

USZKODZENIA BUDYNKÓW MIESZKALNYCH W SĄSIEDZTWIE GŁĘBOKICH WYKOPÓW ZABEZPIECZONYCH OPOROWYMI ŚCIANAMI SZCZELINOWYMI

ZBIGNIEW PAJAŁ, e-mail: pajakz@poczta.onet.pl
Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

SŁAWOMIR KWIECIEŃ
JERZY SĘKOWSKI
MIROSŁAW WIECZOREK
Politechnika Śląska

Streszczenie: Podczas budowy nowego odcinka trasy drogowej doszło do uszkodzeń konstrukcji istniejących budynków mieszkalnych, położonych w sąsiedztwie głębokich wykopów zabezpieczanych oporowymi ścianami szczelinowymi. W referacie opisano przebieg zdarzenia, uszkodzenia budynków, podjęte doraźne i docelowe działania zabezpieczające. Przeanalizowano przyczyny awarii, oraz przedstawiono sposób naprawy powstałych uszkodzeń.

Słowa kluczowe: głębokie wykopy, ściana szczelinowa, ściana oporowa, poziome przemieszczenia, nierównomierne osiadania, naprawa uszkodzeń

1. Wstęp

Wykonywanie głębokich wykopów w zwartej zabudowie śródmiejskiej, w pobliżu lub bezpośrednim sąsiedztwie istniejących, najczęściej starych budynków, stwarza wiele problemów technicznych. Wiąże się to z potrzebą zabezpieczania wykopów różnymi obudowami, np. w postaci stalowych ścian szczelnych, ścian berlińskich, ścian szczelinowych, palisad. Problemy realizacji głębokich wykopów w pobliżu istniejącej zabudowy były już przedmiotem licznych publikacji, w tym także prezentowanych w materiałach konferencji „Awaryje Budowlane” [1, 2, 3, 4].

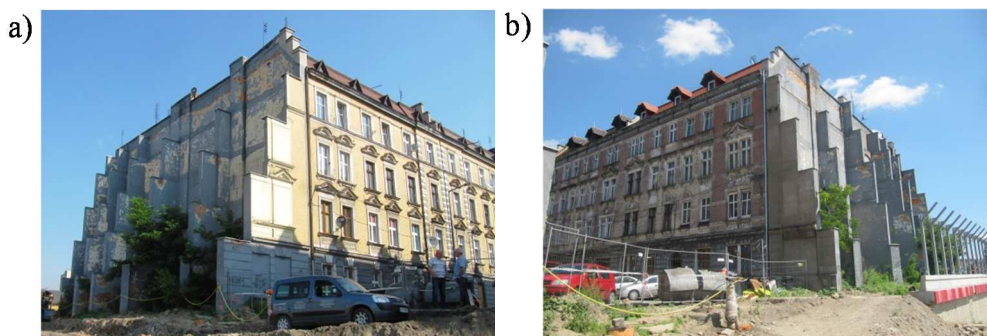
W referacie przedstawiono przykład wystąpienia awaryjnego stanu 100-letnich kamienic mieszkalnych o tradycyjnej konstrukcji murowej, przy których wykonano głębokie wykopy zabezpieczone żelbetową konstrukcją oporową – ścianą szczelinową, w związku z budową nowej trasy drogowej. Opisano przebieg zdarzenia, prowadzony monitoring pionowych i poziomych przemieszczeń, oraz działania podjęte po wystąpieniu uszkodzeń budynków. Na podstawie numerycznych obliczeń MES układu ściana szczelinowa–podłoże–fundament jednego z budynków, ustalono przyczyny awarii. Przedstawiono sposób zabezpieczenia budynków oraz zastosowane wzmocnienia i naprawy ich konstrukcji.

