



KRZYSZTOF STERNIK, *Krzysztof.Sternik@polsl.pl*
KRZYSZTOF GROMYSZ, *Krzysztof.Gromysz@polsl.pl*
Politechnika Śląska w Gliwicach

PODBICIE FUNDAMENTÓW JAKO SPOSÓB NA STABILIZACJĘ WYCHYLONEGO BUDYNKU

UNDERPINNING AS A WAY FOR STABILIZATION OF A DEFLECTED BUILDING

Streszczenie Kamienica w Bytomiu przechyliła się w wyniku posadowienia na niejednorodnym ściślimym podłożu. Nośność słabego podłoża przekoczona została kilkukrotnie. Aby ustabilizować budynek I zabezpieczyć go przed dalszymi wychyleniami zaproponowano podbicie fundamentów kolumnami jet-grouting i mikropalami wciskanyymi i wierconymi.

Abstract The building in Bytom is deflected as a result of foundation on the inhomogeneous compressible ground. Low bearing capacity of the ground has been exceeded several times. In order to stabilize the building and protect it from further tilting, underpinning of the foundations by means of jet grouting columns as well as pressed and drilled micropiles has been proposed.

1. Wstęp

W gęstej zabudowie centrum Bytomia zlokalizowana jest czterokondygnacyjna kamienica, która na przestrzeni lat wykazuje tendencję do wychylania się. Wysokość kamienicy zmieniła się pod koniec lat 60-tych w wyniku nadbudowania ostatniej kondygnacji, co spowodowało wzrost nacisków na podłoże i uaktywnienie nierównomiernych osiadań. Pomiarzy prowadzone systematycznie od marca 2008 r. nie wykazują wyraźnego wzrostu przemieszczeń. Przyczyn wychylenia budynku od pionu upatrywać należy zarówno w nierównomiernym obniżaniu terenu górniczego jak i w posadowieniu budynku na gruntach słabych o zmiennej miąższości.

Na wniosek właściciela kamienicy został opracowany projekt podbicia fundamentów. Ze względu na konieczność wzmocnienia fundamentów praktycznie na całym rzucie budynku i utrudniony dostęp do części z nich niezbędne było zastosowanie aż trzech technologii: mikropali wierconych z iniekcją ciśnieniową [1, 2], mikropali wciskanych [3] oraz kolumn jet-grouting [4, 5].

2. Opis konstrukcji i stanu kamienicy

Przedmiotowy budynek został wzniesiony w technologii tradycyjnej (murowany) jako pojedyncza bryła bez dylatacji. Jest to budynek czterokondygnacyjny, podpiwniczony (rys. 1). Nad piwnicami znajdują się stropy odcinkowe, składające się ze stalowych belek dwuteowych i łukowatych sklepień z cegieł. Podłogi piwnic wykonano jako wylewki betonowe lub wyłożone cegłą, bez izolacji przeciwwilgociowej. Ściany nośne piwnic mają grubość ok. 1 m i wykonane są z cegieł. Stan budynku w poziomie parteru i piwnic jest dobry, nie wykazuje uszkodzeń innych niż wynikające z normalnej wieloletniej eksploatacji. Ze względu na

występujące deformacje górnicze budynek jest skotwiony w dwóch kierunkach w poziomach stropów każdej kondygnacji.

Generalnie, z wyjątkiem jednego miejsca, w piwnicach nie stwierdzono zawilgoceń ścian, czy śladów zalewania przez wodę gruntową. W miejscu zalewania w podłodze piwnicy wykonana jest rząpia i zainstalowana pompa usuwająca wodę.

Budynek posadowiony jest bezpośrednio na ławach fundamentowych. Poziom posadowienia jest zróżnicowany i wynosi od ok. 3,5÷4,4 m p.p.t., zaś poziom podłogi piwnic znajduje się na ok. 2,5÷3,0 m p.p.t.

