

ANALIZA WYCHYLENIA WIEŻOWCA Z LAT 60-TYCH XX W

JERZY SZERAFIN, *j.szerafin@pollub.pl*

ANNA HALICKA

Politechnika Lubelska

JANUSZ FRONCZYK

Budoprojekt

Streszczenie: Wkrótce po wybudowaniu 10-cio kondygnacyjny wieżowiec uległ znacznemu przechyleniu. W pracy omówiono i przeanalizowano wyniki geodezyjnych pomiarów wychyleń, w powiązaniu z powstałymi uszkodzeniami konstrukcji. Rozważono wpływ podłoża gruntowego oraz awarii sieci wodociągowej w bezpośrednim sąsiedztwie budynku na jego zachowanie się.

Słowa kluczowe: przechylenie budynku, nierównomierne osiadanie fundamentów.

1. Wstęp

Dziesięciokondygnacyjny budynek został wybudowany i zasiedlony w 1962 r., jako jeden z 12 identycznych obiektów tworzących osiedle mieszkaniowe. Odchylenie budynku od pionu zostało zauważone wkrótce po zasiedleniu. Jednak dopiero w roku 2010 wykonano ekspertyzę [1] oceniającą przyczyny wychyleń i stan konstrukcji.

Budynek znajduje się przy ulicy często zalewanej przez wody opadowe, a w swej historii przeżył też poważną awarię wodociagową [2]. Ulica jest jedną z najruchliwszych w mieście, jednak po wykonaniu badań dynamicznych stwierdzono, że drgania generowane przez ruch uliczny nie mają wpływu na konstrukcję budynku i nie stanowią zagrożenia dla bezpieczeństwa obiektu.

