XXIV awarie budowlane
XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna
Szczecin-Międzyzdroje, 26-29 maja 2009

Prof. dr hab. inż. KAZIMIERZ SZULBORSKI
Dr hab. inż. HANNA MICHALAK, *hanna.michalak@arch.pw.edu.pl*
Mgr inż. arch. ANNA MAJEWSKA, *anna_majewska@vp.pl*
Politechnika Warszawska

KATASTROFA CIĘŻKIEJ ŚCIANY OSŁONOWEJ W NOWOBUDOWANYM CENTRUM HANDLOWYM

THE HEAVY SHELL WALL CATASTROPHE IN NEW-CONSTRUCTED SHOPPING CENTER

Streszczenie Podczas realizacji centrum handlowego (jednokondygnacyjna hala o konstrukcji stalowej) nastąpiła katastrofa licowej warstwy ściany osłonowej. Ścianę tę, o wysokości 8,15 m wykonano jako trójwarstwową składającą się gazobetonu gr. 24 cm, wzmocnionego stalowymi słupkami i wieńcami żelbetowymi (warstwa konstrukcyjna), termoizolacji z wełny mineralnej i warstwy licowej z bloczków betonowych TeknoAmerBlok gr.12 cm. W projekcie założono mocowanie warstwy licowej za pomocą kotwi typu FISCHER. W wyniku przekroczenia stanów granicznych w warstwie licowej ściany nastąpiła utrata jej statyczności. Wykonane po katastrofie badania wykazały, że zastosowany system kotwienia nie miał atestu ITB a nośność kotwi była niedostateczna. Przeprowadzony monitoring geodezyjny pozostałych ścian wykazał, że ich warstwa licowa uległa przemieszczeniom szczególnie w strefie przycokołowej. W celu zapewnienia bezpieczeństwa użytkowania centrum niezbędna była rekonstrukcja tej warstwy przy zastosowaniu nowego sposobu podparcia i kotwienia.

Abstract During the construction works in shopping center (one-storey hall in steel construction) a catastrophe of a face of shell wall occured. The shell walls (8,15m height) were constructed as a three-layer which consist of cellular concrete (24 cm thick) strengthened by steel piles and ferroconcrete ring (construction layer), thermal insulation from mineral wool and face tile layer from concrete blocks – TeknoAmerBlok (12 cm thick). In project a face layer of a wall was installed by FISHER type dowels. Because face layer of a wall exceeded the critical state, it lost its static. The research after a catastrophe showed that the system of walk ties did not have an ITB certificate and its bearing capacity was not enough. Geodesy monitoring which was carried out on other walls showed their displacement, especially in the closest area of a plith. In order to provide safety for shopping center visitors it was indespensable to reconstruct these walls in a new way of its support and usingnew type of walk ties.

