

Monitorowanie przemieszczeń wybranego budynku posadowanego na podłożu ekspansywnym

Aleksandra Gorączko¹, Maria Gadomska², Maciej K. Kumor³

^{1,3} *Katedra Geotechniki, Wydział Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, e-mail: ¹aleksandra.goraczko@utp.edu.pl, : ³maciej.kumor@utp.edu.pl*

² *Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, Wydział Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, e-mail: maria.gadomska@utp.edu.pl*

Streszczenie: W artykule zaprezentowano metodykę i wyniki wieloletniego monitoringu budynku, który uległ awarii z przyczyn geotechnicznych. Obiekt, zlokalizowany w Bydgoszczy, posadowany jest bezpośrednio w strefie ilów o wysokiej ekspansywności. Błędy wykonawcze i eksploatacyjne doprowadziły do naruszenia naturalnej wilgotności podłoża, aktywowania procesów pęcznienia i skurczu i w konsekwencji stanu awarii konstrukcji. Wyniki monitoringu geotechnicznego, prowadzonego po wykonaniu wzmocnienia fundamentów mikropalami i napraw konstrukcji, obejmującego między innymi systematyczne pomiary przemieszczeń pionowych, wykazały długotrwały proces stabilizacji przemieszczeń budynku. Wskazuje to na zasadność prowadzenia obserwacji nawet przez kilkanaście lat po wykonaniu zabezpieczenia tego typu obiektów.

Słowa kluczowe: monitoring geotechniczny, podłoże ekspansywne, przemieszczenia, awarie konstrukcji.

1. Wprowadzenie

Przemieszczenia budynków, posadowanych w strefie aktywnego oddziaływania zjawisk ekspansywnych, często obserwuje się przez cały okres ich eksploatacji. Fluktuacje wilgotności podłoża ilastego powodują zmiany objętości gruntów i wymuszają przemieszczenia konstrukcji, które są bardzo trudne do prognozowania. Czynniki mające wpływ na charakter i wielkość przemieszczeń są zróżnicowane i często specyficzne dla każdego obiektu. Między innymi są to oddziaływania klimatyczne, awarie sieci i przyłączy wodociągowych, wpływ roślinności, rodzaj konstrukcji obiektu czy po prostu błędy projektowe i wykonawcze. Konsekwencją są często co najmniej uciążliwe, a niekiedy katastrofalne usterki i uszkodzenia elementów użytkowych i konstrukcyjnych budynków lub ich części. W celu uniknięcia awarii budowlanej niezbędne są prace zabezpieczające.

W Bydgoszczy, w rejonach płytkiego zalegania prekonsolidowanych ilów neogenicznych o bardzo wysokim stopniu ekspansywności [8],[10], bardzo częste są przypadki awarii i uszkodzeń konstrukcji budynków, których bezpośrednią przyczyną są zjawiska zmian objętości gruntu w podłożu [9], [4].

W przypadku pojawienia się uszkodzeń istotny jest monitoring obiektu, w ramach którego wykonywane są pomiary przemieszczeń przede wszystkim pionowych oraz w niektórych przypadkach poziomych, a także obserwacja stanu technicznego obiektu. Monitoring geotechniczny uwzględnia również właściwości materiałowe podłoża i wpływ

czynników zewnętrznych takich jak klimat, sposób zagospodarowania terenu, dobór i wzrost roślinności itp. Monitoring ma za zadanie, między innymi sprawdzenie słuszności poczynionych założeń projektowo-konstrukcyjnych i posadowienia i upewnienie się, że po zakończeniu budowy czy prac zabezpieczających konstrukcja będzie nadal zachowywać się zgodnie z wymaganiami. Długość okresu monitorowania po zakończeniu prac zwykle nie przekracza 3 do 5 lat i może być zmienna w wyniku analizy uzyskiwanych bieżących obserwacji. Zakres monitoringu obiektu zależy od kategorii geotechnicznej obiektu.

Zgodnie z zasadami geodezyjnymi należy odróżnić [3], [11]:

- monitoring planowy (monitoring zaplanowany rozpoczynany przed przystąpieniem do robót budowlanych),
- monitoring interwencyjny (prowadzony po zaistnieniu awarii bądź katastrofy budowlanej).