2. Charakterystyka budynków

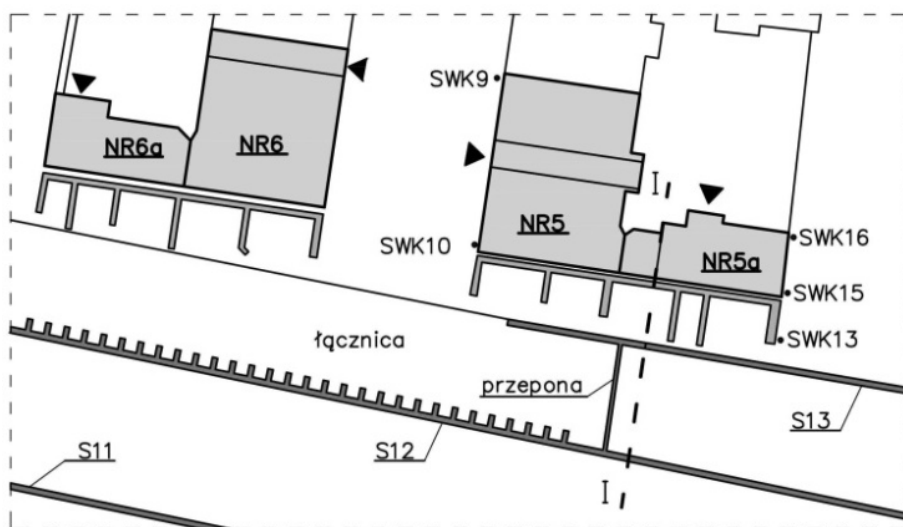
Omawiane budynki mieszkalne nr 5/5a, oraz nr 6/6a pochodzą z początku XX wieku, mają po 4 kondygnacje nadziemne, piwnice oraz poddasza pod mansardowymi dachami. Budynki położone są w sąsiedztwie budowanej nowej trasy drogowej. W związku z tą inwestycją, przed rozpoczęciem budowy rozebrano, przylegające do budynków, bliźniacze kamienice wraz z ich

oficynami. Zgodnie z projektem rozbiórki, pozostawiono ściany dylatacyjne, zaгрузowane piwnice i schodkowe przypory stanowiące pozostałości ścian poprzecznych rozebranych kamienic.

Na rysunku 1 przedstawiono widoki budynków, a na rys. 2 ich położenie w stosunku do budowanej trasy drogowej. Rzut kondygnacji powtarzalnej i przekrój budynku nr 5/5a przedstawia rys. 3.



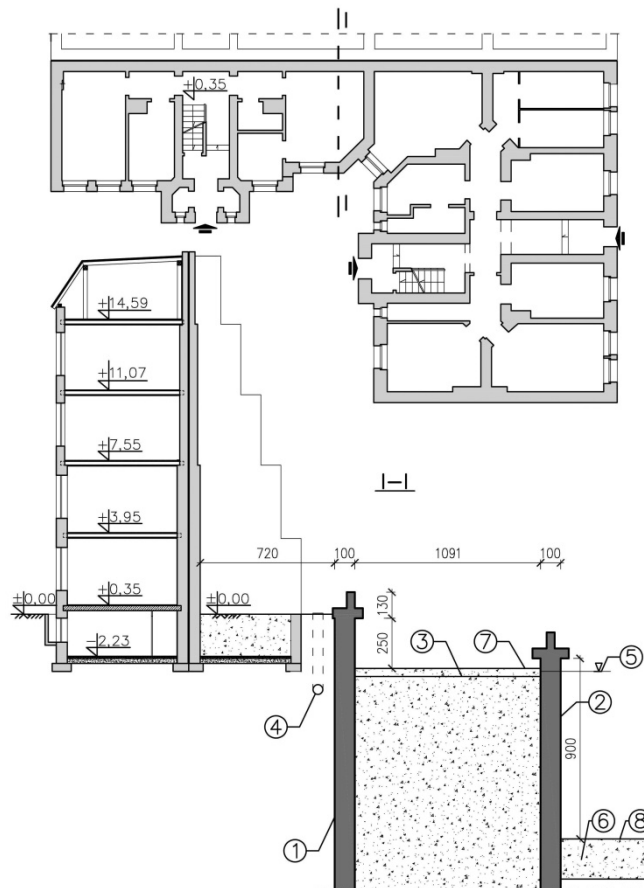
Rys. 1. Widoki przedmiotowych budynków: a) nr 6/6a, b) nr 5/5a



Rys. 2. Położenie budynków w stosunku do trasy drogowej oraz ścian szczelinowych S12 i S13; SWK9–16 repery na ścianach budynku nr 5/5a

