XXV Konferencja Naukowo-Techniczna, Międzyzdroje 24-27 maja 2011
awarie budowlane 2011

TOMASZ BŁASZCZYŃSKI, *tomasz.blaszczynski@put.poznan.pl*
Politechnika Poznańska
HENRYK OLEKSIEJUK, *henryk@oleksiejuk.pl*
EDWARD FIRLEJ, *edwardfirlej@wp.pl*
MACIEJ BŁASZCZYŃSKI, *maciej.blaszczynski@gmail.com*
Galeria MM SPV sp. z o.o.

WIELOSTOPNIOWY MONITORING I ZABEZPIECZENIE BUDYNKÓW POD OCHRONĄ KONSERWATORSKĄ PRZED AWARIĄ LUB KATASTROFĄ

MULTISTAGE MONITORING AND PROTECTION OF LISTED BUILDINGS IN ASPECT OF FAILURE PROTECTION

Streszczenie Wykonywanie głębokich i skomplikowanych robót fundamentowych obiektów podziemnych w zwartej zabudowie składającej się z budynków pod ochroną konserwatorską, zwłaszcza w zróżnicowanych warunkach gruntowych i przy nietypowych kolizjach i rozwiązaniach technologicznych, stanowi znaczne wyzwanie. W artykule przedstawiono sposoby różnych zabezpieczeń budynków historycznych w trakcie realizacji budynku głębokiego (4 – kondygnacje podziemne) w centrum Poznania. Istnienie całej grupy budynków pod ochrona konserwatorską w bezpośrednim sąsiedztwie, których realizowana jest inwestycja, narzucało zastosowanie wielostopniowego systemu zabezpieczeń (odpowiedni system ścianek szczelinowych, technologia realizacji części podziemnej i nowoczesne systemy zabezpieczeń budynków sąsiednich) oraz wielostopniowego systemu monitoringu. Wielostopniowy monitoring polegał na zastosowaniu monitoringu: makroskopowego, geodezyjnego, tensometrycznego i piezometrycznego.

Abstract The realization of deep and complicated foundation-works of underground objects in compact settlement consisting of listed buildings, especially in difficult ground conditions and at atypical collisions and technological solutions, makes the considerable challenge. In the article is introduced ways of different protection of historic buildings in progress of the realization of the deep (4-underground storey) building in the centre of Poznań. The existence of the all group of listed buildings in the contiguity of realized investment, forced the use of the multistage security system (the suitable sheet piling system, the technology of the realization of the underground part and modern security systems of neighboring buildings) and the multistage monitoring system. The multistage monitoring consisted in the use of the monitoring: macroscopic, geodesic, tensometric and piezometric.

1. Wprowadzenie

Wykonywanie głębokich wykopów i skomplikowanych robót fundamentowych obiektów budowlanych z głęboką częścią podziemną w zwartej zabudowie centrum miast, w zróżnicowanych warunkach gruntowych, przy nietypowych kolizjach i rozwiązaniach technologicznych stanowi zawsze wyzwanie technologiczne i logistyczne [1]. Niestety często zaniedbania związane z tymi pracami prowadzą do awarii i katastrof [2]. Niekiedy jest to spowodowane zmieniającym się stanem technicznym lub stanem bezpieczeństwa budynków sąsiednich [3].

W trakcie prac przygotowawczo-projektowych niezbędna jest szczegółowa ocena geotechnicznych warunków posadowienia obiektów głębokich oraz poprawne przyjęcie schematów obliczeniowych [4]. Wykonywanie części podziemnej nowego budynku, a więc również niezbędnego wykopu, wiąże się z koniecznością zastosowania odpowiedniej obudowy tego wykopu oraz jego rozparcia bądź zakotwienia w kilku poziomach. Powstające podczas głębienia wykopu odkształcenia ścian jego obudowy mogą powodować również odkształcenia terenu pod budynkami sąsiednimi, a tym samym również odkształcenia samych budynków sąsiednich, które doprowadzić mogą również do ich uszkodzenia. W związku z tym, na etapie projektowym, niezbędne jest wykonanie prac diagnostycznych obejmujących sąsiednią zabudowę oraz analizy wpływu realizacji budynku głębokiego na otaczającą zabudowę. W wyniku diagnostyki zabudowy sąsiedniej nieraz istnieje potrzeba ewentualnego wzmocnienia niektórych budynków istniejących [5].