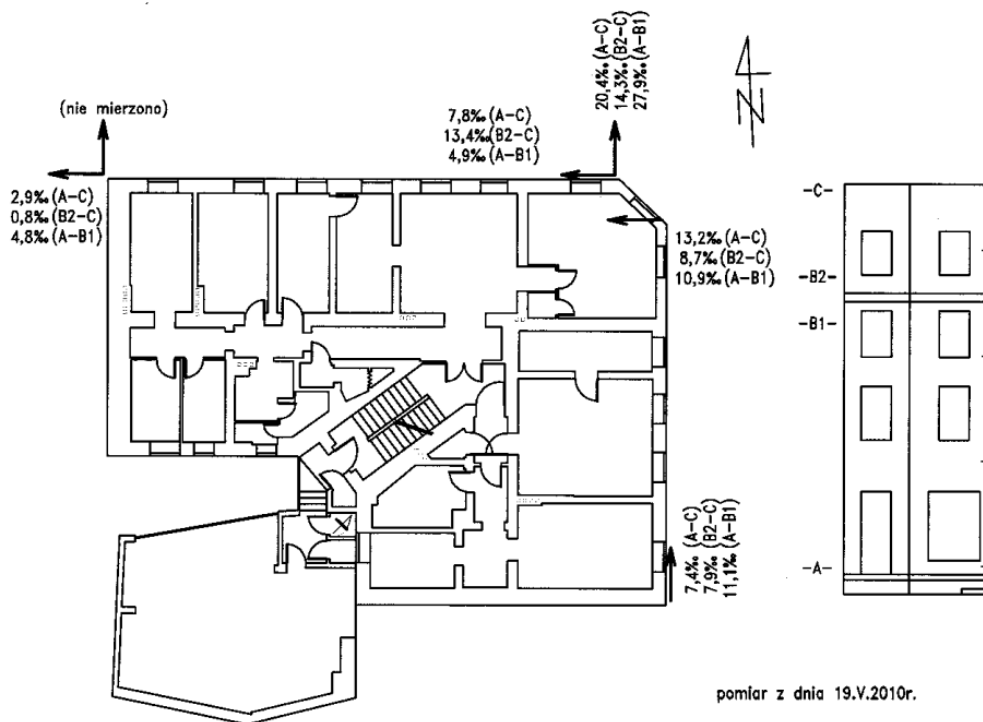
W przeszłości budynek poddawany był licznym modyfikacjom: zmieniała się funkcja i wielkość pomieszczeń piwnicznych. W chwili obecnej piwnice są w większości nie używane. Parter budynku przeznaczony jest na działalność handlową, na wyższych kondygnacjach mieszczą się mieszkania lub biura.



Rys. 1. Widok na elewację budynku od strony północno-wschodniej

3. Przemieszczenia kamienicy

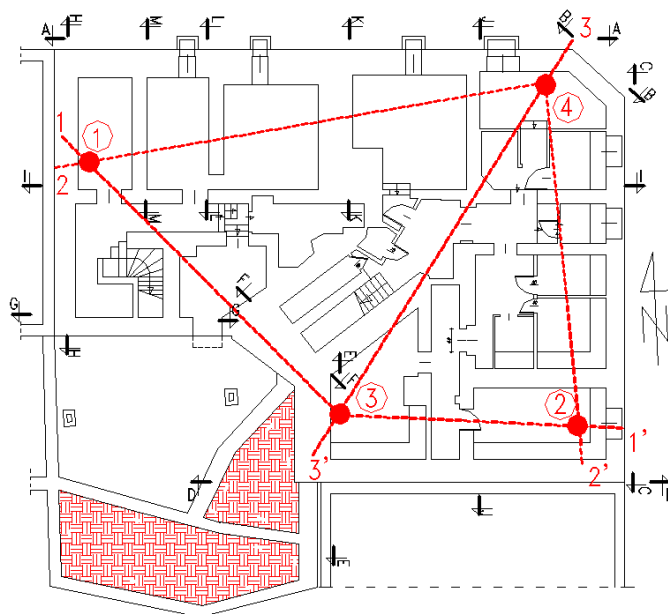
Budynek wychyla się nierównomiernie, głównie w kierunku północnym. Wchylenie zmierzone na elewacji północnej wynosi średnio 20,4‰ w kierunku północnym i 2,9÷7,8‰ w kierunku zachodnim. Wyniki pomiarów przeprowadzonych w maju 2010 r. pokazane są na rys. 2.



