

ŚCIANA OPOROWA USZKODZONA WSKUTEK BŁĘDÓW PROJEKTOWYCH I WYKONAWCZYCH

JACEK HULIMKA, e-mail: jacek.hulimka@polsl.pl

MARTA KAŁUŻA

Politechnika Śląska, Katedra Inżynierii Budowlanej

Streszczenie: W opracowaniu przedstawiono przypadek budynku jednorodzinnego, w którym doszło do uszkodzenia żelbetowego elementu, zaprojektowanego jako ściana oporowa. Awaria miała miejsce jeszcze podczas wznoszenia konstrukcji. Analiza dokumentacji projektowej i wykonawczej oraz wizje lokalne wykazały nałożenie się błędów projektowych i wykonawczych – jednostkowo banalnych, lecz sumarycznie prowadzących do zagrożenia nośności i stateczności ściany. Na opisaną sytuację nałożyła się niefrasobliwość terminowa, mogąca skutkować intensyfikacją uszkodzeń, a w skrajnym przypadku, koniecznością rozbiórki części konstrukcji. Odpowiednio wczesna reakcja pozwoliła na wykonanie koniecznych napraw i zabezpieczeń przed sezonem zimowym.

Słowa kluczowe: ściana oporowa, błędy zbrojenia, błędny schemat statyczny, awaria, naprawa

1. Krótki opis problemu

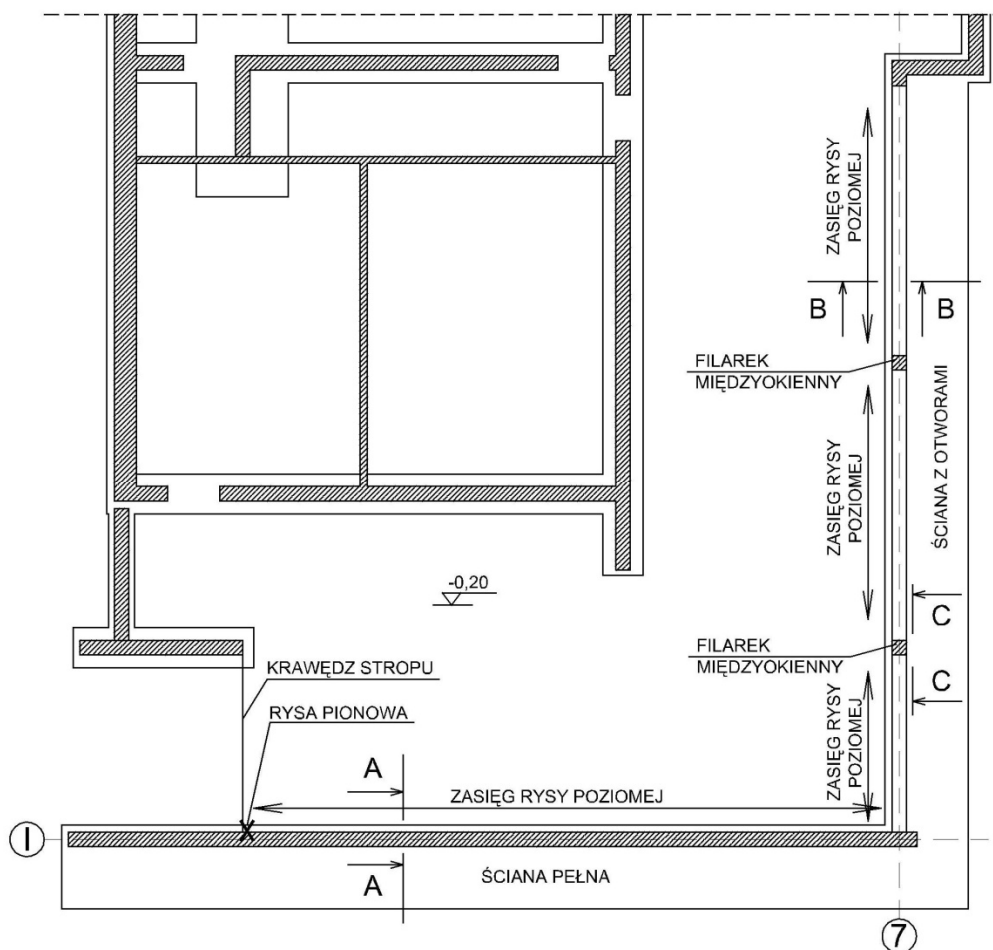
Budynek jednorodzinny, będący przedmiotem opracowania, został zaprojektowany w 2015 roku, a jego budowę rozpoczęto wiosną 2016 roku. W pierwotnych planach część konstrukcyjna miała być ukończona w październiku 2016 roku, lecz późną jesienią trwały jeszcze prace przy wznoszeniu ścian pierwszego piętra. Przedmiotowy obiekt zaprojektowany został jako konstrukcja ścianowa, w całości podpiwniczona, z pierwszym piętrzem nad częścią rzutu. Kondygnacja piwniczna częściowo wyprowadzona była poza rzut parteru, tworząc, wzdłuż dwóch ścian parteru, przestrzeń przeznaczoną na dodatkowy garaż i przechowywanie zimą sprzętów ogrodowych.