Wyróżnia się trzy podstawowe sposoby wykonania głębokiego posadowienia budynku, które w zależności od zagospodarowania terenu w sąsiedztwie realizowanej inwestycji mogą ulec modyfikacji [4]:

– wykop otwarty szerokoprzestrzenny wykonany metodami tradycyjnymi,
– wykop otwarty zabezpieczony ścianą szczelinową w formie wspornika lub kotwioną w jednym lub wielu rzędach poziomych za pomocą kotew gruntowych stałych lub tymczasowych,
– metoda stropowa polegająca na wykonaniu najpierw ścian szczelinowych, a następnie stropu rozpierającego w poziomie górnej krawędzi ścian szczelinowych i przystąpienie do wydobywania gruntu z obszaru pomiędzy spodem stropu wykonanego a spodem stropu następnego; metoda ta występuje również w wersji zmodyfikowanej, gdzie przy odpowiednio zaprojektowanej sztywności stropów wykonuje się je jedynie w narożach.

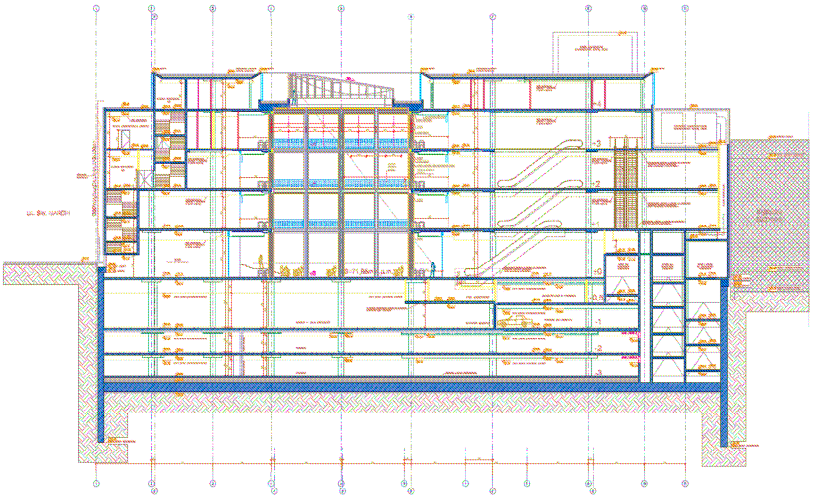
W przypadku zwartej zabudowy praktycznie nie ma możliwości zastosowania wykopu otwartego szerokoprzestrzennego, a stosowanie wykopu otwartego zabezpieczonego ścianą szczelinową w formie wspornika lub kotwioną za pomocą kotew gruntowych, poprzez znaczące odkształcenia podłoża gruntowego wiąże się z pewnym stopniem ryzyka [6].

2. Opis nowego obiektu i procesu jego realizacji

Projektuje się budowę obiektu handlowo-biurowego z garażami w części podziemnej. Budynek będzie miał cztery kondygnacje podziemne, z których dwie dolne zajęte będą przez parking, a górne – częściowo przez parking, a częściowo przez wysoką kondygnację handlową (rys. 1). Będzie to aktualnie najgłębszy budynek w Poznaniu. Planuje się, że budynek będzie posiadał pięć kondygnacji nadziemnych. Poziom przyziemia budynku, w części zachodniej będzie nawiązywał do rzędnej skrzyżowania ulic: Święty Marcin i Piekary i wynosić będzie 74,85 m n.p.m. Poziom kondygnacji „0” będzie zbliżony do rzędnej skrzyżowania ulicy Podgórnej i Alei Marcinkowskiego, tj. 71,85 m n.p.m. Poziom najniższej kondygnacji podziemnej planuje się na rzędnej niższej o 12,0 m, tj. 59,85 m n.p.m. Poziom wykopu fundamentowego planuje się do rzędnych 58,2÷61,2 m n.p.m., z lokalnymi przegłębieniami (o około 1,0 m) pod szyby windowe. Wykop pod kondygnacje podziemne projektuje się wygrodzić ciągłą, obwodową ścianą szczelinową o grubości 80 cm.

