

Aleksandra GORĄCZKO\*  
Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy

## MONITORING USZKODZEŃ BUDYNKU POSADOWIONEGO NA IŁACH EKSPANSYWNYCH

**Streszczenie.** W artykule zaprezentowano przebieg i wyniki monitoringu systematycznego wybranego budynku w Bydgoszczy, posadowionego na iłach ekspansywnych. Przedstawiono wyniki geodezyjnych pomiarów przemieszczeń pionowych, przebieg i rozwój uszkodzeń budynku oraz zmiany wilgotności podłoża ilastego. Podjęto również próbę określenia wstępnych zależności między przyczynami zjawisk ekspansywnych w podłożu a wielkością przemieszczeń i stopniem uszkodzeń obiektu.

## DAMAGE DIAGNOSIS OF BUILDINGS FOUNDED ON EXPANSIVE CLAYS

**Summary.** The paper presents the course and results, with reference to a selected example in Bydgoszcz, of a damage diagnosis of a typical building founded on expansive clays. It contains results of geodetic measurements of the building movement, the course and description of building damages in detail, recognition of geotechnical properties and changes in water content of clay soils beneath foundations and around the building. An attempt of defining empirical relationships between reasons of expansive phenomena in the subsoil and the volume of movements and degree of building damages was undertaken.

### 1. Wprowadzenie

Główną przyczyną uszkodzeń obiektów budowlanych, w rejonach gdzie w podłożu fundamentowym występują grunty ekspansywne, są ich właściwości geotechniczne, tzn. zdolność do zmian objętości - pęcznienia i skurczu - pod wpływem oddziaływania wody.

W Bydgoszczy płytkie występowanie ekspansywnych iłów trzeciorzędowych obejmuje obszar około 12 km<sup>2</sup>. W znacznej części są to tereny o gęstej zabudowie jedno- i wielorodzinnej.

\* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Maciej K. Kumor, prof. ATR w Bydgoszczy

Stopień zagrożenia budynku awarią zależny jest przede wszystkim od właściwości ekspansywnych gruntu, ale także od rozwiązań i wieku konstrukcji oraz oddziaływań klimatycznych, roślinnych i antropogenicznych. Ocena zagrożenia wymaga poznania empirycznych związków pomiędzy czynnikami powodującymi wystąpienie zjawisk ekspansywnych w podłożu a przemieszczeniami budynku i ich konsekwencjami dla konstrukcji. Próbę doświadczalnego określenia takich związków dla ekspansywnego podłoża budowlanego z rejonu Bydgoszczy podjęto w Katedrze Geotechniki Akademii Techniczno - Rolniczej w Bydgoszczy.

Badania realizowane są na bazie wieloletniego systematycznego monitoringu wybranych obiektów, posadowionych w trzeciorzędowych ilach ekspansywnych. Obserwacją objęte zostały obiekty o zróżnicowanej konstrukcji, charakterystyczne dla zabudowy badanego terenu.

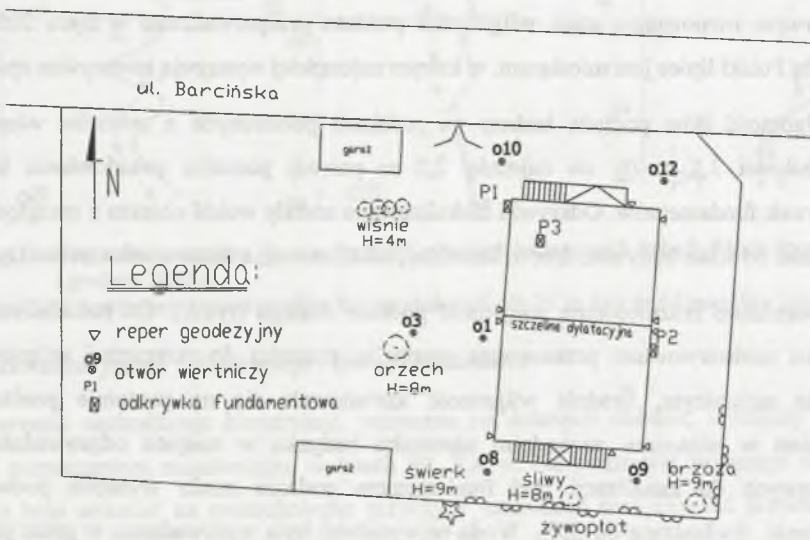
Artykuł prezentuje rezultaty pierwszego etapu obserwacji jednego z obiektów - niskiego budynku mieszkalnego.

