%, oprócz tego występuje glina, piasek i gleba. Część nasypów zbudowana jest z luźnych piasków gruboziarnistych, o stopniu zagęszczenia  $I_D = 0,25$ . Występują fragmentarycznie, nie tworząc ciągłej warstwy. Ich miąższość nie przekracza 1 m. W niektórych miejscach nasypy występują w formie soczew o miąższości około 0,5 m, zbudowane z glin piaszczystych i piasków gliniastych z 15% domieszką cegły. Są one plastyczne na granicy miękkoplastycznych, ich stopień plastyczności  $I_L = 0,45$ . Również nasypy zbudowane głównie z miękkoplastycznych namulów (gliny;  $I_L = 0,80$ ) nie tworzą ciągłej warstwy, a ich miąższość jest zróżnicowana i wynosi od 1,0 do 2,0 m. Takimi utworami zasypywano tereny zabagnione i stare odnogi Odry. Część

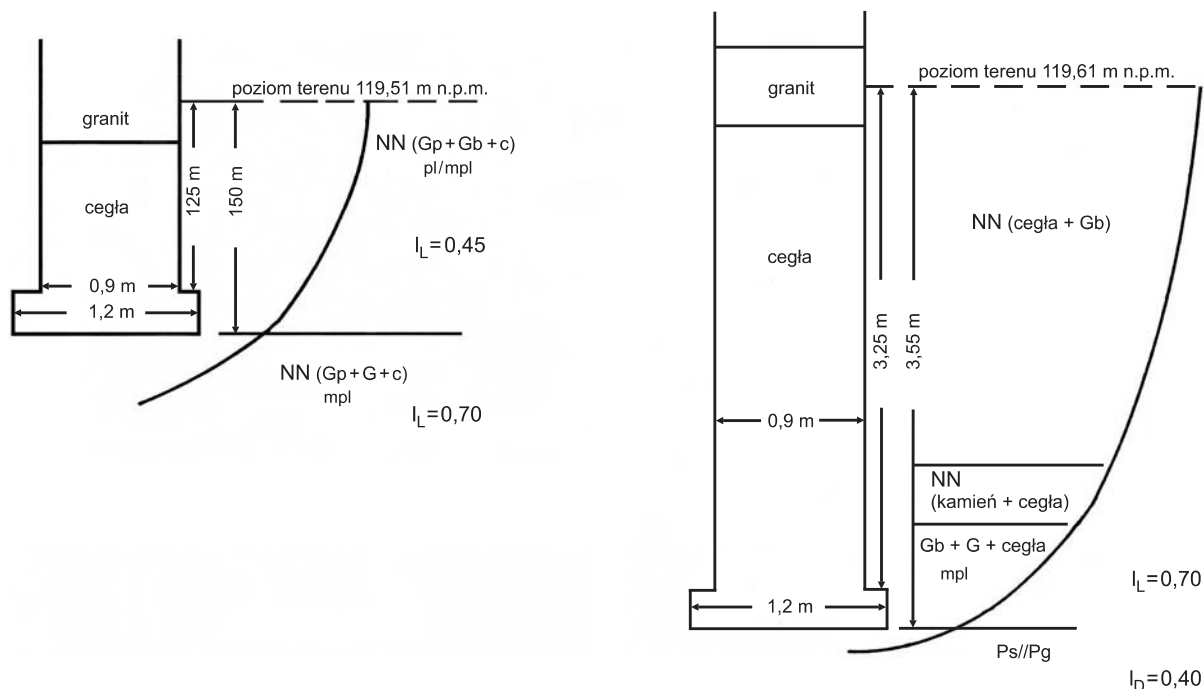


Fig. 4. Schemat odkrywek fundamentów – ul. Kanonia

A scheme of excavations of the foundations – Kanonia Street

budynku Instytutu Botaniki została posadowiona na nasypach, w których dominują miękkoplastyczne gliny.