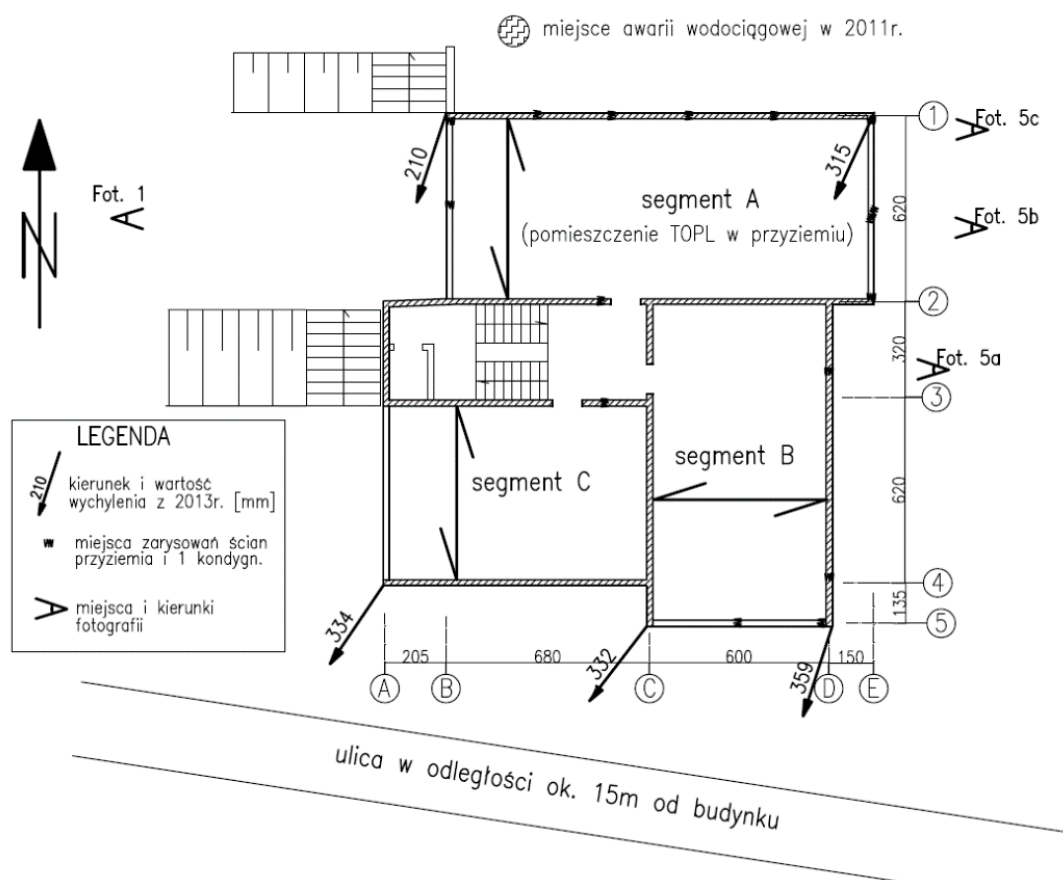


Rys. 1. Widok budynku od strony zachodniej

Obecnie budynek należy do wspólnoty mieszkaniowej i zamieszkały jest głównie przez emerytów, co utrudnia nie tylko podjęcie działań naprawczych, ale również wykonanie dokładniejszych i bardziej kosztownych badań i analiz.

2. Opis konstrukcji budynku

Budynek wykonano jako betonowy monolityczny, a realizowano w deskowaniach przedstawnych. Każda kondygnacja składa się z trzech segmentów połączonych klatką schodową, stanowiącą trzon konstrukcyjny budynku. Podstawowymi elementami nośnymi są ściany betonowe niezbrojone, o grubości 30 cm w przyziemiu, oraz 25 i 20 cm na wyższych kondygnacjach. Jedynie w obrębie pomieszczeń dawnej Terenowej Ochrony Przeciwlotniczej (TOPL) zlokalizowanych w północnej części przyziemia ściany są zbrojone. Ściany zaprojektowano z betonu, który według dzisiejszych norm nie może być uznany jako beton konstrukcyjny. Jego wytrzymałość miała zmniejszać się wraz z wysokością (od przyziemia do piątej kondygnacji łącznie – R_w 140, kondygnacja szósta i siódma – R_w 110, a dwie najwyższe – jedynie R_w 70). Aktualna minimalna wytrzymałość betonu ścian dolnych kondygnacji na ściskanie określona metodą sklerometryczną wynosi $f_{c,min} = 14,4$ MPa przy wskaźniku zmienności 18%, co pozwala zakwalifikować beton z niewielkim niedoborem do klasy C12/15. Na ścianach za pośrednictwem wieńców oparto stropy gęstożebrowe DMS (rys. 2). Pomieszczenia TOPL przekrywa płyta krzyżowo zbrojona gr. 20 cm. Z projektu wynika, że fundamenty wykonano w postaci ław o szerokości od 185 do 265 cm, zbrojonych prętami 16 mm ze stali gładkiej. Pomiary w odkrywkach potwierdzają dane projektowe. Dach wykonano z prefabrykowanych płyt dachowych Z.O.R. na belkach żelbetowych.



Rys. 2. Rzut budynku z zaznaczeniem kierunków i wartości wychyleń budynku zmierzonych w 2013 r.

3. Pomiary wychyleń budynku i ich zmian

3.1 Wychylenia poziome budynku

Przechylenie budynku w kierunku pół-zach (w kierunku ulicy) widoczne jest nieuzbrojonym okiem. Największe zmierzone wychylenie z pionu wynosi około 35 cm.

Pierwsze pomiary przemieszczeń poziomych budynku wykonano w roku 1976, następne dopiero w roku 2007, po czym wykonywano je co dwa lata. Jednak wyniki pomiarów pierwszych i pomiarów z ostatnich 7 lat nie są w pełni kompatybilne – były przeprowadzone z różnych punktów obserwacyjnych i różnymi metodami, nie zawsze podawano dokładności.

Wektory przemieszczenia poziomego zostały w sposób dokładny ustalone w 2009 r. (rys. 2). W przypadku wszystkich ścian mają one podobne kierunki, jakkolwiek widoczne jest niewielkie skręcenie budynku. Największe wychylenie poziome obserwowane jest w narożniku pół-wsch. Wszystkie krawędzie budynku zachowują w przybliżeniu prostoliniowość. Przeciętne wychylenie ścian zewnętrznych z pionu wynosi 1,25%.