## 2. Charakterystyka wybranego budynku i podłoża geotechnicznego

Obiekt położony jest w dzielnicy domów jednorodzinnych w południowej części miasta. Wykonany zastał na początku lat 70. XX w. metodą gospodarczą, a jego konstrukcja jest typowa dla większości domów jednorodzinnych z tego okresu w Polsce. Jest to dwukondygnacyjny bliźniaczy budynek z płaskim dachem, w całości podpiwniczony. Posadowiony jest na betonowych ławach fundamentowych o szerokości 0,9 m na głębokości 1,1 m poniżej poziomu terenu, a więc na granicy strefy przemarzania. Ściany budynku są murowane z pustaków żuzłobetonowych, stropy monolityczne żelbetowe. W świetle literatury [1], [5], [7] należy stwierdzić, że takie stosunkowo lekkie murowane budynki są szczególnie narażone na destruktywne oddziaływania podłoża ekspansywnego.

Działka otaczająca budynek liczy około 1000 m<sup>2</sup>, a jej znaczną część stanowi ogród kwiatowo-warzywny, w sezonie letnim sztucznie nawadniany. W ogrodzie znajdują się krzewy oraz kilkunastoletnie drzewa (głównie owocowe), a także brzoza, orzech włoski i ponadtrzydziestoletni świerk (rys.1.). Powierzchnia terenu wokół budynku jest nieutwardzona, a więc przepuszczalna i podatna na wpływy atmosferyczne. Natomiast nawierzchnia przyległej ulicy jest szczelna, asfaltowa. Wody opadowe zbierane z dachu budynku odprowadzane są do kanalizacji.

Rozpoznanie geotechniczne podłoża budowlanego obiektu wykazało, że kompleks trzeciorzędowych gruntów ekspansywnych występuje tuż pod cienką (0,6 - 1,2 m) warstwą humusu i nasypu. Iły są przewarstwione kilkucentymetrowymi wkładkami pyłu. Nie stwierdzono występowania stałego poziomu wód gruntowych. Wartości podstawowych parametrów geotechnicznych iltu pochodzącego z badanego podłoża zestawiono w tabelicy 1. Dla porównania przytoczono średnie wartości tych parametrów, wyznaczone w wyniku wieloletnich badań iltów z Bydgoszczy [6].



Rys. 1. Szkic sytuacyjny opisywanego obiektu  
Fig. 1. Plan of the observed plot

Tablica 1

Właściwości geotechniczne iltów trzeciorzędowych z Bydgoszczy

Wartości parametrów geotechnicznych	$w_n$ [%]	$w_L$ [%]	$w_p$ [%]	$I_p$ [%]	USC	Swelling potential
Opisywany obiekt	średnia 25,1/23,3*	88,6	28,5	62,1	CH	Very high
	min - max 17,2 - 35,7/ 14,5 - 32,9*	79,9 - 92,5	25,4 - 31,2	54,5 - 63,9	CH	Very high
Bydgoszcz	średnia 28,8	86	28,0	58,0	CH	Very high
/ 1638 prób./ [6]	min - max 11,8 - 48,1	45,6 - 148	12,4 - 50,5	30,0 - 99,0	CL-CH	Intermediate - Extra high

$w_n$  = wilgotność naturalna,  $w_L$  = granica płynności,  $w_p$  = granica plastyczności,  
 $I_p$  = wskaźnik plastyczności, USC = United Soil Classification

\* lipiec 2003/grudzień 2003.



### 3. Wyniki obserwacji

Szczegółowy monitoring obiektu obejmuje badania zmian wilgotności iltów ekspansywnych podłoża, obserwacje stanu uszkodzeń konstrukcji budynku, pomiary przemieszczeń pionowych budynku i powierzchni terenu wokół obiektu, a także inwentaryzację drzewostanu itp.