Problemy geotechnicznego monitoringu planowego dotyczą zasadniczo budowli nowo wznoszonych i jest on realizowany w odniesieniu do zaleceń Eurokodu 7 [13]. Ponadto zgodnie z zaleceniami Europejskiego Komitetu Normalizacji, obserwacje i pomiary samej konstrukcji oraz jej otoczenia, powinny być prowadzone nie tylko podczas budowy, ale i po jej zakończeniu.

W monitorowaniu interwencyjnym, wagi nabiera współpraca specjalistów z różnych dziedzin, szczególnie geodetów i geotechników oraz konstruktorów, bowiem bardzo istotne są takie elementy jak:

- ustalenie miejsca i elementów podlegających kontroli,
- dokładność i wiarygodność wyników pomiaru,
- ocena stanu obiektu,
- prognoza zagrożeń,
- forma prezentacji wyników badań w celu prawidłowej interpretacji i analizy oceny stanu bezpieczeństwa obiektu,
- wpływ zmian naturalnych w środowisku gruntowo-wodnym,
- antropopresja zaznaczająca się w bliższym i dalszym otoczeniu obiektu.

Z dotychczasowych doświadczeń budownictwa na podłożu ekspansywnym wynika, że monitorowanie obiektów najczęściej przeprowadza się wycinkowo, zwykle jako monitoring interwencyjny, często po raz pierwszy po wielu latach od zakończenia budowy [3],[4],[6], [11]. Praktycznie w momencie, gdy wydarzyła się już katastrofa lub obiekt jest w stanie widocznego zagrożenia. Wtedy to w konstrukcji są już wyraźnie zauważalne makroskopowo uszkodzenia w postaci pęknięć, rys, rozwarstwień, zmiany kształtu obiektu, przemieszczeń poziomych, odchyłeń od pionu, itp.

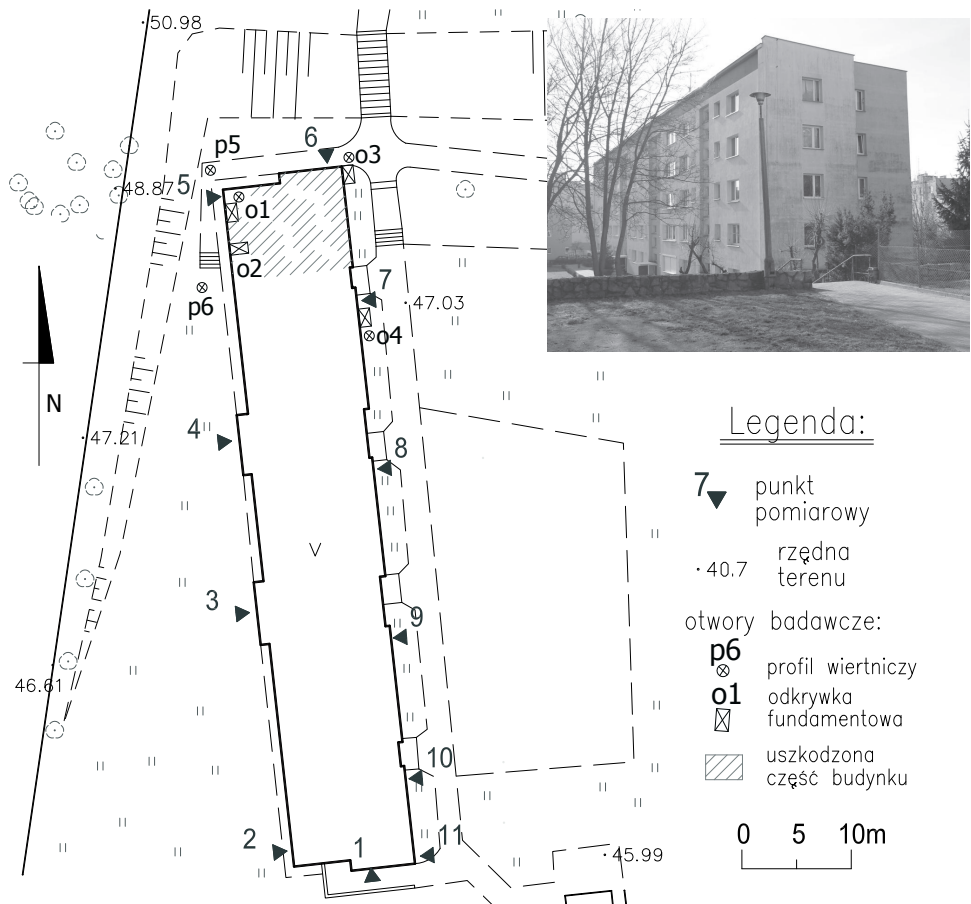
W artykule zaprezentowano metodykę monitoringu geotechnicznego i wyników dla przykładowego obiektu z terenu miasta Bydgoszczy.