1. Wstęp

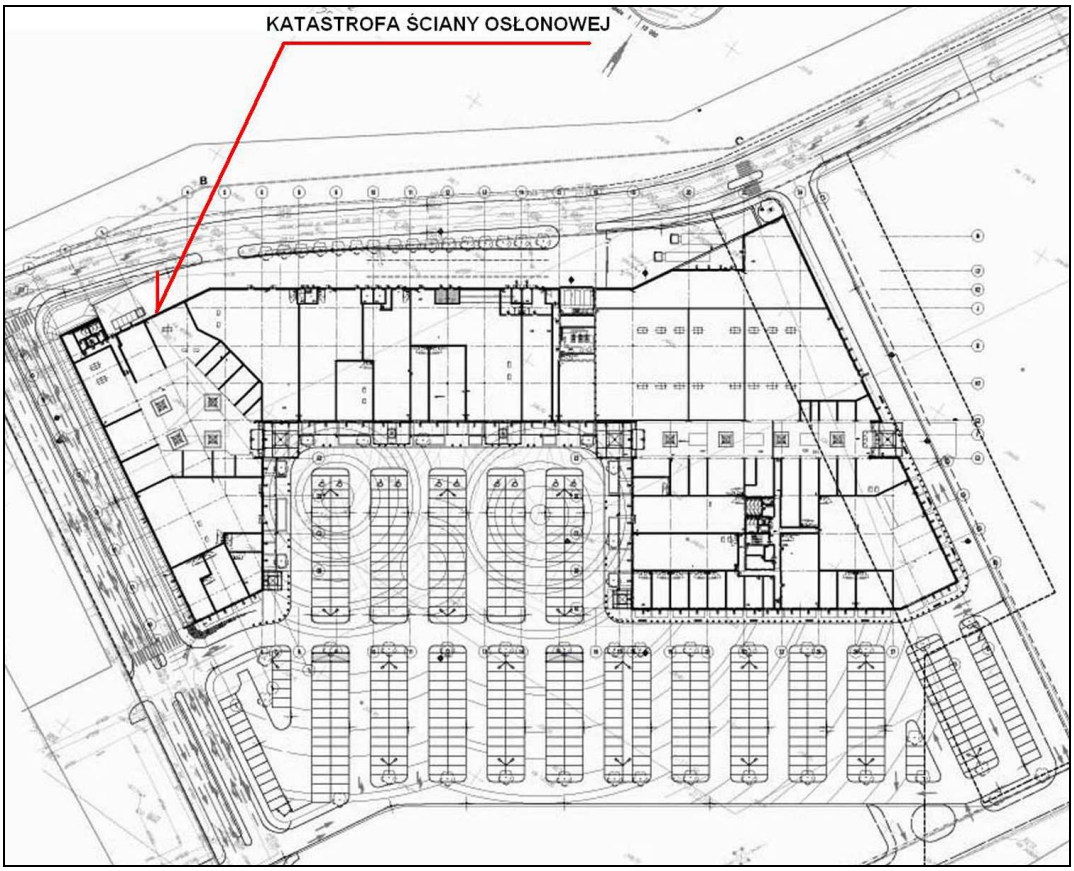
W lecie 2007 roku trwała budowa nowego centrum handlowego. Obiekt znajdował się w stanie surowym. (rys. 1) Podczas realizacji, po okresie kilkudniowych dreszczów, nagle w godzinach nocnych wystąpiło gwałtowne zawalenie się fragmentu warstwy licowej ściany osłonowej o długości około 20 m, wykonanej z ciężkich bloczków betonowych TeknoAmerBlok. Po katastrofie powstało „rumowisko” z bloczków betonowych, wełny mineralnej, zbrojenia i kotwi stalowych. Została „odsłonięta” szkieletowa, wypełniona murem gazobetonowym, konstrukcyjna warstwa ściany osłonowej, wraz ze słupami stalowymi i wieńcami żelbetowymi. W ścianie trójwarstwowej stwierdzono wyrwanie znacznej ilości (około 50%) kotwi metalowych.(rys. 2)

Rys. 1. Widok centrum handlowego w budowie

Rys. 2. Widok zawalonej ściany oraz powstałego rumowiska w miejscu katastrofy

2. Projekt budynku

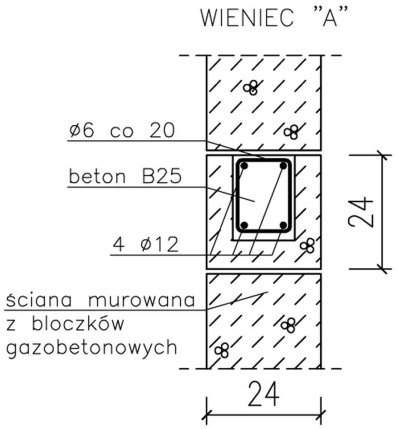
Centrum handlowe zaprojektowano jako jednokondygnacyjny, niepodpiwniczony budynek wolno – stojący o kształcie nieregularnej litery „C” z wewnętrznym placykiem – dziedzińcem o funkcji typu „street mall plaza” mieszczący sklepy różnej wielkości i różnych branż. (rys. 3) We wnętrzu wydzielono przestrzenie wspólne (pasaż, sanitariaty publiczne, korytarze), techniczno-obsługowe (stacja transformatorowa, rozdzielnie pompownia, kotłownia) oraz powierzchnie handlowe, które zostały podzielone na sklepy, z wejściami bezpośrednio z poziomu terenu od strony dziedzińca z podcieniami oraz od wewnętrznego pasażu handlowego.