Pod nasypami zalegają średnioziarniste piaski rzeczne z wkładkami glin pylistych lub piasków gliniastych, o stopniu zagęszczenia  $I_D = 0,40$ . Ich strop występuje na głębokości od 4,0 do 6,0 m ciągłą warstwą na całym badanym terenie. Piaski te są nawodnione, zwierciadło wody gruntowej znajduje się na głębokości 4,0–4,5 m, posiada charakter swobodny lub lekko napięty.

Budynek Instytutu Botaniki posadowiony jest na różnorodnym gruncie i na zróżnicowanej głębokości. Wzdłuż ulicy Kanonia budynek posadowiony jest na gruntach mineralnych rodzimych, piaskach rzecznych średnio zagęszczonych ( $I_D = 0,40$ ) na głębokości 3,6–4,0 m. W podłożu drugiej części budynku, od strony Ogrodu Botanicznego występują nasypy składające się głównie z namulów (glin), w stanie miękkoplastycznym o stopniu plastyczności  $I_L = 0,80$  (Mo-

ryl, 1999). Ta część budynku posadowiona jest na głębokości 1,5 m (fig. 4).

Przyczyną uszkodzeń tego budynku, pojawiających się po powodzi w 1997 r. było nierównomierne osiadanie. W czasie powodzi poziom wód gruntowych podniósł się w całym mieście, również na terenie Ostrowa Tumskiego. Podłoże budynku Instytutu Botaniki zostało nawodnione. Po opadnięciu wód powodziowych, w piaskach rzecznych występujących pod fundamentami od strony ulicy Kanonia woda odsączyła się szybko i po jej opadnięciu piaski mogły jeszcze ulec zagęszczeniu, poprawiając swoją nośność. Natomiast nasypy składające się głównie z glin pylistych po nawodnieniu utrzymywały wodę przez dłuższy czas, ulegając uplastycznieniu. To spowodowało, że w różnych częściach budynku występowały grunty o zróżnicowanej nośności. Efektem tego było nierównomierne osiadanie, powodujące uszkodzenia budynku Instytutu Botaniki.

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Omawiany obszar, zlokalizowany wzdłuż Odry na odcinku pomiędzy mostem Grunwaldzkim a mostem Milenijnym, pokryty jest warstwą nasypów budowlanych i niebudowlanych o zmiennej miąższości od kilkudziesięciu cm do 5,5 m. Największe zróżnicowanie miąższości nasypów stwierdzono w rejonie Portu Rzecznego Popowice (fig. 5). Na pozostałym obszarze ich miąższość wynosi średnio 2–4 m. Bezpośrednio

pod nasypami występują utwory rzeczne o bardzo zmiennym wykształceniu, najpłycej – przeważnie gliny pyliste i gliny, jedynie w rejonie Portu Rzecznego Popowice piaski gliniaste i gliny piaszczyste. Są one w stanie plastycznym lub miękkoplastycznym (tab. 1). Nie tworzą ciągłej warstwy, lecz występują w postaci soczew o zmiennej miąższości i zmiennym rozprzestrzenieniu. W rejonie ulic Polaka–Joliot–Curie wystę-



