

MARCIN NAZAREWICZ\*, PAWEŁ POPIELSKI\*\*

ANALIZA ODDZIAŁYWANIA CZASOWEGO  
ODWODNIENIA W TRAKCIE REALIZACJI GŁĘBOKICH  
WYKOPÓW FUNDAMENTOWYCH NA BUDYNKI  
SĄSIEDNIE

THE INFLUENCE OF TEMPORARY DRAINAGE OF DEEP  
EXCAVATIONS FOR BUILDINGS TO AN INTERPLAY AREA

Streszczenie

W pracy określono wpływ odwodnienia na osiadania w zasięgu oddziaływania odwodnienia. W tym celu przeprowadzono analizę osiadań, wykonaną na podstawie raportów przemieszczeń pionowych i raportów z odwodnienia wykopu dla budynku Wolf Marszałkowska w Warszawie.

*Słowa kluczowe: głęboki wykop, odwodnienie, osiadanie*

Abstract

The purpose of the paper is to explain the influence of drainage on settlements to an interplay area. Therefore there was a settlement analysis conducted, made according to the reports of vertical settlements and drainage works for excavation for Wolf Marszałkowska in Warsaw.

*Keywords: deep excavation, drainage, settlement*

\* Mgr inż. Marcin Nazarewicz, Pracownia GEOSYSTEM W. Opęchowski.

\*\* Dr inż. Paweł Popielski, Zakład Budownictwa Wodnego i Hydrauliki, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska.

## 1. Wstęp

Nowoczesne techniki budowlane, których stosowanie wiąże się z rozwojem urbanistycznym, pozwalają na szybsze prowadzenie prac, budowanie wyższych i głębiej posadowionych budowli. Bezpieczne prowadzenie prac budowlanych na dużej głębokości, oprócz zabezpieczenia wykopu, niejednokrotnie wymaga również obniżenia zwierciadła wód gruntowych. Z kolei czasowe obniżenie zwierciadła wód gruntowych w obszarze oddziaływania odwodnienia może nieść za sobą następujące zagrożenia [10]:

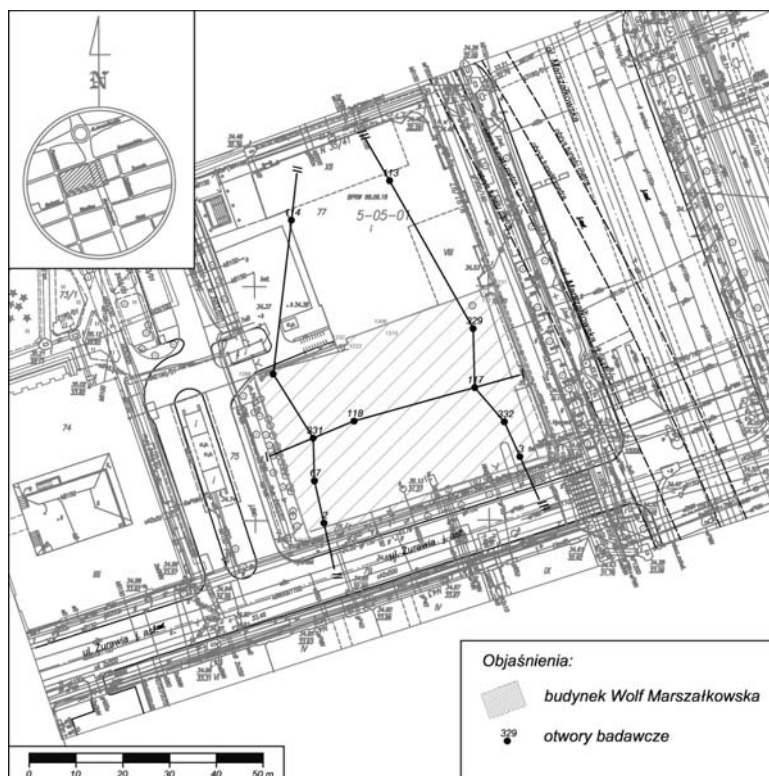
- dogęszczenie szkieletu gruntowego, skutkujące osiadaniem podłoża gruntowego pod obiektami budowlanymi i deformacją tych obiektów (zarysowania, spękania, osłabienie konstrukcji),
- osłabienie podłoża gruntowego na skutek wtlaczania wód z odwodnienia (w przypadku stosowania tzw. zamkniętych systemów odwodnieniowych),
- pogorszenie warunków siedliskowych drzewostanu, prowadzące do utraty kondycji i niszczenia drzew oraz krzewów,
- wpływ na bilans wodny wód powierzchniowych (jezior, stawów, starorzeczy itp.), w efekcie powodujący wysychanie tych form i zanik życia biologicznego,
- zaburzenie warunków eksploatacji innych ujęć wód podziemnych, mogące doprowadzić do zaniku wody w tych ujęciach,
- zdeformowanie właściwości fizyczno-chemicznych wód, np. wskutek uruchomienia dopływu zanieczyszczeń,
- zjawiska mogące wystąpić w obszarze prowadzenia robót ziemnych i fundamentowych, takie jak: wyparcie dna wykopu, osunięcia skarp, sufozja i rozluźnienie szkieletu gruntowego.

W artykule przedstawiono wpływ odwodnienia głębokiego wykopu na budynek w zasięgu oddziaływania odwodnienia, na przykładzie realizacji budynku „Wolf Marszałkowska” zlokalizowanego w zwartym centrum Warszawy. Z uwagi na: usytuowanie w sąsiedztwie istniejących budynków; posadowienie w złożonych warunkach geotechnicznych; wykonanie wykopu dla pięciokondygnacyjnej części podziemnej, której realizacja narzuciła konieczność obniżenia wporu hydrostatycznego warstwy wodonośnej – obiekt ten był wykonywany z równoczesnym, niezależnym monitoringiem przemieszczeń budynków sąsiednich. Szczegółową analizę wpływu odwodnienia na przemieszczenia sąsiednich budynków oraz badania modelowe wykonano w Zakładzie Inżynierii Wodnej na Politechnice Warszawskiej. W trakcie badań odtworzono charakterystyczne etapy realizacji obiektu z uwzględnieniem obniżenia poziomu wody gruntowej (na przykładzie trzech różnych krzywych leja depresji) oraz wykonano „analizę wstecz” w celu dobrania właściwych modułów odkształcenia dla poszczególnych prekonsolidowanych warstw gruntu.

