

ANALIZA PRZYCZYN POWSTANIA USZKODZEŃ NA ELEWACJI BUDYNKU OKRĄGLAK W POZNANIU

ARKADIUSZ KWIECIEŃ, *e-mail: akwiecie@pk.edu.pl*

TADEUSZ TATARA

KRZYSZTOF CHUDYBA

MAREK KOZŁOWSKI

ALEKSANDER BYRDY

FILIP PACHLA

BOGUSŁAW ZAJĄC

Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska

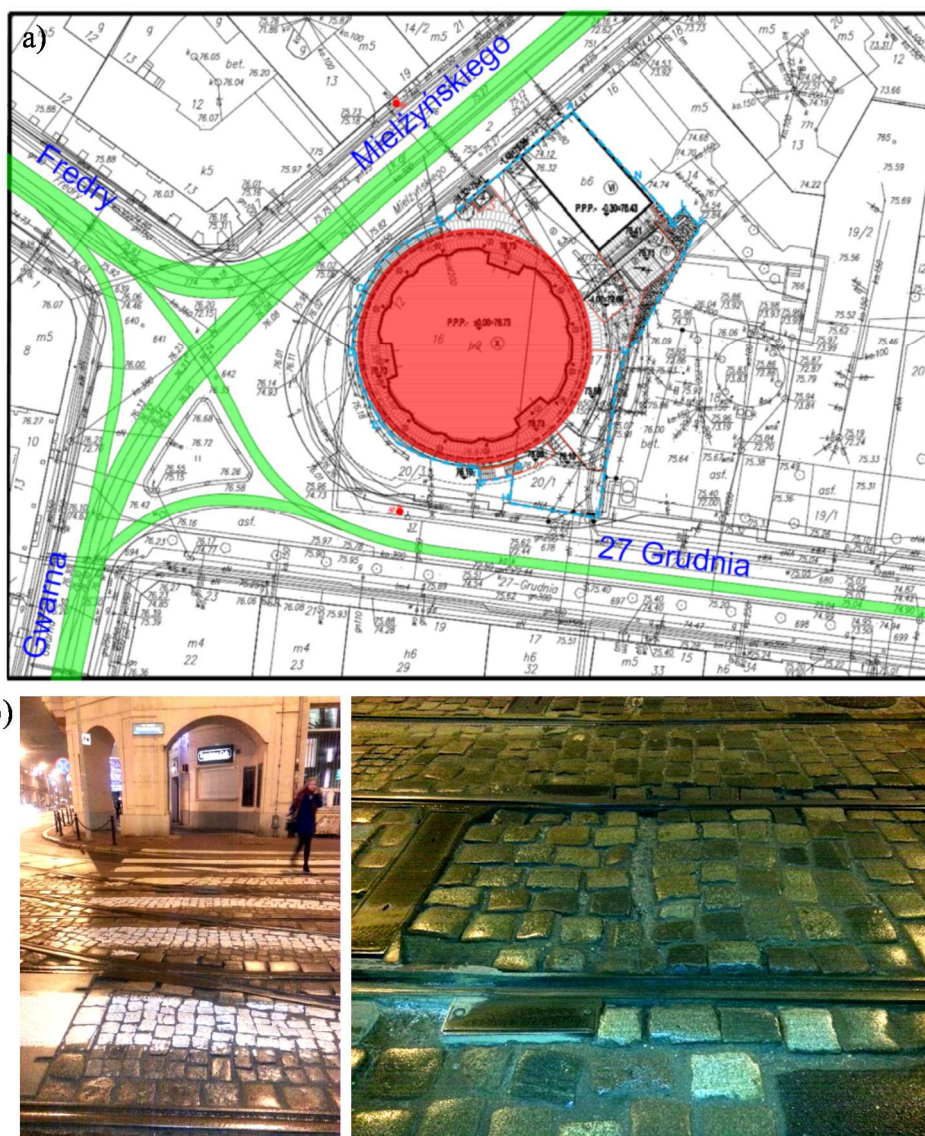
Streszczenie: W pracy zostały zaprezentowane wyniki analiz przeprowadzonych dla budynku „Okrągłak” w Poznaniu, których celem było określenie przyczyn ponownego powstania rys na elewacji budynku po jej renowacji. Analizom poddano skuteczność prac naprawczych, przeprowadzonych wcześniej dla tych elementów i zaproponowano możliwe kierunki dalszego postępowania, w celu ich w miarę skutecznego wyeliminowania. W analizach wykorzystano wyniki przeprowadzonej na obiekcie wizji lokalnej i szczegółowej inwentaryzacji uszkodzeń elementów elewacji budynku, przeglądu udostępnionej dokumentacji technicznej. Na obiekcie przeprowadzono pomiary geodezyjne osiadań i pomiary kontrolne stabilności rozwarcia rys na elewacji, a także pomiary dynamiczne budynku wraz z obliczeniami przyjętego modelu 3D, poddanego wymuszeniom dynamicznym oraz uwzględniono w analizach pracę termiczno-wilgotnościową obiektu. Odtworzenie się na elewacji częściowo występujących już wcześniej zarysowań było konsekwencją historii budynku od chwili jego wybudowania i ujawnionych już w przeszłości niekorzystnych efektów – głównie termiczno-skurczowych oraz obniżenia trwałości elementów, wskutek długotrwałego oddziaływania czynników środowiskowych i występujących w niektórych elementach rys, już w czasie ich wbudowania w konstrukcję. Bezpośrednią przyczyną uszkodzeń fragmentów powierzchni zewnętrznych elementów konstrukcji były znaczne różnice temperatur pomiędzy temperaturą scalenia, a temperaturą osiąganą pod wpływem promieniowania słonecznego oraz różnicami pomiędzy temperaturą wewnętrzną i zewnętrzną ścian, którym towarzyszą czynniki wilgotnościowe na niezabezpieczonych powierzchniach betonowych. Wszystkie elementy budynku zostały zmonolityzowane i nie mają możliwości kompensowania naprężeń termicznych.