Konstrukcja budynków jest tradycyjna murowa ścianowa, z drewnianymi belkowymi stropami międzykondygnacyjnymi w układzie podłużnym. Stropy nad piwnicami ceramiczne sklepieniowe i odcinkowe na stalowych belkach. Mansardowy dach o ciesielskiej drewnianej konstrukcji, wspartej na ramach stolcowych. Ściany nośne i usztywniające murowane z cegły ceramicznej pełnej na wapiennej zaprawie. Grubości ścian zróżnicowane na wysokości od 65 cm w piwnicach do 25 cm na poddaszu. Ściany działowe ceglane oraz w postaci murów pruskich. Nadproża okienne i drzwiowe ceramiczne łukowe i płaskie. Schody stalowe policzkowe z ceramicznymi płytami spocznikowymi i podestowymi.

Budynki posadowione są na murowanych ławach fundamentowych bezpośrednio na gruncie nośnym na głębokości około 70 cm poniżej poziomu ceglanej posadzki w piwnicach.



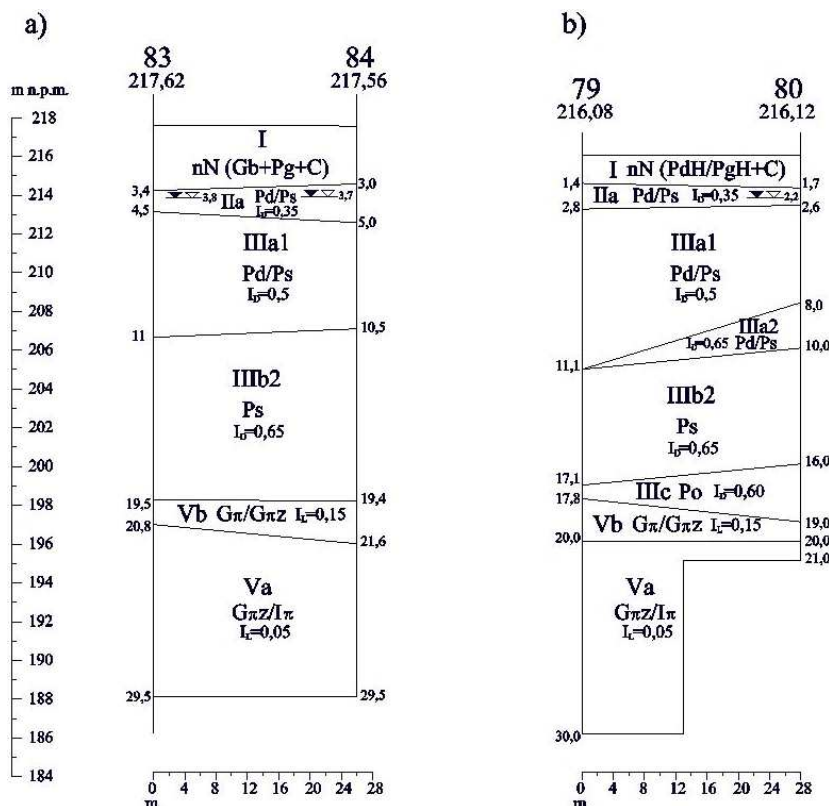
Rys. 3. Rzut kondygnacji powtarzalnej budynku nr 5/5a oraz przekrój I-I wg rys. 2: 1 – ściana S13 ($h = 22,5$ m), 2 – ściana S12 ($h = 25,0$ m), 3 – góra przepony, 4 – drenaż, 5 – poziom terenu przed wykonaniem wykopu, 6 – czasowe odwodnienie igłofiltrami, 7 – projektowany poziom łącznicy, 8 – projektowany poziom jezdni głównej

3. Warunki gruntowe

Jak wynika z przeprowadzonych badań podłoże budują trzy wiodące pakiety gruntów. Pierwszy pakiet to grunty antropogeniczne o różnej granulacji, zalegające na całym obszarze, o miąższości od 1,1 do 3,4 m. Pakiet drugi to rodzime, mineralne grunty niespoiste w postaci piasków różnej granulacji, pospółek, oraz żwirów występujących do głębokości od 17,8 m p.p.t. do 19,5 m p.p.t. W warstwach górnych grunty charakteryzują się stanem luźnym ($I_D = 0,33$) i średnio zagęszczonym ($I_D = 0,45$ – $0,5$), głębiej wykazują większy stopień zagęszczenia tj. $I_D = 0,6$ – $0,65$. Pakiet trzeci to rodzime, mineralne grunty spoiste w postaci glin pylastych, glin pylastych zwięzłych, iłów pylastych w stanie twardoplastycznym ($I_L = 0,05$ – $0,25$), występujące do głębokości wierceń.

