

# Analiza posadowienia budynku wychylonego z pionu wskutek osiadania fundamentów

Dr inż. Krzysztof Trojnar, Politechnika Rzeszowska

## 1. Wprowadzenie

W trakcie realizacji dwukondygnacyjny budynek mieszkalny uległ wychyleniu z pionu wskutek nierównomiernego osiadania fundamentu. Podobne przypadki występują często, gdy obiekty są posadowione na uwarstwionym, słabym podłożu z nachylonym stropem warstwy nośnej. Przeanalizowano i wyjaśniono przyczyny awarii i podano sposoby zabezpieczenia budynku.

## 2. Charakterystyka obiektu w stanie awaryjnym

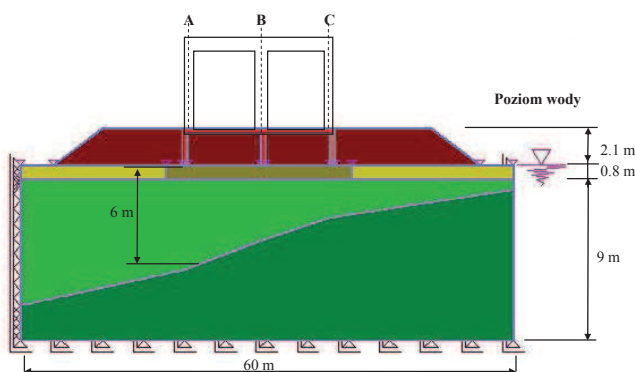
Wzniesiony obiekt jest budynkiem wolnostojącym, dwukondygnacyjnym, nie podpiwniczonym. Wymiary rzutu fundamentów w planie wynoszą 12,60 x 9,60 m. Budowę realizowano według dokumentacji typowej z wprowadzeniem zmian w części dotyczącej fundamentów. Zdecydowano się wykonać posadowienie na warstwie wymienionego gruntu o miąższości 0,8 m, ułożonego w szeroko-przestrzennym wykopie. Zgodnie z założeniami projektowymi, naprężenia graniczne podłoża pod fundamentem budynku nie powinny przekroczyć 150 kPa. W trakcie robót budowlanych związanych z wykonaniem fundamentu zmniejszono szerokości

ław fundamentowych z 60 do 30 cm i zwiększono ich wysokość z 30 do 40 cm. Podwyższono ściany fundamentowe przyziemia z 1,10 do 1,70 m, zmniejszając ich grubość z 30 do 20 cm, dodając wieńce zbrojone czterema prętami  $\varnothing 12$ . Zmieniono też sposób posadowienia środkowej ściany budynku z grupy fundamentów stopowych na ciągłą ławę. Ławy fundamentowe wykonano z betonu B15 uzbrojonego 6 prętami  $\varnothing 12$  i strzemionami  $\varnothing 6$  co 20 cm ze stali St3X.

Po wykonaniu ścian, stropu, dachu i zamontowaniu stolarki okiennej stwierdzono nierównomierne osiadanie fundamentów. Wyniki pomiarów niwelacyjnych reperów zainstalowanych w narożach przeciwległych ścian przyziemia budynku wykazały różnicę wysokości 22 cm, a w kierunku prostokątym 1,20 cm. Na podstawie wykonanej odkrywki fundamentu stwierdzono, że zagłębienie ścian przyziemia w gruncie jest większe o 1 m niż pierwotnie zakładano i wynosi 2,10 m. Pod ławą fundamentową jest warstwa wymienionego gruntu o miąższości około 0,6 m, a niżej 0,2 m warstwa separacyjno-odsączająca wykonana ze żwiru i geowłókniny.

## 3. Rozpoznanie geotechniczne podłoża

Podstawę wprowadzenia zmian w dokumentacji projektowej obiektu stanowiły niepełne badania geotechniczne. Zakres badań był uzgodniony z inwestorem i projektantem konstrukcji budynku. Wykonano tylko jeden otwór badawczy do głębokości 4,5 m bez określania parametrów geotechnicznych gruntu i sondowanie lekką sondą dynamiczną w pięciu miejscach do głębokości w granicach 2,4–3,5 m ppt. Wykonano też pomiary zwierciadła wody gruntowej i badania makroskopowe gruntu oraz określono jego wytrzymałość na ścinanie i ściskanie. Pierwsze sondowanie i otwór wiertniczy zlokalizowano pod projektowanym budynkiem. Pozostałe miejsca sondowań były zlokalizowane poza obrysem budynku. Poniżej warstwy wymienionego gruntu w podłożu zalegają młode grunty organiczne o niskich para-