2. Metodyka badań

2.1. Charakterystyka obiektu

Badania prowadzono w centralnej części Bydgoszczy, na osiedlu Bielawy, gdzie od lat 50. ubiegłego wieku notowana jest szczególnie duża liczba awarii budowlanych. Iły występują tu szczególnie płytko, często tuż przy powierzchni terenu. W znacznej większości przypadków problemy dotyczą niskich jedno i dwukondygnacyjnych budynków, które są najbardziej podatne na zjawiska ekspansywne w podłożu [11], niemniej uszkodzeniom ulegają także większe konstrukcje.

Opisywany obiekt jest pięciokondygnacyjnym budynkiem mieszkalnym wykonanym w technologii wielkopłytywowej w latach 70.XXw. (Rys. 1).



Rys. 1. a) . Rzut budynku z rozmieszczeniem punktów kontrolowanych oraz widok budynku od strony północnej (po modernizacji)

Budynek posadowiony jest na zmiennej głębokości od 0,5 do 2,0 m p.p.t., bezpośrednio w kompleksie łąk, północnym szczytem wcinając się w przylegającą kilkumetrową skarpe. Charakterystykę parametrów geotechnicznych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry geotechniczne łąk w strefie uszkodzeń budynku

Wartość średnia / odchylenie standardowe						
wartość minimalna - wartość maksymalna						
liczba prób						
Wilgotność naturalna w _{nśr} [%]	Wskaźnik plastyczności I _p [%]	Stopień plastyczności I _L [I]	Zawartość frakcji łąkowej f _i [%]	Ciśnienie pęcznienia p _c [kPa]	Wskaźnik pęcznienia ε [%]	Ciśnienie pęcznienia p _c [kPa]
24,5 /5,4	79,3 /4,1	-0,05 /0,09	67,7	100	20	120
12,1 - 34,9	68,6 - 83,0	-0,15 - 0,11	65,3 - 70,2	50 - 130	15 - 45	30 - 200
62	5	62	3	5	5	5

Analizując charakterystykę geotechniczną iłó w podłożu należy zauważyć, że ich stan był półzwały. Z tego względu należało się spodziewać pęcznienia iłó, a w mniejszym stopniu jego skurczu.

W roku 2002 północna ściana szczytowa budynku w części uległa poważnej awarii. Bezpośrednimi przyczynami stanu awaryjnego był z jednej strony skurcz podłoża, spowodowany niewystarczającą izolacją ciepłociągu pod posadzką części parterowej z drugiej zaś uaktywnienie się procesów pęcznienia na skutek lokalnych wycieków wody z nieszczelnych instalacji. Wywołało to dużą nierównomierność przemieszczeń podłoża i ław fundamentowych.

Zaznaczyć należy, że niekorzystny przebieg instalacji spowodowany był zmianami projektu na etapie wykonywania budynku. Pierwotnie szczytowy segment kondygnacji parterowej wkomponowany był w przylegającą od strony północnej skarpę. Wygospodarowanie dodatkowego pomieszczenia mieszkalnego w tej części i zmniejszenie głębokości posadowienia naraziło tę część budynku na wpływ ekspansywnych zmian w podłożu i późniejsze przemieszczenia prowadzące do awarii. Dodatkowo niewłaściwe punktowe podparcie ław fundamentowych w 1998 roku, mające zapobiec postępującym uszkodzeniom, spowodowało ich pękanie i pogłębiło proces destrukcji konstrukcji obiektu. W 2002 roku, wykonano podchwycenie fundamentów mikropalami oraz wzmocniono północną część obiektu ściągami stalowymi. Wykonano także docieplenie i remont elewacji.

