

Szymon TOPOLIŃSKI¹
Aleksandra GORĄCZKO²
Jacek SZTUBECKI³
Adam BUJARKIEWICZ⁴

MONITORING PRZEMIESZCZEŃ PIONOWYCH SŁUPÓW OBIEKTU POSADOWIONEGO NA PODŁOŻU EKSPANSYWNYM

W artykule przedstawiono metodykę oraz wstępne wyniki pomiaru przemieszczeń pionowych obiektu budowlanego posadowionego na podłożu ekspansywnym. Wrażliwość podłoża ekspansywnego na środowiskowe zmiany wilgotności, aktywujące jego zmiany objętościowe, wymaga podjęcia starannego i kompleksowego monitoringu obiektów podatnych na odkształcenia. W trakcie pomiarów terenowych prowadzone są okresowe geodezyjne pomiary przemieszczeń obiektu, z wykorzystaniem klasycznej metody niwelacji precyzyjnej. Uzyskane dotychczas wyniki przemieszczeń pionowych pozwoliły na nie dając pełnego obrazu zmiany geometrii łącznika. Do kompleksowej oceny przemieszczeń łącznika przewiduje się zastabilizowanie dodatkowych punktów kontrolnych na posadzce wewnątrz łącznika oraz w budynkach z nim połączonych. Utworzona w ten sposób sieć punktów pozwoli na monitorowanie przestrzennej pracy konstrukcji. Do pomiaru tej sieci planuje się wykorzystać współrzędnościową stację laserową TDRA6000 firmy Leica. Równolegle wykonywane są badania geotechniczne podłoża określające stan gruntu, na którym posadowiony jest obiekt. Analiza uzyskanych wyników badań geotechnicznych pozwala na określenie istniejących warunków gruntowowodnych, na podstawie której ustalono dalszy program monitorowania obiektu. Wyniki okresowych badań posłużą do sformułowania wniosków dotyczących mechanizmu przemieszczeń obiektu posadowionego na gruntach ekspansywnych. oraz współrzędnościowej stacji laserowej TDRA 6000 firmy Leica.

Słowa kluczowe: grunty ekspansywne, osiadanie obiektów, monitoring, niwelacja precyzyjna

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Szymon Topoliński, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy; Zakład Geotechniki, Al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz; tel. 608097760; szymon.topolinski@utp.edu.pl

² Aleksandra Gorączko, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy; Zakład Geotechniki, Al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz; agora@utp.edu.pl

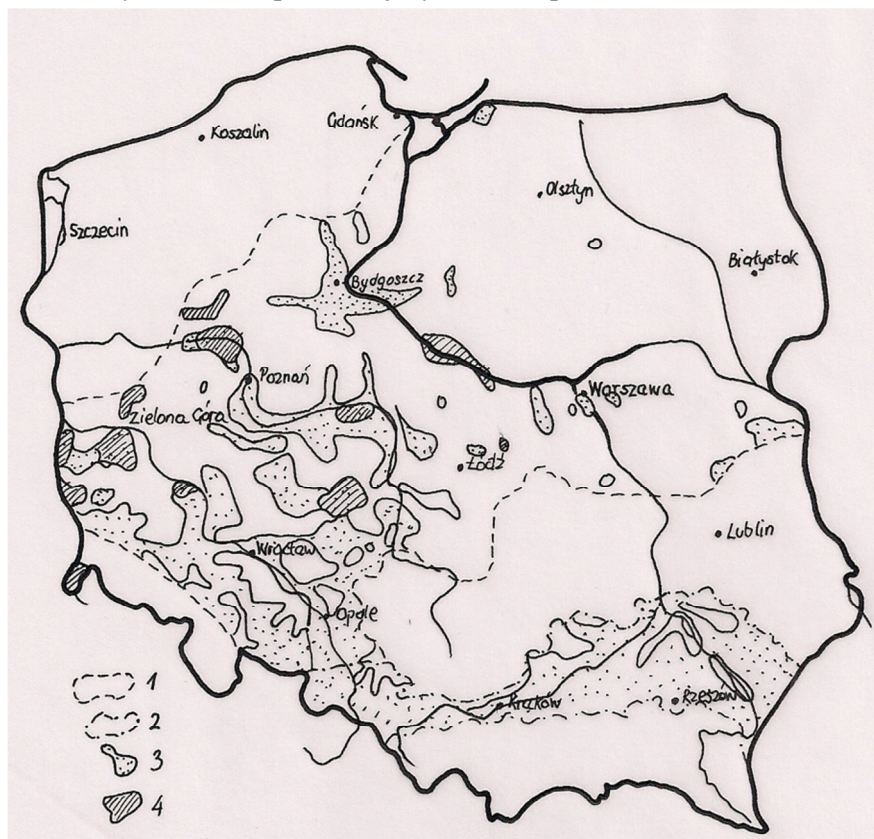
³ Jacek Sztubecki, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy; Zakład Geomatyki i Gospodarki Przestrzennej, Al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz; jaceks@utp.edu.pl