## 2. Lokalizacja inwestycji i warunki gruntowo-wodne

Budynek o pięciu kondygnacjach podziemnych przeznaczonych na parkingi i dwunastu kondygnacjach nadziemnych o funkcji handlowo-użytkowej jest zlokalizowany na skrzyżowaniu ulic Marszałkowskiej i Żurawiej na terenie Dzielnicy Śródmieście w Warszawie (rys. 1). Działka graniczy od strony wschodniej z ulicą Marszałkowską, wzdłuż której w odległości 8 – 11 m od granicy biegnie zachodni tunel I linii metra. Od strony południowej granicę sta-

nowi ulica Żurawia, wzdłuż której w odległości 20 m jest zwarta zabudowa mieszkaniowa i biurowa. Po stronie zachodniej, w odległości 18,0 m od granicy budowy znajduje się za-  
bytkowy pałac, mieszczący biura urzędu dzielnicy. Od strony północnej do terenu inwestycji  
przylega podpiwniczony budynek PKO BP, częściowo 2-, a częściowo 8-kondygnacyjny. Na  
jego południowej ścianie, przed rozpoczęciem prac budowlanych, zauważono rysy. Rzędna  
terenu w miejscu budynku wynosiła około 35,05 – 35,50 m n0W.



Rys. 1. Lokalizacja budynku, skala 1:1000

Fig. 1. Localization of the building, scale 1:1000

Budynek „Wolf Marszałkowska” zlokalizowany jest na zdenudowanej warszawskiej wysoczyźnie polodowcowej, na której zalega dwudzielny kompleks osadów piaszczystych (rys. 2). Kompleks ten stanowi naporowy, dwuwarstwowy II poziom wodonośny. Górna warstwa II poziomu wodonośnego (IIA) zbudowana jest z interglacialnych i wodnolodowcowych piasków ze żwirami, o stropie na głębokości kilkunastu metrów i poziomie stabilizacji wód na głębokości około 9 m (26 m n0W). Poniżej tej warstwy, na głębokości około 30 m znajduje się przepona filtracyjna (IIB) z mułków rzecznych. Poniżej przepony filtracyjnej zalega dolna warstwa II poziomu wodonośnego (IIC).

Naporowy II poziom wodonośny przykryty jest glinami zwałowymi (szarymi) stadiału maksymalnego i glinami zwałowymi (brązowymi) stadiału mazowiecko-podlaskiego. W niektórych miejscach pomiędzy glinami występują zawadnione piaski wodnolodowcowe



nowymi o grubości 80 i 100 cm, zagłębionymi min 1–2 m w warstwę przepony filtracyjnej (IIB). Po zakończeniu realizacji wszystkich sekcji ścian szczelinowych, na całym obwodzie podziemia wykonano zwieńczenie w postaci żelbetowego oczepu.

Wykop realizowano metodą „stropową”. W pierwszym etapie budowy wykonano stropy „-1” (-4,75), „-2” (-8,45), „-3” (-11,60) oraz „-4” (-14,75). Oparto je na ścianach szczelinowych i na uprzednio wykonanych z poziomu -1,30 stalowych słupach tymczasowych osadzonych w baretach.

Dodatkowo na czas realizacji części podziemnej, ściany szczelinowe rozparto tymczasowymi rozporami poziomymi, wykonanymi z rur stalowych i kształtowników o przekroju dwuteowym. Wzmocnienia te wykonano w poziomie -1,50 w narożniku północno-wschodnim od strony banku PKO BP (2 rozpory zastrzałowe z rur  $\varnothing 508/12,5$  i 1 rozpora HEB300) oraz w narożniku północno-zachodnim w poziomie -17,40 (rozpory zastrzałowe 2I360).

Posadowienie budynku „Wolf Marszałkowska” wykonano na płycie fundamentowej o grubości 150 cm z lokalnymi przegłębieniami związanymi z technologią urządzeń technicznych budynku (szachty windowe i separator). Spąg płyty znajduje się na głębokości 19,25 m poniżej „0” budynku („0” budynku = 34,85 m n0W).

W planie budynku, w pobliżu południowej ściany budynku, od strony banku PKO BP znajdują się cztery szachty windowe. Wykonano je na płycie dennej o grubości 60 cm i na głębokości 21,35 m poniżej „0” budynku (13,50 m n0W). Przegłębienia południowe od strony ul. Żurawiej, to separator wykonany na płycie dennej o grubości 70 cm, na głębokości 20,05 m (14,8 m n0W) oraz dwa szachty windowe.

Biorąc pod uwagę wyniki obliczeń wymaganych rzędnych obniżenia naporu warstwy IIC, odwodnienie podzielono na dwa etapy. W I etapie odwodnienia odpompowano wody statyczne z wnętrza wykopu (warstwy IIA), przechwytyjąc ewentualne przecieki (dopływy dynamiczne).

W trakcie II etapu odwodnienia obniżono napór hydrostatyczny warstwy IIC. Prace prowadzono w trzech fazach. W I fazie obniżono napór IIC do rzędnej 21,8 m n0W. Umożliwiło to bezpieczne głębenie wykopu poniżej stropu -4 (poniżej rzędnej 19,9 m n0W) do poziomu posadowienia płyty fundamentowej (na rzędnej 15,4 m n0W). Po miesiącu utrzymywania odwodnienia, w momencie uzyskania wymaganego obniżenia, dopływ wód wyniósł 116 m<sup>3</sup>/h. Stan ten utrzymano przez 2 miesiące.

Drugą fazą związaną była z wykonaniem przegłębień w dnie wykopu (do rzędnych 13,4 i 12,3 m n0W). W celu zapewnienia bezpieczeństwa wykonywanych prac obniżono napór hydrostatyczny IIC do rzędnej 20,2 m n0W, zwiększając wydatek pompowania do 152 m<sup>3</sup>/h. Stan ten utrzymano przez 1,5 miesiąca.

W III fazie odwodnienia zredukowano depresję wynikającą z obniżania naporu IIC. Prace związane z tą fazą odwodnienia rozpoczęto w momencie wykonania żelbetowych elementów przegłębień. Zakończono po związaniu żelbetowej płyty fundamentowej.

