



JERZY SĘKOWSKI, *Jerzy.Sekowski@polsl.pl*
KRZYSZTOF STERNIK, *Krzysztof.Sternik@polsl.pl*
Katedra Geotechniki, Politechnika Śląska, Gliwice

AWARIA OBIEKTU HANDLOWEGO W WYNIKU PRZEKROCZENIA NOŚNOŚCI PODŁOŻA

FAILURE OF A STRUCTURE OF A SHOP DUE TO GROUND OVERLOADING

Streszczenie W referacie przedstawiono przykład niewielkiego obiektu handlowego, uszkodzonego w wyniku lokalnego przekroczenia nośności podłoża gruntowego. Po scharakteryzowaniu obiektu oraz zaistniałych uszkodzeń, przedstawiono wyniki obliczeń i analiz oraz przyjętego sposobu naprawy obiektu.

Abstract Failure of a structure of a little shopping center due to local excess of bearing capacity of the ground has been described in the paper. Short description of the structure and damage occurred precedes the simple computational analysis of the bearing capacity for footings of the building and means of their strengthening.

1. Wprowadzenie

W niespełna cztery miesiące od momentu oddania do użytku obiektu handlowego w jednym z miasteczek śląskich podjęto decyzję o jego zamknięciu. Powodem była obawa o zachowanie się konstrukcji nośnej dachu oraz wyraźne zarysowania niektórych elementów konstrukcyjnych obiektu.

Podjęte przez jego właściciela działania związane były z: wykonaniem dodatkowego rozpoznania geotechnicznego i wykonaniem ekspertyzy obejmującej ocenę przyczyn zaistniałej sytuacji łącznie z przedstawieniem koncepcji oraz opracowaniem projektu naprawy i wzmocnienia uszkodzonej konstrukcji.

Właściciel obiektu, niezależnie od wspomnianych powyżej działań, zlecił Katedrze Geotechniki Politechniki Śląskiej opracowanie opinii obejmującej ocenę:

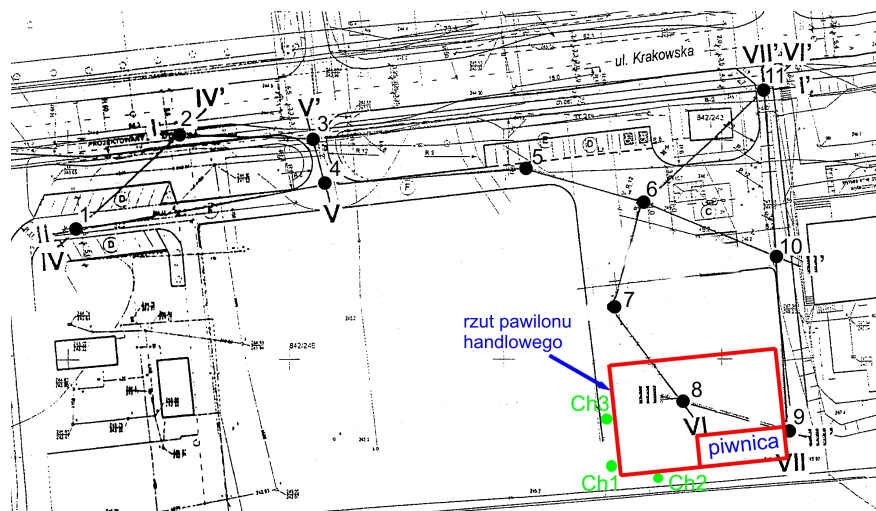
- przyjętego sposobu posadowienia wspomnianego obiektu,
- przyczyn zaistniałej sytuacji,
- poprawności przyjętej do realizacji koncepcji naprawy uszkodzonego obiektu.