⁴ Adam Bujarkiewicz, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy; Zakład Geomatyki i Gospodarki Przestrzennej, Al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz; adamb@utp.edu.pl

1. Wprowadzenie

Płytko zalegające ility serii poznańskiej są przyczyną wielu awarii budowlanych [3, 4, 6, 8]. Na terenie Bydgoszczy i innych miast zalegają one bardzo często bezpośrednio w poziomie posadowienia obiektów budowlanych. Orientacyjny zasięg występowania iłłów na obszarze kraju przedstawiono na rysunku (Rys. 1.). Są to grunty silnie ekspansywne, czyli zmieniające swoją objętość wskutek zmian wilgotności. Zjawiska pęcznienia w polskich warunkach najczęściej są wywołane [5]:

- zmianą stosunków wodnych i wzrostem wilgotności podłoża,
- odciążeniem podłoża,
- zanieczyszczeniami przedostającymi się do podłoża.



Rys. 1 Mapa występowania gruntów ekspansywnych w Polsce [5]: 1- zasięg iłłów serii poznańskiej, 2- zasięg iłłów miocenu morskiego, 3- strefy płytkiego występowania iłłów (0-25m), 4- strefy intensywne zaburzeń glacytektonicznych.

Fig. 1. Map of the occurrence of expansive soils in Poland [5]: 1- range of clays of the Poznań series, 2-range of marine miocene clays, 3-zone of shallow subsidence of clays (0-25m), 4-zone of intense glacial disturbances.

Znaczący skurcz gruntów ekspansywnych w podłożu może być wywołany przesuszeniem ładu przez korzenie drzew i krzewów lub nieodpowiednio izolowane ciepłociągi lub piece przemysłowe.

Fundamentowanie na tego typu podłożu wymaga szczególnej uwagi zarówno w fazie projektowania, wykonawstwa, jak i użytkowania obiektu. W przypadku zagrożenia wystąpieniem awarii bardzo ważny jest monitoring przemieszczeń i stanu technicznego obiektu, a także stanu podłoża ilastego. Pozwala on ocenić intensywność i zasięg zmian wilgotnościowych prowadzących do zmian objętości podłoża fundamentowego oraz ewentualną tendencję tych zmian. Prawdłowo zaplanowane i wykonane okresowe obserwacje geodezyjne i wizje lokalne umożliwiają ocenę stanu konstrukcji i determinują bezpieczne użytkowanie obiektów inżynierskich posadowionych na podłożu ekspansywnym.

W artykule przedstawiono wyniki wstępnych badań przemieszczeń obiektu posadowionego na gruntach ekspansywnych. Uzyskane rezultaty przemieszczeń wraz z oceną stanu podłoża ilastego zalegającego w poziomie posadowienia słupów, pozwoliły na określenie dalszego programu monitorowania obiektu. Monitoring prowadzony jest zgodnie z zaleceniem przeprowadzonej w 2016 roku ekspertyzy ustalającej przyczyny uszkodzeń budynku Auditorium Novum (wraz z łącznikiem) i osiadań terenu przyległego do budynków Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy [9].

2. Obiekt badań

Badany obiekt stanowi nadziemny łącznik komunikacyjny pomiędzy Auditorium Novum, wznoszonym w latach 2000-2001, a starszym budynkiem kompleksu dydaktycznego (budynek 2.1) (Rys. 2.). Do niedawna pod łącznikiem, wzdłuż