Wzrost przemieszczenia poziomego w latach 1976–2013 wynosił od 14 mm (narożnik pół-wsch) do 49 mm (środkowa część elewacji pół – naroże 'C5'), średnio około 8,1%. W tabeli 1 zestawiono kolejne wyniki pomiarów narożnika pół-zach budynku.

Tabela 1 Zestawienie pomiarów wychyleń pół-zach narożnika budynku

Rok pomiaru	Poziome wychylenie narożnika pół-zach [mm]	Średni przyrost odchylenia [mm/rok]	Przyrost odchylenia od pierwszego pomiaru [mm]
1976	313	0	0
2007	327	0,5	14
2009	338	5,5	25
2011 po awarii sieci wod.	343	2,5	30
2013	334	-4,5	21

Natomiast w okresie 2007–2011 wychylenie wzrosło od 12 mm (środkowa część elewacji półd) do 42–44 mm (narożniki półn-wsch i półn-zach), co stanowi 14,7% wychylenia z 1976 r. Pomiary wykonane w roku 2011 niemal bezpośrednio po wystąpieniu awarii wodociągowej przy ścianie północnej wykazały znaczne wyhamowanie przechylania się budynku. Natomiast ostatnie dane z 2013 odnotowują zmniejszenie wychylenia budynku wynoszące od 9 mm w przypadku narożnika pół-zach do 30 mm dla narożnika półn-zach (najbliżej miejsca awarii). Może to być wynikiem zwiększonych osiadań podmytych fundamentów po północnej stronie budynku.

O przechylaniu całej bryły budynku świadczą również wychylenia ścian klatki schodowej. Pomiary wykonano w obrębie „duszy” schodów, gdzie za pomocą linki z obciążnikiem wyznaczono linię pionu. Na każdej kondygnacji oznaczenie pionu wykonano w dwóch miejscach: na poziomie posadzki oraz sufitu. Następnie odmierzano odległości pionu do ścian klatki schodowej z dokładnością rzędu 5 mm. Stwierdzono, że ściany są wychylone z położenia pionowego w kierunku południowym. Przykładowo ściana w osi '2' wykazuje przemieszczenie górnej krawędzi na 9-ej kondygnacji względem dolnej krawędzi na parterze o 235 mm. Są to wielkości podobnego rzędu co mierzone geodezyjnie wychylenia ścian zewnętrznych i mają podobny kierunek.

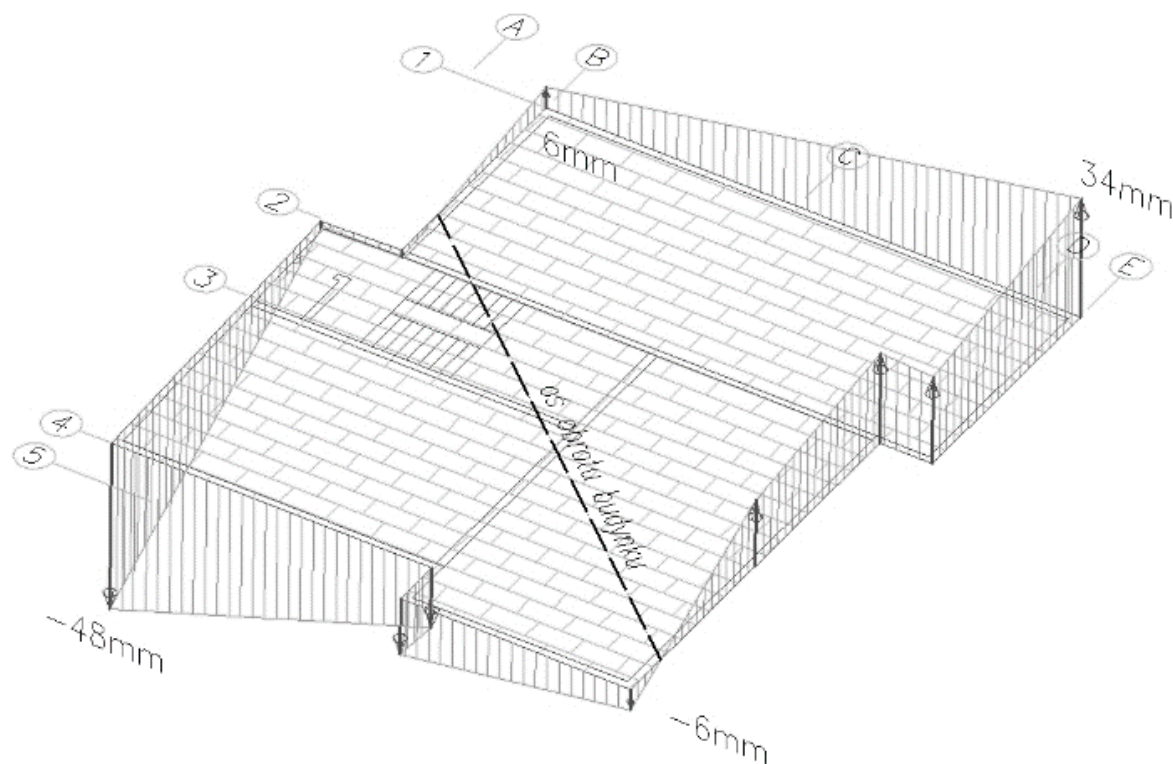
Wyrywkowe pomiary pionowości ścian wewnętrznych w mieszkaniach wykonywano za pomocą poziomicy o długości 150 cm (bez odkuwania tynków). Odchylenia ścian od pionu mieszczą się w przedziale 0–1,5% (1,5 cm na długości 1 m), przy czym w dwóch przypadkach w segmencie B na wyższych kondygnacjach zanotowano odchylenia 3% i 4%.