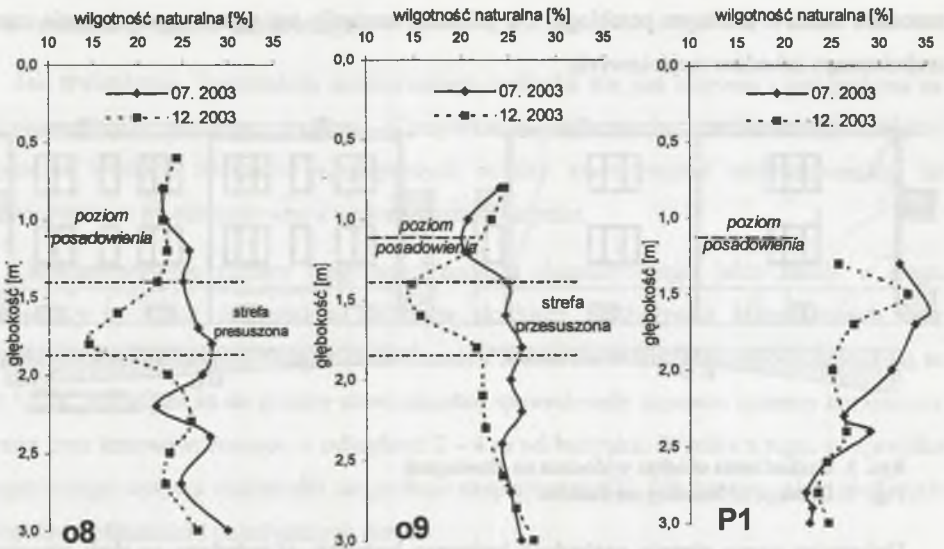
#### 3.1. Stan wilgotności podłoża

Pierwsze rozpoznanie stanu wilgotności podłoża przeprowadzono w lipcu 2003 r. Na obszarze Polski lipiec jest miesiącem, w którym najczęściej występują intensywne opady [8].

Wilgotność iltów podłoża badano na próbkach pobieranych z otworów wiertniczych do głębokości 3,5 m (tj. co najmniej 2,0 m poniżej poziomu posadowienia budynku) i odkrywek fundamentów. Odkrywki zlokalizowane zostały wokół obiektu z uwzględnieniem odległości od ścian budynku, drzew, kanalizacji deszczowej, a także spadku terenu (rys.1.).

Stwierdzono zróżnicowaną wilgotność podłoża ilastego (rys.2.). Od południowej strony budynku zaobserwowano przesuszenie gruntu w stosunku do przeciętnej wilgotności iltu w stanie naturalnym. Średnia wilgotność kształtowała się na poziomie poniżej 25%. Natomiast w północno- zachodnim narożniku budynku w miejscu odprowadzania wód deszczowych do kanalizacji pod fundamentem podłoże miało wyraźnie podwyższoną wilgotność, dochodzącą do 35%. Woda najwyraźniej była wprowadzana w grunt punktowo przez nieszczelności systemu odwadniającego. Ponadto, w miejscu tym doszło do naruszenia struktury iltu przez niewłaściwe wykonanie wykopu fundamentowego. W odkrywce (P1) stwierdzono także silnie rozwinięte korzenie drzew. Efektem tego była ułatwiona i przyspieszona migracja wody w głąb podłoża [2].

Kolejną kontrolę wilgotności podłoża przeprowadzono w grudniu 2003 r., po okresie suchego lata i jesieni. Zaobserwowano spadek wilgotności podłoża wokół całego budynku średnio o  $\Delta w_n = 2\%$ . W południowej części obiektu, na głębokości 1,4-1,8 m, pojawiła się wyraźna strefa przesuszenia (O8, O9 - rys.2.). Struktura iltu uległa degradacji. Zjawisko to najprawdopodobniej związane jest z występowaniem roślinności – drzew od strony południowej, które w okresie bardzo suchego lata intensywnie pobierały wodę z iltu. Natomiast wyraźny spadek wilgotności podłoża w północno-zachodniej części obiektu (P1 - rys. 2) nastąpił na skutek wykonania zaleconej naprawy systemu odwadniającego i tym samym wyeliminowania napływu wody pod fundamenty budynku.



Rys. 2. Wilgotność naturalna iłu w wybranych otworach badawczych (o8-o9, P1) w lipcu i grudniu 2003 r.

Fig. 2. Soil moisture content profiles for boreholes o8-o9, P1 in July and December 2003

### 3.2. Inwentaryzacja i obserwacje rozwoju uszkodzeń

Pierwsze uszkodzenia konstrukcji, widoczne na ścianach obiektu, wystąpiły kilka lat przed rozpoczęciem monitoringu, w latach 90. XX w. Na podstawie zastanego układu rys można było wskazać na geotechniczne przyczyny uszkodzeń oraz określić prawdopodobny kierunek przemieszczeń budynku.