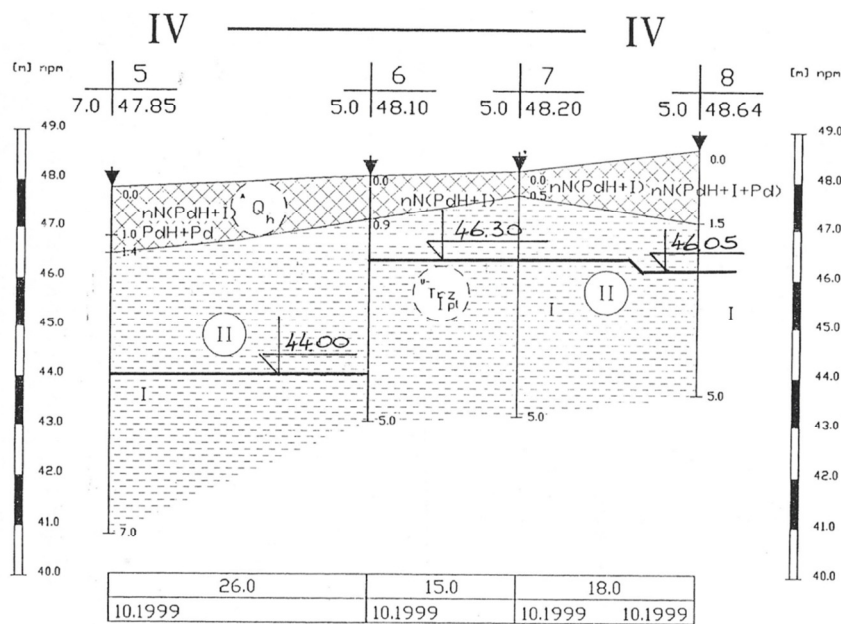
Rys. 2. Widok ogólny łącznika od strony Auditorium Novum

Fig. 2. General view of the skywalk from Auditorium Novum side

chodnika między budynkami, rosły kilkudziesięcioletnie topole. Cały rząd tych drzew został usunięty kilka lat temu. W podłożu pod łącznikiem przebiega sieć wodociągowa, kanalizacyjna, gazowa, elektryczna i telekomunikacyjna.

Konstrukcja łącznika jest żelbetowa. Podciągi z płytą dolną, słupy i podciągi stropodachowe tworzą przestrzenny szkielet. Jako wypełnienie szkieletu nośnego zastosowano cegłę kratówkę. Konstrukcja wsparta jest na 12 słupach. Stopy fundamentowe słupów są żelbetowe, monolityczne wspólne dla każdego dwóch sąsiednich słupów. Posadowione są na różnych głębokościach: około 4,0 m p.p.t. od strony południowej (bezpośrednio przy budynku Auditorium Novum) (rzędna 44,00 m n.p.m.); 1,95 m p.p.t. (rzędna 46,05 m n.p.m.) od strony północnej przy budynku 2.1 oraz 1,70 m p.p.t. (rzędna 46,30 m n.p.m.) dla czterech środkowych słupów [7, 9].

W poziomie posadowienia stóp fundamentowych występują grunty ekspansywne: ility lokalnie przewarstwione pyłami, zalegające od 0,5 do 1,5 m p.p.t. (Rys. 3). Charakteryzują się wysokimi wartościami granic płynności ($w_L = 101,8 \div 136,4\%$) oraz wskaźnikiem plastyczności ($I_p = 70,0-99,1\%$) [10]. Według klasyfikacji ekspansywności gruntów [5] uzyskane wyniki badań świadczą, że grunty te zaliczają się do bardzo ekspansywnych, tzn. wykazujących zdolność do zmian objętościowych w zależności od wilgotności. W momencie ich badania na etapie



Rys. 3. Przekrój geotechniczny (na podstawie [10]) z zaznaczeniem poziomów posadowienia poszczególnych słupów (lokalizacja przekroju zaznaczona jest na Rys. 4)

Fig.3. Geotechnical cross-section (based on [10]), showing the level of foundation of individual columns (cross-sectional location is shown in Fig. 4)

poprzedzającym wznoszenie budynku Auditorium Novum wraz z łącznikiem w 1999 roku [10] były w stanie twardoplastycznym i półzwardym. Do projektowania zaproponowano przyjęcie stopnia plastyczności $I_L = 0,05$. Z badań wykonanych na potrzeby ekspertyzy [9] wynika, że nie uległ on istotnej zmianie. Świadczy to o tym, że podłoże pod obiektem zachowuje stabilność wilgotnościową i nie aktywizuje swych cech ekspansywnych.