Cały obiekt został posadowiony w sposób bezpośredni, na ławach fundamentowych. Ściany piwnic zaprojektowane zostały jako murowane z bloków betonowych, częściowo obsypane gruntem. Dwie zewnętrzne ściany podłużne (rys. 1, osie I, 7), wydzielające przestrzeń poza rzutem parteru, zaprojektowane zostały jako kątowe żelbetowe ściany oporowe. Na rysunku 2a pokazano fragment przekroju architektonicznego przez budynek. Widoczne jest tutaj projektowane obsypanie ściany piaskiem do około 1/3 wysokości, wykonanie drenażu oraz, co najistotniejsze z punktu widzenia niniejszego opracowania, wykorzystanie ściany jako podpory skrajnego pasma żelbetowego stropu nad piwnicą (co widać także na rys. 1). Na rysunkach 2b, 2c przedstawiono zbrojenie, przerysowane wprost z dokumentacji projektowej. W przypadku ściany bez otworów (oś I, rys. 2b) zbrojenie usytuowane jest tylko po stronie gruntu. W ścianie z otworami w górnej części (oś 7, rys. 2c) układ zbrojenia jest podobny, jest ono jednak uzupełnione o wkładki po stronie piwnicy – lokalnie, w miejscach filarków międzyokiennych.

Ujęty w Projekcie Budowlanym punkt "Warunki geologiczno-górnictwa" sprowadzał się do kilku banalnych stwierdzeń, pasujących do niemal każdego obiektu o posadowieniu bezpośrednim. Zgodnie z zacytowaną w projekcie opinią geotechniczną, podłoże zostało rozpoznane do głębokości 3,5 m. Tworzą je utwory triasowe w postaci zwietrzelinowych glin wapienia

muszlowego, z lokalnymi wtrąceniami pstręgo piaskowca. Bezpośrednio pod planowanym poziomem posadowienia ścian oporowych i ław fundamentowych stwierdzono gliny pylaste zwięzłe z kamieniami wapienia (uśredniony stopień plastyczności $I_L = 0,20$) oraz zwietrzeliły gliniaste wykształcone jako gliny pylaste zwięzłe przechodzące w łyły (uśredniony stopień plastyczności $I_L = 0,04$). Autor cytowanej w projekcie opinii wyraźnie zwrócił uwagę na konieczność zabezpieczenia fundamentów przed efektami przemarzania, także podczas budowy.

Jeszcze na etapie wznoszenia konstrukcji, jesienią 2016 roku, inwestor zauważył, że w dolnej części obydwu ścian oporowych powstały silne rysy poziome, o rozwarości przekraczającej 2 mm. Wobec braku jakiejkolwiek reakcji ze strony projektanta oraz umiarkowanego (na tym etapie) zainteresowania wykonawcy, wystąpił wówczas o wykonanie opinii technicznej określającej przyczynę powstania rys oraz możliwość bezpiecznej kontynuacji prac budowlanych. Wyniki tej opinii stały się podstawą do opracowania niniejszego tekstu.