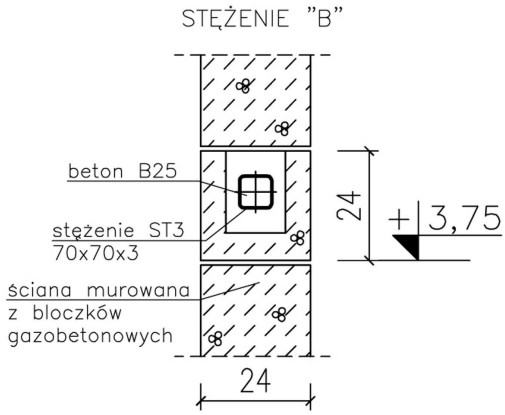
Rys. 3. Rzut budynku centrum handlowego z zaznaczonym miejscem katastrofy

Budynek centrum handlowego zaprojektowano jako halę jednoprzestrzenną o konstrukcji stalowej. Główne elementy szkieletu stanowią słupy, na których opierają się stalowe, kratowe dźwigary dachowe. Słupy zostały posadowione na żelbetowych stopach fundamentowych. W poziomie styku z poszyciem dachowym zlokalizowano stalową belkę wieńczącą HEA 220, do której doprowadzono stalowe słupy. Powyżej konstrukcję dachu wieńczy murowana attyka.

Osłonowe ściany zewnętrzne zaprojektowano jako trójwarstwowe o grubości 51 cm. Warstwą konstrukcyjną ściany jest mur z gazobetonu o grubości 24,0 cm umieszczony w szkielecie stalowych słupów z kształtowników walcowanych HEA 160 lub HEA 180 (rozstaw słupów wynosi od 5,54 do 5,0 m co stanowi połowę wymiaru w osiach konstrukcyjnych). Ponadto konstrukcja ściany z gazobetonu została usztywniona trzema wieńcami żelbetowymi zbrojonymi 4 prętami o średnicy12 mm. Wieńce rozmieszczono w rozstawie pionowym co 2,4 m i osłonięto kształtkami z gazobetonu.(rys. 4) Na poziomie 3,75 m od posadzki budynku, zaprojektowano również pręty stężające ST3 o przekroju 70×70×3 (rys. 5), wzmacniające konstrukcję. W spoinach poziomych muru z bloczków gazobetonowych przewidziano zbrojenie dodatkowe systemowymi siatkami MURFOR oraz kotwienie do słupów spawanymi kotwami z bednarki ocynkowanej.