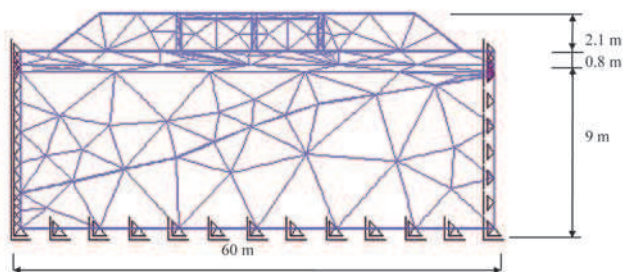


**Rys. 1.** Schemat układu konstrukcyjnego budynku i warunków geotechnicznych podłoża

metrach wytrzymałościowych – dla ścinania  $\tau = 0,01\text{--}0,03$  MPa, dla ściskania  $\sigma = 0,02\text{--}0,10$  MPa, o miąższości do 6 m. Głębiej występują grunty pylaste w stanie twaroplastycznym. Po wystąpieniu osiadania budynku wykonano dodatkowe wiercenia geotechniczne do głębokości 10 m ppt. w celu zweryfikowania budowy podłoża. Badania wykazały, że budynek został zlokalizowany w słabym podłożu o niejednorodnej budowie, o nachylonym stropie warstwy nośnej w kierunku pobliskiego potoku.

#### 4. Analiza współpracy fundamentu z podłożem gruntowym

W celu ustalenia współpracy fundamentu z podłożem, przeanalizowano jego nośność i przemieszczenia z uwzględnieniem nachylenia stropu mocniejszej warstwy podłoża. Do analizy zastosowano model obliczeniowy z zastosowaniem metody elementów skończonych (MES). Obliczenia wykonano za pomocą programu HydroGeo [1]. Schemat dyskretyzacji modelu obliczeniowego pokazano na rysunku 2. Uwzględniono sprężysto-plastyczny model podłoża Coulomba-Mohra i przyjęto parametry podłoża określone na podstawie badań geotechnicznych [4]. Efektem analizy obliczeniowej było ustalenie rozkładu naprężenia w podłożu i ocena zachowania się



Rys. 2. Dyskretyzacja modelu obliczeniowego MES

budynku w kolejnych etapach jego budowy.

Analizowano następujące etapy robót:

- etap 1; stan naprężeń pierwotnych w podłożu gruntowym i wymiana gruntu w wykopie,
- etap 2; wykonanie fundamentu na warstwie ulepszonego podłoża,
- etap 3; wykonanie zasyпки wewnątrz budynku do poziomu „0”,
- etap 4; podwyższenie terenu wokół budynku do poziomu „0”,
- etap 5; sprawdzono obliczeniowo możliwość wyprostowania budynku przez odciążenie podłoża od strony potoku, w celu powstrzymania przyrostu osiadań. Odciążenie polegało na wymianie gruntu w nasypie podwyższającym teren i we wnętrzu przyziemia budynku na lekki żużel o ciężarze mniejszym o 50% w porównaniu z gruntem rodzimym. Jednocześnie

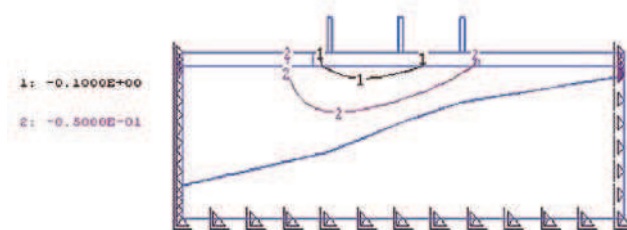
Tabela 1. Wyniki obliczeń osiadania ław fundamentowych budynku (pokazanych na rysunku 1)

Etap obliczeń	Wartości osiadania ław fundamentowych [cm]			Pochylenie budynku (różnica osiadań A–C) [cm]
	zewnątrznej (A) na rys. 1	środkowej (B) na rys. 1	zewnątrznej (C) na rys. 1	
1	brak osiadań (stan naprężeń pierwotnych w podłożu)			0,00
2	11,65	12,75	7,76	3,89
3	31,65	40,00	19,73	11,92
4	50,75	47,87	28,43	22,32
5	22,08	26,84	23,46	-1,38

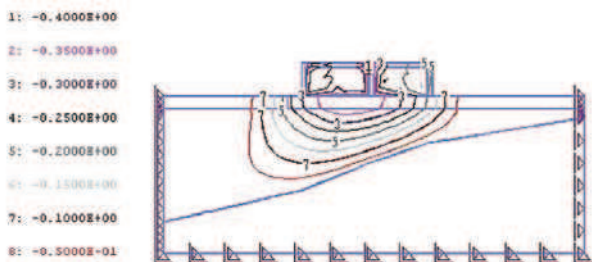
z wymianą gruntu od strony potoku należało wzmocnić fundamenty palami iniekcyjnymi, które przejęłyby nowe obciążenia. Aby uniknąć wypierania gruntu spod ław fundamentowych prace należało wykonywać odcinkami o ograniczonej długości około 2 m. Wartości osiadania ław fundamentowych i pochylenie budynku w poszczególnych etapach zestawiono w tabeli 1 i na rysunkach 3–7.