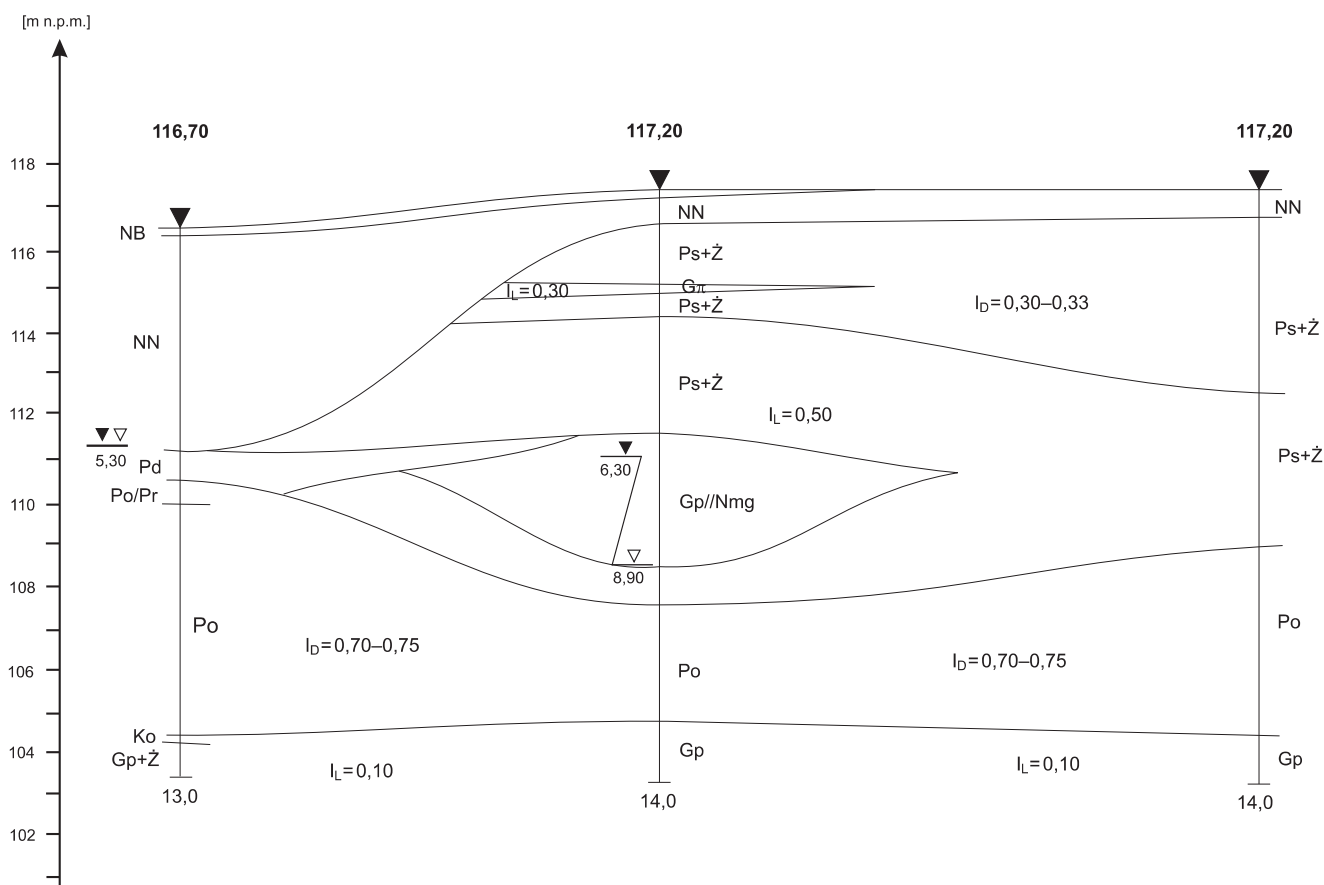


Fig. 5. Przekrój geologiczno-inżynierski w rejonie Portu Rzecznego Popowice – ulica Białowieska

Engineering geological cross-section in the vicinity of River Port Popowice – Białowieska Street

puje warstwa namułu, pod względem granulometrycznym odpowiadająca glinom pylistym, pyłom i piaskom gliniastym, która rozciąga się w podłożu prawie całego tego terenu. Utwory te są miękkoplastyczne, o wysokiej wilgotności naturalnej (tab.1). Również w podłożu budynku Instytutu Botaniki przy ul. Kanonia obserwuje się namuły. Tworzą one soczewy o miąższości od 0,5 do 2,0 m. Ich stopień plastyczności wynosi 0,8, co wskazuje, że grunty te zbliżają się do stanu płynnego. Namułów nie nawiercono w rejonie ulic Uniwersyteckiej–Szewskiej–Kućniczej i w rejonie Portu Rzecznego Popowice. Zarówno grunty antropogeniczne, jak i zalegające pod nimi gliny i namuły rzeczne, nieskonsolidowane, znajdujące się w stanie miękkoplastycznym, nie nadają się do bezpośredniego posadowienia. Występują one prawie na całym omawianym terenie na zmiennej głębokości.