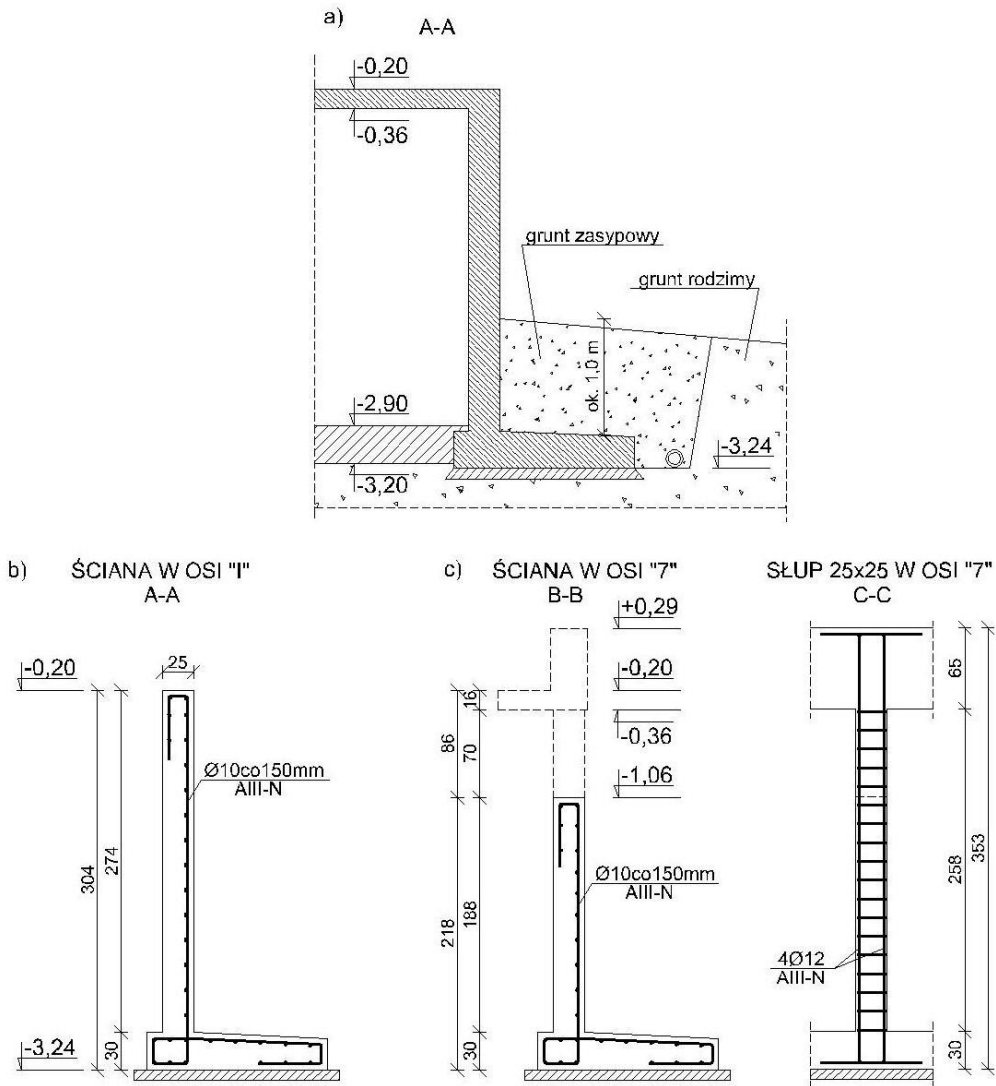


Rys. 1. Układ ścian piwnic, zarysowania; przekroje jak na rysunku 2

2. Opis awarii

Szczegółowe oględziny obydwu ścian oporowych wykazały istnienie w dolnej części, bezpośrednio nad podstawą ściany, silnej pojedynczej rysy poziomej. W ścianie bez otworów okiennych (oś I) rysa przebiegała w sposób ciągły, a jej krawędzie wykazywały przemieszczenie prostopadłe do płaszczyzny ściany, o około 2 mm. W ścianie z otworami (oś 7) rysa pojawiała się na odcinkach pod otworami okiennymi, jak na rysunku 1. Ponadto, w ścianie bez otworów, w pobliżu miejsca zaniku rysy poziomej ujawniła się rysa pionowa/ukośna o rozwarości rzędu 0,3 mm. Szerokość rozwarcia rysy poziomej w ścianie bez otworów przekraczała 2 mm (rys. 3), a w ścianie z otworami 1 mm (rys. 4).

Zgodnie z danymi uzyskanymi od inwestora, opisane rysy zostały zaobserwowane w trakcie obsypywania ścian.



Rys. 2. Zaprojektowane ściany oporowe; przekroje jak na rysunku 1



Rys. 3. Rysa w podstawie ściany bez otworów (oś I); widoczne przemieszczenie krawędzi z płaszczyzny ściany



Rys. 4. Rysa w podstawie ściany z otworami (oś 7)

3. Obserwacje istotne z punktu widzenia przyczyn awarii oraz możliwości bezpiecznego przetrwania zimy

W trakcie analizy dokumentacji projektowej, dokumentacji geotechnicznej, fotografii z okresu wznoszenia fundamentów i kondygnacji piwnicznej (wykonanych przez inwestora) oraz podczas wizji lokalnych stwierdzono szereg faktów istotnych dla określenia przyczyn powstania obserwowanych zarysowań. Część z obserwacji nie dotyczyła bezpośrednio zarysowań, była jednak istotna z uwagi na bezpieczeństwo użytkowania budynku, zwłaszcza na zastanym etapie zaawansowania prac.

Pierwszą, najistotniejszą obserwacją było błędne przyjęcie schematu statycznego obydwu ścian oporowych. Już pierwszy rzut oka na układ zbrojenia (rys. 2b, 2c) pokazuje, że ściana została zaprojektowana jako kątowna, ze swobodną górną krawędzią, to jest o schemacie wspornikowym. Tymczasem, zgodnie zresztą z tym samym projektem, została ona monolitycznie połączona z żelbetową płytą stropu, stanowiącą tarczową podporę na całej długości