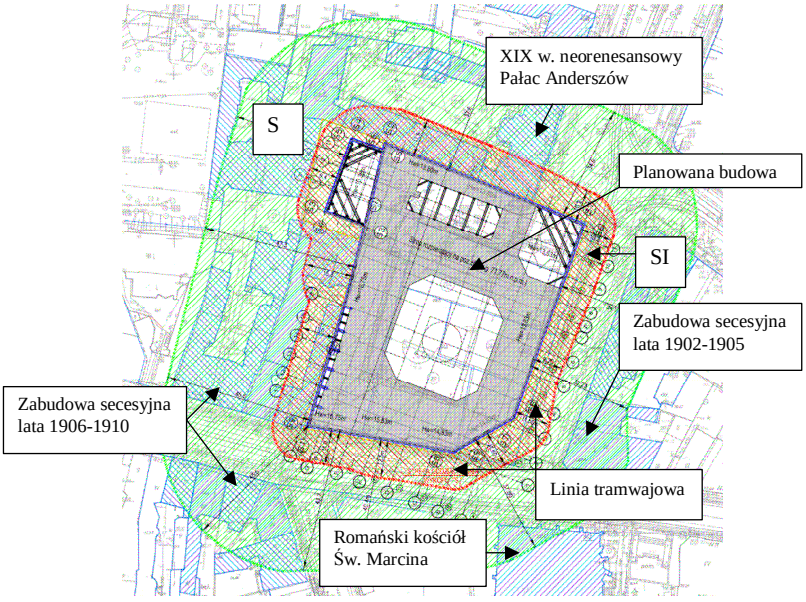
Część ścian szczelinowych wzdłuż budynków sąsiednich jest wzmocniona żebrami pionowymi o wysięgu 2,0 m, grubości 0,8 m. Osiowy rozstaw żeber wynosi 5,01 m. Zagłębienie ścian szczelinowych poniżej spodu płyty fundamentowej jest zmienne. W przypadku ściany wzdłuż budynku przy ul. Św. Marcin zagłębienie to wynosi od 5,97 do 8,65 m, a w przypadku ściany wzdłuż budynku przy al. Marcinkowskiego – od 3,97 do 5,70 m, co daje maksymalne zagłębienie poniżej poziomu terenu ok. 24,0 m. Ściany

szczelinowe zaprojektowano jako konstrukcję oporową docelowo rozpartą stropem żelbetowym opartym na słupach żelbetowych oraz rampami zjazdowymi do parkingu podziemnego. Będą one pełnić funkcję przegrody wodoszczelnej, likwidującej poziomy dopływ wody gruntowej. Na wierzchu ścian szczelinowych zaprojektowano oczep żelbetowy. Realizację części podziemnej budynku zaprojektowano metodą podstropową (rys. 3).