Stwierdzono także, że podłogi w części pomieszczeń mieszkalnych oraz na klatce schodowej nie są poziome. Zmierzone za pomocą poziomicy nachylenie posadzki na klatce schodowej waha się na poszczególnych kondygnacjach od 0,0% (IV, VII i VIII piętro) do 1,5% (parter, I piętro). Przeciętny kierunek spadku można określić jako południowo-zachodni.

Mieszkańcy skarżą się też na utrudnienia w prawidłowym funkcjonowaniu okien, podczas ich otwierania i zamykania.

3.2 Przesunięcia pionowe

W latach 1976 i 1985 mierzono również przesunięcia pionowe budynku na reperach kontrolnych zamontowanych na ścianach budynku. Pomiary wskazują na osiadanie (wartości ujemne) elewacji południowej od strony ulicy oraz podwyższanie (wartości dodatnie) większej części elewacji zachodniej, z kulminacją w narożniku południowo-zachodnim (rys. 3). Oznacza to, że cały budynek pomiędzy rokiem 1976 a 1985 doznawał obrotu wokół osi przebiegającej w przybliżeniu wzdłuż zaznaczonej na rysunku linii. Maksymalne przesunięcie pionowe, które narastało w okresie 7 lat wynosi tu 4,8 mm.



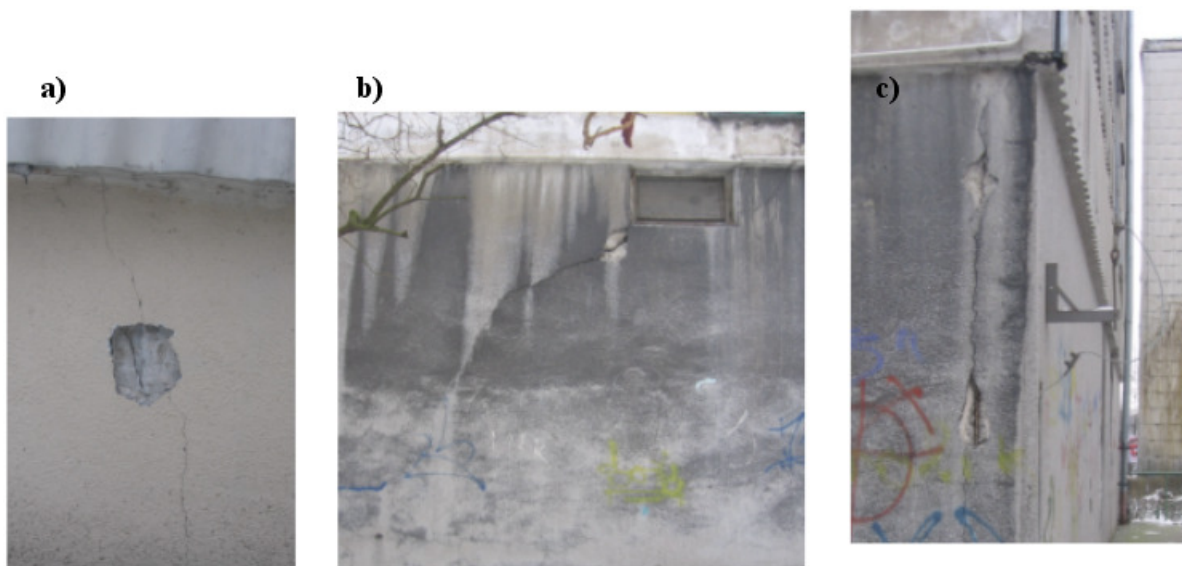
Rys. 3. Ilustracja graficzna pionowych przesunięć budynku, zmierzonych w latach 1976–1985