Przemieszczenia podłoża wyznaczone w etapie 4 wykazały, że budynek przemieścił się jako quasi-sztyw na konstrukcja skrzyniowa oparta na 80-cm warstwie wymienionego gruntu pod fundamentami. Ponieważ w czasie budowy nie wykonywano pomiarów niwelacyjnych względem stałego reperu, nie można było ustalić bezwzględnych wartości osiadań budynku. Wyniki obliczeń odniesiono więc do wartości pochylenia budynku określonej jako różnica osiadań fundamentów zewnętrznych ścian budynku. Uzyskano zadowalającą zgodność wartości obliczonych z pomierzonymi geodezyjnie. Obliczona wartość maksymalnych naprężeń w wymienionej warstwie gruntu pod fundamentem nie przekroczyła 80 kPa i była prawie dwukrotnie mniejsza od wartości granicznej przyjętej do projektowania.

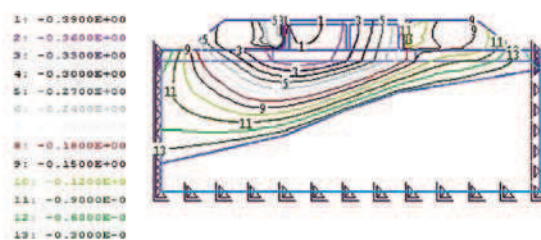
Ustalony obliczeniowo rozkład odkształceń podłoża pod budynkiem w poszczególnych etapach budowy wskazuje, że decydujący wpływ na nierówno-



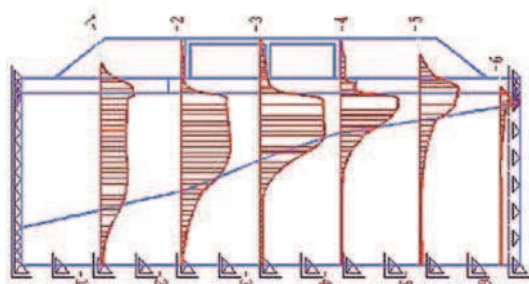
Rys. 3. Osiadanie podłoża po wykonaniu fundamentu i ścian przyziemia (etap 2)



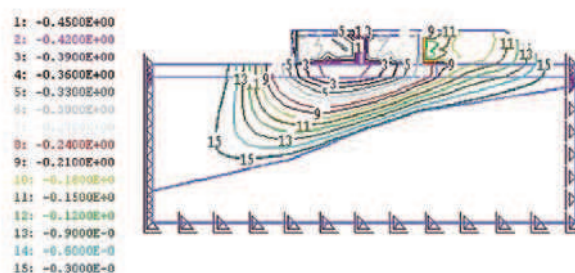
**Rys. 4.** Osiadanie po wykonaniu zasypki do poziomu „0” wewnątrz budynku (etap 3)



**Rys. 5.** Osiadanie po zasypaniu gruntem ścian przyziemia do poziomu „0” (etap 4)



**Rys. 6.** Rozkład odkształceń podłoża gruntowego po podwyższeniu terenu wokół budynku (etap 4)



**Rys. 7.** Osiadanie podłoża po częściowym usunięciu gruntu od strony większych osiadań (etap 5)

mierne osiadanie fundamentu miało zróżnicowanie miąższości ściślej warstwy gruntu. Analiza przyrostów osiadań w poszczególnych etapach budowy wykazała, że przyjęcie odpowiedniej kolejności prac związanych odciążeniem podłoża od strony występowania większych osiadań i wzmocnieniem fundamentu, korzystnie wpływa na ustabilizowanie budynku. W praktyce nie jest jednak możliwe całkowite zredukowanie wychylenia budynku z pionu ze względu na trudne do oszacowania wartości trwałych odkształceń podłoża. Wynikają one z konsolidacji i zjawisk reologicznych zachodzących w gruncie [4, 5]. Przyjęto, że mogą one stanowić do 50% całkowitych wartości osiadań.