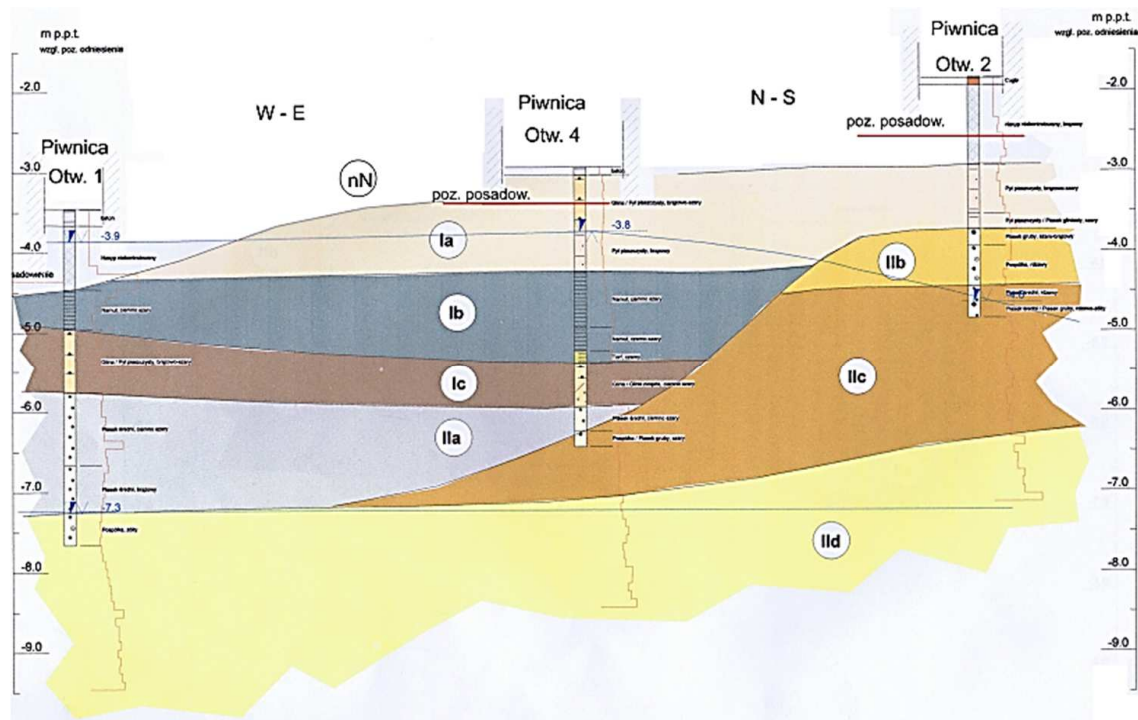
Rys. 2. Wyniki pomiarów wychyleń budynku

4. Warunki gruntowo-wodne w podłożu budynku

Podłoże rozpoznano czterema otworami badawczymi do głębokości maksymalnej 4,5 m poniżej poziomu podłogi piwnic. Stan gruntów niespoistych określono na podstawie sondowań dynamicznych sondą lekką wykonanych w sąsiedztwie otworów z dna odkrywek w podłożu piwnic. Rozmieszczenie otworów badawczych pokazuje rys. 3. Wybrany przekrój geotechniczny przedstawiający budowę podłoża zamieszczono na rys. 4.