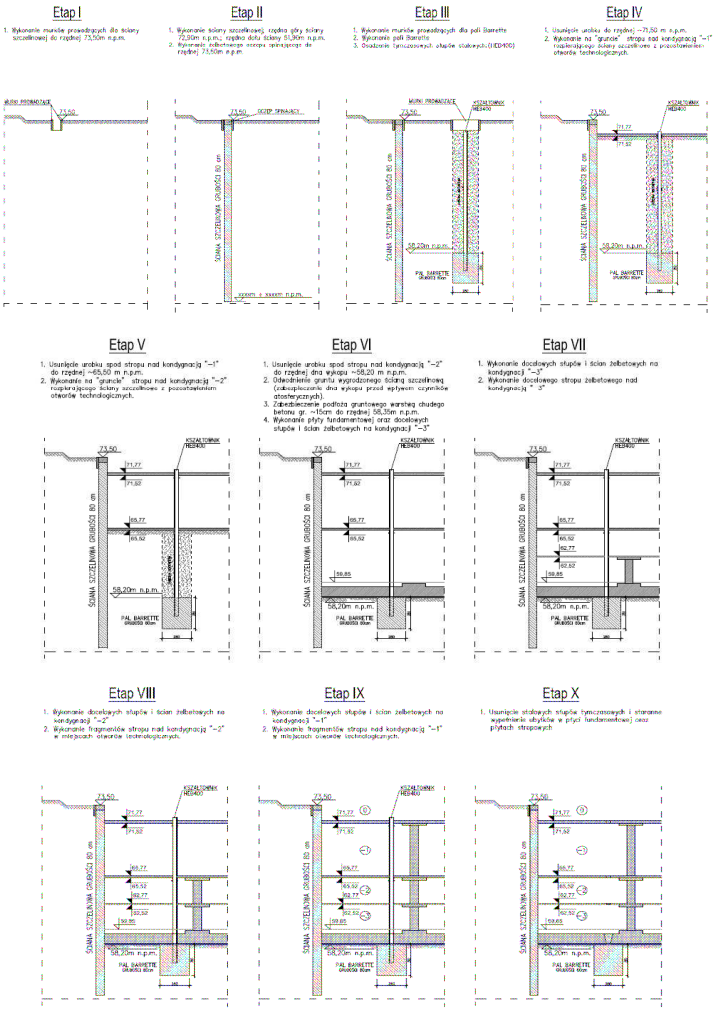


Rys. 1. Przekrój analizowanego obiektu

Nowoprojektowany budynek znajduje się w samym sercu Poznania pomiędzy wpisanymi do rejestru zabytków obiektami secesyjnymi i wybranymi zabytkami (rys. 2).



Rys. 2. Lokalizacja analizowanego obiektu i zasięg stref oddziaływania wykopu: S – strefa oddziaływania wykopu, SI – strefa bezpośrednich oddziaływań wykopu, zgodnie z [7] wg [8]



Rys. 3. Schemat realizacji części podziemnej analizowanego budynku

Ściany szczelinowe będą w fazie roboczej rozparte stropami żelbetowymi grubości 30 cm w poziomie 71,77 m n.p.m. oraz 65,65 m n.p.m. (poziom wykopu 65,35 m n.p.m.). Po wykopaniu wykopu do spodu płyty fundamentowej na poziomie 57,70 m n.p.m., zostanie wykonana ta płyta, a następnie słupy i pozostałe stropy żelbetowe. W fazie roboczej stropy rozpierające będą oparte na tymczasowych słupach stalowych, zabetonowanych w baretach żelbetowych, wykonanych jako sekcje ścian szczelinowych. Płyta fundamentowa została zaprojektowana jako żelbetowa grubości 1,0 m. Na odcinkach rampy zjazdowej, w narożu północno-wschodnim (przecięcie osi S6 i S7) oraz w części technicznej między osiami S2–S4 oraz S3 i S5 rozparcie ścian szczelinowych zaprojektowano za pomocą konstrukcji z rur stalowych ϕ 711/12,5 i ϕ 508/12,5 oraz kształtowników HEB 220 i HEB 400.

Dodatkowo wykonano analizy obliczeniowe dotyczące przemieszczeń ścian szczelinowych przez dwa niezależne zespoły, jeden reprezentujący Inwestora [9], a drugi głównego projektanta [10]. Pierwsza analiza została oparta na programie MES Larix, a druga na modelu belki ciągłej z podatnymi podporami.