W badaniach ustalono, że woda gruntowa występuje w gruntach niespoistych, zalegających pod nasypami. Jej zwierciadło, o charakterze swobodnym, ustalono na głębokości od 2,2 do 3,8 m p.p.t., a w pobliżu budynków woda występuje na głębokości około 3–3,1 m p.p.t.

Przekrój geotechniczny w rejonie ściany S13, w obrębie rozpatrywanego budynku, przedstawiono na rys. 4a, natomiast dla ściany S12 odpowiednio na rys. 4b.



Rys. 4. Przekroje geotechniczne: a) wzdłuż ściany S13, b) wzdłuż ściany S12

4. Historia zdarzenia i uszkodzenia budynków

W związku z budową nowej drogi biegnącej przy budynkach w wykopie o głębokości około 9,0 m w 2013 r. wykonano żelbetowe oporowe ściany szczelinowe S12 i S13 o wysokości 22,5 m i 25,0 m i grubości 100 cm. Za przeponą ściana szczelinowa S12 ma przekrój teowy o wysokości średnika 200 cm (por. rys. 2). W związku z przewidywanym spiętrzeniem się wód gruntowych za ścianami szczelinowymi wykonano następnie drenaż na głębokości około 4,0 m p.p.t. (1,0 m poniżej poziomu fundamentów i w odległości 4,0 m od budynku) z odprowadzeniem poza ściany (rys. 3), a także (w płytkim wykopie) ułożono sieć teletechniczną.

Na ścianach budynków a także pozostawionych przyporach, zostały założone repery do geodezyjnego monitoringu przemieszczeń. Podczas wykonywania ścian szczelinowych, drenażu i sieci teletechnicznej, nie odnotowano żadnych uszkodzeń w budynkach, a mierzone maksymalne wartości pionowych przemieszczeń ścian budynków wyniosły 5–7 mm. Różnice osiadań na długości budynków nie przekraczały 2 mm.

Na początku czerwca 2015 r. przystąpiono do przegłębiania wykopu za ścianą S12 od strony budynku nr 5/5a (rys. 5) – głębokość wykopu wynosiła 9,0 m (rys. 3). Wraz z postępowaniem prac lokatorzy budynków zgłaszali wystąpienie uszkodzeń w postaci spękań ścian i stropów. Odnotowano wyraźne przyrosty pionowych przemieszczeń (osiadań) reperów na ścianach.

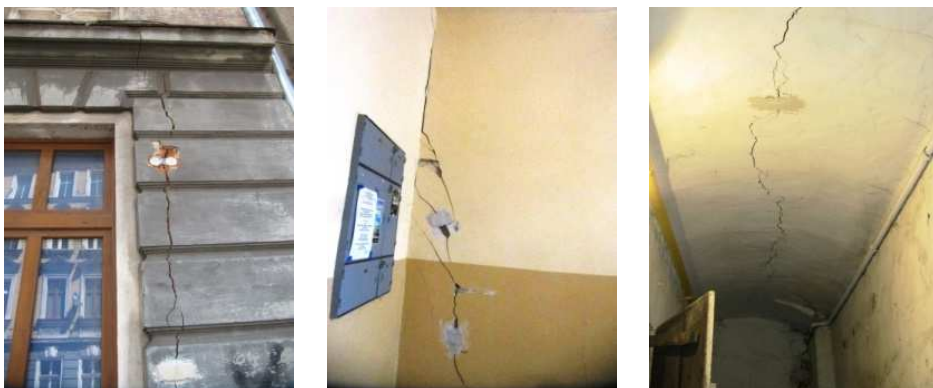
Największe przyrosty przemieszczeń ścian, zarejestrowano w okresie pierwszego miesiąca od rozpoczęcia wykopów i osiągnęły one wartość 28 mm – reper SWK 13 na ścianie przypory skrajnej, przy ścianie szczytowej oficyny nr 5a (rys. 2). Z początkiem lipca nastąpiła stabilizacja przemieszczeń i odczyty w następnych kilku dniach, mieściły się w granicach błędu pomiarowego. Wraz z kontynuacją wykopu i odwadnianiem terenu za ścianą szczelinową S12 rejestrowano dalszy, lecz mniejszy w porównaniu z czerwcem, przyrost przemieszczeń i nieznaczne powiększenie się rozwartości rys i pęknięć na ścianach (obserwacje na założonych plombach gipsowych). Pod koniec lipca 2015 r. osiadanie repera SWK 13 wyniosło 38 mm.