4. Uszkodzenia konstrukcyjne budynku

Poza zarysowaniami natury termicznej ścian pod stropodachem oraz filarków międzyokiennej (nie omawianych w tym referacie) stwierdzono występowanie zarysowań, których usytuowanie na rzucie budynku zaznaczono na rys. 2. Zinwentaryzowano:

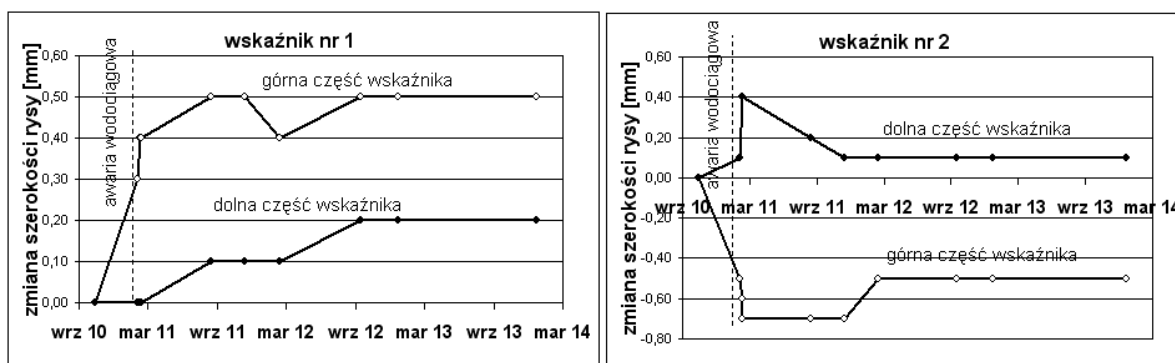
- skrośne zarysowania nośnych ścian zewnętrznych: pęknięcie ściany wschodniej przyziemia w osi 'D' o szerokości do 2 mm, przechodzące na 1 kondygnację aż do dolnej krawędzi okna, znajdujące się nad miejscem uskoków ław fundamentowych (rys. 4a) oraz mniejsze zarysowania ściany północnej w osi „1”,

- ukośne pęknięcie zewnętrznej nienośnej ściany wschodniej 1 kondygnacji w osiach 'E' (rys. 4b), 'B', '1', '5' oraz pionowe pęknięcie na styku ścian zewnętrznych przyziemia w narożu półn-wsch. 'E1' (rys. 4c),
- w klatce schodowej – pionowe zarysowania ścian przyziemia i 1 kondygnacji w osiach '2' i '3', których kontynuację u góry stanowi pęknięcie stropu nad 1 kondygnacją wzdłuż belek stropowych, a u dołu – rysa w posadzce na gruncie.



Rys. 4. Zarysowania ścian zewnętrznych elewacji wschodniej a) przyziemie, b) i c) 1 kondygnacji. (miejsca wykonania fotografii zaznaczono na rys. 2).