Rys. 3. Rzut ścian piwnic z rozmieszczeniem otworów badawczych i przekrojów geotechnicznych



Rys. 4. Przekrój geotechniczny 2 – 2'

W przypowierzchniowej strefie podłoża w rejonie przedmiotowej kamienicy zalegają grunty czwartorzędowe złożone z nasypów niekontrolowanych o zmiennej miąższości oraz plejstocенских glin pylastych, pyłów i pyłów piaszczystych zalegających na piaskach i pospólkach glacialnych zlodowacenia środkowopolskiego. W obrysie fundamentów budynku dodatkowo stwierdzono występowanie gruntów zastoiskowych i organicznych tworzących pas zalegający pod północną ścianą budynku. Znajduje się tam lokalne, prawdopodobnie erozyjne, zagłębienie stropu osadów sypkich zlodowacenia środkowo-polskiego. Zagłębienie to zostało wypełnione utworami o charakterze starorzecza:

- w spągowej partii wypełniających osadów obserwuje się brązowe piaski średnie przechodzące w górę profilu w ciemno szare piaski średnie i drobne,
 - wyższa część profilu starorzecza to grunty spoiste (pyły, gliny pylaste, gliny, gliny – zwięzłe) o barwach szarych, ciemno szarych i szarobrązowych ze znaczną domieszką cząstek organicznych – humusu,
- w stropowej partii osadów wypełniających zagłębienie ich pochodzenie zmienia się na jeziorne – czarny namuł gliniasty z wkładkami torfu.

Przyjęto (zgodnie z profilem otworu nr 4), że osady wypełniające zagłębienie erozyjne są przynajmniej częściowo przykryte glinami pylastymi zlodowacenia bałtyckiego.

Ostatecznie dla terenu posadowienia budynku mieszkalnego wydzielonych zostało 7 warstw geotechnicznych. Charakteryzują się one parametrami, których wartości charakterystyczne (średnie) zamieszczono w tabl. 1. Wartości parametrów mechanicznych gruntów określone zostały na podstawie rozpoznania rodzaju i stanu gruntów metodą B według normy PN-81/B-03020.

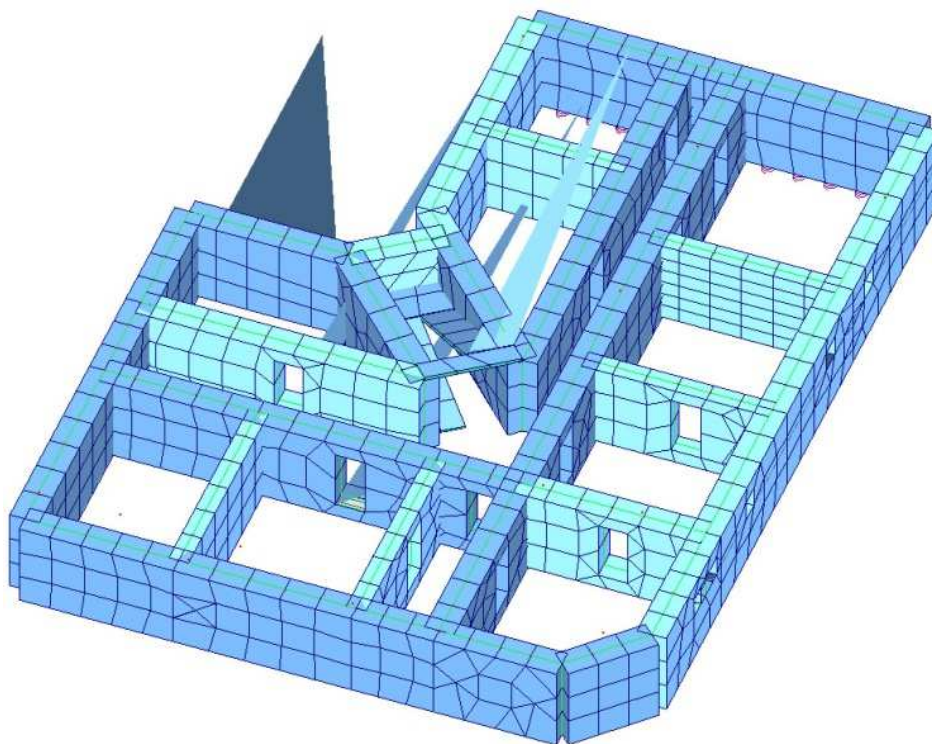
W podłożu stwierdzono dwa poziomy wodonośne. Pierwszy, górny zasilany jest przez infiltrację wody opadowej oraz z uszkodzonej kanalizacji burzowej podwórka kamienicy. Jego poziom kształtuje się na głębokości od 4,1÷4,7 m p.p.t. Drugi poziom wodonośny (zwierciadło swobodne) stwierdzono w otworze 1 na głębokości około 7,3 m pod p.p.t. w warstwie IIId. Poziom ten występuje około 3 m poniżej najniższego poziomu posadowienia.