Rys. 4. Detal wieńca żelbetowego

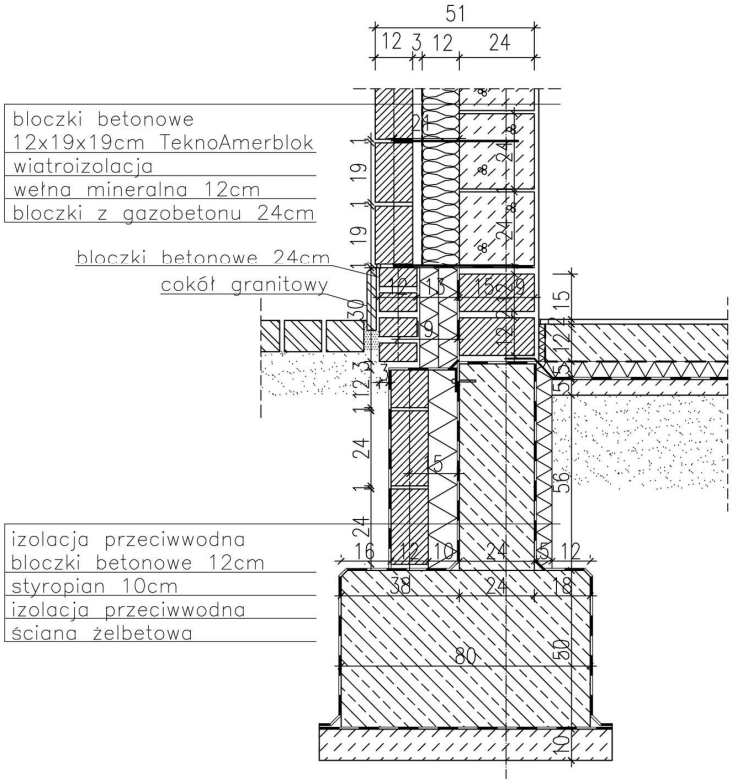


Rys. 5. Detal pręta stężającego

Warstwę licową ściany osłonowej zaprojektowano z bloczków betonowych TeknoAmerBlok grubości 12,0 cm (120×190×390), ustawionych na cokole wykonanym z bloczków betonowych i obłożonym granitem. Izolację termiczną stanowi warstwa wełny mineralnej grubości 12,0 cm oraz pustki powietrznej 3,0 cm. Bloczki cokołu opierają się na żelbetowej ławie fundamentowej szerokości 80 cm i wysokości 50 cm. Izolację przeciwwilgociową wykonano z dwóch warstw papy „mostowej".(rys. 6) Wysokość ściany od poziomu terenu wynosi 8,15 m (od poziomu posadzki 8,0 m). Od strony witryn sklepowych warstwę elewacyjną ścian zewnętrznych, wykonaną z bloczków betonowych TeknoAmerBlok, umieszczono w widocznym szkielecie stalowym. W pozostałych ścianach zewnętrznych (bez otworów) szkieletu nie zastosowano. (por. rys. 1)

W projekcie wykonawczym kotwienie obu warstw ściany osłonowej (warstwy konstrukcyjnej i elewacyjnej) zaprojektowano (w oparciu o rozwiązanie systemowe) za pomocą złączy rozporowych tworzywowo – metalowych typ FISCHER z koszulkami rozprężnymi SX-Ø8×65 mm rozstawionych na siatce 40×50 cm, i zagłębionych w murze gazobetonowym 50÷70 mm. Zalecono również dodatkowe zazbrojenie siatkami typu Murfor spoin muru z zaprawy cementowo-wapiennej o wytrzymałości 5MPa.

Zamocowanie zewnętrznej warstwy elewacyjnej ściany osłonowej wykonano według projektu wykonawczego, który został opracowany przez wykonawcę prac budowlanych.

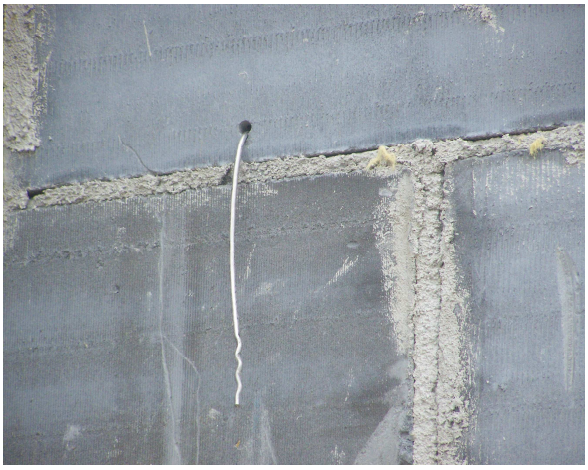


Rys. 6. Detal podparcia ściany licowej według Projektu Budowlanego

3. Opis katastrofy ścian osłonowych

Badania w miejsca katastrofy wykazały, że znaczna ilość kotwi stalowych uległa wyrwaniu ze ściany gazobetonowej (niektóre koszulki z tworzywa sztucznego pozostały nierozprężone. (rys. 7) Powstałe po wyrwanych złączach rozporowych otwory miały średnice znacznie większą niż przekrój koszulek rozprężających.(p. rys. 8) Te pręty, które pozostały w ścianie, można było z łatwością usunąć ręcznie. Kotwie rozmieszczone były nierównomiernie a duża ich ilość została umieszczona w spoinach poziomych i przy krawędziach pustaków (rys. 2). Badania „in-situ” wykazały, że kotwie nie były mocowane do wieńców żelbetowych.