Od listopada 2010 r. do stycznia 2014 dokonywano pomiarów szerokości rys przedstawionych na rys. 4a i 4b, stosując wskaźniki rozwarcia rys WR05 Neostrain. Wyniki pomiarów przedstawiono na rys. 5, przy czym wartość dodatnia oznacza rozszerzanie się rysy, a ujemna zężanie.



Rys. 5. Zmiany szerokości rozwarcia rys przedstawionych na rys. 4b (wskaźnik 1) i 4a (wskaźnik 2)

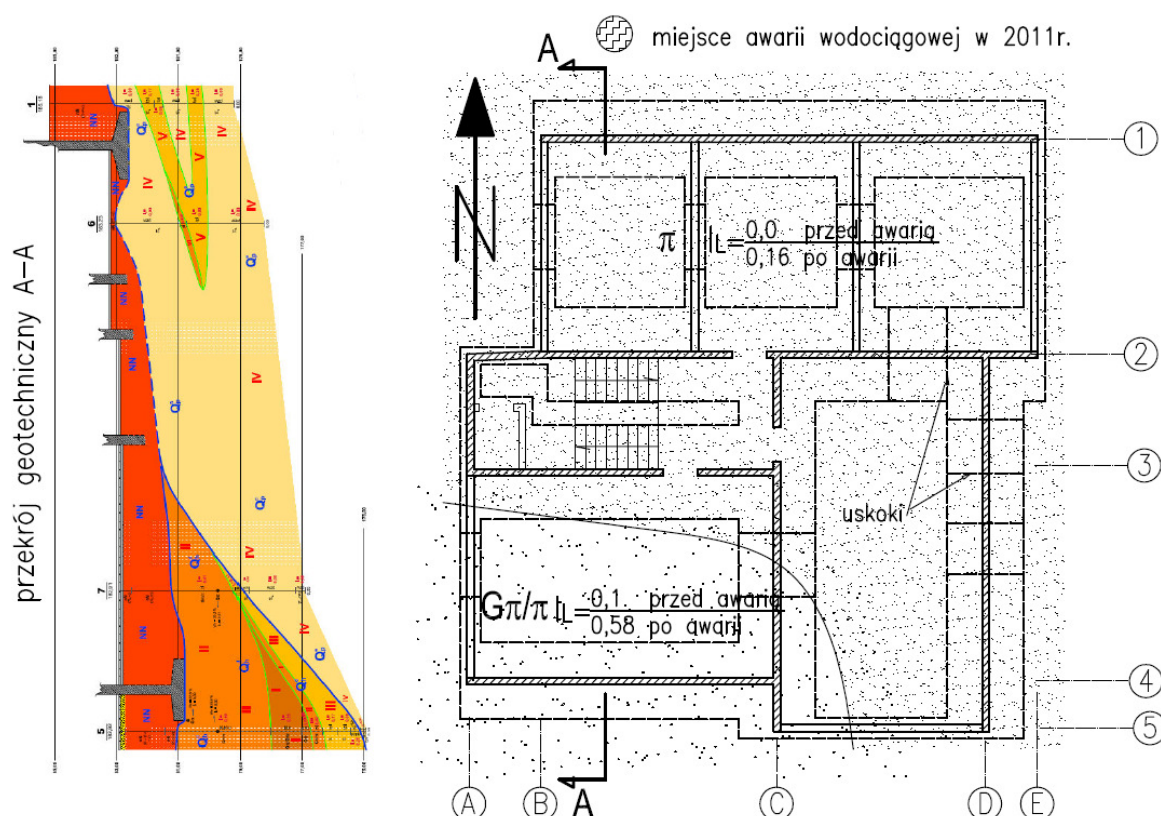
Wskaźniki zarejestrowały awarię wodociągową w lutym 2011 r. Rysa pokazana na rys. 4b) zwiększyła po awarii szerokość o 0,4 mm w górnej części przyrządu, z brakiem wyraźnej zmiany w dolnej części. Świadczy to o obrocie w rysie z powodu osiadania fundamentów od strony północnej budynku, narażonej na bezpośrednie działanie wody. W okresie następnych dwóch lat obserwuje się stopniowe poszerzanie rysy o 5–10% jej pierwotnej szerokości. Z kolei zarysowanie widoczne na rys. 4a w wyniku awarii zwiększyło szerokość w dolnej części,