Mierzono również poziome przemieszczenia pozostawionych przypór przy budynkach – w analizowanym okresie przyrost przemieszczenia przypór, w poziomie dachu, wyniósł maksimum 18 mm.



Rys. 5. Wykop za ścianą szczelinową S12

Największe uszkodzenia w postaci pionowych i ukośnych spękań oraz zarysowań poprzecznych ścian przylegających do ściany zewnętrznej od strony wykopu, oraz rozwarstwień posadzki w piwnicy i płyt podestów klatki schodowej, wystąpiły w oficynach budynków. W budynkach zasadniczych pękły ściany frontowe w linii skrajnych okien od strony budowy, spękały ściany w narożach na styku oficyn i budynków zasadniczych, oraz nadproża w klatkach schodowych i pomieszczeniach. W wyniku powstałych spękań przy nadprożach występowały trudności w otwieraniu skrzydeł drzwiowych i okiennych. Przykładowe uszkodzenia budynków przedstawiono na fotografiach – rys. 6.



Rys. 6. Przykładowe uszkodzenia budynków

5. Analiza przyczyn uszkodzeń

Uszkodzenia budynków miały bezpośredni związek z budową trasy drogowej, a w szczególności z wykonaniem głębokiego wykopu za ścianą szczelinową S12. Wskazuje na to czas pojawienia się i rozwoju uszkodzeń, pokrywający się z czasem wykonania wykopu.

W czasie wykonania wykopu i prowadzenia prac kanalizacyjnych w wykopie nastąpił wyraźny przyrost przemieszczeń ścian budynku nr 5/5a – różnice osiadań na długości ścian wyniosły 20–21 mm (repery SWK 9 i 10) i 21 mm (repery SWK 15 i 16), a następnie budynku nr 6/6a. Osiadania ścian budynków miały w tym czasie wyraźnie nierównomierny charakter, co przy istniejącej murowej konstrukcji starych budynków, będących w ogólnie miernym stanie technicznym, musiało doprowadzić do wystąpienia uszkodzeń.

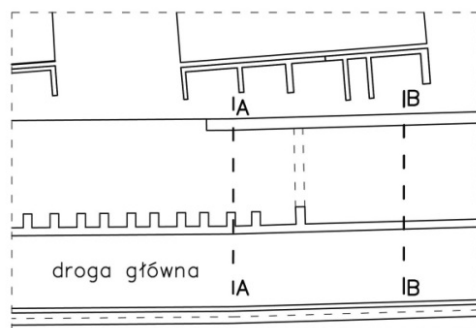
Z powyższych rozważań wynika, że główną przyczyną powstania uszkodzeń budynków było wykonanie głębokiego wykopu za wspornikową ścianą szczelinową S12. Ściana S12 na skutek parcia gruntu i gruntowej wody przemieściła się w stronę wykopu. Z wykonanych geodezyjnych pomiarów wynikało, że przemieszczenia korony ścian szczelinowych w stronę wykopu, w czasie jego wykonywania, wyniosły 70–90 mm. Spowodowało to rozluźnienie piaszczystego nawodnionego gruntu za ścianą S12, przemieszczenie ściany S13, a następnie rozluźnienie i pionowe przemieszczenie podłoża pod fundamentami budynków.