Konstrukcja łącznika od wewnątrz obudowana jest płytami gipsowo – kartonowymi, które od wielu lat wykazują duże spękania i rozwarstwienia. Według ekspertyzy z 2016 roku [9] w odsłonięciach, wykonanych w miejscach największych uszkodzeń płyt gipsowo-kartonowych, konstrukcja żelbetowa (słupy, podciąg i płyta w poziomie podłóg) nie wykazuje poważniejszych uszkodzeń. Na styku podciągu z mурowym wypełnieniem ścian występują rozwarstwienia poziome, natomiast spękania konstrukcji mурowej wzdłuż spoin jak również przez cegłę. Widoczne są także drobne, biegnące po stykach płyt prefabrykowanych, spękania stropu. Ponadto stwierdzono uszkodzenia w strefie dylatacji na styku z budynkami skomunikowanymi łącznikiem (Rys. 4).



Rys. 4. Strefa dylatacji łącznika (po lewej od strony wschodniej, po prawej od strony zachodniej)

Fig. 4. Dilatation zone of the skywalk on the east and west side (on the left from the east, on the right from the west)

W roku 2016 stan techniczny łącznika oceniono jako średni [9], nie stwarzający zagrożenia dla bezpieczeństwa użytkowania obiektu. Jednak zalecono działania zabezpieczająco-naprawcze.

W lipcu 2017 roku autorzy rozpoczęli systematyczny, kompleksowy monitoring geodezyjny i geotechniczny obiektu. Ma on na celu ustalenie przyczyn uszkodzeń konstrukcji i wprowadzenie działań zapobiegających ich dalszemu występowaniu w przyszłości.

3. Metodyka badań

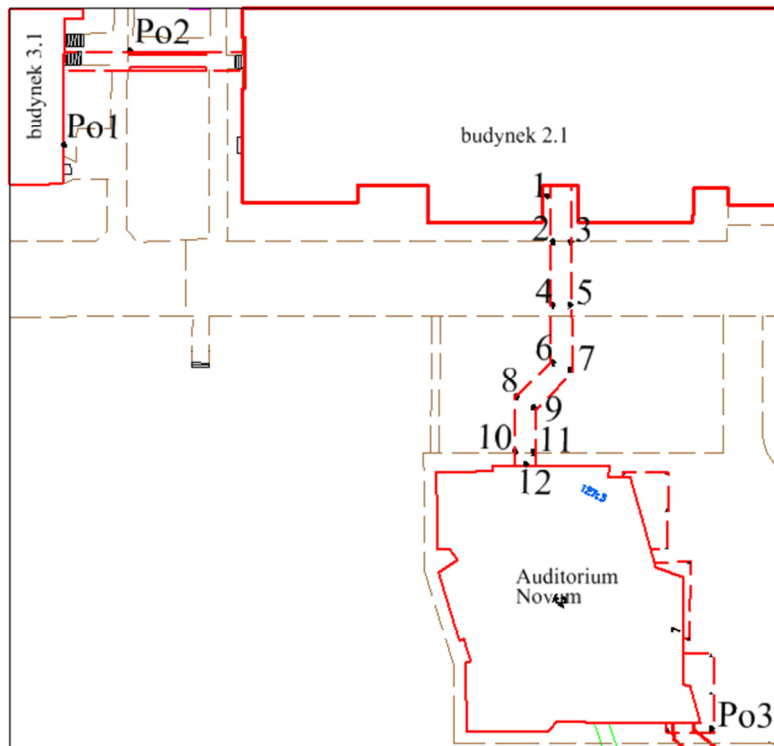
Okresowa kontrola przemieszczeń obiektu wykazującego już uszkodzenia i wymagającego podjęcia kroków naprawczych pozwala na racjonalną ocenę koniecznych prac remontowych. Dla obiektu badań przewidziano monitorowanie zarówno przemieszczeń pionowych podpór, a także w razie konieczności przemieszczeń pionowych i poziomych konstrukcji zasadniczej łącznika. Interwał obserwacji to okres 2-4 miesięcy, który uzależniony jest od temperatury i ilości opadów.

Wyznaczenie przemieszczeń pionowych słupów konstrukcji wykonywane jest metodą niwelacji precyzyjnej z zastosowaniem niwelatora Ni007. W celu realizacji badań założono sieć złożoną z 15 reperów. Jedenaście z nich (o numerach 1-11) umieszczono na słupach przedmiotowego łącznika, jeden (numer 12) w ścianie przyległego do łącznika budynku Auditorium Novum, a trzy, stanowiące zbiór punktów odniesienia, na stabilnych budynkach sąsiednich. Punkty kontrolne zamocowane w dolnej części słupów pokazano na Rys. 5. Schemat sieci pomiarowej przedstawiony został na Rys. 6.