Przed pracami remontowymi i w trakcie wykonywania robót nie prowadzono pomiarów geodezyjnych. Bezpośrednio po wykonaniu wzmocnienia i napraw konstrukcji na budynku zamontowano repery ścienne umożliwiające monitoring przemieszczeń.

2.2. Metodyka pomiarów przemieszczeń budowli

Badania zrealizowano zgodnie z zasadami pomiarów przemieszczeń obiektów budowlanych [1],[14],[16] z uwzględnieniem specyfiki monitoringu budynków posadowionych na gruntach ekspansywnych [2], [3], [6].

Do wyznaczenia przemieszczeń pionowych założono sieć kontrolno-pomiarową składającą się z 11 punktów kontrolowanych (Rys. 1) oraz 6 punktów odniesienia (reperów) osadzonych na 5 sąsiednich budynkach, nie wykazujących według wcześniejszej oceny wystąpienia przemieszczeń oraz ewentualnych ruchów lokalnych każdego z nich. Aktualnie bazę odniesienia stanowi 5 punktów, ponieważ do jednego z nich nie ma dostępu ze względu na wykonaną izolację cieplną ze styropianu. Repery na badanym budynku osadzono w pobliżu narożników i wzdłuż budynku na przedłużeniu ścian poprzecznych. Repery wykonane były z ocynkowanej stali $\phi 20-25$, z naspawaną kulką łożyskową i osadzone około $40 \div 50$ cm nad terenem.

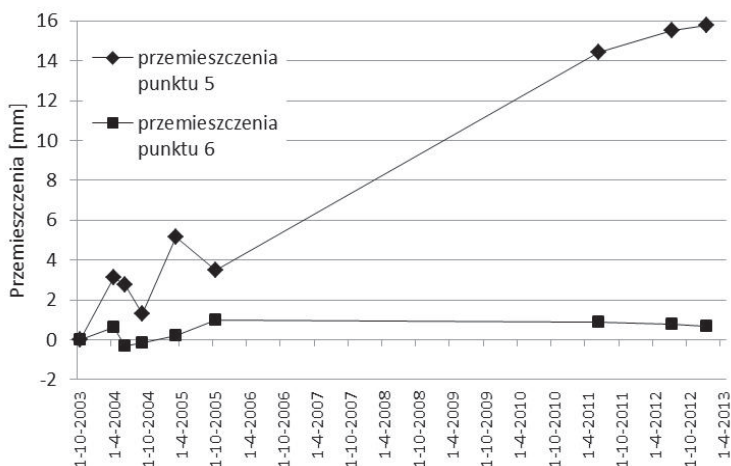
Pomiar wyjściowy (pierwotnego) dokonano w październiku 2003 roku. Pomiarów wykonano metodą niwelacji precyzyjnej za pomocą niwelatora NI 007 Carl Zeiss Jena i ław inwarowych.

Po każdym pomiarze sprawdzano poprawność wykonanych pomiarów poprzez wyznaczenie niezamknięć obwodnic i porównanie z dopuszczalnymi błędami niezamknięć każdej obwodnicy. W celu identyfikacji bazy odniesienia dokonano sprawdzenia wzajemnej stałości punktów odniesienia metodą analityczno-graficzną Hermanowskiego. Następnie wyrównano całą sieć kontrolną metodą pośredniczącą i wyznaczono przemieszczenia punktów kontrolowanych. Dokonano również wyznaczenia błędów dotyczących całej sieci jak i wyznaczonych przemieszczeń punktów kontrolowanych na obiekcie. Błędy średnie wyznaczonych przemieszczeń mieszczą się w przedziale $0,25 \div 0,35$ mm. Przeprowadzono także ocenę istotności przemieszczeń punktów znajdujących się na badanym obiekcie.