Analizę numeryczną symulacji wykonania głębokiego wykopu zabezpieczonego ścianami szczelinowymi S12 i S13 prowadzono metodą MES w programie Z-Soil w płaskim stanie odkształcenia dla budynku nr 5/5a. Jako model konstytutywny gruntu rodzimego oraz nasypowego przyjęto model sprężysto-idealnie plastyczny o powierzchni granicznej Coulomba-Mohra i niestowarzyszonym prawie płynięcia. Elementy żelbetowe (ściany szczelinowe) i murowe zamodelowano liniowo-sprężysto. Do opisu nieciągłości przemieszczeń na styku ściana szczelinowa-grunt, oraz do zamodelowania tarcia między gruntem a ścianą zastosowano elementy kontaktowe. Warunki gruntowo-wodne uwzględniono na podstawie dokumentacji geotechnicznej. Przyjęto moduły odkształcenia (E_0) i kąty tarcia wewnętrznego (ϕ) gruntów piaszczystych odpowiednio 43–77 MPa i 27–28°, żwirowych 67–160 MPa i 30–36°, a gruntów spoistych 22–30 MPa i 10–11°, oraz spójność $c = 47$ –51 kPa.

Geometrię ścian S12 i S13 oraz ich głębokość posadowienia przyjęto zgodnie z projektami technologicznymi i wykonawczymi.

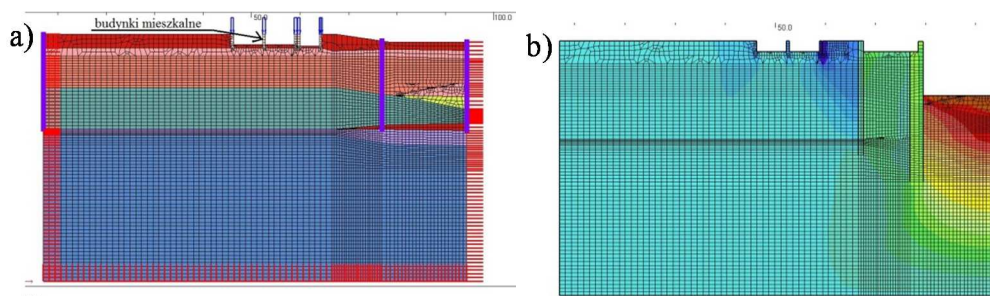
W analizie uwzględniono kolejność prowadzonych prac, tj. wykonanie rozpatrywanego budynku, wyburzenie części obiektu od strony ścian szczelinowych, wykonanie ścian szczelinowych, odwodnienie oraz wykonanie wykopu.

Do obliczeń wybrano dwa charakterystyczne przekroje A–A i B–B, znajdujące się w narożach budynku mieszkalnego nr 5/5a (rys. 7).

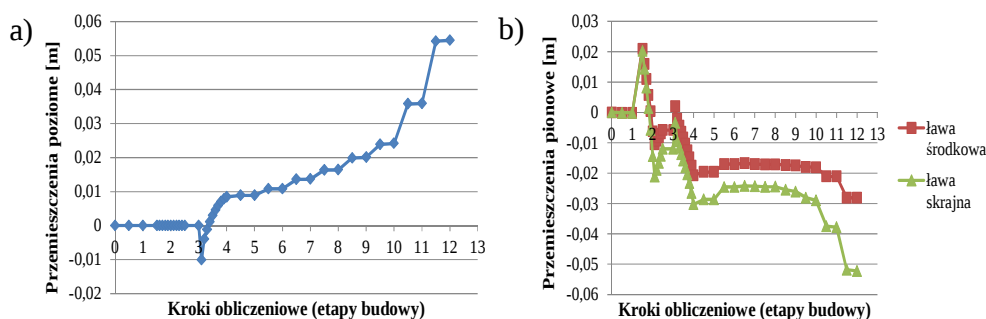


Rys. 7. Lokalizacja przekrojów obliczeniowych MES

W analizie numerycznej określono przemieszczenia poziome korony ściany szczelinowej S12 oraz osiadania budynku. Model obliczeniowy przedstawiono na rys. 8, a najważniejsze wyniki obliczeń na rys. 9. Wyznaczone przemieszczenia poziome wierzchu ściany szczelinowej wyniosły od 70 mm (przekrój A–A) do 110 mm (przekrój B–B) – w obliczeniach statycznych ścian szczelinowych poziome przemieszczenia wyniosły od 80–120 mm. Prowadzony na potrzeby budowy monitoring ścian wykazał zbliżone wielkości przemieszczeń. W projekcie konstrukcji ścian szczelinowych nie analizowano jednak wpływu poziomych przemieszczeń ścian szczelinowych na osiadania budynków, na co pozwoliła numeryczna analiza opisanego modelu MES.