Rys. 5. Repery posadowienie na badanych słupach (po lewej) oraz stabilizacja repera nr 10 (po prawej)

Fig. 5. Benchmarks placed on the tested columns (on the left) and stabilization of the benchmark No. 10 (on the right)

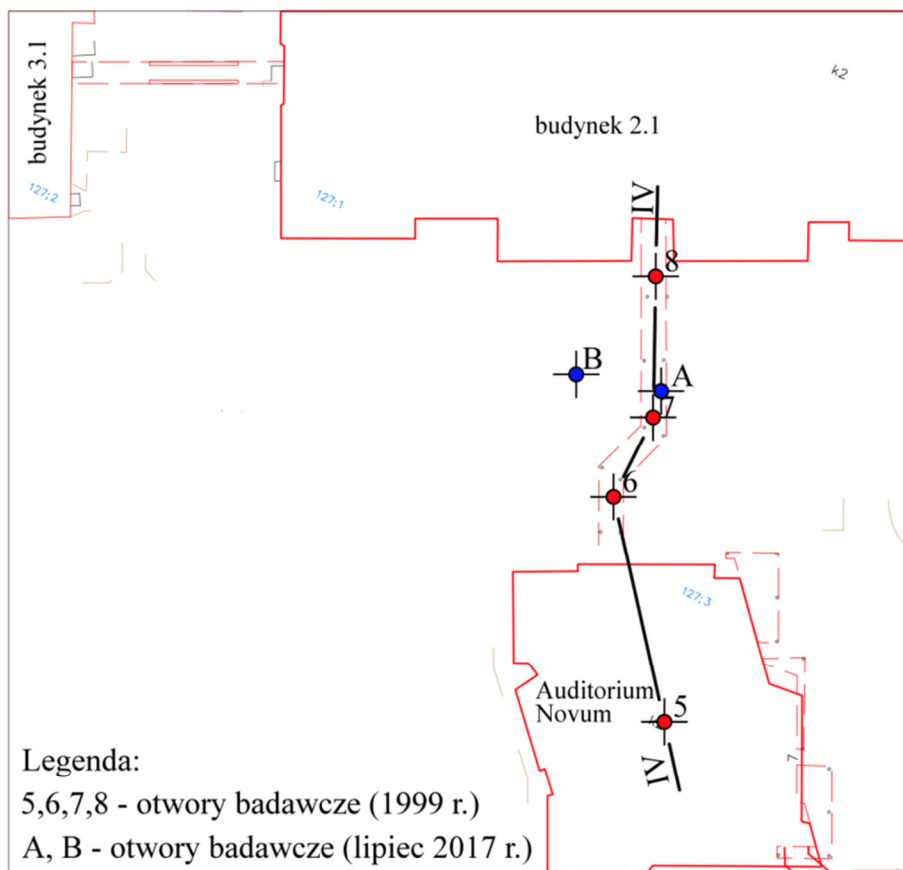


Rys. 6. Schemat rozmieszczenia reperów kontrolnych (1-12) oraz reperów odniesienia (Po1, Po2, Po3)

Fig. 6. Diagram of the location of the test benchmarks (1-12) and reference benchmarks (Po1, Po2, Po3)

Dotychczasowe badania pozwoliły stwierdzić, że wyznaczenie tylko przemieszczeń pionowych słupów zewnętrznych nie daje pełnego obrazu zmiany geometrii łącznika. Do kompleksowej oceny przemieszczeń łącznika przewiduje się zastabilizowanie dodatkowych punktów kontrolnych na posadzce wewnątrz łącznika oraz w budynkach z nim połączonych. Utworzona w ten sposób sieć punktów pozwoli na monitorowanie przestrzennej pracy konstrukcji. Punkty te stabilizowane będą w postaci podkładek o odpowiednich wymiarach. Mocowane będą do posadzki wewnątrz łącznika w miejscach jego połączenia z podporami. Dla punktów sieci wyznaczane będą przemieszczenia 3D. Do pomiaru tej sieci planuje się wykorzystać współrzędnościową stację laserową TDRA6000 firmy Leica, która wykorzystując precyzyjny tryb pomiaru na pryzmat 1.5" RRR daje możliwość wyznaczenia przemieszczeń statycznych i dynamicznych 3D z dokładnością rzędu 0,2mm. Proponowana technologia wraz z odpowiednim oprogramowaniem jest doskonałym narzędziem pozwalającym na monitorowanie obiektów inżynierskich [1, 2]. Wyznaczone przemieszczenia 3D pozwolą na określenie wartości kątów skręcenia górnej części łącznika, a ich składowe pionowe porównywane będą z przemieszczeniami reperów zewnętrznych.