ściany bez otworów i fragmentach ściany z otworami (rys. 1, 2a). Tym samym zaprojektowana i zrealizowana ściana (jej układ zbrojenia) nie odpowiadała rzeczywistemu schematowi statycznemu.

Kolejna uwaga, także projektowa, dotyczy samego zbrojenia ściany, zaprojektowanego tylko przy jednej powierzchni. Abstrahując od wykazanej wyżej niezgodności schematów statycznych (a więc także sił wewnętrznych), jest to układ ewidentnie błędny, bowiem pozostawia duże powierzchnie konstrukcji pozbawione podstawowego nawet zbrojenia przeciwskurczowego.

Kolejne obserwacje dotyczą wykonawstwa obiektu, w zakresie związanym z pojawieniem się obserwowanych rys. Należy tutaj wymienić:

- obsypanie ścian do poziomu znacznie wyższego, niż przewidział to projektant; szacunkowa wysokość obsypania ściany zgodnie z dokumentacją projektową wynosiła około 1,2 m (licząc od podstawy fundamentu, jak na rysunku 2a), podczas gdy w rzeczywistości została ona obsypana do wysokości około 2,7 m (rys. 5),
- użycie jako zasypki gruntu rodzimego, czyli gliny pylastej (rys. 5),
- zagęszczanie gruntu przy ścianie przy użyciu spychacza, jeżdżącego tuż przy ścianie (rys. 5); konstrukcja, niezależnie od wskazanych wyżej błędów projektowych, na pewno nie była zaprojektowana na wynikające stąd obciążenia,
- rezygnację, pod ścianą oporową, z przewidzianej w projekcie podsypki piaskowej o grubości 0,40 m oraz warstwy chudego betonu,
- ułożenie pod podstawą ściany oporowej warstwy folii, całkowicie zmieniającej warunki przenoszenia sił poziomych (rys. 6); tutaj trzeba zaznaczyć, że w opisie do projektu znalazł się zapis o konieczności wykonania izolacji przeciwwilgociowej pod wszystkimi fundamentami, bez wyraźnego wyłączenia ścian oporowych,
- brak ułożenia drenażu, przewidzianego w projekcie.