W lipcu 2003 roku sporządzono inwentaryzację i szczegółowy opis stanu konstrukcji. Większość zarysowań zlokalizowana była w obrębie ścian części piwnicznej i ścian parteru (rys. 3.). Są to głównie krótkie rysy o długości do 1 m i rozwarości do 3 mm. Pionowe rysy przez dwie kondygnacje i rozwarciu ok. 1 mm wystąpiły na ścianach w północno-wschodnim narożniku budynku. Ponadto, stwierdzono uszkodzenia schodów wejściowych w części południowej i opaski betonowej wokół obiektu. Układ rys w lipcu nie był wyraźnie ukierunkowany. Jedynie wyraźna powiększona rozchylająca się ku górze szczelina wzdłuż dylatacji w środkowej części budynku sugerowała „przełamywanie się” budynku w tym miejscu.

Inwentaryzacja uszkodzeń przeprowadzona w grudniu 2003 roku wykazała postępującą degradację budynku. Przede wszystkim pojawiły się wyraźne ukośne (schodkowe) pęknięcia na elewacji wschodniej. Ponadto, na obu kondygnacjach stwierdzono liczne nowe rysy w

narożach okien o ukośnym przebiegu. Od południa nastąpiło też wyraźne pogorszenie stanu technicznego schodów wejściowych.



Rys. 3. Uszkodzenia obiektu widoczne na elewacjach  
Fig. 3. Damage of building on facades

Dokonując oceny stopnia uszkodzeń badanego budynku, skorzystano ze skali używanej z powodzeniem od wielu lat na potrzeby opisu stanu technicznego obiektów w Bydgoszczy [5]. Opisuje ona etapy rozwoju awarii konstrukcji posadowionych na gruntach ekspansywnych i służy do analizy przebiegu degradacji zarówno pojedynczych obiektów, jak i całych zespołów zabudowy miasta.

Stan techniczny, liczba i wielkość rys obserwowanego budynku w lipcu 2003 roku upoważniały do zaklasyfikowania go do kategorii II uszkodzenie 1<sup>0</sup>. Co prawda, wystąpiły pęknięcia o rozwarciu kilku centymetrów, ale jedynie wzdłuż dylatacji budynku i nie utrudniały one użytkowania obiektu. Natomiast w grudniu 2003 roku z powodu nowych pęknięć ścian obu kondygnacji w południowej części budynku oraz uszkodzeń schodów wejściowych, stwierdzono już kategorię II uszkodzenie 2<sup>0</sup>.

### 3.3. Pomiary przemieszczeń

Rozkład przemieszczeń pionowych uzyskano przez geodezyjny pomiar niwelatorem precyzyjnym (Ni 007 Zeiss Jena) reperów, rozmieszczonych na ścianach budynku. Dokładność pomiarów wynosi  $\pm 0,3$  mm. Stwierdzono istotne różnice osiadań między poszczególnymi punktami konstrukcji budynku (rys. 3.). Największe przemieszczenia (-9,2 mm) wykazała południowa ściana szczytowa, najmniejsze (- 2,9 mm) ściana północna. Największa względna różnica osiadań (6,1 mm na długości 8 m) dotyczy ściany wschodniej na odcinku między dylatacją, a południowym narożnikiem. Wzdłuż ścian szczytowych różnice osiadań nie wystąpiły.



### 3.4. Analiza wyników obserwacji

Jak stwierdzono, konstrukcja analizowanego budynku nie jest sztywna i jest podatna na przemieszczenia pionowe podłoża. Kompleksowa obserwacja analizowanego obiektu wykazała istnienie związków empirycznych między zewnętrznymi oddziaływaniami na trzeciorzędowe ility ekspansywne a uszkodzeniami budynku.

Udokumentowane zmiany wilgotności podłoża ekspansywnego, jakie zaszły w ciągu 5 miesięcy od lipca do grudnia 2003, są skutkiem oddziaływań klimatycznych oraz oddziaływania roślinności. Skrajne przesuszenie i skurcz ility w strefie na głębokości od 1,4 m do 1,8 m, miejscami aż do granicy skurczalności, spowodowały zapewne systemy korzeniowe drzew oraz krzewów, rosnące w odległości 2 - 4 m od budynku. Wynika z tego, że zjawisko negatywnego wpływu roślinności na podłoże ekspansywne [2], [4] dotyczy także niedużych zespołów roślinności i pojedynczych drzew.