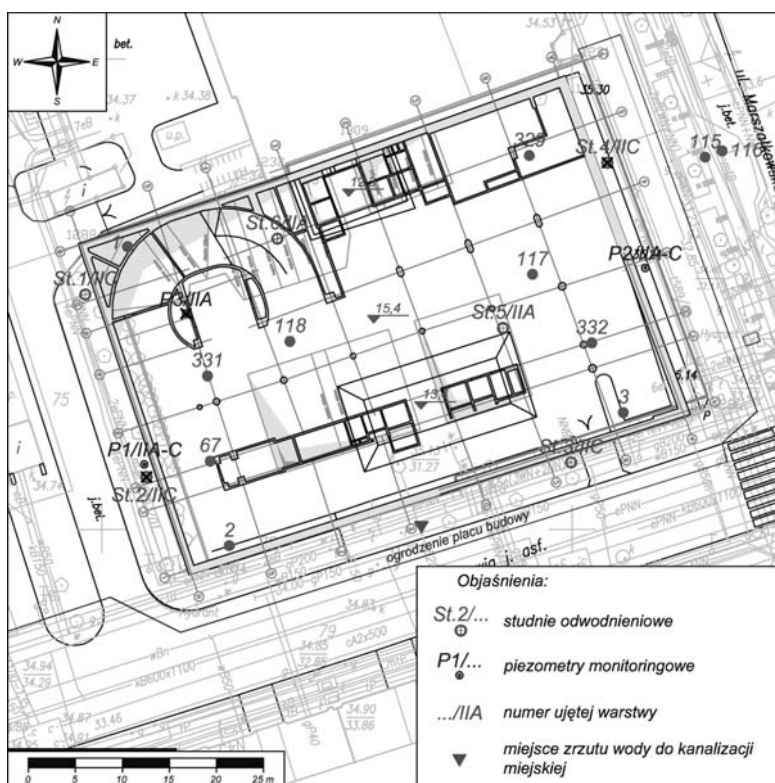
Odwodnienie wykonano za pomocą studni odwodnieniowych z dodatkowym monitorowaniem stanu wód za pomocą otworów piezometrycznych (rys. 3).

Wykonano trzy otwory piezometryczne. Piezometry P1/IIA-C i P2/IIA-C wykonano jako dwupoziomowe, zafiltrowane kolejno w warstwach IIA i IIC. Piezometr P3/IIA zafiltrowano jedynie w warstwie IIA, wykonano go wewnątrz wykopu. Piezometr ten zlikwidowano w chwili wylania płyty fundamentowej.

Wykonano sześć studni odwodnieniowych z podziałem na zewnętrzne i wewnętrzne. Studnie wewnętrzne St.5/IIA i St.6/IIA ujmowały wodę z wnętrza wykopu. Wykonano je

jako studnie wiercone, dogłębione do stropu przepony IIB, z zabudową kolumny filtrowej. Wykonano je z poziomu wykopu pod strop „-1”, usytuowano w lukach technologicznych. Studnie te służyły do odpompowania statycznych wód z wnętrza wykopu w trakcie I etapu odwodnienia. Studnie te miały również za zadanie przechwycenie ewentualnych dopływów dynamicznych do wnętrza wykopu.

Studnie zewnętrzne St.1/IIC, St.2/IIC, St.3/IIC, St.4/IIC ujmowały wody z warstwy IIC. Wykonano je jako wiercone udarowo w dwóch kolumnach rur na głębokość 43 m, z zabudową kolumny filtrowej. W celu oddzielenia warstwy wodonośnej IIA od warstwy IIC, przejście przez przeponę filtracyjną (IIB) uszczelniono compactonitem. Odwodnienie studniami zewnętrznymi prowadzono w trakcie II etapu odwodnienia.



Rys. 3. Mapa wykonanych otworów odwodnieniowych, skala 1:500

Fig. 3. Map of the effected drainage boreholes, scale 1:500

W tabeli 1 przedstawiono charakterystyczne etapy realizacji budynku „Wolf Marszałkowska” w czasie, z uwzględnieniem poszczególnych faz odwodnieniowych”.