Tablica 1. Wartości charakterystyczne parametrów gruntów podłoża kamienicy

Rodzaj gruntu	Nr warstwy	Wilgotność naturalna [%]	Stan I_L/I_D	Gęstość objęt. ρ [t/m^3]	Kąt tarcia ϕ [°]	Spójność c [kPa]	Moduł pierwotnego odkształcenia E_0 [MPa]
glina / pył piaszcz.	Ia	21,1	0,44	2,05	11	10	12,5
namuł gliniasty	Ib	82,4	0,46	—	—	—	—
namuł gliniasty	Ic	31,7	0,47	—	—	—	—
piasek średni	IIa	23,1	0,65	1,90	34	0	100
piasek grubo i pospółka	IIb	8,8	0,68	1,90	37	0	140
piasek średni	IIc	21,7	0,68	2,00	34	0	105
pospółka	IId	—	0,73	2,10	40,5	0	185

5. Zestawienie obciążeń podłoża

Rzut budynku w poziomie piwnic z oznaczonymi ścianami fundamentowymi pokazany jest na rys. 3. Wartości obciążeń przekazywanych na podłoże przez budynek zostały obliczone z wykorzystaniem programu metody elementów skończonych ROBOT. Wartości nacisków na 1 m długości ław fundamentowych wyznaczone zostały bez uwzględnienia współpracy budynku z podłożem i związanej z tym faktem redystrybucji obciążeń podłoża. W rzeczywistości wartości nacisków na podłoże mogą być do 30% mniejsze od wyznaczonych. Model MES kondygnacji piwnicznej budynku pokazany jest na rys. 5. Wyznaczone wartości obciążeń zestawione są w tabl. 2.