Gruntami nadającymi się do bezpośredniego posadowienia, charakteryzującymi się dobrymi parametrami geotechnicznymi są rzeczne osady piaszczysto-żwirowe, zalegające w podłożu całego badanego terenu warstwą o miąższości około 10 m. Stwierdzono je otworami na całym omawianym obszarze. Są one zagęszczone, o stopniu zagęszczenia  $I_D = 0,65-0,90$ . W większości przypadków są jednak nawod-

nione, gdyż zalegają poniżej zwierciadła wody. Powoduje to duże trudności w wykonawstwie prac ziemnych i zachodzi konieczność wykonywania wykopów w stalowej ścianie szczelnej, zwłaszcza gdy projektowane jest wykonanie na przykład wielopoziomowych garaży podziemnych.

Również dobrym podłożem budowlanym są występujące na całym obszarze gliny lodowcowe zlodowacenia sanu 2. Ich strop znajduje się na rzędnej 102,8–103,3 m n.p.m. w rejonie ulic Polaka–Joliot-Curie, 104,3–105,2 m n.p.m. w rejonie ulic Uniwersyteckiej–Szewskiej–Kućniczej i 103,9–105,1 m n.p.m. w rejonie Portu Rzecznego Popowice. Do głębokości 20 m p.p.t. nie zostały przewiercone. Występują w stanie twardoplastycznym, jedynie w rejonie ulic Polaka–Joliot-Curie są na granicy twardoplastycznych i półzwarłych (tab. 1). Obserwowane są one jednak dopiero na głębokości 12–16 m p.p.t. (fig. 2, 3, 5). Na ich powierzchni lokalnie występują kamienie i otoczaki. Badania wykonane georadarem stwierdziły w rejonie ulicy Szewskiej i Kuźniczej warstwę bruku morenowego zalegającego bezpośrednio na glinach lodowcowych.

Znajdujący się na badanym terenie pierwszy poziom wód podziemnych ma przeważnie zwierciadło swobodne, lokal-