4. Wielostopniowy monitoring obudowy i otoczenia

W celu maksymalnego zabezpieczenia sąsiedniej zabudowy oraz uniezależnienia się od ruchu pojazdów samochodowych i dynamiki ruchu kilku linii tramwajowych, udało się namówić Inwestora do znacznego przegłębienia ścian szczelinowych, ograniczając tym znacznie wpływy oddziaływania realizacji części głębokiej. W związku z tym dokonano zagłębienia ścian szczelinowych w warstwę iłów (poniżej poziomu płyty fundamentowej) na głębokość do 8 m, tj. ok. 5 m głębiej niż wynikałoby to z obliczeń. Drugą gwarancją zwiększenia bezpieczeństwa było zastosowanie metody podstropowej i odcinkowe zabezpieczanie dna wykopu podbetonem klasy B15. Pomimo to zdecydowano się na prowadzenie stałego i wielostopniowego monitoringu. Przyjęto następujące rodzaje monitoringu: makroskopowy, geodezyjny, tensometryczny i piezometryczny.

4.1 Monitoring makroskopowy

Monitoring makroskopowy polegał na wykonaniu przed rozpoczęciem budowy ekspertyz technicznych 17 budynków znajdujących się w strefie S i SI (rys. 2) oraz codwutygodniowym ich przeglądzie w trakcie realizacji budowy. Prowadząc pierwsze przeglądy techniczne na zewidencjonowanych zarysowaniach nakładano gipsowe opaski kontrolne, które były również monitorowane, a w przypadku ich uszkodzenia lub zniszczenia wymieniane na nowe. W efekcie przeprowadzonych prac stwierdzono stosunkowo dobry stan techniczny większości obiektów. W trzech budynkach stwierdzono stan zadowalający, a w jednym stwierdzono stan zagrożenia. Szczegółowe analizy wykazały potrzebę wzmocnienia w strefie dwóch budynków.

4.2 Monitoring geodezyjny

Zgodnie z [8] w miarę odkrywania ścian szczelinowych prowadzono także monitoring geodezyjny odkształcania się ścian szczelinowych i baret oraz odkształcania się torowiska tramwajowego i monitorowanych makroskopowo 17 budynków w strefie S i SI.

W przypadku pomiarów osiadań budynków oraz torowiska w II strefie oddziaływania głębokiego wykopu (strefa S – rys. 2) zarejestrowano ruchy w pionie torowiska od -2 do +4 mm (podniesienie torowiska zarejestrowano w dwóch okresach zimowych a osiadanie w okresach występowania ciepłych temperatur) oraz wypiętrzenie kilku punktów romańskiego kościoła Św. Marcina w zakresie do 1 mm oraz odchylenie od pionu w zakresie do 1 mm w stronę wykopu. Dla pozostałych budynków w tej strefie zarejestrowano ruchy w pionie w zakresie od -2 do +3 mm. Dla większości punktów pomiarowych nie zarejestrowano żadnych zmian, a dla części punktów uchwycono osiadanie, a następnie wypiętrzenie. W przypadku pomiarów osiadań oraz wychyleń od pionu budynków bezpośrednio przylegających do placu budowy i zlokalizowanych w I strefie oddziaływania (strefa SI – rys. 2) zarejestrowano osiadania w zakresie od 0 do 7 mm, a także wychylenia od pionu w zakresie 2 do 6 mm.

Dla reperów zlokalizowanych na oczepie ścian szczelinowych zarejestrowano osiadanie do 2 mm, a wypiętrzenia do 8 mm, natomiast poziome przemieszczenia w stronę wykopu wynosiły do 3 mm. Natomiast pomiary odkształceń ścian szczelinowych na poziomie 68.00 m npm. (między stropami rozporowymi) dały wartość od 1 do 9 mm w stronę wykopu. Na poziomie 62,00 m npm. (między stropem rozporowym a poziomem płyty fundamentowej) pomiary odkształceń ścian szczelinowych dały wynik od 2 do 5 mm w stronę wykopu.