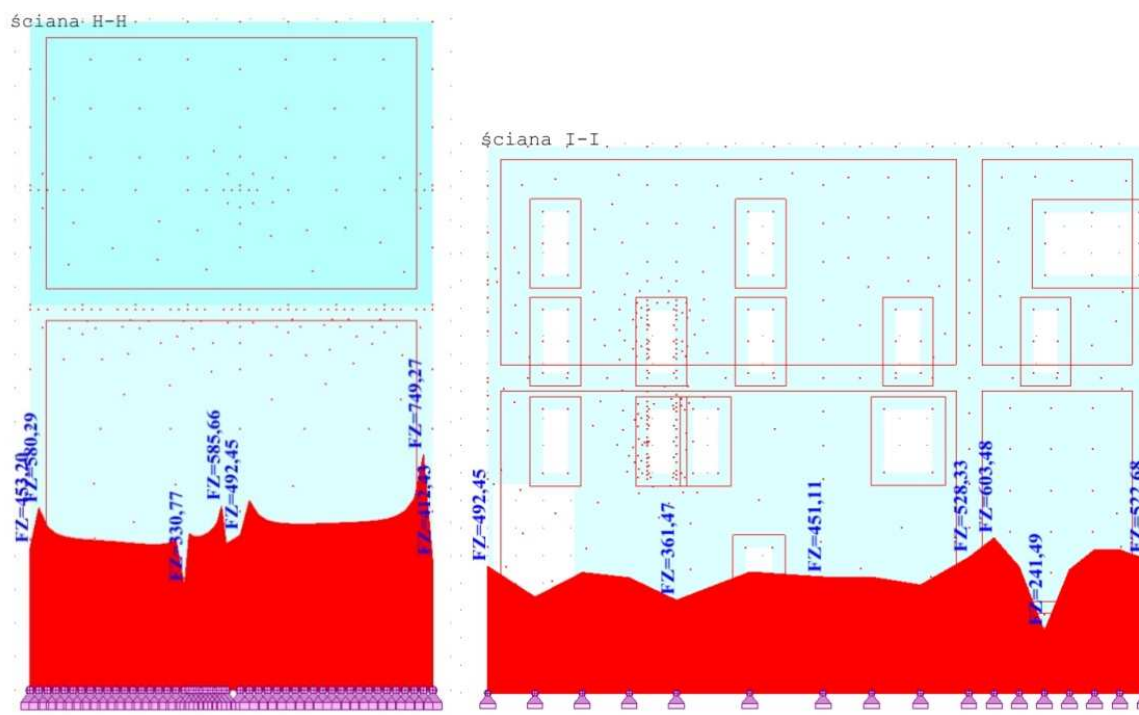


Rys. 5. Model MES kondygnacji piwnicznej

Tablica 2. Wartości obciążeń podłoża kamienicy

Ściana	Obciążenia [kN/m]
A-A	342÷501
B-B	426÷491
C-C	372÷579
D-D	384÷580
G-G	342÷552
H-H	331÷749
I-I	241÷603
K-K	101÷451
L-L	149÷361

Zaznaczyć należy, że wartości obciążeń większe od 500 kN/m występują lokalnie w miejscach, gdzie sumują się ciężary ścian bez otworów okiennych. Można zatem uznać, że miarodajnym obciążeniem przyjętym do zaprojektowania wzmocnienia fundamentów jest wartość 500 kN/m. Przykładowe rozkład obciążeń, uwzględniające maksymalną wartość reakcji podłoża pod budynkiem 749 kN/m, pokazuje rys. 6.



Rys. 6. Rozkład obciążeń podłoża pod ścianami H-H oraz I-I

6. Przyczyny nierównomierności osiadań

Przedmiotowa kamienica w części północnej (mniej więcej od połowy rzutu budynku) posadowiona jest na zalegających w przypowierzchniowej strefie gruntach słabych (namuły, gliny, pyły piaszczyste w stanie miękkoplastycznym $I_L \approx 0,5$). Dla tych gruntów można przyjąć wartości obliczeniowe parametrów jak dla warstwy I_a :

$$\rho = 2,05 \text{ g/cm}^3, \quad c = 9,5 \text{ kPa}, \quad \phi = 8^\circ$$

Obliczeniowy opór graniczny podłoża wynikający z obciążenia 1 m ławy fundamentowej o szerokości 1,0 m obciążonej osiowo wynosi:

$$mQ_{fNB} = 0,81 \cdot B [N_C \cdot c + N_D \cdot D_{min} \cdot \gamma_D + N_B \cdot B_{min} \cdot \gamma_B] \quad (1)$$

gdzie:

$$N_C = 8,3; \quad N_D = 2,45; \quad N_B = 0,19 \\ \gamma_D = 19 \text{ kN/m}^3; \quad \gamma_B = 18 \text{ kN/m}^3$$

Znaczący wpływ na wartość nośności podłoża ma minimalna głębokość posadowienia. W analizowanym przypadku jest to odległość od poziomu posadowienia do poziomu posadzki w piwnicach. Poziom posadowienia budynku jest zróżnicowany.