Słowa kluczowe: budynek żelbetowy, wpływy termiczno-wilgotnościowe, zarysowania, skurcz, naprawa

1. Opis budynku

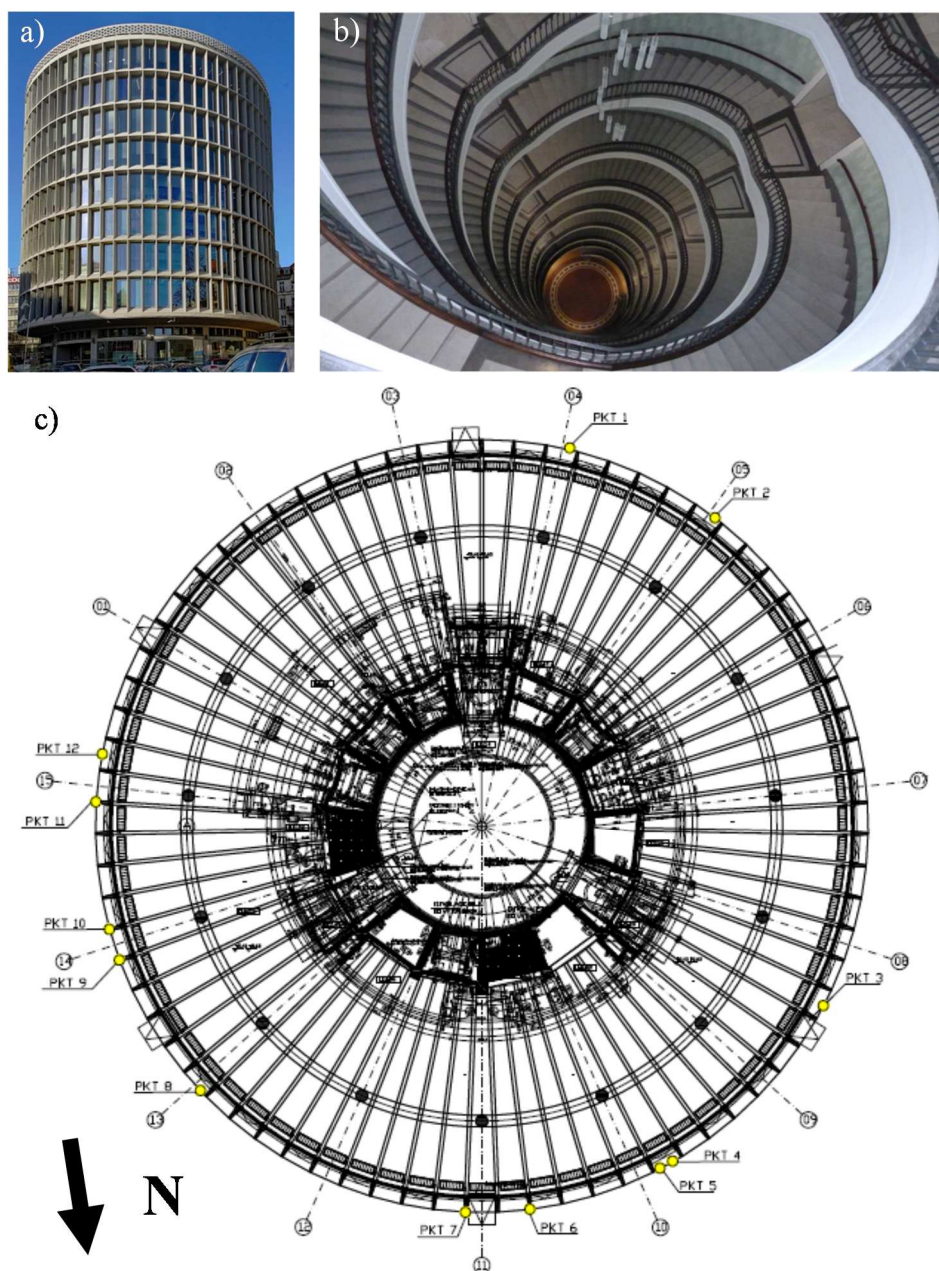
Budynek Okrągłaka w Poznaniu (rys. 1a) został oddany do użytku na początku 1954 roku jako Powszechny Dom Towarowy. Jako galeria handlowa funkcjonował do 2008 roku. W tym samym roku opracowano projekt architektoniczno-budowlany przebudowy i rewitalizacji budynku Okrągłaka, związany ze zmianą funkcji budynku na biurowo-handlową, z dominacją funkcji biurowej, zrealizowany w latach 2011–12.

Przedmiotowy budynek posiada kształt walca (rys. 2a) i elewację skomponowaną z prefabrykowanych kształtek: „żyłutki” tworzą pionowe ciągi a poziome podokienniki tworzą pierścienie (rys. 2c). Budynek DT „Okrągłak” został wykonany w konstrukcji żelbetowej, głównie monolitycznej, z niewielkim udziałem elementów prefabrykowanych. Obiekt posiada dziedwieć kondygnacji nadziemnych oraz dwie kondygnacje podziemne.



Rys. 1. Mapa sytuacyjna z zaznaczonym budynkiem Okrągłaka w Poznaniu i liniami tramwajowymi (a) oraz stan zachowania torowiska w obszarze ul. Mielżyńskiego i skrzyżowania na jej końcu (b)