Tabela 1

## Zestawienie uśrednionych wartości podstawowych parametrów geotechnicznych

Median values of basic geotechnical parameters

Geologia	Lokalizacja omawianych rejonów	Nazwa gruntu	$I_D$	$I_L$	$W_n$ [%]	$\rho$ [ $\text{tm}^{-3}$ ]	$c_u$ [kPa]	$\Phi_u$ [°]	$M_o$ [kPa]	$E_o$ [kPa]	
Grunty antropogeniczne	ul. Polaka–Joliot-Curie		Nasypy budowlane i niebudowlane o zróżnicowanej miąższości od kilkudziesięciu cm do 5,5 m składające się głównie z gruzu ceglanego, żużlu, betonu, kostki granitowej, gleby, gliny, piasków								
	ul. Kanonia										
	rejon Uniwersytetu										
	Port Rieczny Popowice										
Gliny pochodzenia rzeczno-	ul. Polaka–Joliot-Curie	Gđ	–	0,60	34,0	1,90	7,0	8,3	12 500	8 000	
		Gđ	–	0,45	27,0	1,95	10,0	11,0	17 000	12 000	
		G, Gp	–	0,35	20,0	2,05	11,5	12,5	21 000	15 000	
	ul. Kanonia	Gđ	–	0,65	28,0	1,95	7,0	8,0	13 000	9 000	
		rejon Uniwersytetu	Gđz	–	0,30	24,0	1,95	13,0	13,0	23 000	17 000
		Port Rieczny Popowice	Pg, Gp	–	0,30	16,0	2,08	13,0	13,0	23 500	17 000
Namuly	ul. Polaka–Joliot-Curie	Nm (Gđ, đ, Pg)	–	0,75	51,0	1,75	4,0	4,0	7 000	5 000	
	ul. Kanonia	Nm (G, Gđ)	–	0,80	30,0	1,80	5,0	5,0	9 000	6 000	
	rejon Uniwersytetu	nie stwierdzono									
	Port Rieczny Popowice	nie stwierdzono									
Piaski i żwiry rzeczne	ul. Polaka–Joliot-Curie	Pd	0,40	–	18,0	1,75	–	30,0	54 000	40 000	
		Ps, Pr	0,45–0,65	–	nwd	1,85	–	33,0	110 000	90 000	
		Po, Ż	0,80–0,90	–	nwd	2,13	–	41,0	230 000	210 000	
	ul. Kanonia	Ps, PS // Pg	–	0,40	nwd	2,00	–	33,0	81 000	68 000	
		rejon Uniwersytetu	Pd	0,45	–	nwd	1,95	–	40,0	59 000	43 000
			PS, Pr	0,60	–	nwd	2,00	–	34,0	116 000	95 000
	Po, Ż		0,85	–	nwd	2,10	–	41,0	230 000	210 000	
	Port Rieczny Popowice	Pd	0,5	–	16,0	1,75	–	31,0	63 000	47 000	
		Ps, Pr	0,20–0,65	–	13,0–16,0	1,85	–	32,0	68 000	58 000	
Po		0,70–0,75	–	nwd	2,10	–	40,0	200 000	180 000		
Gliny zlodowacenia sanu 2	ul. Polaka–Joliot-Curie	Gp	–	0,15–0,00	9,0–14,0	2,20	48,0	23,5	75 000	62 000	
	ul. Kanonia	nie stwierdzono									
	rejon Uniwersytetu	Gp	–	0,1	14,0	2,05	36,0	20,0	47 000	36 000	
	Port Rieczny Popowice	Gp + Ko	–	0,1	11,0	1,22	26,0	20,0	48 000	37 000	

$I_D$  – stopień zagęszczenia,  $I_L$  – stopień plastyczności,  $\rho$  – gęstość objętościowa,  $c_u$  – kohezja efektywna,  $\Phi_u$  – efektywny kąt tarcia wewnętrzznego,  $M_o$  – edometryczny moduł ściśliwości pierwotnej,  $E_o$  – moduł odkształcenia pierwotnego

$I_D$  – density index,  $I_L$  – liquidity index,  $\rho$  – bulk density,  $c_u$  – effective cohesion,  $\Phi_u$  – effective angle of internal friction,  $M_o$  – oedometer modulus of primary compressibility,  $E_o$  – modulus of deformation

nie jest ono tylko lekko napięte. Wyjątek stanowią obszary, na których grunty spoiste występują ciągłą warstwą o znacznym rozprzestrzenieniu (np. rejon ulic Pollaka–Joliot-Curie). Podniesienie się pierwszego poziomu wód podziemnych, w efekcie powodzi w 1997 r., skutkowało pogorszeniem się właściwości gruntów zalegających w podłożu istniejącej, starej zabudowy. Spowodowało to uszkodzenia budynków (np. budynek Instytutu Botaniki) lub wymusiło prowadzenie prac ziemnych pod nowe obiekty (budynek Wydziału Prawa i Administracji) z wykorzystaniem specjalnych technologii, nie wywołujących drgań dynamicznych w podłożu, aby nie doprowadzić do upłynnienia gruntów. Podnoszenie się pierwszego poziomu wód podziemnych w efekcie powodzi następuje rzadko. Zdecydowanie częściej proces ten ma miejsce w wyniku piętrzenia wody w Odrze. Omawiane obszary badań zlokalizowane są w strefie wpływu pię-

trzenia wody w jazach Elektrowni Wodnej (Worsa-Kozak, 2006). Ponieważ różnica między dolnym a górnym stanem wody w tym rejonie wynosi 5 m, można przypuszczać, że przy dłuższym utrzymywaniu maksymalnego poziomu wody może następować uplastycznienie gruntów spoistych występujących pod fundamentami budynków.