2. Przedstawienie problemu

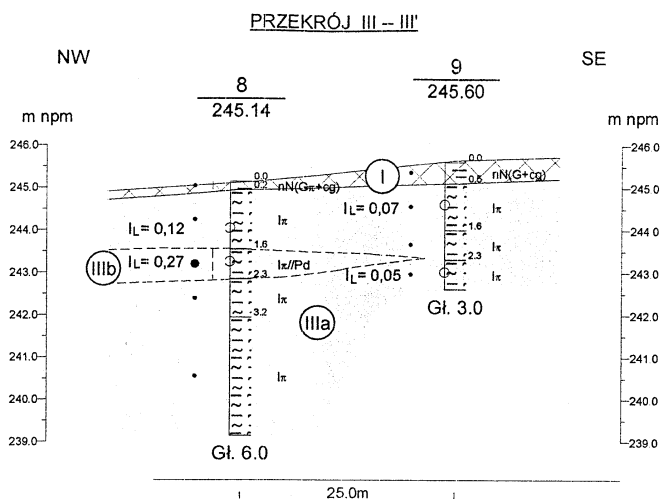
Z analizy dostępnych materiałów źródłowych (dokumentacja geologiczno-inżynierska, uzupełniająca opinia geologiczna, projekt budowlany pawilonu handlowego, projekt budowlany wzmocnienia konstrukcji) oraz uzyskanych informacji można przedstawić (w ujęciu chronologicznym) przebieg działań związanych z przygotowaniem inwestycji, jej realizacją

oraz działaniami zmierzającymi do wyjaśnienia przyczyn zaistniałych uszkodzeń i ich naprawy.

Na pierwotnie projektowaną inwestycję składały się: stacja paliw wraz z drogą dojazdową, parkingami i wyjazdem oraz pawilon obsługowy z magazynem, biurem, warsztatem naprawczym oraz myjnią. Do rozpoznania podłoża wykorzystano 11 otworów badawczych o głębokościach od 3 do 6 m (rys. 1). Dokumentujący wnioskował za bezpośrednim posadowieniem obiektów przy zachowaniu warunku nośności na poziomie obciążenia obliczeniowego 180 kPa. Zwracał przy tym jednak uwagę na dokonanie wymiany soczewki (od 1,6 do 2,3 m ppt.) plastycznych łąt, zalegających lokalnie w rejonie rozpoznany otworem nr 8 (rys. 2). Dodajmy, że we wschodniej części rozpoznanej parceli dominowały łąty w stanie twardoplastycznym, a wody gruntowej praktycznie nie stwierdzono.



Rys. 1. Plan sytuacyjny z rozmieszczeniem otworów badawczych dla pierwotnego rozpoznania geologiczno-inżynierskiego oraz otworami rozpoznania dodatkowego



Rys. 2. Przekrój geotechniczny dla pierwotnego rozpoznania geologiczno-inżynierskiego

Na zlecenie tego samego inwestora rok później opracowana została dokumentacja projektowa pawilonu handlowego, zlokalizowanego jak na rys. 1. Pawilon handlowy o powierzchni zabudowy ok. 1014 m² i powierzchni sprzedaży 617,5 m² to obiekt wolnostojący, częściowo podpiwniczony, wykonany w konstrukcji tradycyjnej murewnej i stalowej. Oparciem dla stalowych ram, stanowiących konstrukcję nośną dla dwuspadowego dachu są żelbetowe słupy w ścianach zewnętrznych. Posadowienie ścian nośnych zaprojektowano na ławach żelbetowych o szerokości 70 cm, natomiast słupów – na stopach fundamentowych o wymiarach 80×80 i 150×100 cm. Stopy i ławy projektowane były jako monolityczne, wspólnie powiązane konstrukcyjnie ze sobą. Przyjęto posadowienie na poziomie -2,3 m i -3,25 m ppt., odpowiednio: części niepodpiwniczonej i podpiwniczonej. Pod fundamentami przewidziano podsypkę piaskową, a wokół obiektu drenaż opaskowy.

Po przystąpieniu do realizacji inwestycji, do projektu pierwotnego wprowadzono zmiany. Z ważniejszych należy wymienić: zamianę stropu nad piwnicą z typu teriva na płytę żelbetową monolityczną oraz wprowadzenie do kondygnacji piwnicznej rzędu pięciu słupów posadowionych na stopach fundamentowych o wymiarach 80×80 cm i jednego posadowionego na stopie o wymiarach 60×60 cm. Obciążenie dla płyty przyjęto na poziomie 15 kN/m².