Rys. 8. Model numeryczny a) stan przed wykonaniem wykopu, b) stan po wykonaniu wykopu



Rys. 9. Wykresy obliczeniowych przemieszczeń w przekroju A–A wg rys. 7; a) przemieszczenia poziome korony ściany szczelinowej b) osiadania ław fundamentowych

Uzyskane w obliczeniach osiadania budynku były zmienne na ich długości i szerokości. Dla ław i ścian zlokalizowanych najbliżej wykonanego wykopu wyniosły one od 25–50 mm. Pomiary geodezyjne wykazały końcowe osiadania wynoszące około 40 mm w analizowanych przekrojach.

Przeprowadzona analiza potwierdziła, że główną przyczyną nierównomiernych osiadań budynków i uszkodzeń ich konstrukcji były poziome przemieszczenia wspornikowych ścian szczelinowych, które wystąpiły po wykonaniu wykopów.

6. Sposób naprawy

W celu doprowadzenia konstrukcji budynków do właściwego stanu technicznego przewidziano: kotwienie ścian stalowymi ściągamami w poziomach wszystkich stropów w dwóch kierunkach, przemurowanie dużych pęknięć, iniekcję i zszycie rys w spoinach stalowymi prętami spiralnymi, wzmocnienie posadowienia przez wykonanie żelbetowej płyty w poziomie

posadzki piwnicy i wzmocnienie ścian piwnic w pomieszczeniach narożnych przez dobetonowanie żelbetowych ścian o grubości 150 mm.

7. Podsumowanie

Projektowanie i budowa trasy drogowej, w zwartej zabudowie miejskiej, to duże wyzwanie dla projektantów i wykonawców, zwłaszcza gdy przebiega ona w głębokim wykopie, a w bezpośrednim sąsiedztwie znajdują się wiekowe kamienice. W takiej sytuacji, oprócz klasycznego wymiarowania konstrukcji obiektów, konieczna jest zaawansowana analiza wpływu budowy trasy na sąsiednią zabudowę. W przeciwnym razie może dojść do nieprzewidzianych problemów np. w postaci nierównomiernych osiadań sąsiedniej zabudowy. Taka sytuacja miała miejsce w prezentowanym referacie. Wykonanie głębokiego wykopu spowodowało wystąpienie awaryjnego stanu 100-letnich kamienic mieszkalnych o tradycyjnej konstrukcji murowej.

Literatura

1. Wysokiński L.: Problemy realizacji głębokich wykopów w miastach, Mat. XXII Konf. Nauk. Tech. „Awary Budowlane”, Szczecin – Międzyzdroje 2005.
2. Urban T.: Problemy fundamentowania budynków w zwartej zabudowie śródmiejskiej, Mat. XXI Konf. Nauk. Tech. „Awary Budowlane”, Szczecin – Międzyzdroje 2003.
3. Horodecki G., Dembicki E.: Awaria ściany szczelinowej stanowiącej obudowę wykopu głębokiego, Mat. XXIV Konf. Nauk. Tech. „Awary Budowlane”, Szczecin – Międzyzdroje 2009.
4. Pająk Z., Bartoszek Z.: Awaria budynku mieszkalnego wywołana utratą stateczności ścianki szczelnej, Mat. XXVI Konf. Nauk. Tech. „Awary Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje 2013.

DAMAGE OF THE RESIDENTIAL BUILDINGS IN NEIGHBORHOOD OF DEEP EXCAVATIONS PROTECTED BY RETAINING DIAPHRAGM WALLS

Abstract: The existing residential buildings located near deep excavations supported by retaining diaphragm walls, have become damaged during construction of a new section of the road. The paper describes the course of the event, damage to buildings, ad hoc and target hedge actions. The causes of failure, as well as the ways to repair the resulting damage were analyzed.

Keywords: deep excavation, diaphragm wall, retaining wall, horizontal displacement, uneven subsidence, repairing damage