W latach 2004-2006 wykonywano pomiary dwukrotnie w ciągu roku w odniesieniu do rocznego cyklu zmian warunków hydrometeorologicznych w rejonie Bydgoszczy oraz oddziaływania roślinności 5. Pomiarów dokonywano wiosną, ze względu na występujące roztopy przy małym parowaniu terenowym oraz jesienią, pod koniec okresu wegetacyjnego co pozwoliło na uzyskanie przemieszczeń ekstremalnych w przypadku wystąpienia cyklicznych zmian sezonowych. Natomiast w następnych latach pomiary kontrolne prowadzone były średnio raz w roku.

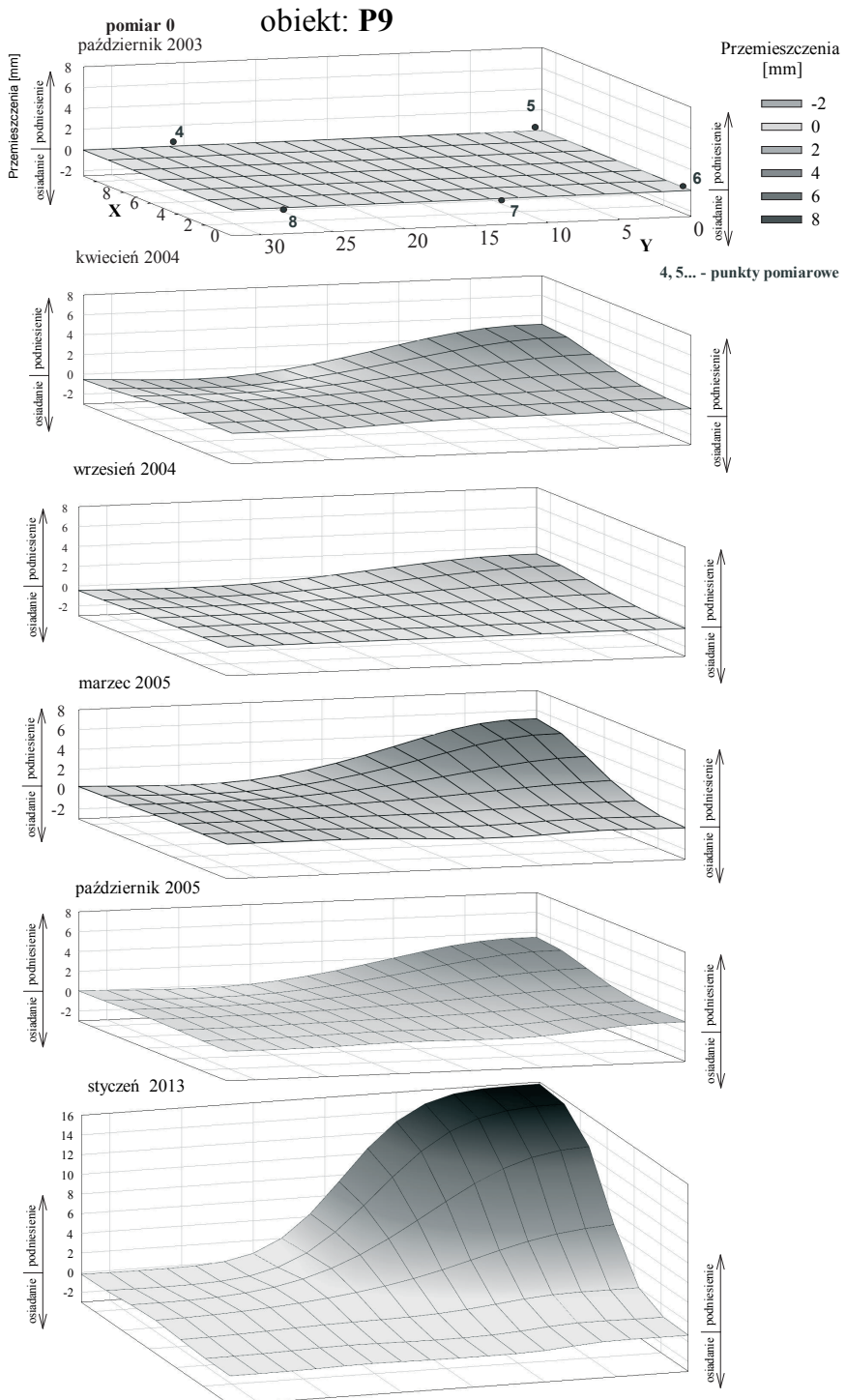
3. Wyniki badań

Pomiary geodezyjne wykazały istotne przemieszczenia reperów położonych w północnej części obiektu (Rys. 1), która przed rozpoczęciem badań uległa poważnej awarii. Największe przemieszczenia zarejestrowano punktu nr 5 na północno-zachodnim narożniku, a także mniejsze przemieszczenia punktu nr 6 (Rys.2).



Rys. 2. Przebieg przemieszczeń pionowych punktów nr 5 i nr 6

W latach 2003-2006 charakter zmian był wyraźnie cykliczny. Następnie zanotowano systematyczny przyrost przemieszczeń punktu 5. Pozostałe części budynku nie wykazały znaczących przemieszczeń (Rys. 3).



Rys. 3. Przemieszczenia pionowe północnej części obiektu w latach 2003-2013

4. Podsumowanie

Historia awarii i wyniki obserwacji monitorowanego budynku w Bydgoszczy wskazują na zasadnicze trudności przy prognozowaniu przemieszczeń obiektów posadowionych na gruntach ekspansywnych. Jak wykazują wyniki przemieszczeń pionowych północnej części obiektu, podniesienie o około $\Delta s=5$ mm, zarejestrowano już po 2 latach po zabezpieczeniu fundamentów. Podniesienie wzrosło do niemal $\Delta s=16$ mm po 10 latach licząc od momentu naprawy. Systematyczne podnoszenie jednego z narożników budynku, biorąc pod uwagę zakres wcześniejszych napraw obejmujących między innymi wykonanie mikropali w celu stabilizacji fundamentów tej części budynku, trudne jest do jednoznacznej interpretacji i może wskazywać na dalszy rozwój i wpływ procesów ekspansywnych w podłożu.

Wśród najczęstszych przyczyn prowadzących do uszkodzeń obiektów posadowionych na gruntach ekspansywnych są między innymi oddziaływania klimatyczne, głównie przesuszanie podłoża, dodatkowo pogłębiane przez ingerencję systemów korzeniowych drzew. Są to zagadnienia stosunkowo dobrze i szczegółowo rozpoznane [15], [5], wraz z ogólnymi zasadami zapobiegania ich negatywnym skutkom. Jak dowodzą obserwacje awarie obiektów wynikają często z zaniedbań oraz zdarzających się podczas normalnej eksploatacji uszkodzeń sieci wodociągowych, kanalizacyjnych i ciepłociągów. Ponadto wykazano, że w przypadku budynków posadowionych na gruntach silnie ekspansywnych, naprawa konstrukcji i jej fundamentów, nawet zgodnie z zasadami sztuki budowlanej, nie zawsze skutkuje całkowitą stabilizacją przemieszczeń.

Przedstawiony przykład monitoringu geotechnicznego obiektu wykracza znacznie poza przyjęty przedział monitorowania podobnych przypadków. Należy zatem szczególnie w przypadkach obiektów uszkodzonych z przyczyn gruntów ekspansywnych zalecić do powszechnego stosowania coroczny monitoring geotechniczny przez co najmniej 10 – 15 lat. Właściciel lub zarządca powinni odnotowywać stan przemieszczeń w tym okresie, co pozwoli na skuteczną i szybką interwencję techniczną.