Z informacji uzyskanych od inwestora wynikało, że podczas wykonywania robót ziemnych i fundamentowych w dnie wykopów stwierdzono wyłącznie grunty rodzime, nie stwierdzając w nich natomiast wody gruntowej. Nie dokonano wymiany plastycznych ilów pylastych i nie uszkodzono przebiegającej w sąsiedztwie kanalizacji sanitarnej. Wokół obiektu wykonano natomiast drenaż opaskowy.

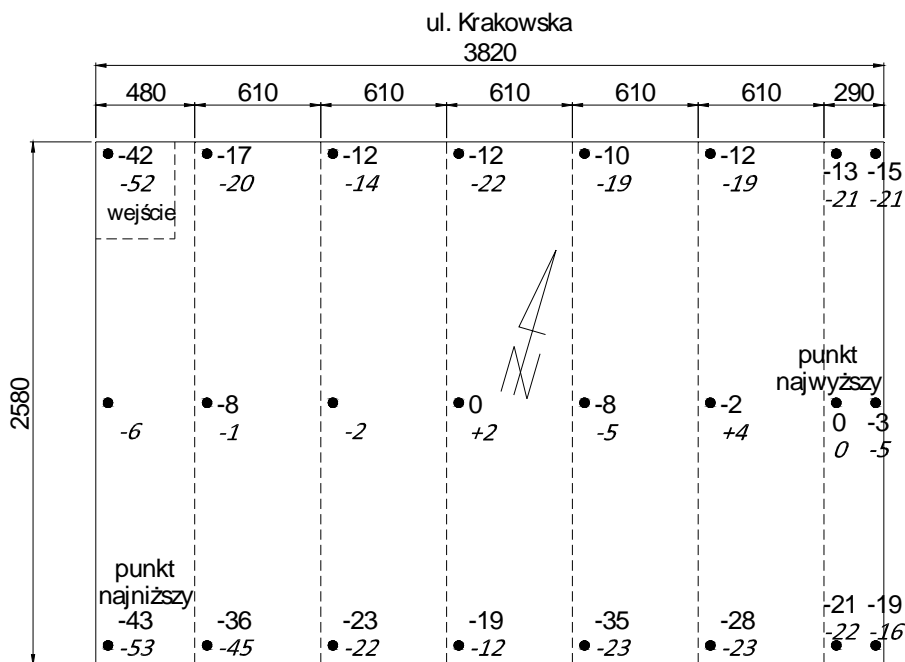
Po niespełnieniu trzech miesięcy od oddania do użytku obiektu zamknięto. Bezpośrednim powodem były przemieszczenia części dźwigarów dachowych na podporach, zarysowania i pęknięcia niektórych elementów konstrukcyjnych obiektu oraz jego posadzki (rys. 3). Zdecydowano wówczas o wykonaniu dodatkowego rozpoznania geotechnicznego i ekspertyzy technicznej, określającej przyczyny zaistniałej sytuacji, a także opracowanie koncepcji i projektu niezbędnych napraw.



Rys. 3. Uszkodzenia konstrukcji obiektu handlowego

Dodatkowe rozpoznanie geotechniczne obejmowało wykonanie trzech otworów badawczych (Ch1; Ch2; Ch3 – rys. 1), usytuowanych w rejonie południowo-zachodniego narożnika obiektu, tj. w rejonie najpoważniejszych uszkodzeń, nie objętym wcześniejszym rozpoznaniem geotechnicznym. W otworze Ch1 na głębokości 2,3 m ppt. stwierdzono występowanie miękkoplastycznych ($I_L = 0,7$) ilów pylastych z przewarstwieniami piasku w postaci soczewki o miąższości 0,7 m. Warstwy tej nie nawiercono w otworach pozostałych, stwierdzając w nich ily w stanie plastycznym ($I_L = 0,3$). Tym samym, w obrębie wybudowanego obiektu

handlowego występują grunty bardzo spoiste o zróżnicowanym stanie fizycznym i zmiennym rozkładzie przestrzennym. W dodatku w otworze Ch1 na głębokości 2,3 m ppt. stwierdzono obecność wody gruntowej. Sporządzone mapy osiadań obiektu korespondują z układem gruntów budujących podłoże w obrębie jego rzutu (rys. 4).