Największe wartości zarejestrowano w przypadku pomiarów wypiętrzenia 4 słupów tymczasowych (baret) zlokalizowanych w środkowej części wykopu (wokół centralnego otworu

tymczasowego do prowadzenia prac). Zarejestrowano wypiętrzenie słupów od 22 do 35 mm. Wartość najniższą otrzymano w miejscu występowania glin w poziomie posadowienia.

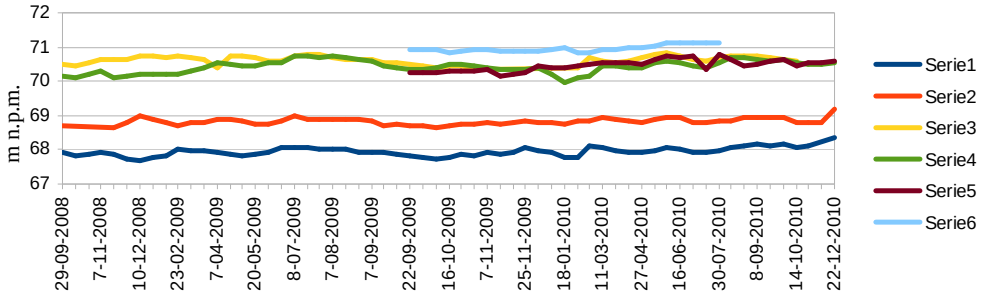
4.3 Monitoring tensometryczny

Monitoring tensometryczny przeprowadzono poprzez określenie przemieszczeń ścian szczelinowych na bazie pomiaru sił w rozporach tymczasowych. Pomiaru sił dokonano poprzez pomiar odkształceń za pomocą foliowych przetworników tensometrycznych. Pomiar sił w rozporach stalowych przeprowadzono na dwóch poziomach: poziomie 0 i poziomie -1. Na poziomie 0 pomiary były prowadzone na 3 rozporach typu HEB (HEB 220) i na 7 rozporach rurowych (ϕ 508×12,5 oraz ϕ 711×12,5). Na poziomie -1 pomiary były prowadzone na 3 rozporach typu HEB (HEB 220) i na 8 rozporach rurowych (ϕ 508×12,5 oraz ϕ 711×12,5). Wartości sił w stalowych rozporach były również obliczane z pomierzonych ich odkształceń. Pierwszy pomiar odkształceń na poziomie 0 został wykonany w kwietniu 2010 r. Kolejne pomiary na wszystkich poziomach (0 i -1) zostały wykonane po ok. miesiącu. Następne pomiary planowane były w odstępach tygodniowych, a w przypadku małych zmian sił w rozporach planowano, że okresy pomiaru zostaną wydłużone. W związku z tym w pierwszym etapie wydłużono okres pomiarów do 2 tygodni a następnie do 1 miesiąca. Analiza kolejnych pomiarów wskazała na ich stabilizację, dlatego pomiar końcowy ustalono po okresie 2 miesięcy, czyli na początku października 2010 r.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów oraz analiz należy stwierdzić, że w monitorowanym okresie w poziomie 0 w części rozpór wystąpiły siły rozciągające, a w części siły ściskające; od czerwca 2010 r. większe od charakterystycznych sił obliczonych wg [9], a w poziomie -1 wystąpiły tylko siły ściskające, od czerwca 2010 r. większe od charakterystycznych sił obliczonych wg [9]. Pomierzone wielkości sił wykazały przemieszczenia badanych elementów o charakterze zbliżonym do pomiarów geodezyjnych.

4.4 Monitoring piezometryczny

Przed uzyskaniem pozwolenia na budowę został zatwierdzony program badań hydrogeologicznych obejmujący instalację 4 piezometrów wokół planowanego terenu budowy. W trakcie budowy (we wrześniu 2009 r.) program monitoringu został rozszerzony o dwa dodatkowe piezometry. Wyniki z dokonanych odczytów przedstawione są na rys. 4.