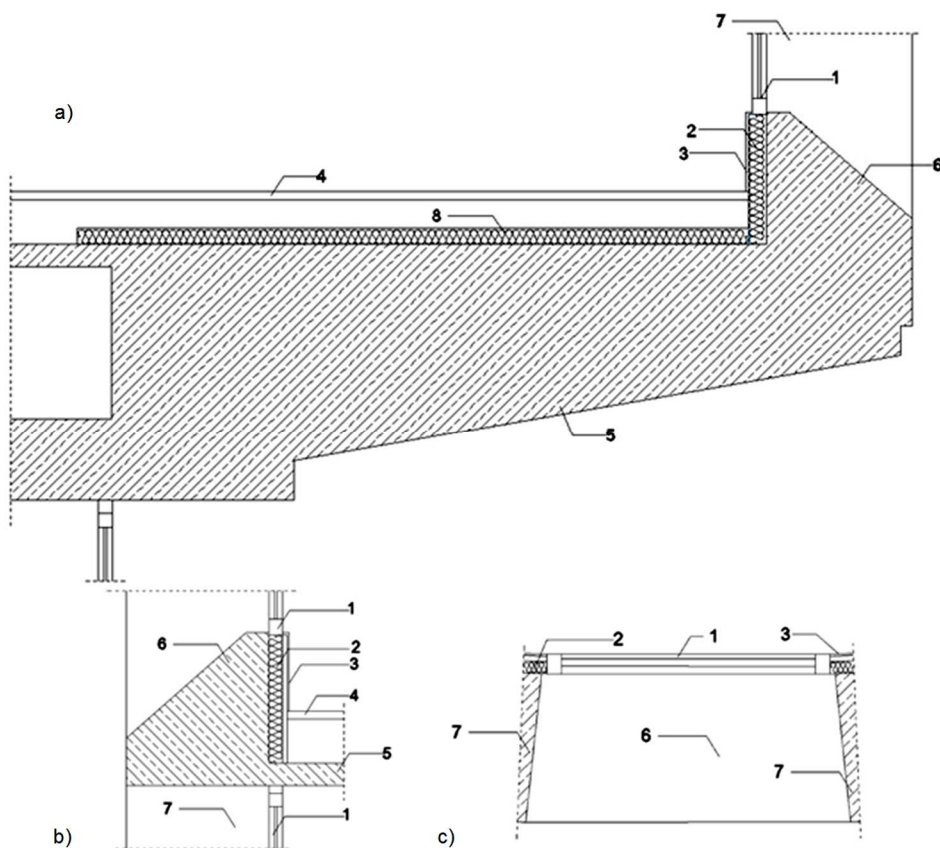
Wysokość całkowita części nadziemnej budynku wynosi 41,7 m. W rzucie budynek ma kształt koła o średnicy 34 m na kondygnacji powtarzalnej oraz ok. 28 m na parterze. Konstrukcję kondygnacji powtarzalnych stanowią żelbetowe monolityczne stropy płytowo-żebrowe, o żebdach usytuowanych promieniście do osi pionowej budynku (rys. 2c), o schemacie belki dwuprzęsłowej swobodnie podpartej z jednym końcem utwierdzonym. Płyta żelbetowa ma grubość ok. 10 cm, natomiast żebra posiadają przekrój 48×14 cm. Odległości pomiędzy żebrawi mierzone na obwodzie zewnętrznym budynku wynoszą 1,4 m. Wewnętrzną podporę stropu płytowo-żebrowego stanowi cylindryczny żelbetowy trzon (utwierdzenie), mieszczący klatkę schodową (rys. 2b), windy oraz pomieszczenia sanitarne i techniczne.



Rys. 2. Budynek Okrągłaka: widok elewacji południowej (a), widok klatki schodowej wewnątrz trzonu (b), przekrój poziomy z lokalizacją 12 markerów gipsowych na zarysowaniach pierścienia żelbetowego stropu nad parterem (c)

Podporę pośrednią stanowi podciąg o kształcie okręgu w rzucie, podparty na słupach żelbetowych, regularnie rozmieszczonych na okręgu o promieniu 13,3 m. Zewnętrzną podporę płyty w osi żeber stanowią prefabrykowane żebra elewacyjne (żyletki), umieszczone w elewacji w rozstawie 1,4 m tak, że każde żebro płyty opiera się na indywidualnym żebrze elewacyjnym. Żebra