Równoległe do geodezyjnych pomiarów przemieszczeń wiercone będą otwory geotechniczne, do których wykonania wykorzystywany będzie małosrednicowy, ręczny zestaw wierzący o średnicy 70 mm. Badania geotechniczne pozwolą na określenie stopnia wilgotności iłu podłoża w rejonie posadowienia podpór łącznika. Lokalizację otworów przedstawiono na Rys. 7.



Rys. 7. Lokalizacja otworów geotechnicznych.

Fig. 7. Location of geotechnical boreholes.

4. Wyniki badań

Na obecnym etapie badań zrealizowano dwa pomiary sieci: pomiar 0, w dniu 21 lipca 2017r. oraz pomiar kontrolny 1 w dniu 4 września 2017r. Pomiary wykonano w warunkach optymalnych, minimalizujących wpływ czynników pogodowych na dokładność realizowanych pomiarów. Na podstawie wykonanych pomiarów obliczono przemieszczenia pionowe reperów posadowionych

na podporach łącznika. Przed każdym pomiarem sieci przeprowadzono sprawdzenie i rektyfikację niwelatora. Wykonana analiza punktów odniesienia wykazała ich stałość pomiędzy seriami pomiarowymi. Wyniki tych przemieszczeń oraz wyznaczone w procesie wyrównania ich błędy przedstawiono w Tab. 1.

Tabela 1. Wartości wyznaczonych przemieszczeń reperów oraz ich błędy

Table 1. Values of determined displacement of the benchmarks and their errors

Reper	Przemieszczenie pomiar 0 – pomiar 1 dZ [mm]	m_{dZ} [mm]
1	-0,33	0,03
2	-0,30	0,02
3	-0,25	0,03
4	-0,64	0,03
5	-0,56	0,03
6	-0,35	0,04
7	-0,24	0,04
8	0,12	0,03
9	0,13	0,02
10	0,06	0,03
11	-0,08	0,03
12	0,08	0,02

Wyniki przemieszczeń pionowych pomiędzy pomiarami wyjściowym i pierwszym wykazały nierównomierne przemieszczenia pionowe podpór łącznika. Maksymalne zaobserwowane przemieszczenia wystąpiły dla reperów nr 4 oraz 5 i wyniosły odpowiednio -0,64mm i -0,56mm, które z uwagi na krótki okres między pomiarami należy ocenić jako znaczne. Dla reperów położonych bliżej budynku Auditorium Novum zauważyć można zmniejszanie się wartości przemieszczeń, natomiast repery posadowione najbliżej budynku nie wykazały przemieszczeń.

Badania geotechniczne przeprowadzone w miejscach pokazanych na Rys. 7 wykazały, że wilgotność łu w strefie stropowej (do 1,0-2,0m p.p.t.) jest podwyższona, a stan gruntu określono jako twaroplastyczny. Poniżej poziomu 2,0m, w poziomie posadowienia fundamentów, stan gruntu zdefiniowano na granicy stanu plastycznego i półzwarłego o średnim stopniu plastyczności $I_L = 0,04$, co jest wartością porównywalną do wyników uzyskanych rok wcześniej według [9].

5. Podsumowanie i wnioski

Zinwentaryzowane w roku 2016 [9] uszkodzenia badanej konstrukcji obiektu budowlanego zostały jednoznacznie powiązane ze zróżnicowanym osiadaniem podpór, wynikającym z ruchów podłoża ekspansywnego w pierwszej fazie

jego eksploatacji. Zalegające w poziomie posadowienia obiektu iły przesuszane przez korzenie drzew ulegały skurczowi powodując potencjalnie nierównomierne osiadania fundamentów. W naszej strefie klimatycznej oddziaływanie korzeni drzew jest jedną z najczęstszych przyczyn nadmiernego skurczu iłów w strefie fundamentowej [4, 5, 8]. Po usunięciu drzew z bezpośredniego sąsiedztwa obiektu badań, co nastąpiło po kilku latach użytkowania i wystąpieniu pierwszych uszkodzeń łącznika, stan iłu w podłożu zaczął się stabilizować, a wilgotność ustabilizowała się na pierwotnym poziomie, co potwierdziły badania geotechniczne wykonane do ekspertyzy z 2016r. [9].