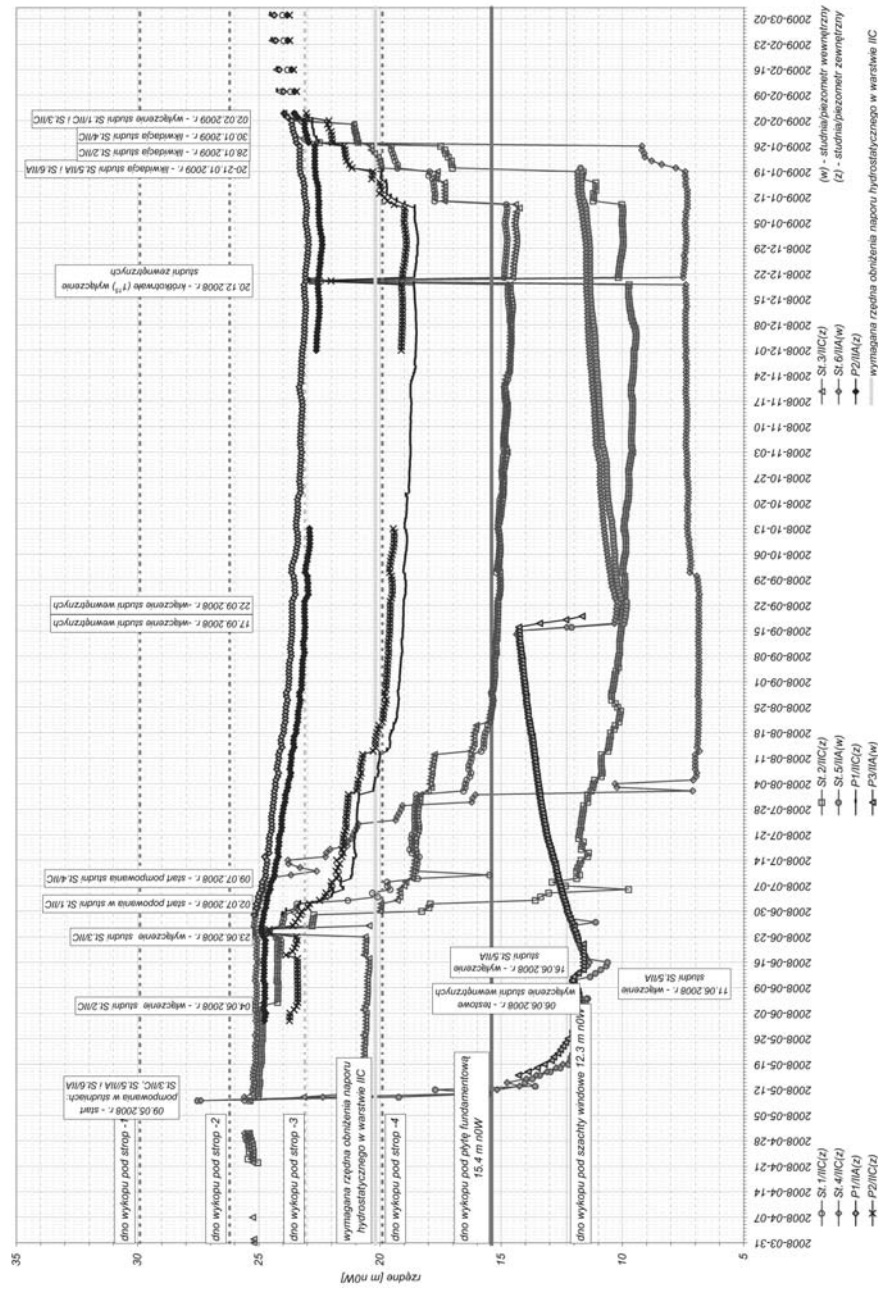
Tabela 1

**Charakterystyczne etapy realizacji obiektu Wolf Marszałkowska**

Etap budowy obiektu	Data		Wykonane prace budowlane	Etap prac odwodnieniowych
	Od	Do		
0			Stan pierwotny	–
1	22.12.2007	21.03.2008	Wykonanie ścian szczelinowych oraz baret	–
2	09.04.2008	08.05.2008	Wykonanie wykopu oraz realizacja stropu kondygnacji „-1”	–
3	20.05.2008	09.06.2009	Wykonanie wykopu oraz realizacja stropu kondygnacji „-2”	I etap odwodnienia
4	09.06.2008	08.07.2008	Wykonanie wykopu oraz realizacja stropu kondygnacji „-3”	I etap odwodnienia
5	10.07.2008	04.08.2008	Wykonanie wykopu oraz realizacja stropu kondygnacji „-4”	I etap odwodnienia
6	10.08.2008	10.09.2008	Wykonanie wykopu pod płytę fundamentową	II etap odwodnienia I faza
7	13.09.2008	06.10.2008	Wykonanie płyty fundamentowej oraz przegłębień	II etap odwodnienia II faza
8	21.11.2008	19.01.2009	Wykonanie stropu kondygnacji „0” Przejęcie obciążeń od stropów przez płytę fundamentową	II etap odwodnienia II faza
9	19.01.2009	18.02.2009	–	II etap odwodnienia III faza

#### 4. Raporty odwodnieniowe

W trakcie wykonywania prac odwodnieniowych prowadzono monitoring codziennych stanów wód w otworach badawczych i piezometrach, publikowany w comiesięcznych raportach odwodnieniowych, od momentu rozpoczęcia I etapu odwodnienia do zakończenia III fazy II etapu odwodnienia. Wykresy wahań zwierciadła wód podziemnych w studniach i piezometrach przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Wykresy wahań zwierciadła wód podziemnych

Fig. 4. Charts of the ground water level hesitations

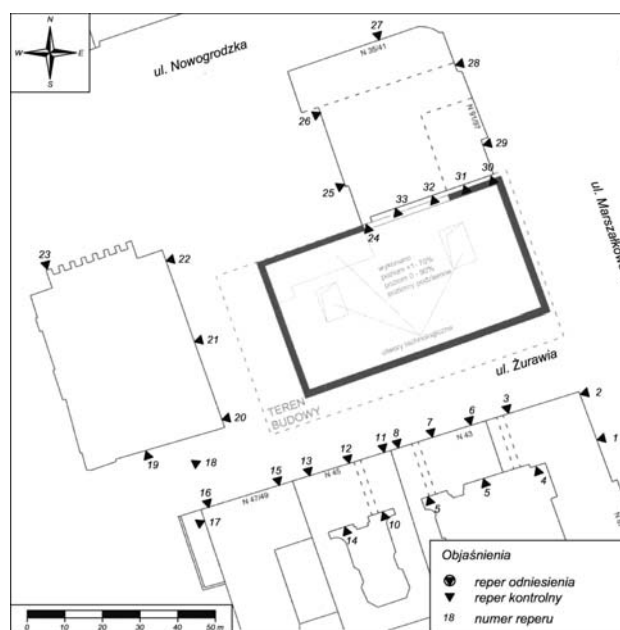


## 5. Prowadzony monitoring przemieszczeń

Podczas wykonywania prac budowlanych związanych z obiektem „Wolf Marszałkowska”, prowadzono monitoring przemieszczeń pionowych budynków sąsiadujących z budową.

Pomiary, na których oparto analizę przemieszczeń, pochodzą z raportu przemieszczeń pionowych, wykonanych 18 lutego 2009 roku, a więc po zakończeniu odwadniania terenu. W raporcie opublikowano przebieg osiadań budynków sąsiadujących od początku prowadzenia monitoringu.

Repery kontrolne zlokalizowano na budynku przy ul. Marszałkowskiej 87 (4 repery), ul. Żurawiej 43 (5 reperów), ul. Żurawiej 45 (5 reperów), ul. Żurawiej 47/49 (4 repery), ul. Nowogrodzkiej 43 (5 reperów) i ul. Marszałkowskiej 91/97 (10 reperów). Schemat rozmieszczenia reperów przedstawiono na rysunku 5. Przemieszczenia wybranych grup reperów przedstawiono na rys. 6.