Rys. 7. Bloczki elewacyjne wraz z kotwą metalową, wyrwaną z konstrukcyjnej warstwy gazobetonu



Rys. 8. Kotew częściowo wyrwana z muru, otwór średnicy 10–12 mm

Rys. 9. Odsłonięty cokół, na którym była oparta warstwa elewacyjna ściany osłonowej. Widoczna pochyła płaszczyzna oparcia

Rys. 10. Mimośrodowe oparcie bloczku betonowego TeknoAmerBlok na cokole

W trakcie badań stwierdzono, że fundament zniszczonej ściany ma „skośną" płaszczyznę podparcia. Na tej płaszczyźnie ułożono warstwę izolacji z tzw. papy mostowej (papa na papę); (rys. 8) Stwierdzono również znaczne zawilgocenie bloczków betonowych.

Przyczyny katastrofy murowanej warstwy licowej ściany osłonowej centrum handlowego

W celu ustalenia przyczyn katastrofy warstwy licowej trójwarstwowej ściany osłonowej wykonano badania nośności kotwi na budowie oraz przeprowadzono badania laboratoryjne**.** Badania przeprowadzone w Instytucie Techniki Budowlanej, dotyczące nośności zastosowanych kotwi tworzywowo-metalowych typu Fischer z koszulkami rozprężającymi SX-Ø8×65mm, wykazały, że ich nośność waha się od 0 do 0,17 kN.

Uwzględniając wyniki badań nośności kotwi wykonano sprawdzającą analizę statyczną konstrukcji wykorzystując programy komputerowe ABC – Obiekt 3D i RM –WIN. W obliczeniach założono, że na ścianę działają obciążenia wiatrem (ssanie) na stronie zawietrznej oraz bocznej budynku, a także ciężar własny. W obliczeniach uwzględniono mimośród 5,0 cm spowodowany nieosiowym ustawieniem ściany w poziomie cokołu oraz maksymalne pomierzone wychylenie ściany 2,5 cm.

W projekcie wykonawczym podano, że obciążenia pionowe i poziome wynikające z mimośrodowego zamocowania warstwy licowej względem krawędzi konstrukcji (mimośród 5 cm) względem krawędzi ściany fundamentowej) będą **przenoszone przez żelbetową konstrukcję budynku,** nie wyjaśniono jednak sposobu podparcia i mocowania warstwy licowej do wieńców oraz nie podano sposobu oparcia ściany licowej grubości 12 cm na ścianie fundamentowej. Zastosowany sposób oparcia nie został potwierdzony obliczeniami statycznymi. Nie podano również, sposobu przekazywania sił od obciążenia wiatrem (oddziałujących) z warstwy licowej. Badania po katastrofie wykazały, że były one przekazywane tylko za pośrednictwem kotwi metalowych (prętów średnicy 3,8 mm), mocowanych do pustaków z gazobetonu, mimo, że konstrukcja szkieletowa wewnętrznej warstwy ściany osłonowej została w projekcie budowlanym właściwie zaprojektowana i zapewniała przejmowanie sił wiatrowych. Wątpliwości budzi również sposób ułożenia izolacji przeciwwilgociowej.

Niestaranne, czy wręcz wadliwe wykonawstwo ścian zewnętrznych m.in. posadowienie ściany licowej na ścianie fundamentowej, która została wykonana, jako nachylona skośnie w stosunku do poziomu (nachylenie to w skrajnym przypadku sięga 6°), stworzyło silne zaburzenia w pracy statycznej ściany. Wykonanie izolacji przeciwwilgociowej przy pochylonym oparciu warstwy licowej na ścianie fundamentowej ułatwiło możliwość wystąpienia pośli-