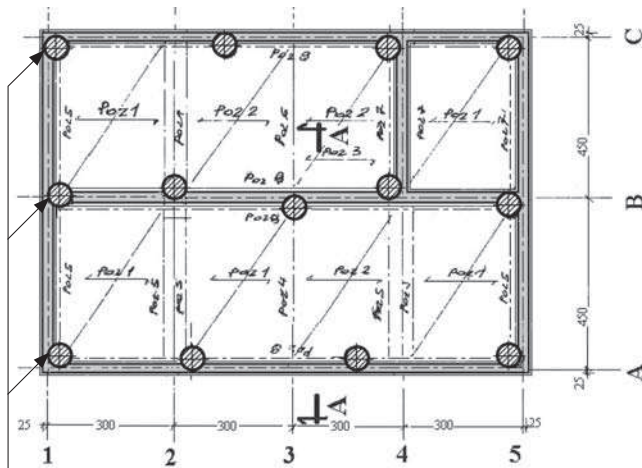
## 5. Sposób wzmocnienia fundamentów

Pozostawienie obiektu bez zabezpieczeń doprowadziłoby do dalszych nierównomiernych osiadań fundamentów, a tym samym do wyłączenia go z eksploatacji. W zaistniałej sytuacji należało wzmocnić podłoże lub przenieść obciążenia przekazywane w podłoże na niżej położoną warstwę nośną. Ze względu na stosunkowo niewielkie wychylenie budynku z pionu, zrezygnowano ze stosowania technik umożliwiających „wprostowanie” budynku i zdecydowano się jedynie wzmocnić fundamenty [6]. Rozważono wzmocnienie fundamentów z zastosowaniem wierconych mikropali iniekcyjnych lub wykonanie pali jet grouting. W celu uniknięcia zginania trzonów mikropali pod obciążeniem, zało-

żono ich wykonanie w układzie koźłowym z poziomu terenu, od zewnątrz i od wewnątrz budynku z pochyleniem 30° do pionu, przewiercając ukośnie ławy fundamentowe. Długość trzonów mikropali powinna wynosić 12 m. Spośród rodzajów mikropali możliwych do zastosowania wybrano system TITAN. Umożliwia on wiercenie otworu w gruncie za pomocą specjalnej żerdzi pod osłoną płuczki cementowej. Po zakończeniu wiercenia, zarówno stalowa żerdź zakończona koronką oraz płuczka z zaczynu cementowego są elementami konstrukcyjnymi mikropala o średnicy 30 cm. W celu usztywnienia konstrukcji budynku należało też wykonać stalowe rozparcie ścian od wewnątrz na poziomie „0”. Ze względu na znaczny koszt wykonania mikropali zrezygnowano z ich stosowania, decydując się na rozwiązanie alternatywne z zastosowaniem pali wykonanych metodą jet grouting. Wzmocnienie polegało na wykonaniu pod ławami fundamentowymi pali cementowo-gruntowych średnicy 60 cm o zróżnicowanej długości 9–12 m. Długość pali ustalono z warunku zagłębienia ich co najmniej 5,5 m w warstwie nośnej podłoża. Osie pali były zlokalizowane w odległości 20 cm od osi ław fundamentowych, w siatce o wymiarach boków 3 x 4,5 m. Na rysunku 8 pokazano rzut przyziemia budynku i rozmieszczenie pali typu jet grouting, a na rysunku 9 przekrój poprzeczny środkowej ławy fundamentowej po jej wzmocnieniu.

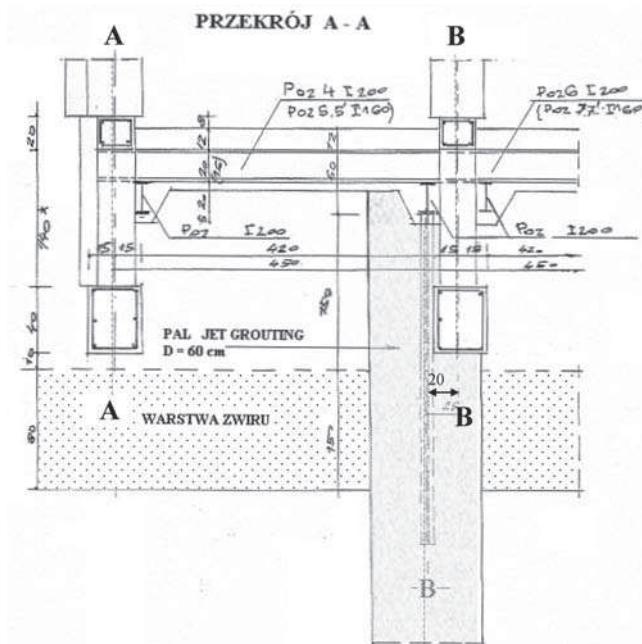
Do wzmocnienia fundamentu budynku zastosowano 13 pali o łącznej długości 94 mb. Obciążenie przypadające na jeden pal wynosi 27 kN i wynika