równocześnie zmniejszając szerokość w części górnej, a więc wystąpił obrót o 0,85 stopnia. W ciągu następnych dwóch lat część odkształceń w rysie uległa zanikowi, proporcjonalnie w górnej i dolnej części wskaźnika. Wskaźnik ten został niestety zdjęty przez właściciela mieszkania, w którym był zamontowany, uniemożliwiając kontynuację pomiarów.

Pomiary wykonane w ostatnim okresie na obydwu rysach (w trzy lata po awarii wodociągowej) wykazały stabilizację ich szerokości.

5. Właściwości i nośność podłoża gruntowego

Z okresu budowy nie zachowały się żadne informacje na temat warunków gruntowych w poziomie posadowienia fundamentów budynku.



Rys. 6 Warunki posadowienia budynku: przekrój geotechniczny i rzut fundamentów z naniesionymi parametrami gruntu

Badania podłoża gruntowego przeprowadzono w roku 2009 (przed awarią wodociągową) oraz 2011 (bezpośrednio po awarii). Układ warstw podłoża gruntowego w poziomie posadowienia pokazano na rys. 6. Pod fundamentami większej części budynku znajdują zapadowe pyły lessowe twardoplastyczne stanowiące dobre podłoże gruntowe w przypadku, gdy nie są nawodnione. Ich stopień plastyczności przed awarią wynosił $I_L = 0$, a po awarii $I_L = 0,16$. Natomiast w narożu południowo-zachodnim pyły te zalegają dopiero na głębokości 6 m poniżej poziomu terenu. Powyżej natrafiono na warstwy gruntów napływowych o miąższości 4 m, sięgające poziomu posadowienia. Grunty te określono jako wilgotne o stopniu plastyczności $I_L = 0,1-0,2$ przed awarią, który po awarii wzrósł do $I_L = 0,4-0,58$. Można przypuszczać, że w tej części terenu istniało lokalne zagłębienie, do którego pył lessowy był znoszony z terenu wyżej położonego i transportowany wodami opadowymi. Warstwa ta cechuje się mniejszym

stopniem konsolidacji i jest bardziej podatna na odkształcenia. Znaczny spadek terenu zmniejsza wsiąkanie wód poroztopowych i opadowych w głąb podłoża. Jednak jeśli wystąpi ono w czasie np. gwałtownych opadów (rys. 7) lub awarii sieci wodociągowo-kanalizacyjnej, to spływ wody będzie odbywał się w kierunku dawnego zagłębienia, na którym zlokalizowany jest południowo-zachodni narożnik budynku.



Rys. 7 Maj 2007 – ulica, przy której stoi wieżowiec okresowo zamieniana w rzekę

Przeprowadzone uproszczone obliczenia nośności podłoża gruntowego, jako ośrodka sprężystego o parametrach wyznaczonych na podstawie badań, wskazują na jego wystarczającą nośność pod całym budynkiem w warunkach braku zawilgocenia. Jednak istnienie nieskonsolidowanego gruntu w narożniku pół-zach spowodowało znacznie większe osiadanie tego narożnika niż pozostałej części budynku, a w konsekwencji przechylenie budynku. Dodatkowym czynnikiem były okresowe wzrosty zawilgocenia gruntu, zwiększające jego plastyczność. Zwiększenie stopnia plastyczności do wartości zarejestrowanych po awarii wodociągowej wiąże się ze zmniejszeniem nośności gruntu o 62%.

6. Nośność ścian

Sprawdzenie nośności betonowych ścian budynku przeprowadzono dla przechylającej się ściany w osi '3' jako wydzielonego elementu, uwzględniając w obliczeniach mimośród wynikający z jej wychylenia. Stwierdzono, że pomimo niskiej klasy betonu poziom jej wyężenia waha się od 12% na 9-ej kondygnacji do 86% na 1-ej kondygnacji. Oznacza to wystarczającą nośność ścian budynku przy aktualnym poziomie wychylenia.