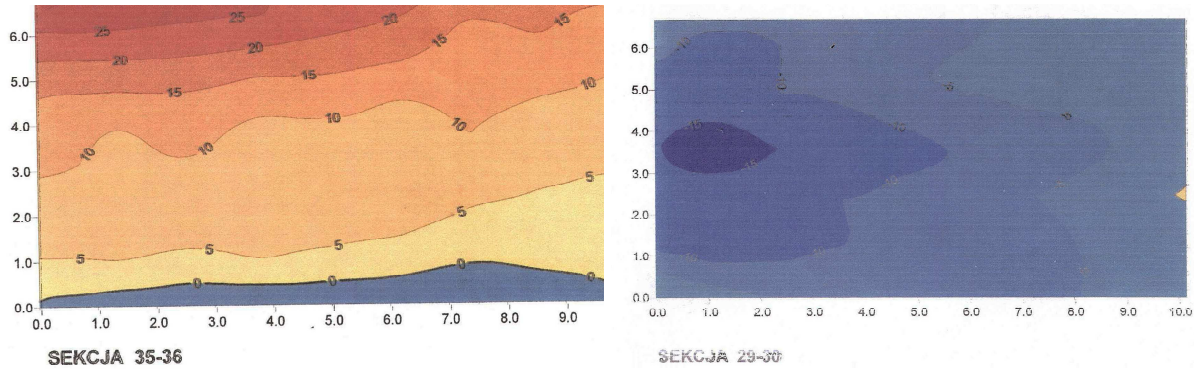
zgu(rys. 9, 10). Nieprawidłowo i nierównomiernie rozmieszczono również kotwie metalowe, które zlokalizowane zostały przy krawędziach pustaków gazobetonowych, a wykonane odwierty do wprowadzenia kołków rozporowych kotwi metalowych miały różną średnicę (sugeruje to wbijanie a nie wkręcanie kotwi) (rys. 8).

W wyniku przeprowadzonych studiów dokumentacji daje się zauważyć brak wzajemnych uzgodnień (relacji) pomiędzy projektem budowlanym ściany osłonowej a Projektem Wykonawczym warstwy licowej. Biorąc pod uwagę specyfiką zaprojektowanej, ciężkiej ściany osłonowej, jej sposób zamocowania powinien być rozstrzygnięty w projekcie budowlanym.

5. Ocena stanu ścian osłonowych, które nie uległy katastrofie

W celu oceny przemieszczeń poziomych i pionowych pozostałych ścian osłonowych (które nie uległy katastrofie) przeprowadzono badania geometrii warstwy licowej. Pomiary wykonano przy użyciu dalmierza laserowego i tzw. pomiaru zdalnego RMS. Celem pomiarów było zaprezentowanie przemieszczeń ściany osłonowej w ujęciu 3D, tj. w osiach X, Y, Z. Obrys murów centrum handlowego został umownie podzielone na segmenty – zgodnie z układem szczelin dylatacyjnych w warstwie licowej. Wyniki przeprowadzonych badań geodezyjnych przedstawiono graficznie w edycji wektorowej – GeoEdit oraz SURFER. Zaistniałe deformacje segmentów ściany osłonowej pokazano w formie rysunków warstwowych (izolinii). Za kierunek dodatni prezentowanych przemieszczeń (niepłaskości) ściany przyjęto kierunek na zewnątrz hali.