Reakcją budynku na skurcz ekspansywnego podłoża są jego nierównomierne osiadania, o wartościach dochodzących do 10 mm w południowej ścianie szczytowej. Różnica osiadań ściany wschodniej -  $\Delta s = 6,1$  mm od dylatacji do jej południowego narożnika - wywołała nowe uszkodzenia ścian nośnych w postaci schodkowych ukośnych pęknięć na obu kondygnacjach. Przeciwniegiła podłużna ściana zachodnia, dla której różnica osiadań nie przekroczyła  $\Delta s = 3$  mm, nie doznała tak wyraźnych uszkodzeń, podobnie jak niemal równomiernie osiadająca południowa ściana szczytowa -  $\Delta s = 1,7$  mm. Nie wystąpiły znaczące przemieszczenia i uszkodzenia północno - zachodniego narożnika budynku na skutek wyraźnego spadku wilgotności pod fundamentem w tym miejscu, co wiąże się z wyższą początkową wilgotnością ility.

## 4. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę znaczną liczbę obiektów budowlanych na terenie Bydgoszczy, a także w innych rejonach Polski, zlokalizowanych na obszarach występowania gruntów ekspansywnych, problem określenia, które budynki i w jakim stopniu są zagrożone awarią, należy uznać za niezwykle istotny dla ustalenia zasad ich eksploatacji i projektowania.

Wyniki prowadzonych obserwacji opisywanego budynku i innych wytypowanych obiektów budowlanych powinny pozwolić na określenie wielkości przemieszczeń, jakim podlegają budynki w Bydgoszczy, posadowione na ility ekspansywnych. Ponadto, na

podstawie obserwacji rozwoju uszkodzeń budynków można będzie ustalić wartość krytycznego osiadania budynku ( $\Delta s_{kr}$ ), po przekroczeniu której następować będą trwale i niebezpieczne uszkodzenia jego konstrukcji. Wielkość ta jest, jak dowodzą wstępne obserwacje, funkcją oddziaływań zewnętrznych, tj. oddziaływań klimatycznych, wpływu roślinności, cech konstrukcji budynku (głębokość posadowienia, rodzaj fundamentu, sztywność konstrukcji itp.) oraz własności gruntu. Fakt, że na terenie miasta Bydgoszczy grunty ekspansywne są identyczne genetycznie oraz zbliżone pod względem wartości parametrów geotechnicznych, daje nadzieję ścisłego uogólnienia zależności.

#### LITERATURA

1. Al-Rawas A.A., Qamaruddin M.: Construction problems of engineering structures founded on expansive soils and rocks in Northern Oman, Building and Environment, vol. 33, n 2-3, Elsev. Sci Ltd, 1998, p. 159-171.
2. Gorączko A.: Odbudowa wilgotności naturalnej w łażach ekspansywnych po usunięciu grupy topoli na przykładzie badań poligonowych. Przegląd Naukowy WłKS SGGW, Warszawa 2001, s. 11-18.
3. Gorączko A., Kumor Ł.A.: Damage diagnosis of buildings founded on expansive silos. II PhD CivilExpo, Budapest 2004 (*w druku*).
4. Jeż J.: Przyrodnicze aspekty bezpiecznego budownictwa. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1995.
5. Kumor M.K.: Awarie budynków posadowionych na ekspansywnych łażach trzyczęściowych w Bydgoszczy. Przegląd Budowlany nr 11, Warszawa 1990, s. 471-476.
6. Kumor M.K., Andrzejewski W.: Zróżnicowanie parametrów geotechnicznych łażów serii poznańskiej z podłoża budowlanego Bydgoszczy. IV Konf. N - T „Aktualne problemy naukowo-badawcze budownictwa”, Olsztyn-Łańsk 2000, s. 275-284.
7. Madej J., Najder J., Werno M.: Awarie budynków mieszkalnych w dzielnicy Bielawki w Bydgoszczy, Inżynieria i Budownictwo nr 6, Warszawa, 1966, s. 211-213.
8. Woś A.: Klimat Polski. PWN, Warszawa 1999.

Recenzent: Dr hab. inż. Adam Niedzielski, prof. AR w Poznaniu

*Artykuł stanowi przeredagowaną polską wersję referatu zgłoszonego na Międzynarodową Konferencję II PhD CivilExpo w Budapeszcie [3].*