Rys. 5. Ściana oporowa w osi "I"; widoczna wysokość obsypania, grunt zasypowy (głina pylasta) i ślady gąsienic spychacza użytego do zagęszczania gruntu



Rys. 6. Ściana oporowa w osi "I" (fot: inwestor); widoczny układ zbrojenia oraz warstwa folii pod podstawą ściany

Niezależnie od powyższego, stwierdzono wykonanie przedmiotowych ścian bez jakiegokolwiek obsypania od strony wnętrza budynku. To samo dotyczyło wszystkich łąw fundamentowych pod ścianami wewnętrznymi, pozostawionych bez obsypania. Tym samym, powierzchnia dna całego wykopu w piwnicach, na etapie wznoszenia ścian piętra, była niemal tożsama z płaszczyzną posadowienia wszystkich fundamentów. Powierzchnia dna wykopu w listopadzie 2016 roku była praktycznie identyczna jak bezpośrednio po wykonaniu fundamentów – to jest jak na rysunku 7.



Rys. 7. Dno wykopu na etapie wykonania fundamentów (fot: inwestor); poziom wykopu identyczny jak w listopadzie 2016 roku, na etapie wznoszenia ścian piętra

Fundamenty posadowione były na gruncie rodzimym, to jest – jak już wspomniano wcześniej – na glinach pylistych. W okresie wizji lokalnych, to jest w pierwszych dniach listopada 2016 roku, na znacznej części dna wykopu zalegała cienka warstwa wody, spływającej do wykopu z otoczenia budynku. Powierzchniowa warstwa gruntu była w tych miejscach całkowicie uplastyczniona, w stopniu powodującym zapadanie się stojącego na nim człowieka.

Stopień zaawansowania prac, w stosunku do wstępnego harmonogramu, był na tyle niski, że przed sezonem zimowym nie było możliwości odcięcia piwnic budynku od ujemnych temperatur. Tym samym, realne było zagrożenie przemarzania podłoża gruntowego nie tylko pod przedmiotowymi ścianami zewnętrznymi, ale także pod praktycznie wszystkimi ścianami wewnętrznymi budynku.

4. Przyczyny powstania rys w ścianach

W przypadku typowej, kątowej ściany oporowej (jak w projekcie – rys. 2b) obserwowane zarysowanie poziome pojawia się po nieprawidłowej stronie, bowiem parcie gruntu i ewentualny wpływ obciążenia naziomu skutkują ściskaniem powierzchni, która w opisywanym przypadku uległa zarysowaniu. Jednakże, jak opisano wcześniej, mamy do czynienia z poważnym błędem projektowym, jakim jest obliczenie i zbrojenie elementu konstrukcyjnego w danym schemacie statycznym, a wykonanie w innym. Ściana, zaprojektowana jako typowa (wspornikowa), została podparta stropem wzdłuż górnej krawędzi, na niemal całej długości (rys. 1, 2a). W efekcie opisanej zmiany doszło do istotnego przegrupowania sił wewnętrznych, a w szczególności momentów zginających w płaszczyźnie pionowej. Dla właściwego zobrazowania powyższego, na rysunku 8 przedstawiono wykresy momentów w sytuacji projektowanej (rys. 8a, ściana kątowa bez podparcia, obsypanie piaskiem do projektowanej wysokości) i w sytuacji podparcie górnej krawędzi, przy założeniu obsypania jak w projekcie (rys. 8b). W rzeczywistości ściana została obsypana gruntem rodzimym (gliną) do wysokości znacznie większej niż w projekcie, co skutkowało wykresem momentów jak na rysunku 8c. Wszystko to w sposób oczywisty doprowadzić mogło do powstania poziomych rys na wewnętrznej powierzchni ściany, jednak rysy te powinny być zlokalizowane nieco ponad połową wysokości elementu, a nie przy jego podstawie. Ponadto, wartości momentów zginających od parcia gruntu, nawet w przypadku zbyt wysokiego obsypania ściany, mieściły się poniżej momentu rysującego.