Rys. 4. Wyniki dwu pomiarów osiadań podłogi budynku wykonanych w odstępie 30 dni między zaistnieniem awarii a likwidacją jej skutków. Kursywą zaznaczono wyniki pomiaru późniejszego. Wymiary podano w centymetrach, osiadania w milimetrach

Konsekwencją powyższych badań było opracowanie ekspertyzy technicznej obejmującej ocenę nośności podłoża gruntowego i stateczności ścian piwnicy, opis uszkodzonych elementów konstrukcyjnych obiektu (ścian, posadzek, słupów, ramy, dachu itp.) oraz koncepcję naprawy zaistniałych uszkodzeń. Za przyczynę nierównomiernych osiadań obiektu autor ekspertyzy uznał lokalne przekroczenie warunku nośności na wypieranie i przesuw, zalecając wymianę miękkoplastycznego ifu lub podparcie najbardziej zagrożonych fundamentów.

Wnioski ekspertyzy zalecały również: przegląd i ewentualną naprawę instalacji deszczowej i sanitarnej przebiegającej wzdłuż południowej ściany obiektu, wzmocnienie podłoża poprzez lokalną wymianę gruntów miękkoplastycznych, wykonanie wewnątrz piwnicy niepełnej skrzyni żelbetowej powiązanej z istniejącą konstrukcją, naprawę pęknięć i zarysowań oraz roczne przeglądy konstrukcji stalowej.

Następstwem tej ekspertyzy był projekt wzmocnienia konstrukcji obiektu. Koncepcja wzmocnienia i stosowne projekty przewidywały: wykonanie 74 mikropali typu GONAR o długościach: 4,0; 5,0 i 6,0 m wzdłuż ściany zachodniej i południowej w odstępach co 1 m, o średnicy 130 mm, przewiercane przez stopy lub ławy pod kątem 5° do wnętrza budynku. Projekt zawierał także sposób wzmocnienia piwnicy przez wykonanie niepełnej „skrzyni fundamentowej” i metody naprawy powstałych zarysowań (kotwienie z wypełnieniem zaprawami na bazie żywic). Zrezygnowano natomiast z wymiany gruntów słabych.

3. Ocena przyjętego sposobu posadowienia

W tej sytuacji i w tym momencie autorzy referatu opracowali równoległe opinie, w której ustosunkowali się do przyjętego sposobu posadowienia obiektu, przyczyn zaistniałych uszkodzeń i zasadności przyjętego sposobu wzmocnienia.

Podczas pierwszej wizji lokalnej na miejscu awarii autorzy stwierdzili zaawansowany przebieg prac naprawczych. Wykonana została praktycznie wewnętrzna skrzynia w piwnicy (rys. 5), uszczelniono powstałe zarysowania, naprawiono dużą część zarysowań w kondygnacji parteru oraz wykonano mikropale pod ścianą zachodnią i przygotowano część otworów do realizacji mikropali pod ścianą południową (rys. 6).



Rys. 5. Wzmacnianie ścian i stropu piwnicy



Rys. 6. Podbijanie fundamentów mikropalami

Z pierwotnej dokumentacji geologiczno-inżynierskiej wynika, że podłoże gruntowe do rozpoznanej głębokości budują utwory trzeciorzędowe i czwartorzędowe, reprezentowane przez grunty bardzo spójne w stanie twardoplastycznym z pogranicza półzwarłego i plastycznym oraz przypowierzchniowo zalegające nasypy, piaski średnie i glinę pylastą zwięzłą. Miąższość gruntów czwartorzędowych nie przekracza 1,5 m. Tylko w jednym z otworów (nr 7) na poziomie 1,2 m ppt. stwierdzono obecność wody gruntowej. Teren projektowanej zabudowy nie podlega wpływom górniczym, ani też innym wpływom parasejsmicznym. Parcela wykazuje lekkie nachylenie w kierunku zachodnim, co sprzyja powierzchniowemu spływowi wód opadowych i gruntowych w tym kierunku.