Gdy minimalna głębokość posadowienia wynosi $D_{min} = 0,7$ m (naroże północno-wschodnie budynku, rejon otworu badawczego nr 4) nośność podłoża wynosi 89 kN/m. Gdy minimalna głębokość posadowienia wynosi $D_{min} = 1,1$ m (naroże północno-zachodnie budynku, rejon otworu badawczego nr 1) nośność podłoża wynosi 104 kN/m.

Wobec wyliczonych obciążeń przekazywanych z budynku na podłoże sięgających lokalnie nawet 750 kN/m, a średnio zawierających się w przedziale 350÷450 kN/m, stwierdzić należy, że nośność podłoża jest przekroczone. Dyskusyjna pozostaje wielkość przekroczenia granicznego oporu podłoża. W budynku nie stwierdzono żadnych uszkodzeń w postaci pęknięć ścian i stropów, zatem nie jest pewne, że nośność podłoża gruntowego została przekroczone aż pięciokrotnie (tym bardziej siedmiokrotnie w ekstremalnym przypadku). Przypomnijmy, że konstrukcja budynku jest murowana ze stropami odcinkowymi nad piwnicami. Z pewnością na dobry stan budynku ma również wpływ jego dwukierunkowe skotwienie w poziomie każdej kondygnacji, stanowiące zabezpieczenie przed deformacjami górnymi.

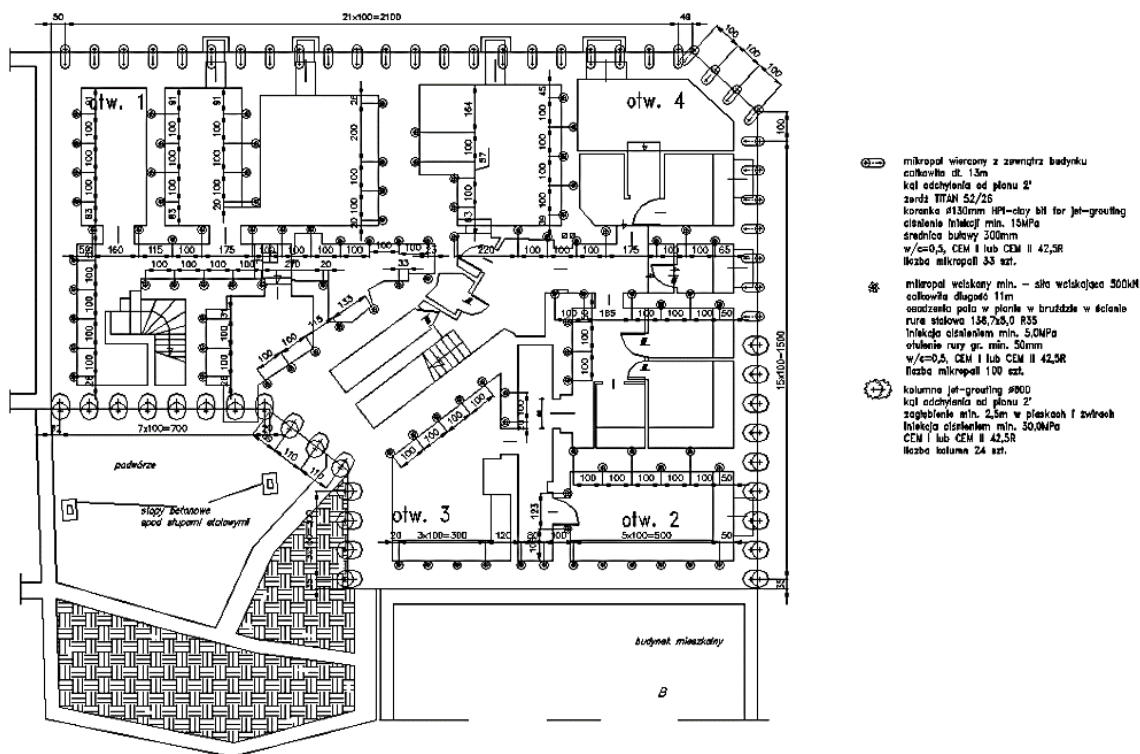
Zasadniczą przyczyną wychyleń budynku jest jego posadowienie w złożonych warunkach gruntowych. Część południowa budynku posadowiona jest na nasypie i warstwie pyłu w stanie plastycznym o miąższości nie większej niż 1 m podścielonej piaskami i pospółkami w stanie zagęszczonym, a część północna posadowiona jest na warstwie namulów i glin w stanie miękkoplastycznym o miąższości zmieniającej się od 1,6÷2,4 m, pod którymi zalegają piaski w stanie średniozagęszczonym.