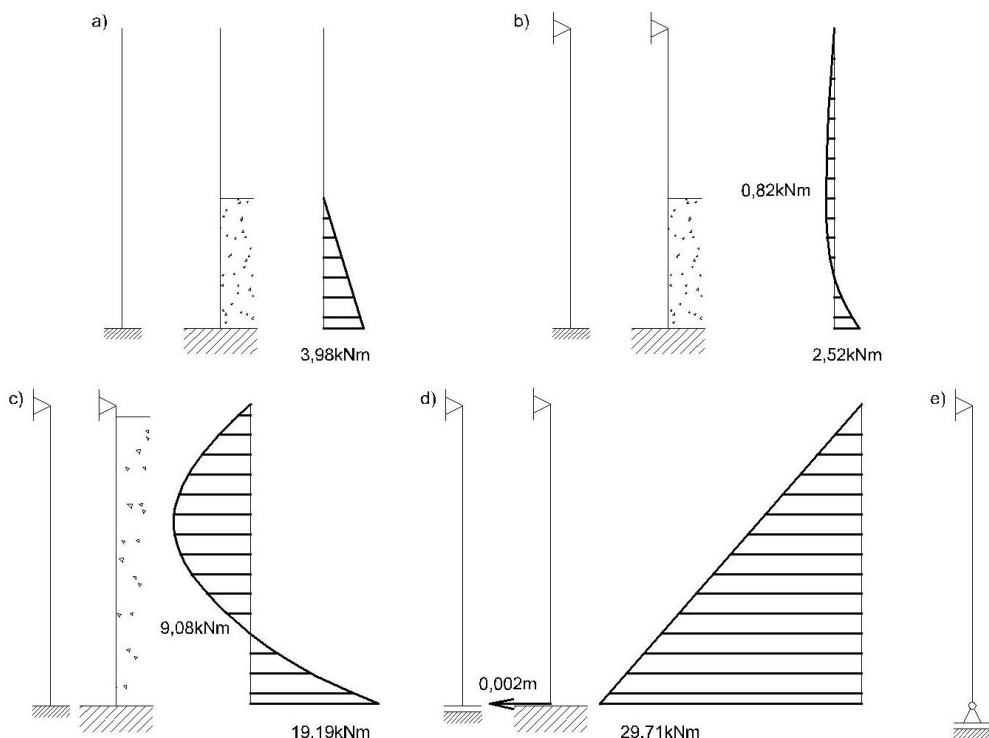
W tym miejscu należy odwołać się do dwóch faktów opisanych w punkcie 3, a zobrazowanych na rysunkach 5 i 6. Pierwszy z nich to sposób zagęszczania gruntu przy ścianie, przy użyciu ciężkiego spychacza. Zabieg taki spowodował przyłożenie do ściany znacznych obciążeń poziomych już w początkowej fazie jej obsypywania. Drugi z faktów to posadowienie ściany na warstwie folii, jak na rysunku 6. Zabieg ten, będący "autorskim pomysłem" wykonawcy, dalece obniżył stateczność ściany na przesuw. Na powyższe nałożyło się dopuszczenie do penetracji wody w poziom posadowienia ściany. W efekcie nałożenia się wymienionych wyżej czynników prawdopodobnie doszło do nieznacznego przesunięcia podstawy ściany w kierunku budynku.