Pale jet grouting o średnicy 0,6 m i długości 9–12 m, rozmieszczone częściowo pod ławami fundamentowymi, zespolone na górnych odcinkach ze ścianami przyziemia

**Rys. 8.** Schemat rozmieszczenia pali jet grouting w sąsiedztwie ław fundamentowych



**Rys. 9.** Przekrój poprzeczny wzmocnienia środkowej ławy fundamentowej (B) z zastosowaniem pali grunto-cementowych jet grouting

to z nośności żelbetowych ław fundamentowych. Górne odcinki pali o długości 3 m były uzbrojone kształtownikiem stalowym I 140 wyposażonym w stalowe kotwy zespalające stalowy rdzeń z tworzywem grunto-cementowym pala. W celu zabezpieczenia ścian działowych budynku przed zarysowaniem w skutek działania sił rozporowych, zastosowano nowy strop żelbetowy na poziomie „0”. Strop spoczywa na stalowym ruszcie z I 200. Kształtowniki rusztu są zamocowane w ścianach przyziemia i spo-

czywają na głowicach pali jet grouting. Szttywne połączenie dźwigarów rusztu z głowicami pali i ich zabezpieczenie antykorozyjne uzyskano przez obetonowanie.

## 6. Podsumowanie

Pierwotny zakres badań geotechnicznych okazał się niewystarczający do prawidłowego rozpoznania budowy podłoża. W przyjętym rozwiązaniu posadowienia nie uwzględniono nachylenia stropu mocniejszej warstwy podłoża. Autorska ekspertyza wykazała, że zróżnicowanie miąższości warstwy ściśliwego gruntu organicznego, na której posadowiono budynek miało istotny wpływ na jego nierównomierne osiadanie. Projektant poprzestał na sprawdzeniu naprężeń w podłożu budynku, wywołanych obciążeniem przekazywanym przez fundament – pominał obliczenie osiadań. Przyjął do obliczeń naprężenia graniczne w stropie wymienionej warstwy gruntu, a nie przeanalizował nośności warstwy niżej usytuowanej. Podwyższenie poziomu terenu wokół budynku wykonane w trakcie budowy wpłynęło niekorzystnie na dociążenie słabego podłoża i zwiększenie wychylenia budynku z pionu. Analiza obliczeniowa wykazała, że po wystąpieniu nierównomiernego osiadania budynku, odpowiednie etapowanie prac związanych ze wzmocnieniem, polegające na częściowej wymianie gruntu od strony występowania większych osiadań na lżejszy, mogłoby korzystnie wpłynąć na powstrzymanie procesu osiadań budynku. Zastosowanie pali jet grouting według autorskiej koncepcji spełniło ustalone kryteria przy poszukiwaniu racjonalnego sposobu wzmocnienia istniejących fundamentów. O ostatecznym wyborze rozwiązania wzmocnienia metodą jet grouting zdecydował mniejszy koszt wykonania ustalonego zakresu robót.

## LITERATURA

- [1] Dłużewski J., Programy elementów skończonych dla geotechniki. Politechnika Warszawska 1997
- [2] Florkiewicz A., Nośność warstwy gruntu spoczywającej na podłożu o nachylonym stropie. Mat. XII Krajowej Konf. Mechaniki Gruntów i Fundamentowania, Międzyzdroje 2000
- [3] Gryczmański M., Analiza współdziałania budowli z podłożem, Mat. I Problemowej Konf. Geotechniki; Współpraca Budowli z Podłożem Gruntowym, Białystok – Wigry 1998
- [4] Meyer Z., Bednarek R., Uproszczony model osiadania gruntu organicznego z wykorzystaniem wpływu właściwości reologicznych. Inżynieria Morska i Geotechnika 5/2001
- [5] Meyer Z., Chruściel S., Osiadanie dużych fundamentów sztywnych. Inżynieria Morska i Geotechnika 6/2001
- [6] Trojnar K., Pietrzyk A., Analiza osiadań budynku na podłożu o nachylonym stropie warstwy nośnej. Mat. XXI Konf. Naukowo-Technicznej „Awary Budowlane”, Międzyzdroje 2003