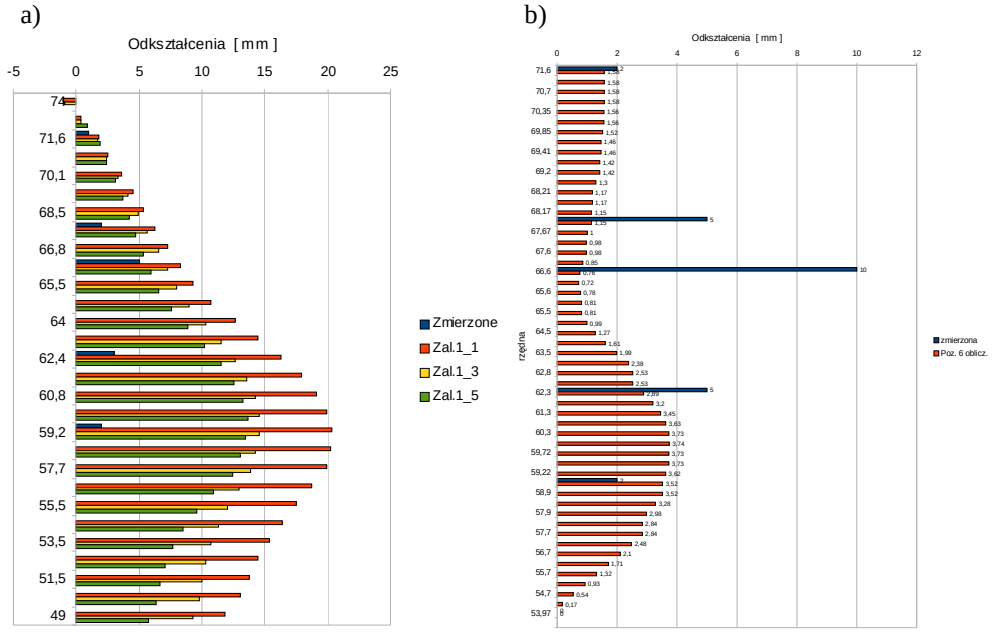
Rys. 4. Wyniki monitoringu piezometrycznego

Otrzymane pomiary porównano z informacjami o zarejestrowanych przez IMGW ilościach opadów w poszczególnych miesiącach roku 2010. W wyniku otrzymanych informacji oszacowano, że w roku 2010 na terenie budowy spadło ok. 700 mm wody deszczowej.

Z powyższych danych i analizy rys. 4 wynika, iż w analizowanym okresie (2008÷2010) występujące opady nie wpłynęły zasadniczo na zmiany poziomu wód gruntowych i nie zmieniły ich charakteru.

5. Analiza zastosowanego monitoringu z obliczeniami

Przeprowadzono również analizy porównawcze szczególnie w przypadku porównania pomierzonych wartości odkształceń ścian szczelinowych z wartościami obliczonymi według prac [9 i 10]. Wyniki tych analiz przedstawia rys. 5. Na rys. 5a przedstawiono porównanie wartości pomierzonych z wartościami obliczonymi wg [9], a na rys. 5b z wartościami obliczonymi wg [10] dla różnych założeń.



Rys. 5. Przykładowe porównania obliczeniowych wartości odkształceń ścian szczelinowych z wartościami pomierzonymi, a) z obliczeniami wg pracy [9], b) z obliczeniami wg pracy [10]

Jak widać w obu przypadkach wartości pomierzone są różne od obliczeniowych. W przypadku obliczeń według metody i założeń zawartych w [9] wartości pomierzone w niektórych wypadkach przewyższają wartości obliczone, natomiast w przypadku analiz zawartych w [10] wartości pomierzone są znacznie mniejsze od wartości obliczonych dla wszystkich przyjętych założeń. W zależności od przyjętych założeń nawet wielokrotnie mniejsze. Jednakże zastosowanie wielostopniowego systemu zabezpieczeń spełniło swą funkcję, gdyż wszystkie obliczone, na bazie pomierzonych odkształceń ścian szczelinowych, osiadania budynków usytuowanych w bezpośrednim sąsiedztwie wykopu rozpartego w dwóch poziomych stropami nie przekraczają wielkości podanych w instrukcji [7], co potwierdził również monitoring geodezyjny.