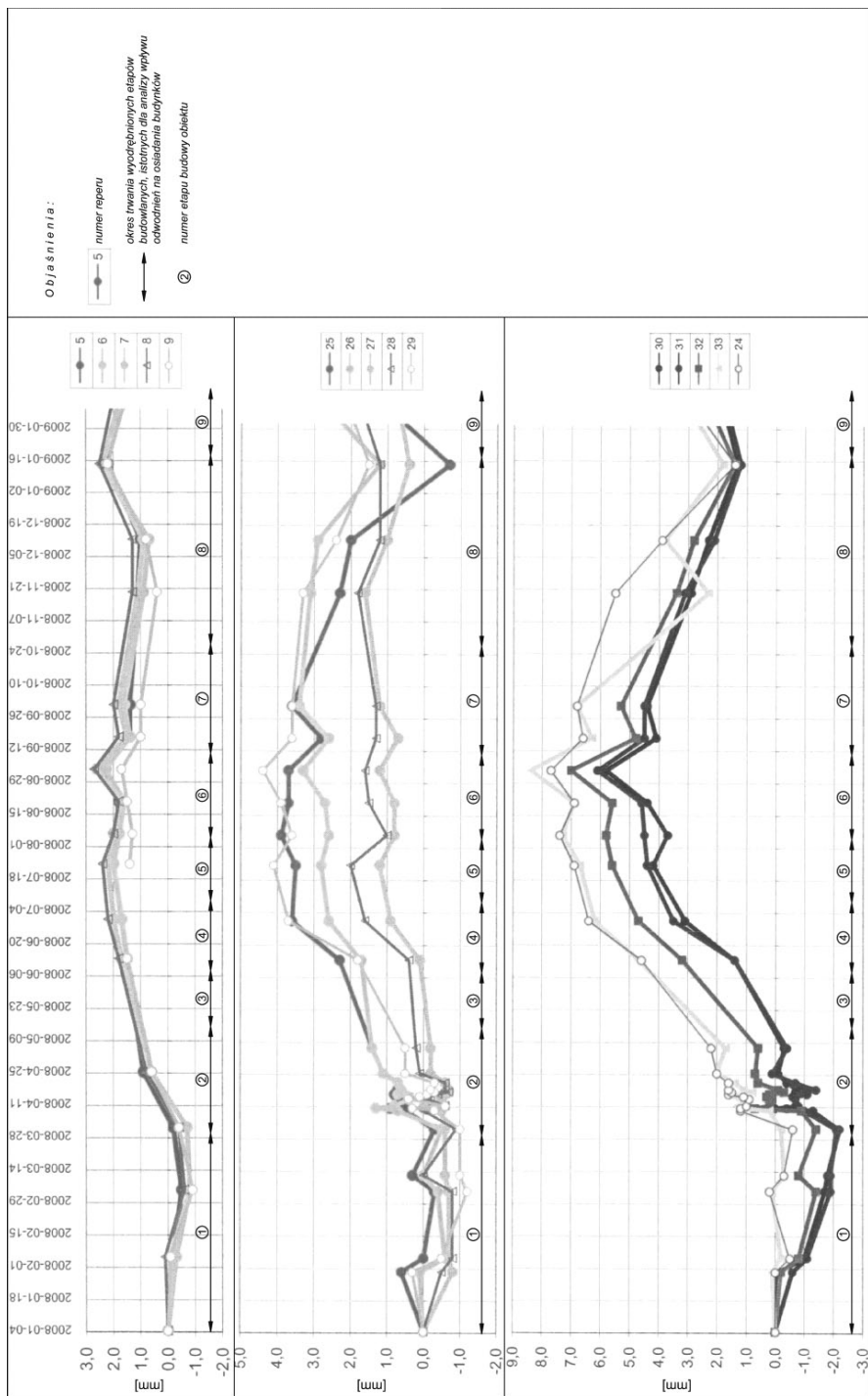


Rys. 5. Szkic rozmieszczenia reperów

Fig. 5. Benchmarks location drawing

### 5.1. Monitoring przemieszczeń pionowych głowic słupów tymczasowych

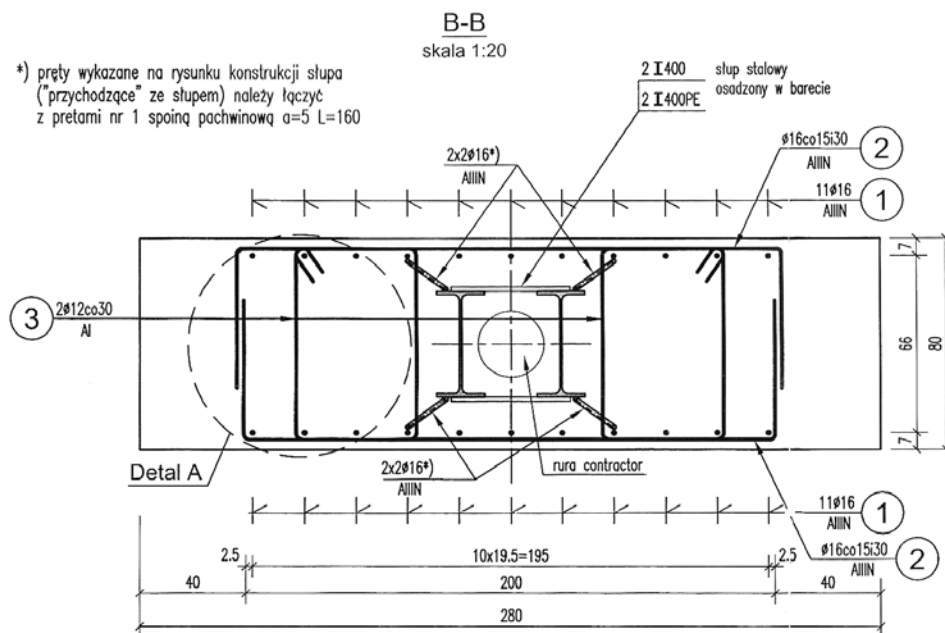
Dodatkowo w trakcie realizacji obiektu był prowadzony monitoring przemieszczeń pionowych głowic słupów tymczasowych zlokalizowanych na poziomie –1. Przyjęto założenie, że na podstawie pomierzonych przemieszczeń głowic przy uwzględnieniu skrócenia słupów spowodowanego obciążeniem stropami można oszacować przemieszczenia baret zlokalizowanych w poziomie posadowienia obiektu. Do analizy wybrano baretę znajdującą się w centralnej części wykopu. Przyjęto, że wyznaczone przemieszczenie opisuje minimalne odprężenie dna wykopu.



Rys. 6. Przemieszczenia wybranych reperów w poszczególnych etapach budowy obiektu

Fig. 5. Displacements of the chosen benchmarks in the particular stages of building performance

Przekrój profilu słupa i obrys baretę jest przedstawiony na rys. 7. Wypiętrzenie głowy słupa tymczasowego wynosiło 5,5 mm. Obserwację wykonano pomiędzy 3 a 6 etapem budowy. Skrócenie słupa spowodowane jego obciążeniem wynosiło 8,3 mm. Na podstawie obliczeń przyjęto, że pionowe przemieszczenie baret zlokalizowanych w centralnej części wykopu wynosiło 13,8 mm.



Rys. 7. Schemat baretę i słupa tymczasowego

Fig. 7. Barette and a temporary pile drawing

## 6. Modelowanie numeryczne

Analizę numeryczną przeprowadzono przy użyciu pakietu HYDRO-GEO – programu MES dla geotechniki, hydrotechniki i inżynierii środowiska [5].