Literatura

- 1 Bryś H., Przewłocki S. Geodezyjne metody pomiarów przemieszczeń budowli. Wyd. Nauk. PWN, 1998.
- 2 Gadomska M., Gadomski J. Geodezyjna interpretacja wyników przemieszczeń pionowych w aspekcie deformacji. Problemy geotechniczne w regionie bydgoskim – Konferencja środowiskowa, Bydgoszcz 1997, s. 79-86.
- 3 Gadomska M., Gadomski J., Monitoring obiektów po wykonaniu prac zabezpieczających przed katastrofą?. Czasopismo Techniczne, Budownictwo R. 104 z. 1-B (2007) 47-54.
- 4 Gorączko A. Monitoring uszkodzeń budynku posadowionego na łąch ekspansywnych. Zesz. Nauk. Polit. Śląskiej Nr 1644, Budownictwo Z. 102 (2004) 147-154.
- 5 Gorączko A. Badanie przemieszczeń pionowych podłoża ekspansywnego w Bydgoszczy na przykładzie wybranych obiektów. Praca doktorska. WBiIŚ Uniw. Techn.-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2007
- 6 Gorączko A., Gadomski J., Gorączko M., Charakterystyka przemieszczeń budynków posadowionych na podłożu ekspansywnym na przykładach z Bydgoszczy, w: Problemy geotechniczne i środowiskowe z uwzględnieniem podłoża ekspansywnych, Wyd. UTP, Bydgoszcz 2009, s. 335-342.
- 7 Gorączko A., Kumor M.K. Próba określenia zależności funkcyjnej sezonowych zmian wilgotności podłoża ekspansywnego. Zesz. Nauk. Polit. Gdańskiej, Nr 603, Budownictwo Lądowe LX (2006) 47-53.
- 8 Gorączko A., Kumor M.K. Pęcznienie miopliocenijskich ilów serii poznańskiej z rejonu Bydgoszczy na tle ich litologii. Biuletyn PIG Nr 446 (2) (2011) 305-314.

- 9 Kumor M.K. Awarie budynków posadowionych na ekspansywnych ilach trzeciorzędowych w Bydgoszczy. *Przegląd Budowlany*, nr 11 (1990) 471 - 476.
- 10 Kumor M.K. Charakterystyczne parametry geotechniczne serii poznańskiej rejonu Bydgoszczy. w: *Geologiczno-inżynierskie problemy serii poznańskiej*, Acta Universitatis Wratislaviensis, No 1354, Prace Geologiczno-Mineralogiczne XXVI, Wrocław 1992, s. 67-90.
- 11 Kumor M.K., Gadomska M., Gadomski J.: Monitoring interwencyjny przemieszczeń budowli posadowionej na podłożu ekspansywnym. Konferencja 45 Geotechniki w Łodzi, Łódź 2003
- 12 Madej J., Najder J., Werno M. Awarie budynków mieszkalnych w dzielnicy Bielawki w Bydgoszczy. *Inżynieria i Budownictwo*, nr 6 (1966) 211-213.
- 13 PN-EN 1997-1 Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne – Część 1: Zasady ogólne
- 14 Prószyński w., Kwaśniak M. Podstawy geodezyjnego wyznaczania przemieszczeń. Pojęcia i elementy metodyki. Oficyna Wyd. PW, Warszawa 2006.
- 15 Przysański J. [red.], Posadowienie budowli na gruntach ekspansywnych. Rozprawy nr 244, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej 1991.
- 16 Wolski B.: Pomiary geodezyjne w geotechnice. Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Kraków 2001

Monitoring the movements of the building founded on expansive clays

Aleksandra Gorączko¹, Maria Gadomska², Maciej K. Kumor³

^{1,3} *Department of Geotechnics, Faculty of Civil and Environmental Engineering and Architecture, University of Technology of Life Sciences in Bydgoszcz, e-mail: ¹aleksandra.goraczko@utp.edu.pl, ²maciej.kumor@utp.edu.pl*

² *Department of Building Engineering and Building Physics, Faculty of Civil and Environmental Engineering and Architecture, University of Technology of Life Sciences in Bydgoszcz, e-mail: maria.gadomska@utp.edu.pl*

Abstract: The paper presents the methodology and results of the monitoring of the building, which failed geotechnical reasons. The building is located in Bydgoszcz, and founded into the clays of high expansiveness. Faults in the design of structure and during exploitation led to the activation of the processes of swelling and shrinkage, and consequently the failure state of the structure. After the strengthening of the foundations and repair construction, geotechnical monitoring was conducted, covering, inter alia, systematic measurements of vertical displacements. Monitoring results showed a very slow process of stabilizing movements of the building. This indicates the legitimacy of observation even for several years after the repair of this type of buildings.

Keywords: geotechnical monitoring, expansive clay, displacements, failure of the structure