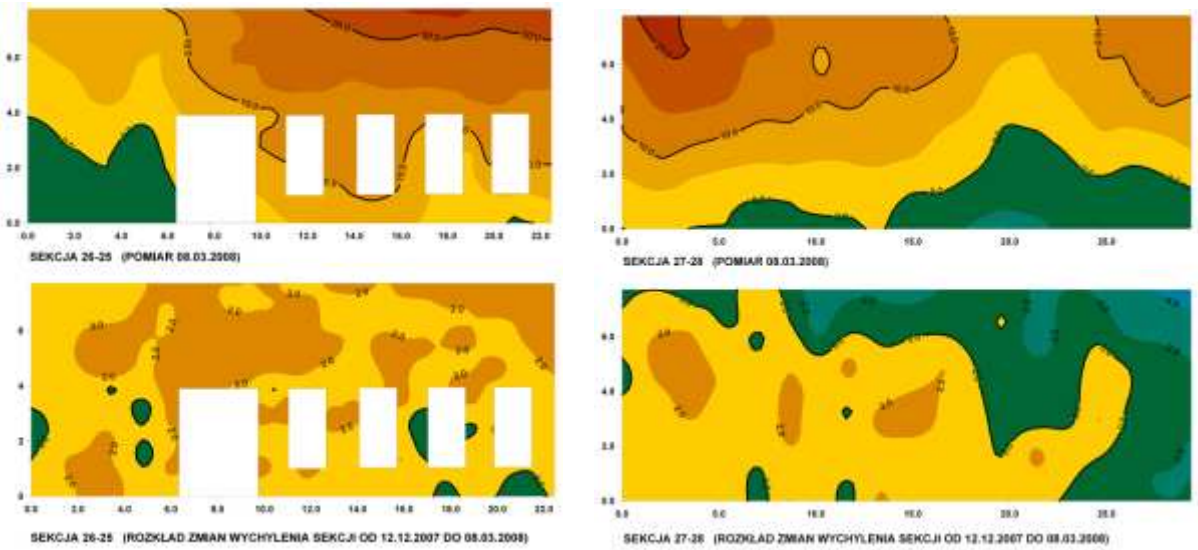
Analiza wyników pomiarów geodezyjnych wykazała, ze wszystkie segmenty warstwy licowej ściany osłonowej centrum handlowego wykazują przemieszczenia poziome (wypukłości i wklęsłości) tj. wartości dodatnie i ujemne. Największa „wypukłość” wyniosła 25÷30 mm, a największa wklęsłość 10÷15 mm.(rys. 11, 12).



Rys. 11. Pierwsze pomiary geodezyjne: segment 35–36, wypukłości do 30 mm, segment 29–30, wklęsłość do 15 mm

Analiza wyników obliczeń sprawdzających przedmiotowej warstwy licowej wykazała, że została wyczerpana nośność murowanej ściany licowej na zginanie, a w poziomie cokołu wystąpiły duże reakcje poziome (0,361 kN), co w przypadku ssania wiatru sprzyja ześlizgiwaniu się masywu muru po warstwie izolacji („papa po papie). Ponadto w konstrukcji ściany (warstwy licowej) brakuje elementu do przenoszenia sił poprzecznych. W przycokołowej strefie ściany licowej występują przemieszczenia różnego znaku. Szczególnie niebezpieczne są przemieszczenia poziome, które doprowadziły do utraty stateczności warstwy licowej, czego potwierdzeniem jest charakterystyczne „wybrzuszenie się” dolnych (przycokołowych) segmentów muru. Obliczenia statyczne sprawdzające wykazały również, że w poziomie cokołu występuje duża siła podłużna (reakcja pionowa), równa około 17,0 kN. Siła ta przy

niepoziomym oparcia ściany wywołuje poziomą siłę składową, która z kolei powoduje dodatkowe obciążenie kotwi.



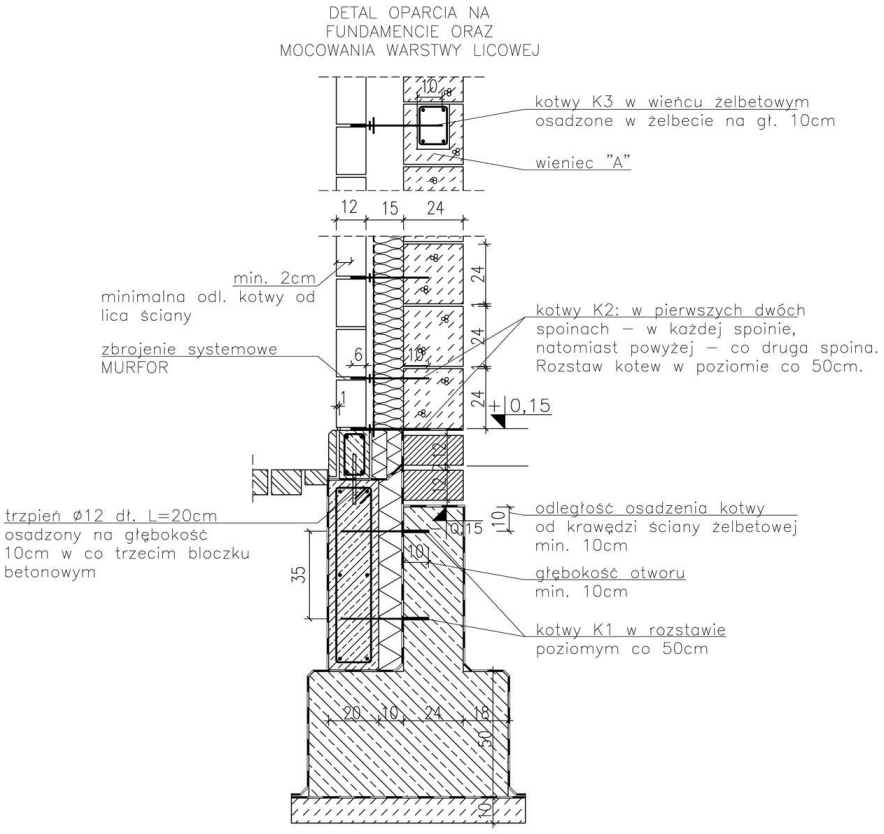
Rys. 12. Powtórne pomiary ścian osłonowych wraz z rozkładem zmian wychylenia sekcji