Skład chemiczny tych wód wskazuje na siarczanową i węglanową agresywność w stosunku do betonu. Na szczególną uwagę zasługują podwyższona zawartość jonów siarczanowych ze względu na ich szkodliwy wpływ na betonowe fundamenty. Jak wynika z analizy danych przedstawionych zarówno przez Różyckiego (1968), jak i Janiaka (1974), tendencja ta utrzymuje się od lat 60. ubiegłego wieku. Wspomniani autorzy źródeł podwyższonej zawartości jonów siarczanowych upatrywali w czynnikach naturalnych oraz antropogenicznych.

## LITERATURA

- BOCHEŃSKA T., WAŚNIK M., WORSZA-KOZAK M., 2003 — Krążenie wód podziemnych w centrum Wrocławia w świetle badań modelowych. Jastrzębia Góra–Gdańsk. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*, 11, 1 (red. H. Piekarek-Jankowska i in.): 37–44. Wyd. Bud. Wod. i Inż. Środ. PGdań., Gdańsk.
- CHOMA-MORYL K., MORYL J., 2007 — Wrocław, Rejon Port Popowice – osiedle mieszkaniowe. Opinia geotechniczna.
- DYJOR S., 1970 — Seria poznańska w Polsce zachodniej. *Kwart. Geol.*, 14, 4: 126–134.
- DYJOR S., 1992 — Rozwój sedymentacji i przebieg przeobrażeń osadów w basenie serii poznańskiej w Polsce. *Acta Univers. Wratisl. 1354, Pr. Geol.-Miner.*, 26: 3–18.
- GOLDSZTEJN P., SKRZYPEK G., 2004 — Ukształtowanie powierzchni stropowej gliny zwałowej złodowacenia sanu 2 w centrum Wrocławia. *Prz. Geol.*, 52, 2: 160–162.
- JANIAK Z., 1974 — Analiza kształtowania się składu chemicznego wód gruntowych pierwszego poziomu wodonośnego na terenach miasta Wrocławia, dla oceny ich agresywności w stosunku do materiałów budowlanych [praca doktorska]. Arch. Uniw. Przyrod. we Wrocławiu.
- KŁOSIŃSKI A., ANDRZEJEWSKI J., 2009 — Fundamenty wieżowa Sky Tower we Wrocławiu. *Geoinżynieria: drogi mosty tunele*, 3: 44–50.
- LINDNER L. (red.), 1988 — Czwartorzęd. Osady. Metody badań. Stratygrafia. Wyd. PAE, Warszawa.
- ŁABNO A., 1991 — Objąsnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50 000 ark. Leśnica. Wyd. Geol., Warszawa.
- MORYL J., 1999 — Ekspertyza geotechniczna Wrocław, ul. Kanonia 6–8, Budynek Instytutu Botaniki Uniwersytetu Wrocławskiego. Arch. WRO-MIN, Wrocław.
- MORYL J., 2000a — Budynek Instytutu Informatyki Uniwersytetu Wrocławskiego ul. Joliot-Curie-Polaka. Dokumentacja geotechniczna. Arch. WRO-MIN, Wrocław.
- MORYL J., 2000b — Uproszczona dokumentacja geologiczno-inżynierska podłoża projektowanego budynku Wydziału Prawa i Administracji Uniwersytetu Wrocławskiego. Wrocław, ul. Uniwersytecka-Kuźnicza. Arch. WRO-MIN, Wrocław.
- RÓŻYCKI M., 1968 — Geologia i hydrogeologia okolic Wrocławia ze szczególnym uwzględnieniem utworów trzeciorzędowych [praca habilitacyjna]. Arch. Inst. Nauk Geol. UW., Wrocław.
- WINNICKA G., 1988 — Objąsnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50 000, ark. Wrocław. Wyd. Geol., Warszawa.
- WORSZA-KOZAK M., 2006 — Wahania zwierciadła wód podziemnych na terenach zurbanizowanych (miasto Wrocław) [rozprawa doktorska]. Arch. Inst. Nauk Geol. UWroc., Wrocław.