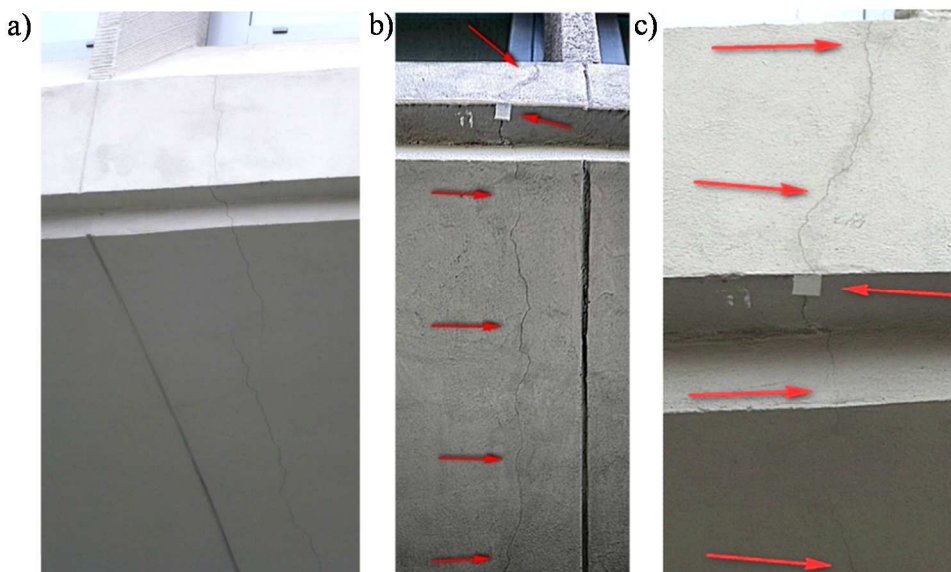
elewacyjne spięte są monolityczną belką – wieńcem promienistym o przekroju trapezowym (rys. 3b). Strop nad parterem posiada inną – cięższą konstrukcję. Za linią słupów pośrednich na zewnątrz konstrukcja stropu jest pogrubiona (rys. 3a). W tym miejscu na parterze znajduje się przeszklona elewacja. Zewnętrzna, wspornikowa część stropu stanowi jednocześnie oparcie dla pionowych żeber elewacyjnych (rys. 3c). Wewnętrzna ściana trzonu ma kształt powierzchni walcowej o średnicy 9,2 m. Jest to ściana żelbetowa, monolityczna. Zewnętrzna ściana trzonu, również o kształcie walca, jest silnie otworowana i w zasadzie jej konstrukcję stanowi szkielet pilastrów i podciągów wypełnionych ścianami murowanymi. Obie walcowe ściany są połączone promieniście usytuowanymi ścianami murowanymi opartymi na belkach żelbetowych na każdej kondygnacji, które tworzą formę żeber trzonu. Przestrzeń ograniczona wewnętrzną ścianą trzonu wolna jest od stropów i stanowi patio o wysokości 41,7 m, w którym zaprojektowano potrójne spiralnie biegnące schody, oparte wspornikowo na ścianach trzonu (rys. 2b).



Rys. 3. Przekroje przez elementy konstrukcyjne elewacji: pierścienia żelbetowego stropu nad parterem (a), powtarzalny fragment ściany zewnętrznej w strefie stropowej pod oknami (b) i w strefie międzyokiennej – żyletki (c). Oznaczenia: 1 – profil okienny, 2 – izolacja z wełny mineralnej o grubości 5 cm, 3 – płyta gipsowo-kartonowa mocowana na ruszcie, 4 – warstwa podłogi podniesionej, 5 – strop między piętrowy, 6 – podokienna belka żelbetowa, 7 – żelbetowy słup międzyokienny (żyletka)

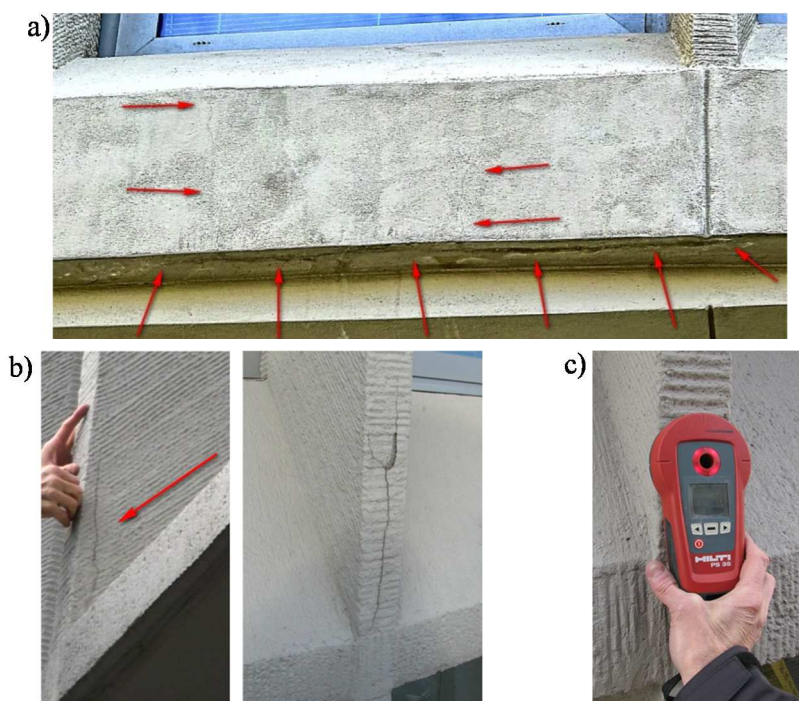
2. Zaobserwowane uszkodzenia elewacji zewnętrznej