Uwzględniając rodzaj i stan fizyczny gruntów budujących podłoże, wyróżniono w nim m.in. warstwy IIIa i IIIb obejmujące odpowiednio twardoplastyczne ($I_L = 0,1$) i plastyczne ($I_L = 0,3$) iły pylaste. Te warunki gruntowe uznano za proste.

Poprawnie zaprojektowane posadowienie spełniać powinno, jak wiadomo, warunki I i II stanu granicznego. W przypadku pierwszym oznacza to, że jednostkowe obliczeniowe obciążenie z konstrukcji (q_r) nie może być większe od jednostkowego obliczeniowego oporu podłoża gruntowego dla warstwy potencjalnie najsłabszej ($m q_m$). W tym przypadku odnosi się to do warstwy IIIb, w której – lub w sąsiedztwie której, projektowany obiekt został posadowiony. Przyjmując dla niej parametry geotechniczne za dokumentacją geologiczno-inżynierską oraz posadowienie bezpośrednie ściany na ławie ($B/L = 0$) o szerokości $B = 0,6$ m zagłębionej $D = 0,5$ m (piwnica) otrzymamy następującą wartość oporu jednostkowego

podłoża $q_{fn} = 320$ kPa. Przyjmując $m = 0,81$, warunek I stanu granicznego (warunek nośności) będzie spełniony gdy:

$$q_r \leq m \cdot q_{fn} = 260 \text{ kPa.} \quad (1)$$

Układ gruntów i ich charakterystyki odkształceniowe, przy zachowanym warunku nośności i równomiernych obciążeniach z konstrukcji na podłożu, przy dokonanej wymianie gruntów zaliczonych do warstwy IIIb, gwarantują zachowanie wymagań w odniesieniu do dopuszczalnych osiadań i różnic osiadań obiektu ($s_{sr} \approx 1,0$ cm). Pozostawienie tej warstwy, wobec różnych wartości modułów ścisłości warstw IIIa i IIIb (odpowiednio: 31 i 19 MPa), może spowodować wystąpienie różnych osiadań, które dla obciążenia $q_r = 200$ kPa oszacowano odpowiednio na ok. 1 i 2 cm.

W tej więc sytuacji przyjęty sposób posadowienia pawilonu odpowiadał warunkom gruntowo-wodnym określonym w pierwotnej dokumentacji geotechnicznej – otwory 1÷11, i należało go uznać za poprawny.

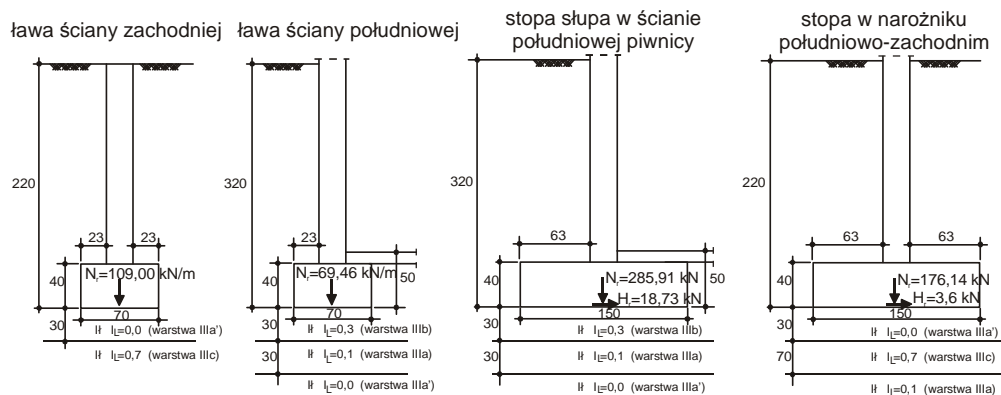
4. Analiza przyczyn zaistniałej awarii i przyjętego sposobu naprawy uszkodzonego obiektu

Zasadnicze wnioski i spostrzeżenia wynikające z poczynionych obserwacji przez autorów po wyłączeniu z użytkowania obiektu oraz wyników badań kontrolnych i obliczeń są następujące:

1. uszkodzenia pojawiły się praktycznie z chwilą lub bardzo krótko po oddaniu obiektu do użytku,
2. charakter zarysowań ścian i posadzek wskazywał na nierównomierne i znaczne osiadania jako przyczynę spękań,
3. większe osiadania i ich przyrosty wykazywał południowo-zachodni narożnik obiektu; co charakterystyczne, zwiększone osiadania wykazały fundamenty ścian północnej i południowej,
4. pod południowo-zachodnim narożnikiem obiektu handlowego stwierdzono (już po jego wybudowaniu) obecność soczewki miękkoplastycznych ilów pylastych z przewarstwieniami piasku; tym samym, pod znaczną częścią obiektu, praktycznie poniżej poziomu jego posadowienia występuje cienka (kilkudziesięciocentymetrowa) warstwa gruntów bardzo spoistych o gorszych parametrach fizyko-mechanicznych aniżeli pod częścią pozostałą,
5. w piwnicy pojawiła się woda, której pozbycie się wymagało stosowania pomp,
6. za przyczynę zaistniałych uszkodzeń uznano nadmierne osiadania obiektu, których źródło tkwiło w zróżnicowanej odkształcalności podłoża i zróżnicowanych obciążeniach z konstrukcji, a także w lokalnym przekroczeniu warunku nośności,
7. za niekorzystne dla prawidłowego funkcjonowania obiektu uznano niestabilne warunki wodne, wynikające najprawdopodobniej z nieszczelnej lub niewłaściwie wykonanej instalacji sanitarnej i deszczowej.

Zróżnicowane warunki gruntowo-wodne w obrębie obiektu, przy zmiennych modułach ścisłości poszczególnych warstw ($M_0 = 9$ MPa÷40 MPa) oraz zmiennym obciążeniu na podłożu ($q_r = 103$ kPa÷200 kPa) musiały skutkować zróżnicowanymi osiadaniami. Wstępnie szacowane wielkości osiadań miały mieścić się w przedziale od 2 mm do 7 mm. W rzeczywistości, w związku z lokalnym przekroczeniem warunku nośności, wielkości osiadań były wyraźnie większe (rys. 4).

Obliczenia przeprowadzone przez autorów referatu częściowo potwierdziły wnioski zawarte w ekspertyzie dotyczące lokalnego przekroczenia warunku nośności. Przeanalizowano nośność podłoża wybranych fundamentów, dla których można było spodziewać się przekroczenia I stanu granicznego. Analizowane schematy pokazane są na rys. 7.



Rys. 7. Schematy analizowanych fundamentów i układów warstw gruntu podłoża

Do obliczeń nośności podłoża fundamentów przyjęto za uzupełniającą opinią geologiczną:

- parametry warstwy IIIa' (ił $I_L = 0,0$): $\rho^{(n)} = 2,05 \text{ g/cm}^3$; $c_u^{(n)} = 60 \text{ kPa}$; $\phi_u^{(n)} = 13^\circ$
- parametry warstwy IIIc (ił $I_L = 0,7$): $\rho^{(n)} = 1,9 \text{ g/cm}^3$; $c_u^{(n)} = 6 \text{ kPa}$; $\phi_u^{(n)} = 7^\circ$
- parametry warstwy IIIb (ił $I_L = 0,3$): $\rho^{(n)} = 1,7 \text{ g/cm}^3$; $c_u^{(n)} = 44 \text{ kPa}$; $\phi_u^{(n)} = 9^\circ$
- obliczeniowa gęstość objętościowa zasypki $\rho_D^{(r)} = 1,7 \text{ g/cm}^3$

Dopuszczalne obciążenie podłoża wyznaczono zgodnie ze wzorem:

$$q_{fnB} = \left(1 + 0,3 \frac{B}{L}\right) N_C c_u^{(r)} i_c + \left(1 + 1,5 \frac{B}{L}\right) N_D D_{\min} \rho_D^{(r)} g i_D + \left(1 - 0,25 \frac{B}{L}\right) N_B B \rho_B^{(r)} g i_B \quad (2)$$

Dla ławy fundamentowej $B/L = 0$.