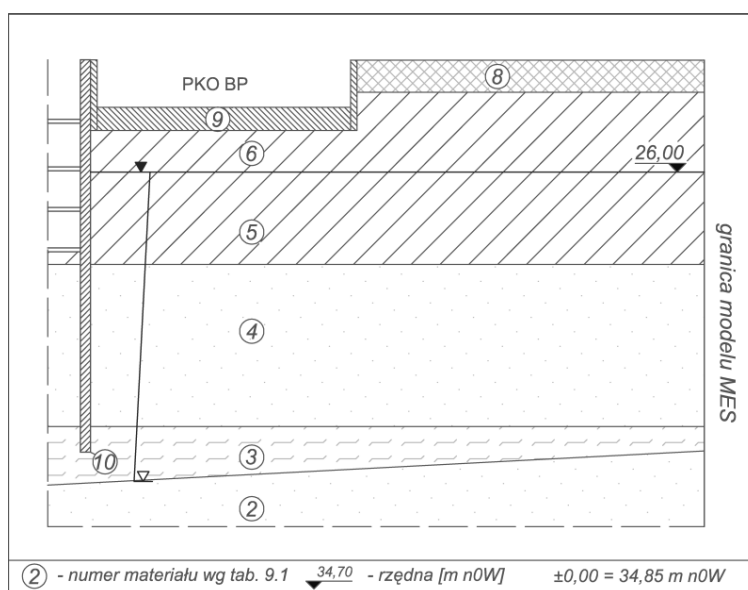
Wykonano przekrojowy model numeryczny budynku „Wolf Marszałkowska” i budynków sąsiednich – budynku banku PKO BP i budynku biurowo-mieszkalnego przy ul. Żurawiej. Pod względem hydrogeologicznym wykonany model odpowiada przekrojowi III-III na rys. 1. Układ warstw materiałów jest prezentowany na rys. 2. W trakcie modelowania, odtworzono wiernie harmonogram przedstawiony w tabeli 1.

## 6.1. Przyjęte kształty krzywych depresji

Podczas modelowania procesu realizacji części podziemnej wyróżniono trzy zasadnicze poziomy stabilizacji wód warstwy wodonośnej IIC (drugiego poziomu wodonośnego)

**POZIOM I**

Pierwotne położenie zwierciadła wód gruntowych warstwy IIC, ustabilizowane na rzędnej 26 m n0W.



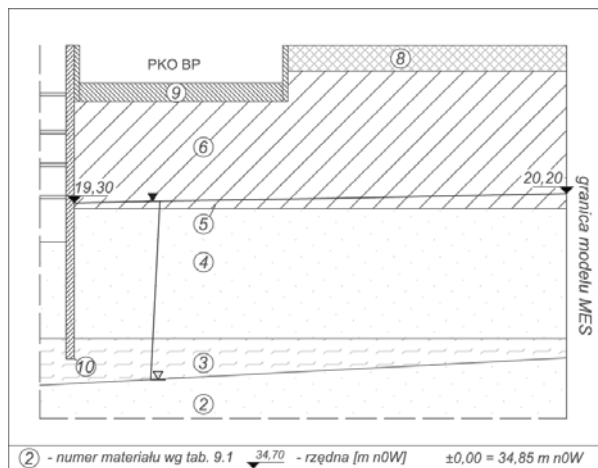
Rys. 8. I poziom stabilizacji wód warstwy IIC

Fig. 8. I stabilisation level of IIC aquifer water

**POZIOM II**

Obniżone zwierciadło warstwy wodonośnej IIC w trakcie prowadzenia II etapu odwodnienia. Modelowano trzy różne kształty krzywej depresji.

1. Krzywa depresji odpowiadająca wynikom modelowania depresji na etapie projektowania odwodnienia budowlanego została określona na podstawie modelowania programem ModFlow. Według raportów odwodnieniowych, w czasie wykonywania przegłębień piezometry w pobliżu studni odwodnieniowych wskazywały położenie zwierciadła wody gruntowej na rzędnej 19 m n0W (P1/IIC) i 19,60 m n0W (P2/IIC). Dla uproszczenia modelowania przyjęto uśrednione położenie zwierciadła wody gruntowej na rzędnej 19,30 m n0W. W granicy modelu przyjęto ustabilizowane zwierciadło wody na rzędnej 20,20 m n0W (rzędna wymaganego obniżenia naporu IIC na czas wykonania przegłębień).



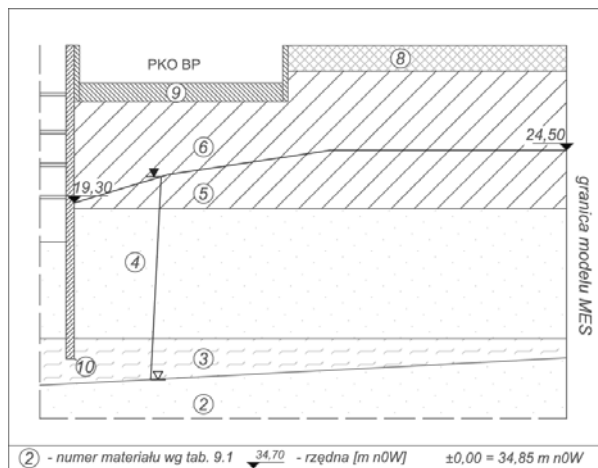
Rys. 9. II poziom stabilizacji wód warstwy IIC – 1 krzywa depresji

Fig. 9. II stabilisation level of IIC aquifer water – 1 depression curve

## 2. Przyjęcie zasięgu odwodnienia wg wzoru Sichardta [7]

$$R = 3000 \cdot 5,8 \cdot \sqrt{0,0002788} = 290 \text{ m}$$

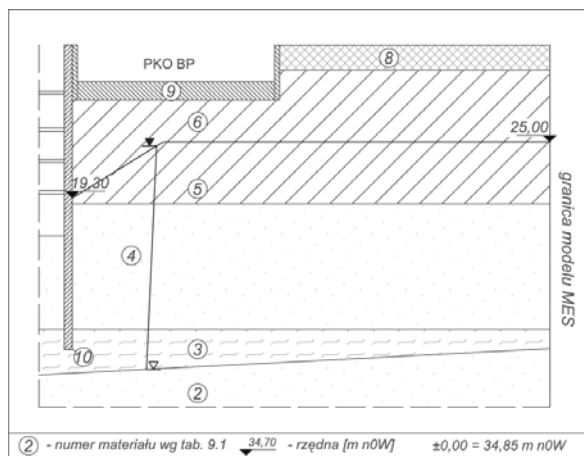
Zasięg leja depresji wykracza poza granicę modelu, przyjętą w odległości 160 m od ściany obudowy wykopu. Paraboliczny kształt leja uproszczono do łamanej, ustalono położenie zwierciadła wody gruntowej w granicy modelu na rzędnej 24,50 m n0W.