W krótkim czasie po zakończeniu prac remontowych, na elewacji Okrągłaka (podokienniki, elementy pionowe – „żyłетки”) zaobserwowano powstanie rys. Można je podzielić na konstrukcyjne i niekonstrukcyjne. Do zarysowań konstrukcyjnych należą te, które przebiegają przez pierścień żelbetowego stropu nad parterem (widoczne na jego spodniej stronie i na krawędzi zewnętrznej) i przez podokienną belkę żelbetową (rys. 4). Zarysowania na stronie spodniej stropu nad parterem zanikają w strefie żelbetowego podciągu pierścieniowego, opartego na kolumnach (rys. 2b), a ich największe rozwartości zlokalizowane są na krawędzi belki podokiennej (przy kapinosie). Występują one pojedynczo na obwodzie, z największym zagęszczeniem po stronie północnej budynku. Osobną grupą uszkodzeń są zarysowania konstrukcyjne przebiegające pionowo przez podokienną belkę żelbetową (rys. 5a) w stosunkowo gęstym rozstawie, występujące w poziomie każdej kondygnacji w środku parapetu i na krawędziach jego styku z żyłkami (rys. 5b). Charakter tych zarysowań jest podobny do tego, występującego na spodzie belek żelbetowych poddanych silnym obciążeniom zginającym, a w konstrukcjach żelbetowych cylindrycznych powłokowych (chłodnie kominowe, kominy) do uszkodzeń spowodowanych obwodowymi naprężeniami rozciągającymi, występującymi przy zbyt niskim stopniu zbrojenia obwodowego. W trakcie przeprowadzonych wewnątrz budynku wizji lokalnych nie stwierdzono żadnych uszkodzeń na widocznych elementach konstrukcyjnych (belki i płyty stropowe, słupy), świadczących o nieprawidłowej pracy budynku, co potwierdziły także pomiary geodezyjne, niewykazujące żadnych oznak nierównomiernego osiadania.



Rys. 4. Pojedyncze zarysowania na dolnej powierzchni zewnętrznej pierścienia żelbetowego stropu nad parterem oraz zainstalowane markery gipsowe na rysach

Do zarysowań niekonstrukcyjnych należy zaliczyć te zlokalizowane na żyłkach (rys. 6b) oraz rysy poziome i pionowe mocno zagęszczone na powierzchni parapetów (rys. 5b) i gzymśów (rys. 6a), charakterystycznych dla oddziaływań środowiskowych termiczno-wilgotnościowych.



Rys. 6. Rysy poziome na powierzchni gzymsów (a), rysy na powierzchni żyletek (b), pomiar grubości otuliny betonowej (28 mm) dla elementu pionowego („żyłotka”) na 3 piętrze (c)



Rys. 7. Uszkodzenia z inwentaryzacji przed remontem Okrągłaka w 2012 roku – typowe uszkodzenia elementów elewacji budynku: rysy i spękania na powierzchni podokienników i belki obwodowej; rysy i pęknięcia betonu (nawet na całą grubość otuliny i z odsłonięciem zbrojenia) na elementach pionowych („żyłtkach”); rysy na styku elementów poziomych i pionowych

Tablica 1. Zmiany indykacyjne zarysowań na plackach gipsowych w punktach 1–12 (rys. 2c i 4b, 4c)