W przypadku typowej, „swobodnej” ściany kątowej efektem opisanej wyżej sytuacji byłoby niemal swobodne przesunięcie ściany, w wyniku przekroczenia stanu granicznego stateczności na przesuw. Jednocześnie jednak nie powstałyby znaczące siły wewnętrzne. W opisanym przypadku górna krawędź ściany była zablokowana na znacznym odcinku, wskutek połączenia ze sztywną tarczą stropową. W efekcie możliwość przesuwu została bardzo ograniczona, powstały natomiast momenty zginające w płaszczyźnie pionowej. Na rysunku 8d pokazano wykres momentów zginających od wymuszonego przemieszczenia

ściany w poziomie o 2 mm. Jak widać, w tym przypadku miejsce maksymalnego momentu zginającego pokrywa się z lokalizacją obserwowanych w obiekcie rys.

Zgodnie z dokumentacją projektową ściana powinna zostać wykonana z betonu klasy C16/20. Wykonane badania wytrzymałościowe wykazały znacznie lepsze parametry, pozwalające na zakwalifikowanie betonu do klasy C25/30. W takim przypadku średnia wartość wytrzymałości betonu na rozciąganie wynosi 2,6 MPa, a zatem niezbrojona ściana o grubości 0,25 m powinna przenieść moment zginający o wartości około 27 kNm/m. Jak pokazano na rysunku 8d, tego rzędu moment uzyskuje się przy poziomym przesunięciu podstawy ściany (z zablokowanym przesuwem górnej krawędzi) już o około 2 mm.

W chwili powstania rysy dochodzi do drastycznej zmiany schematu statycznego pionowej części ściany – biorąc pod uwagę powstanie wymuszonych przegubów i znaczną swobodę przesuwu podstawy staje się ona praktycznie mechanizmem (rys. 8e).



Rys. 8. Schematy statyczne i siły wewnętrzne w ścianie w osi I (opis w tekście)

W świetle powyższego jednoznacznie można stwierdzić, że przyczyną powstania obserwowanych rys poziomych było nałożenie się istotnych błędów projektowych i wykonawczych, wymienionych wcześniej, w punkcie 3.

Dość łatwe jest wytłumaczenie odcinkowego układu rysy w ścianie w osi 7, z otworami okiennymi. Otóż, filarki międzyokienne (rys. 1, 2c) zostały tutaj zazbrojone jak słupy, w czterech narożach, a zbrojenie to sprowadzono do podstawy ściany. Tym samym, pod filarkami znajdowały się po dwa pręty $\phi 12$ mm (A-IIIN), zdolne do lokalnego przeniesienia naprężeń rozciągających. W efekcie rysa pozioma miała mniejsze rozwarcie i powstała tylko na odcinkach pod otworami okiennymi (rys. 1).

Niewielka rysa pionowa/ukośna w ścianie w osi I pokrywa się z miejscem zaniku głównej rysy poziomej, a jednocześnie z miejscem zakończenia stropu nad piwnicą. Obserwowany tutaj układ rys jest reakcją na gwałtowną zmianę sztywności całej konstrukcji.

5. Inne zagrożenia

Powstanie rys poziomych doprowadziło do odprężenia konstrukcji ściany, nie zlikwidowało jednak problemu nadmiernego parcia gruntu na konstrukcję o wyraźnie zmienionym schemacie statycznym. Po zarysowaniu ściana stała się praktycznie płytą podpartą na dwóch przegubach liniowych – dolnym w miejscu zarysowania i górnym w miejscu połączenia ze stropem, gdzie nie ma jakichkolwiek wkładek zdolnych do przeniesienia momentu zginającego. Jednocześnie, dolna podpora może być traktowana jako przesuwna, wobec znikomego tarcia pomiędzy folią i narażonym na wnikanie wody gruntem. Tym samym konstrukcja ściany jest wysoce niestabilna, co zagraża gwałtownym przyrostem przemieszczenia, a w efekcie zniszczeniem fragmentu budynku. Sytuacja może się znacznie pogorszyć zimą, bowiem woda, wnikać w grunt wysadzinowy wzdłuż wysokości ściany, zamarzając zwiększyć może wartość poziomych obciążeń.