Rys. 10. II poziom stabilizacji wód warstwy IIC – 2 krzywa depresji

Fig. 10. II stabilisation level of IIC aquifer water – 2 depression curve

3. Przyjęcie zasięgu odwodnienia w bezpośrednim sąsiedztwie wykonywanego budynku (niewielki lej depresji). Poza lejem depresji przyjęto stabilizację warstwy IIC na rzędnej 25 m n0W. Ten kształt leja depresji oparto na podstawie dostępnych wyników pomiarów rzędnych wody w piezometrach podczas prowadzenia monitoringu odwodnienia (rys. 4). Opisany schemat przedstawiono na rys. 11.

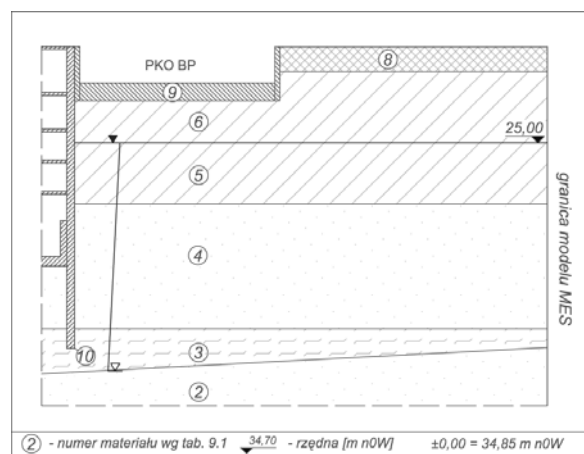


Rys. 11. II poziom stabilizacji wód warstwy IIC – 3 krzywa depresji

Fig. 11. II stabilisation level of IIC aquifer water – 3 depression curve

### POZIOM III

Odwzorowanie poziomu wód gruntowych po zakończeniu odwadniania. Według [11] w utym 2009 roku, w momencie zakończenia odwadniania i jednoczesnego wykonania stropu 0, zwierciadło wody poziome wodonośnego IIC stabilizowało się na rzędnej 25 m n0W (rys. 4).



Rys. 12. III poziom stabilizacji wód warstwy IIC

Fig. 12. III stabilisation level of IIC aquifer water

## 7. Analiza wstecz, weryfikacja parametrów materiałowych

W pierwszej kolejności wykonano obliczenia, opierając się na parametrach gruntowych określonych w dokumentacji geotechnicznej dla obiektu „Wolf Marszałkowska”. Parametry gruntowe wyznaczone w dokumentacji projektowej zostały opracowane na podstawie normy [7]. Z tego powodu miały zaniżone wartości modułów odkształcenia dla gruntów zalegających na znacznej głębokości. W obliczeniach otrzymano wyniki znacznie różniące się od rzeczywistych, pomierzonych na budowie.

Aby właściwie odzwierciedlić historię osiadań, przeprowadzono obliczenia na podstawie zmodyfikowanych parametrów wybranych gruntów zalegających głęboko. Modyfikacji dokonano na podstawie danych z literatury [1, 6, 8] oraz doświadczeń własnych [2]. W tym celu wykonano tzw. analizę wstecz.

W celu uzyskania zgodności modelowych osiadań z monitoringiem przemieszczeń pionowych przeprowadzono kilkukrotną modyfikację parametrów gruntowych. Końcowe wartości modułów sztywności w porównaniu z danymi projektowymi przedstawiono w tabeli 2. Porównanie dla wybranych reperów wartości przemieszczeń pomierzonych i obliczonych przedstawiono na rysunku 13.

Do weryfikacji granicznych wartości parametrów podłoża wykonano z poziomu dna wykopu pomiary sztywności gruntu, wykorzystując metodę sejsmiki powierzchniowej [3]. Stanowisko pomiarowe na dnie wykopu jest prezentowane na rys. 14. Wynik pomiarów w formie wykresu prezentującego zmianę sztywności gruntu z głębokością jest przedstawiony na rysunku 15.

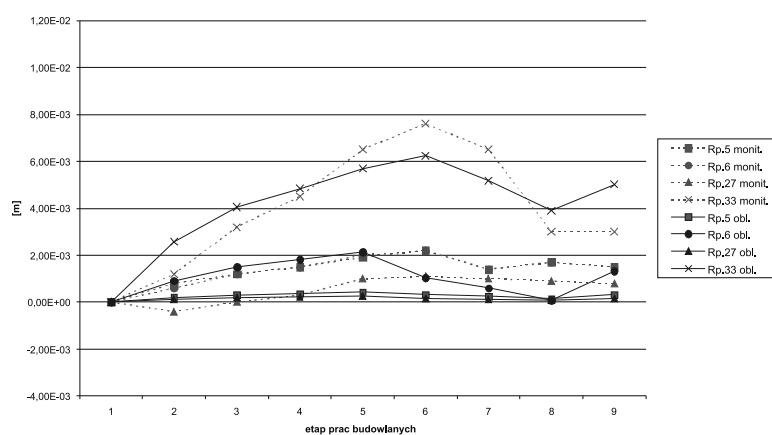
Tabela 2

Projektowe i zmodyfikowane parametry gruntowe

Nr materiału	Ozn.	Opis materiału	Parametry warstw przyjęte zgodnie z dokumentacją geotechniczną (wg normy PN-81/B-03020)					Parametry uwzględniające zakres małych odkształceń
			v	$\gamma$	c	$\phi$	$E_p$	E
			[-]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[°]	[kPa]	[kPa]
1	I	Ił	0,25	22	40	30	20 000	650 000
2	Ps	Piasek średni	0,3	20	3	35	80 000	400 000
3	G $\pi$ /II	Glina pylasta na pograniczu pyłu	0,25	20,7	35	25	20 000	450 000
4	Ps+Pd	Piasek średni z domieszką piasku drobnego	0,3	18,5	0	36	70 000	300 000
5	Gp_m	Glina piaszczysta nawodniona	0,25	22,5	35	23	47 000	68 000
6	Gp_s	Glina piaszczysta sucha	0,25	22,5	35	23	47 000	68 000
7	nM	Nasyp niebudowlany	0,25	22	25	19	40 000	40 000

Nr materiału	Ozn.	Opis materiału	Parametry warstw przyjęte zgodnie z dokumentacją geotechniczną (wg normy PN-81/B-03020)					Parametry uwzględniające zakres małych odkształceń
			$\nu$	$\gamma$	$c$	$\phi$	$E_p$	$E$
			[-]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[°]	[kPa]	[kPa]
10	beton	Beton na konstrukcje budynku	0,167	24	10 000	45	30 000 000	30 000 000
11	bareta	Bareta	0,167	24	10 000	45	14 200 000	14 200 000