Przeprowadzona w lipcu bieżącego roku, podczas pomiaru 0, kontrola stanu podłoża w otworach, zlokalizowanych w obrębie strefy posadowienia łącznika, potwierdza fakt stabilizacji wilgotności iłu w strefie fundamentowej.

Jednocześnie wykonane w okresie od lipca do września pomiary przemieszczeń pionowych wykazały znaczne, jak na tak krótki okres badań, dochodzące do 0,64 mm, osiadania niektórych podpór łącznika. Dotyczy to środkowego fundamentu (reper 5 i 6), posadowionego na głębokości 1,7 m p.p.t i zlokalizowanego w pobliżu ciągów instalacyjnych. Wskazuje to na konieczność wykonywania kolejnych obserwacji geodezyjnych w celu ustalenia ich dalszego przebiegu i zastosowania ewentualnych kroków zaradczych. Podjęto również decyzję o niezależnym monitorowaniu przemieszczeń zarówno pionowych jak i poziomych części nadziemnej łącznika dla określenia przestrzennej pracy konstrukcji.

Literatura

- [1] Bujarkiewicz A., Sztubecki J., Sztubecka M.: Badania przemieszczeń konstrukcji mostowych. Materiały Budowlane, vol. 503, nr. 7, 2014, s. 50-51.
- [2] Bujarkiewicz A., Sztubecki J., Sztubecka M.: Współrzędnościowa stacja laserowa jako narzędzie wspomagające badanie przemieszczeń obiektów mostowych. Logistyka, nr 6, 2014, s. 10393-10399.
- [3] Gorączko A.: Badanie przemieszczeń pionowych podłoża ekspansywnego w Bydgoszczy na przykładzie wybranych obiektów (praca doktorska). Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy s.123, 2007.
- [4] Gorączko A.: Fundamenty na gruntach ekspansywnych. Inżynier Budownictwa, nr 1, 2017.
- [5] Instrukcja 296, Posadowienie budowli na gruntach ekspansywnych, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 1990.
- [6] Kumor M.K.: Iły ekspansywne podłoża budowlanego Bydgoszczy. Wydawnictwa Uczelniane UTP w Bydgoszczy. s. 235, 2016.
- [7] Projekt budowlano-wykonawczy. Budynek audytoryjny kompleksu obiektów ATR w Fordonie. Ul. prof. S. Kaliskiego 7 w Bydgoszczy. Biuro Projektowo-Badawcze Budownictwa Ogólnego Miastoprojekt-Bydgoszcz. Bydgoszcz, grudzień 1999.
- [8] Przysański J. [red.]: Posadowienie budowli na gruntach ekspansywnych. Rozprawy nr 244, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, s. 87, 1991.

- [9] Zawalski A.: Ekspertyza ustalająca przyczyny uszkodzeń budynku Auditorium Novum (wraz z łącznikiem) i osiadań terenu przy al. prof. S. Kaliskiego 7 w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2016.
- [10] Zawalski A., Woźniowski Z.: Geotechniczne warunki posadowienia budynku audytoryjnego ATR przy ul. Kaliskiego 7 w Bydgoszczy. Bydgoszcz, październik 1999.

MONITORING OF VERTICAL DISPLACEMENTS OF OBJECT COLUMNS FOUNDED ON EXPANSIVE SOILS

Summary

The article presents methodology and initial results of measurement of vertical displacements of a building object on an expansive soils. The sensitivity of the expansive soils to environmental changes of humidity, acting on its volumetric changes, requires careful and comprehensive monitoring of objects susceptible to deformation. During terrain measurements, periodic geodetic measurements of the object's displacement are carried out, using the classic method of precision leveling and the co-ordinate of the Leica TDRA 6000 Laser Station. In parallel geotechnical investigations of the subsoil determining the state of the soil on which the object is founded are performed. Analysis of the obtained results allows to determine the existing ground and water conditions, on the basis of which a further program of object monitoring has been established. The results of periodic surveys will be used to formulate conclusions about the mechanism of displacement of an object located on expansive soils.

Keywords: expansive soils, vertical displacements of objects, monitoring, precise leveling

Przesłano do redakcji: 13.09.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.