Dopuszczalne obliczeniowe obciążenie jednostkowe warstwy IIIa' ławy pod ścianą zachodnią:

$$m \cdot q_{fn} = 0,81 \cdot 598 = 494 \text{ kPa} \quad (3)$$

Dopuszczalne obliczeniowe obciążenie jednostkowe warstwy IIIc:

$$m \cdot q_{fn} = 0,81 \cdot 100 = 81 \text{ kPa} \quad (4)$$

Dopuszczalne obliczeniowe obciążenie podłoża uwarstwionego wyznaczone zgodnie z normą PN-81/B-03020:

$$m \cdot q_{fn} = 88 \text{ kPa} \quad (5)$$

Po zestawieniu obciążeń warunek nośności w przypadku ławy ściany zachodniej ma postać:

$$q_{rs} = 156kPa > m \cdot q_{fn} = 88kPa \quad (6)$$

Dla ławy ściany południowej w części podpiwniczonej, dla stopy fundamentowej słupa w ścianie południowej części podpiwniczonej oraz dla stopy fundamentowej słupa w narożniku południowo-zachodnim w części niepodpiwniczonej warunki nośności są spełnione.

Przekroczenie warunku I SG (jak to ma miejsce w przypadku ławy pod ścianą zachodnią) oznacza, że przekroczona została granica liniowej zależności osiadań od obciążeń. W tym zakresie nie można posługiwać się już sposobem obliczeń osiadań sugerowanym przez normę PN-81/B-03020. W praktyce oznacza to wyraźnie zwiększone osiadania ławy zachodniej i przyległych do niej częściach ław i stóp fundamentowych.

Z takim przebiegiem osiadań korespondują zarysowania i pęknięcia elementów konstrukcyjnych obiektu handlowego zamieszczone w ekspertyzie rzeczoznawcy budowlanego. Autorzy uważają, że na osiadania obiektu mogły mieć również wpływ warunki techniczne związane z wykonaniem wykopu i ułożeniem podsypki oraz woda gruntowa. Pojawienie się wody w podłożu i podsypce tuż pod fundamentami mogło bowiem pogorszyć stan fizyczny gruntów rodzimych oraz dogęścić samą podsypkę.

Reasumując, autorzy uważają, że zasadniczą przyczyną nierównomiernych i względnie dużych osiadań, a w ich następstwie uszkodzeń obiektu handlowego były: lokalne przekroczenie nośności podłoża gruntowego, jego zróżnicowana odkształcalność, oraz nierównomierne obciążenia i wpływ wody na stan fizyczny gruntów rodzimych, a także dogęszczenie podsypki pod fundamentami.

Zdaniem autorów referatu przyjęty i zrealizowany sposób naprawy uszkodzonej konstrukcji, a zwłaszcza posadowienia obiektu, jakkolwiek ograniczony do dwóch osi, był właściwy i okazał się skuteczny. Pawilon, po remoncie, oddany został do użytku.

5. Podsumowanie

Przedstawiony przykład uszkodzonego obiektu handlowego, o stosunkowo prostej konstrukcji i niedużej sztywności, jest potwierdzeniem wagi poprawnego wcześniejszego rozpoznania podłoża gruntowego i staranności prowadzonych prac budowlanych. Problem ten nabiera szczególnego znaczenia przy zabudowie terenów dotychczas użytkowanych i nie w pełni zinwentaryzowanych, jak również w sytuacji zmiany pierwotnego projektu zagospodarowania działki budowlanej. Za główną przyczynę zaistniałych uszkodzeń obiektu handlowego uznano jego nierównomierne osiadania, szczególnie niebezpieczne dla obiektów na nie wrażliwych, jak to miało miejsce w analizowanym przypadku. Licząc się z możliwością wystąpienia dalszych niewielkich zarysowań, autorzy zalecili wstrzymanie ostatecznych prac wykończeniowo-naprawczych do momentu stwierdzenia całkowitej stabilizacji procesu osiadań. Po wykonaniu niezbędnych napraw i wzmocnień pawilon handlowy oddano ponownie do użytku.