Przemieszczenia pionowe wybranych reperów



Rys. 13. Przemieszczenia pionowe wybranych reperów

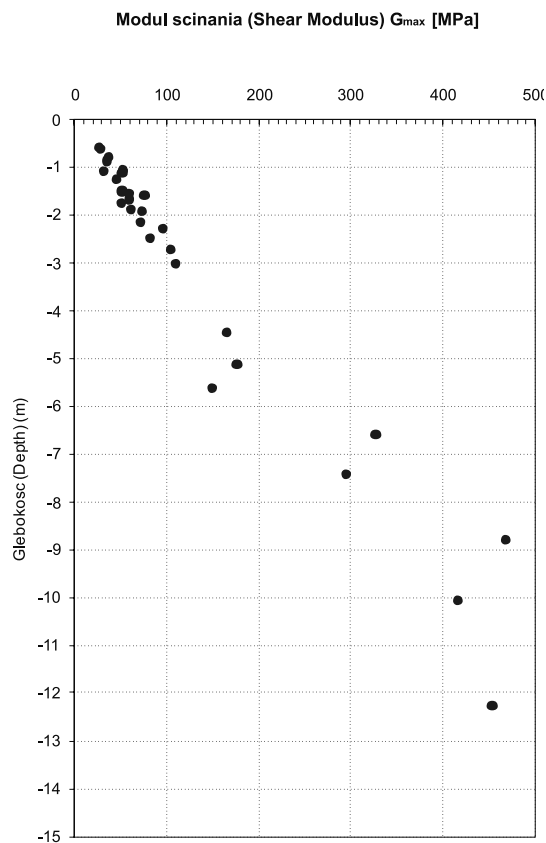
Fig. 13 Vertical displacements of chosen benchmarks



Rys. 14. Stawisko pomiarowe na dnie wykopu

Fig. 14. Measurements station on the bottom of the excavation





Rys. 15. Wykres zmiany sztywności gruntu

Fig. 15. Charts of the ground stiffness

## 8. Wnioski

1. Istnieją zależności pomiędzy odwadnianiem gruntu a jego osiadaniem w zasięgu oddziaływania odwodnienia, zarówno dla I, jak i II poziomu wodonośnego.
2. Wpływ oddziaływania odwodnienia jest trudny do odseparowania z uwagi na odciążenie ośrodka wynikające z jednoczesnego głębienia wykopu oraz zmiany wartości parametrów gruntowych.
3. Mierzone wartości osiadań mogą być mniejsze od rzeczywistych z uwagi na wpływ odwodnienia na osiadania reperów odniesienia oraz różną reakcję podłoża gruntowego na odwodnienie.
4. W celu zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji należy w odpowiedni sposób projektować prace odwodnieniowe, szczególnie przy głębokich posadowieniach i analizie stateczności dna wykopu.
5. Wpływ zmian położenia zwierciadła II poziomu na obiekty znajdujące się na powierzchni terenu jest mniejszy niż wpływ zmian położenia zwierciadła I poziomu wodonośnego.

## 6. Wpływ zmian położenia zwierciadła II poziomu na obiekty znajdujące się na znacznej głębokości wymaga dalszych badań.

Pracę zrealizowano w ramach projektu badawczego Politechniki Warszawskiej pt.: „Oddziaływanie głęboko posadowionych obiektów budowlanych w środowisku silnie zurbanizowanym”.

Autorzy pragną wyrazić podziękowania firmie KIP Sp. z o. o. oraz pracowni GEOSYSTEM W. Opęchowski za udostępnienie materiałów dotyczących inwestycji „Wolf Marszałkowska” w Warszawie.

Specjalne podziękowania dla Władz Zakładu Geologii Inżynierskiej Uniwersytetu Warszawskiego za umożliwienie wykorzystania urządzeń metody sejsmiki powierzchniowej do przeprowadzenia badań polowych podłoża.

## Literatura

- [1] Atkinson J.H., *Non-linear soil stiffness in routine design*, Geotechnique, Vol. 50, No. 5, 2000, 487-508.
- [2] Barański M., Popielski P., Szczepański T., Wrona M., *Analiza możliwości weryfikacji modelu numerycznego na podstawie pomiarów i badań wykonanych w trakcie realizacji obiektu*, Czasopismo Techniczne, 1-Ś/2007, Wydawnictwo PK, Kraków 2007, 3-16.
- [3] Barański M., Szczepański T., *Wykorzystanie metod sejsmiki powierzchniowej (CSWS, SASW) do wyznaczania parametrów sprężystych gruntu*, Zeszyty naukowe Politechniki Białostockiej „Budownictwo”, 28, t. 1, 2006, 9-18.
- [4] Barański M., *The interplay between geological history and geotechnical properties of overconsolidated Mio-Pliocene clays*, Advances in geotechnical engineering, The Skempton Conference, Vol. 2, London 2004, 1219-1230.
- [5] Dłużewski J., *HYDRO-GEO: program elementów skończonych dla geotechniki, hydrotechniki i inżynierii środowiska*, Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 1997.
- [6] Georgiannou V.N., Rampello S., Silvestri F., *Static and Dynamic measurements of undrained stiffness on natural overconsolidated clays*, Proc. 10<sup>th</sup> Firenze, Vol. 1, 1991, 91-95.
- [7] Grabowski Z., Pisarczyk S., Obrycki M., *Fundamentowanie*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
- [8] PN-81/B-03020 *Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednio budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie*.
- [9] Shibuya S., Tatsuoka F., Teachavorasinskun S., Kong X.J., Abe F., Kim Y.S., Park C.S., *Elastic deformation properties of geomaterials; Soil and Foundations*, Journal of the Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 32, No. 3, Sep. 1992, 23-46.
- [10] Opęchowski W., *Odwodnienia budowlane wykopów na przykładzie obiektów zrealizowanych w Warszawie*, XX Ogólnopolska Konferencja „Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji”, Wisła-Ustroń 2005.
- [11] Opęchowski W., Chmielewski R., *Raport odwodnieniowy, nr od 1 do 11 za okres od 26.03.2008 do 03.03.2009*, GEOSYSTEM, Warszawa 2008/2009.
- [12] Opęchowski W., *Hydrogeologiczny projekt odwodnienia budowlanego wykopu fundamentowego budynku Wolf Marszałkowska przy ul. Marszałkowskiej róg Żurawiej na terenie Dzielnicy Śródmieście m.st. Warszawa*, GEOSYSTEM, Warszawa 2007.
- [13] Nazarewicz M., *Wpływ czasowego odwodnienia głębokich wykopów fundamentowych w Warszawie na budynki w zasięgu oddziaływania odwodnienia*, Wydział Inżynierii Środowiska, Zakład Budownictwa Wodnego i Hydrauliki, Warszawa 2009.