## SUMMARY

The ground and water conditions of the Wrocław city centre presented below are based on the study conducted on several objects located near the Odra riverbed and in-between the Grunwaldzki Bridge and the Millenium Bridge. The geological and engineering conditions of this area are determined by the geological composition which was greatly influenced by the nearby Odra River and the World War II warfare.

The Quaternary strata, overlying the Neogene deposits, reach the thickness of 40–50 m. Glacial tills of the Sanian 2 Glaciation are the oldest Quaternary deposits in the area represented by aggregated muds, clays, and stagnant-lake sands as well as fluvio-glacial deposits and glacial tills. Their top layer rises towards SSW where it reaches the ordinates of 114–116 m above the sea level, and it descends towards the Peace Bridge where it lies at the depth of 95–96 m a.s.l. The tills are covered by glaciofluvial and river sands and gravels, including aggregated muds, tills, silty tills and silts.

The study of the ground and water conditions in the area of Polak Street and Joliot-Curie Street near the Grunwaldzki Bridge shows the presence of semi-solid glacial tills with the liquidity index of  $I_L = 0.00$  at the depth of 15–16 m. They are overlain by compacted and very compacted gravels and sands with the density index of  $I_D = 0.67–0.90$ . and the thickness of approximately 10 m. These, in turn, are overlain by unconsolidated, soft-plastic aggregated muds and tills with the liquidity index of  $I_L = 0.75$ . They form an almost

continuous layer of variable thickness throughout the entire study area. The above-described area is covered by a layer of non-engineering fills originating from the planned demolitions carried out at the end of the World War II. Their thickness varies between 1.5 and 4.0 m. The level of ground water is directly linked to the water levels of the Odra River. Its fluctuations can reach 1.5 m. In the area around Uniwersytecka, Szewska and Kuźnicza streets, the study of the geological and engineering conditions was carried out because there are the foundations of the Law and Administration Faculty building as well as in association with the modernization and extension of the History Faculty building. In this area, the Sanian 2 tills are situated at the depth of 13–14 m. These hard-plastic tills have the liquidity index of  $I_L = 0.1$ . They are overlain by sand-gravel mix deposits with the density index of  $I_D = 0.80$ , on top of which there are compacted and medium-compacted fine- and medium-grained sands ( $I_D = 0.45–0.60$ ). This area is also covered with a layer of the non-engineering fill consisting of the remains of buildings demolished during the war.

The study of the ground and water conditions underneath the building of the Botanical Institute at Kanonia Street was carried out in order to find out the cause of wall cracks that started to appear in 1999. The study showed that one part of the building is founded on loam banks and another one on medium-compacted sands. The rising of water levels during the 1997 flood caused the softening of the loam banks and

increased their compressibility while the sands' density was increased. These conditions caused the process of uneven settlement of the building, resulting in wall cracks and gaps.

In the area around the Popowice Port, at Białowieska Street, the Sanian 2 tills were found at the depth of 12–13 m. These hard-plastic tills have the liquidity index of  $I_L = 0.1$ .

They are overlain by compacted and medium-compacted sand and gravel deposits. The thickness of non-engineering fills in this area varies from a few tens of centimetres to 5.5 m. The depth to the groundwater is directly linked to the levels of the Odra River.