7. Zaproponowany sposób wzmocnienia podłoża budynku

Ze względu na zaistniałe nierównomierne osiadania i wychylenie w kierunku północno-zachodnim przyjęto jako rozwiązanie wzmocniające fundamenty i stabilizujące budynek podbicie fundamentów mikropalami oraz wzmocnienie podłoża kolumnami wykonanymi w technologii iniekcji wysokociśnieniowej (jet-grouting). Ograniczenia techniczne w postaci ciasnych pomieszczeń piwnicznych oraz ich niedużej wysokości (często mniejszej niż 2 m) wymusiły zastosowanie dwóch technologii wykonania mikropali:

- mikropale wiercone z iniekcją strumieniową pod ciśnieniem 20 MPa z powierzchni terenu na zewnątrz budynku od strony północnej i wschodniej oraz częściowo w podwórzu,
- mikropale wciskane wykonywane w pomieszczeniach piwnicznych we wnękach wykutych w ścianach nośnych.

W części budynku, pod którą nie występują namuły i torfy zaprojektowano kolumny jet-grouting wykonane z zastosowaniem minimalnego ciśnienia iniekcji 30 MPa. Rozmieszczenie wszystkich elementów wzmocnienia fundamentów i podłoża pokazano na rys. 7.



Rys. 7. Rozmieszczenie kolumn jet-grouting i mikropali pod budynkiem

8. Podsumowanie

Śląsk jest obszarem, na którym występują odkształcenia terenu górniczego powodujące zniszczenia konstrukcji i ich nierównomierne przemieszczenia. W przedstawionym przypadku deformacje górnicze nie są jednak główną przyczyną wychyleń budynku. Niejednorodne osiadania powstały w wyniku zwiększonego nacisku budynku na podłoże. Pod budynkiem zalegają zarówno nośne średniozagęszczone piaski i żwiry, jak i ściśliwe namuły w stanie miękkoplastycznym. Te ostatnie zwykle konsolidują się przez wiele lat, co może stanowić zagrożenie dla posadowionej na nich konstrukcji.

Najprawdopodobniej tylko dzięki zabezpieczeniu konstrukcji na deformacje górnicze budynek wychylił się jako bryła sztywna, nie doznając uszkodzeń. Zaproponowane podbicie fundamentów kolumnami jet-grouting i mikropalami ma na celu ochronę przed dalszymi wychyleniami budynku w przyszłości. Zaproponowane rozwiązanie oczekuje na ostateczne zatwierdzenie i realizację.

Literatura

1. Przewodnik projektowy do systemu Ischebeck Titan.
2. Micropile Design and Construction Reference Manual, 2005, FHWA NHI-05-039.
3. Liew S.S., Fong C.C.: Design and Construction of Micropiles, Geotechnical Course for Pile Foundation and Design, Ipoh, 29-30 Sept. 2003.
4. Rybak Cz., Borys R., Noga L.: Iniekcja strumieniowa – nowoczesna technologia wzmacniania podłoża i posadowienia budowli. Inżynieria Morska i Geotechnika, 4/1993.
5. Żmudziński Z., Motak E.: Ocena obliczeniowa nośności pali wykonywanych metodą wysokociśnieniowej iniekcji strumieniowej. Problemy Naukowo-Badawcze Konstrukcji Inżynierskich. Monografia 194. Politechnika Krakowska. Kraków 1995.