6. Rekonstrukcja ściany osłonowej

Na podstawie przeprowadzonych analiz, pomiarów geodezyjnych i obliczeń statycznych podjęto decyzję o rozbiórce (rys. 13), a następnie rekonstrukcji warstwy licowej wszystkich ścian osłonowych zaprojektowanych bez wzmocnień dodatkowymi elementami szkieletu stalowego. Rekonstrukcję przeprowadzono na nowym odpowiednio skonstruowanym fundamencie, z przyjęciem nowego systemu kotwienia warstwy licowej. (rys. 14)

Rys. 13. Rozbiórka warstwy licowej w zewnętrznych ścianach osłonowych

Zastosowano kotwy chemiczne HILTI typu HIT – HY 70 i HIT – HY 150, kotwione do wieńców i do ściany gazobetonowej o nośności na wyrywanie 0,7 kN. Kotwy drutowe ze stali kwasoodpornej A4 wykonano z dwóch zespawanych ze sobą części – o średnicy 50 mm w części zakotwionej w warstwie licowej oraz o średnicy 8mm nagwintowanej do osadzenia w wieńcach i ścianach z gazobetonu. Zastosowano po 5 sztuk kotwi na 1 m^2 ściany, mocowanych w pionie, co 40 cm i w poziomie, co 50 cm.



Rys. 14. Detal projektowanej rekonstrukcji ściany osłonowej

7. Wnioski

2. Zastosowany system kotwienia (złącza rozporowe tworzywowo – metalowych typu FISCHER) nie miały atestu ITB a sposób kotwienia warstwy licowej nie został potwierdzony obliczeniami statycznymi oraz badaniami laboratoryjnymi.
3. W przycokołowej strefie ściany licowej (wskutek działania parcia i ssania wiatru) występują znaczne przemieszczenia. Szczególnie niebezpieczne są przemieszczenia poziome, które mogą doprowadzić do utraty statyczności warstwy licowej.
4. W poziomie cokołu występuje duża siła podłużna (reakcja pionowa). Siła ta przy braku poziomego podparcia ściany powoduje dodatkowe obciążenia kotwi.

8. Wykorzystane materiały

1. Projekt Budowlany Centrum Handlowego BIG w Warszawie, Studio Quadra Sp. z o.o ul. Foksal 19, 00-372 Warszawa
2. Szulborski K., Nalewajko R.: Ekspertyza Techniczna dot.: oceny przyczyn zawalenia się warstwy licowej ściany osłonowej nowobudowanego Centrum Handlowego BIG przy Al. Jerozolimskich w Warszawie
3. Opinia techniczna Nr OSK 898/P/2007 dot. Zamocowań kotwi w trójwarstwowej ścianie elewacyjnej Centrum Handlowego Big w Warszawie opracowana przez ITB, 24.09.2007
4. Geodezyjna inwentaryzacja geometrii wybranych elementów elewacji obiektu CH Skorosze w Warszawie, opracowana przez dr inż. M. Woźniaka „Prace Geodezyjno – Kartograficzne i Ekspertyzy", ul. Bernardyńska 5 m 33 Warszawa.