6. Podsumowanie

Zastosowanie wielostopniowego systemu zabezpieczeń (odpowiedni system ścianek szczelinowych, technologia realizacji części podziemnej i nowoczesne systemy zabezpieczeń

budynków sąsiednich) oraz wielostopniowego systemu monitoringu w przypadku realizacji obiektu głębokiego w gęstej zabudowie umożliwiło jego bezpieczną realizację oraz dało pełne bezpieczeństwo dla otaczających obiektów. Różnice wynikające z obliczeń różnymi metodami odkształceń ścian szczelinowych, a w efekcie odkształceń terenu pod budynkami sąsiednimi (a tym samym również odkształceń samych budynków sąsiednich), a pomiarami dokonanymi w ramach wielostopniowego monitoringu wskazują na jego niezbędne zastosowanie. Należy również podkreślić duże rozbieżności pomiędzy obliczonymi i pomierzonymi wartościami odkształceń ścian szczelinowych, co niestety prowadzi do wniosku wskazującego na znaczną niewiarygodność przeprowadzonych obliczeń. Z jednej strony może to wynikać ze źle dobranych danych do zastosowanego oprogramowania, co w przypadku ośrodka sypkiego jakim jest wielowarstwowy układ gruntowy jest rzeczą niełatwą. Jednakże może również wynikać z przyjęcia nietrafnych modeli lub założeń obliczeniowych.

Literatura

1. Szmilewski W., Ledzińska A., Godziemba P.: Metody budowy części podziemnej budynków głębokich. Inżynier budownictwa, nr 11/2010.
2. Szulborski K., Pyrak S.: O katastrofie odbudowy wykopu głębokiego pod budynek przy ul. Puławskiej w Warszawie. Inżynieria i Budownictwo, nr 12/1998.
3. Błaszczyński T., Sielicki P.: Analiza wpływu błędów projektowych i wykonawczych na awarię kamienicy z lat 30-tych XX w. XXIII Konferencja Naukowo-Techniczna “Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 2007.
4. Wysokiński L., Kotlicki W., Motak E.: Zagadnienia geotechniczne w realizacji inwestycji w gęstej zabudowie. Inżynieria i Budownictwo, nr 10/1999.
5. Michalak H., Pęski S., Pyrak S., Szulborski K.: O diagnostyce zabudowy usytuowanej w sąsiędztwie wykopów głębokich. Inżynieria i Budownictwo, nr 6/1998.
6. Michalak H., Pęski S., Pyrak S., Szulborski K.: O wpływie wykonania wykopów głębokich na zabudowę sąsiednią. Inżynieria i Budownictwo, nr 1/1998.
7. Instrukcja ITB Nr 376/2002: „Ochrona zabudowy w sąsiedztwie głębokich wykopów”, Warszawa 2002.
8. Analiza oddziaływania głębokiego wykopu części podziemnej planowanego budynku na sąsiednią zabudowę, dla budowy budynku handlowo-biurowego wraz z podziemną halą garażową przy ul. Św. Marcina/Al. Marcinkowskiego w Poznaniu. GT Projekt, Poznań, maj-czerwiec 2009 r.
9. Zestawienie porównawcze obliczeń statycznych – ściany szczelinowe z konstrukcją rozparcia – budynek handlowo-biurowy Galeria MM Sp. – Poznań ul. Św. Marcina/Al. Marcinkowskiego. GT Projekt, Swadzim, wrzesień 2009 r.
10. Dokumentacja geotechniczna. Galeria MM Sp., Poznań ul. Św. Marcina/Al. Marcinkowskiego. Wyniki obliczeń ściany szczelinowej w osi F/S9. dr inż. Sławomir Janiński, Poznań, listopad 2009 r.