Po przeprowadzeniu dodatkowych symulacji stwierdzono, że ściana w osi '3' osiągnęłaby obliczeniową nośność przy jej wychyleniu o 450 mm, tj. 1,67% (aktualnie 1,3%). W odniesieniu do bryły budynku traktowanej jako całość odpowiada to odchyleniu narożnika pół.-zach. od pionu o 435 mm. Obecnie zgodnie z wynikami badań geodezyjnych wynosi ono 334 mm, a więc jest o ok. 100 mm mniejsze.

7. Podsumowanie i wnioski

Odchylenie budynku od pionu zauważono wkrótce po jego zasiedleniu. Prawdopodobne wydaje się, że mogło ono wystąpić już w trakcie wznoszenia budynku. Przemieszczenia górnych krawędzi ścian wynosiły od 222 do 345 mm. Wychyleniu budynku towarzyszą przemieszczenia pionowe – osiadanie ściany południowej i częściowo zachodniej, wypiętrzanie ścian północnej i wschodniej. Świadczy to o obrocie bryły budynku w płaszczyźnie pionowej.

Jako bezpośrednią przyczynę wychylenia budynku należy uznać nierównomierne osiadanie budynku w wyniku obecności słabiej skonsolidowanych pyłów napływowych w obrębie narożnika płd-zach. Istniejące w tym miejscu dawne zapadlisko terenu stanowi rodzaj zbiornika, gdzie okresowo następuje zwiększenie zawilgocenia podłoża, jego uplastycznienie i w związku z tym zwiększone odkształcanie i osiadanie budynku. Tempo osiadania budynku w ostatnich latach uległo znacznemu wyhamowaniu.

Zarysowania ścian świadczą o tym, że w wyniku zaistniałych nierównomiernych osiadań pojawiały się w przeszłości w ścianach znaczne naprężenia rozciągające. Stabilizacja szerokości rys w ostatnim okresie oznacza, że w wyniku tych zarysowań zaszła redystrybucja naprężeń pod fundamentami. Stabilizacja ta potwierdzona jest również brakiem przyrostu przechylenia budynku.

Skutki awarii wodociągowej (zmiana wychylenia oraz zmiana szerokości rys) zobrazowały charakter lessowego podłoża, wrażliwego na zmiany wilgotności. Paradoksalnie, wystąpienie awarii wodociągowej po stronie północnej budynku przyczyniło się do zmniejszenia wychylenia budynku.

Ze względu na brak pełnej stabilności budynku w warunkach okresowej zmiany stopnia plastyczności gruntu zalecono wzmocnienie podłoża gruntowego w strefie jego posadowienia w obrębie narożnika płd-zach. np. metodą iniekcji strumieniowej, a także stężenie budynku obejmami w przyziemiu. Jednak działanie to ze względu na skromne warunki finansowe mieszkańców okazało się w najbliższym czasie nierealne.

Ze względu na wyhamowanie procesu osiadania zalecono dalszą wnikliwą obserwację wychyleń, zwłaszcza po okresie jesienno-zimowym i okresie podtopień ulicy. Jeśli wychylenie wzrosłoby do poziomu 380–400 mm szybkie działania będą niezbędne.

Literatura

1. Szaferin J. Ekspertyza techniczna dotycząca oceny nośności budynku mieszkalnego przy ul. Głębokiej 21 w Lublinie, styczeń 2010.
2. Fronczyk J., Jarosz A. Ekspertyza techniczna o stanie technicznym przyziemia, fundamentów i warunków posadowienia budynku wielorodzinnego przy ul. Głębokiej 21 w Lublinie, po awarii wodociągowej, marzec 2011.

ANALYSIS OF THE TILTING OF THE BUILDING FROM 60-IES OF THE XX C.

Abstract: The tilt of a 10-storey building was observed soon after erection. In the paper the analysis of the results of geodetic measurements of deflection in connection with crack pattern of the building structure is presented. The influence of the subsoil and the failure of the water supply network in the vicinity of the building on its behavior was considered.

Keywords: building tilt, non-uniform settlement of foundation.