Na powyższe nakłada się dodatkowe zagrożenie w postaci możliwych wysadzin w kierunku pionowym. Wobec stanu podłoża, braku zabezpieczenia przed przenikaniem wody do piwnic oraz braku obsypania fundamentów, zagrożenie to dotyczy nie tylko ścian oporowych, ale także wewnętrznych ław fundamentowych.

6. Środki zaradcze

W sytuacji opisanych wyżej zagrożeń konieczne było natychmiastowe podjęcie środków zaradczych, w celu zabezpieczenia konstrukcji przed przyrostem uszkodzeń. Zalecono wykonanie następujących prac (dotyczy obydwu ścian):

- ustabilizowanie ściany na przesuw, przez wykonanie płyty żelbetowej lub rozpór żelbetowych pomiędzy podstawą ściany i równoległą do niej ławą fundamentową,
- usunięcie obsypania ścian wykonanego z gruntu rodzimego,
- kontrolę stanu izolacji,
- zmonolityzowanie ściany przez iniekcję wszystkich zarysowań żywicą epoksydową,
- dobrojenie i dobetonowanie ściany od strony piwnicy, z właściwym zakotwieniem prętów zbrojeniowych i możliwie skutecznym zespoleniem nowego i starego betonu,
- obsypanie ściany zgodnie z pierwotnym projektem (rodzaj gruntu, poziom, sposób zagęszczania), z wcześniejszym wykonaniem drenażu,
- zabezpieczenie podłoża pod wszystkimi fundamentami przed przemarzaniem.

Ponadto, zalecono zabezpieczenie wykopu przed możliwością napływu wody opadowej lub z topniejącego śniegu.

7. Podsumowanie i wnioski

Przedstawiony wyżej przypadek jest pozornie dość banalny, a stwierdzone uszkodzenia konstrukcji są niewielkie. Niemniej, pozostawienie konstrukcji w opisanym stanie przez zimę realnie zagraża przyrostem uszkodzeń mogącym prowadzić do nieodwracalnych uszkodzeń, a w skrajnym przypadku do zniszczenia fragmentów konstrukcji. Dziwi, w opisanym przypadku, niefrasobliwość projektanta i wykonawcy, bagatelizujących problem i sprowadzających go do powstania „nieszkodliwej” rysy.

Skoro już mowa o projektancie i wykonawcy obiektu, to obydwaj oni popełnili błędy każące powątpiewać zarówno w kompetencje zawodowe, jak i zwykły zdrowy rozsądek. Być może

konstrukcja byłaby zdolna do poradzenia sobie z każdym z popełnionych błędów z osobna, ale ich nagromadzenie zaskutkowało swoistą negatywną synergią, prowadząc do powstania opisanych uszkodzeń i realnego zagrożenia budynku następnymi, znacznie poważniejszymi.

Przed oddawaniem referatu do druku wykonawca podjął podstawowe prace w celu zabezpieczenia budynku przed uszkodzeniami – zgodnie z zaleceniami przedstawionymi w punkcie 7.

DAMAGE OF A RETAINING WALL AS A RESULT OF DESIGN AND CONSTRUCTION ERRORS

Summary: This paper presents a case of a single-family building, in which a reinforced concrete element, designed as a retaining wall, was damaged. The damage took place during the erection of the structure. Detailed analysis of available design documentation, as well as the inspection reports, showed overlapping of design and construction errors – individually trivial, but together threatening the overall load-carrying capacity and stability of the wall. The problem was likely caused by the lack of attention to the deadlines. This could result in the intensification of observed damages and, in extreme case, the need to demolish a part of the structure. An early reaction allowed performing the necessary repair and protection works before the winter season.

Keywords: retaining wall, reinforcement faults, incorrect static scheme, damage, repair works