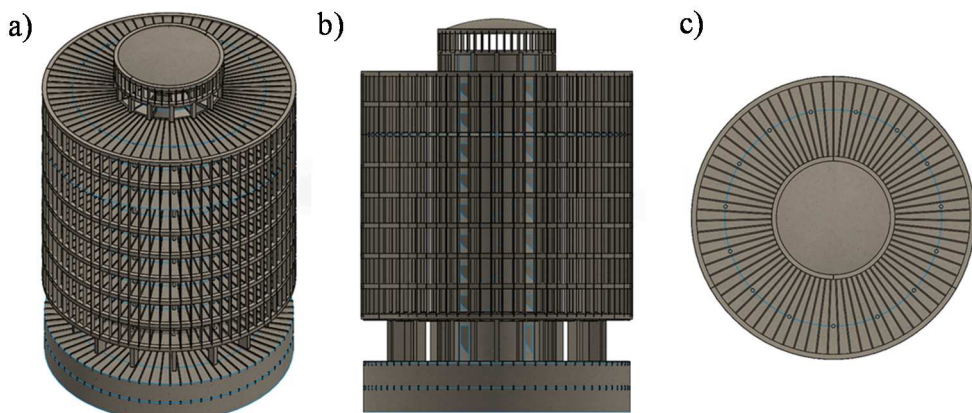
DZIENNIK ZMIAN ZARYSOWAŃ															
L.P.	DATA	TYDZIEŃ	TEMP. ODCZYT	ZMIANY POGODY	MIEJSCE ODCZYTU										
					PKT 1	PKT2	PKT3	PKT4	PKT5	PKT6	PKT7	PKT8	PKT9	PKT10	PKT11
1	09.02.2016	I	7st	Częściowe zachmurzenie. Niewielki deszcz. Wiatr 20km/h. Temp. w nocy: 5st	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	16.02.2016	II	4st	Pochmurno. Bez opadów. Wiatr 16km/h. Temp. w nocy: 2st	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	23.02.2016	III	5st	22.02 temp. około 10st. Lekko pochmurnie. Bez opadów. Wiatr 18km/h. Temp. w nocy: 2st Średnia temperatura w nocy: UJEMNA	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
4	01.03.2016	IV	1st	Pochmurnie. Lekkie opady. Wiatr 16km/h. Temp. w nocy: -1st	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0
5	08.03.2016	V	3st	Pochmurno. Bez opadów. Wiatr umiarkowany. Wiatr 10km/h. Temp. w nocy: 1st	0	0	1	0	1	X	0	1	0	0	0
6	16.03.2016	VI	6st	Bezmumie. Bez opadów. Wiatr umiarkowany. Wiatr 10km/h. Temp. w nocy: -1st	0	0	1	1	1	X/1	0	1	0	0	0
7	22.03.2016	VII	5st	Pochmurnie. Opady deszczu. Wiatr porywisty. Wiatr 18km/h.	0	0	1	1	1	X/1	0	1	0	0	0
8	29.03.2016	VIII	12st	Lekko pochmurnie. Przelotne niewielkie opady. Wiatr porywisty. Wiatr 20km/h.	0	0	1	1	1	X/1	0	1	0	0	0
9	05.04.2016	IX	24st	Częściowe zachmurzenie. Bez opadów. Wiatr umiarkowany. Wiatr 7km/h.	0	1	1	1	1	X/1	0	1	0	0	0
10	12.04.2016	X	8st	Pochmurnie. Opady deszczu. Wiatr umiarkowany. Wiatr 5km/h.	0	1	1	1	1	X/1	0	1	0	0	1

08.02.2016 - MONTAŻ PLACKÓW GIPSOWYCH

ZMIANA: 0 - BRAK; 1 - ZARYSOWANIE

X - PRÓBKA ZNISZCZONA

W celu wykluczenia wpływu oddziaływania dynamicznego na budynek od przejeżdżających w pobliżu tramwajów (bardzo zły stan torowiska – rys. 1b), akredytowane laboratorium IMB PK przeprowadziło diagnostykę dynamiczną budynku [2], wykorzystując pomiary przyspieszeń na obiekcie. Posłużyły one do weryfikacji zbudowanego modelu numerycznego 3D (rys. 8) w dziedzinie częstotliwości. Obliczone podstawowe częstotliwości drgań własnych budynku i opis postaci drgań zamieszczono w tablicy 2.

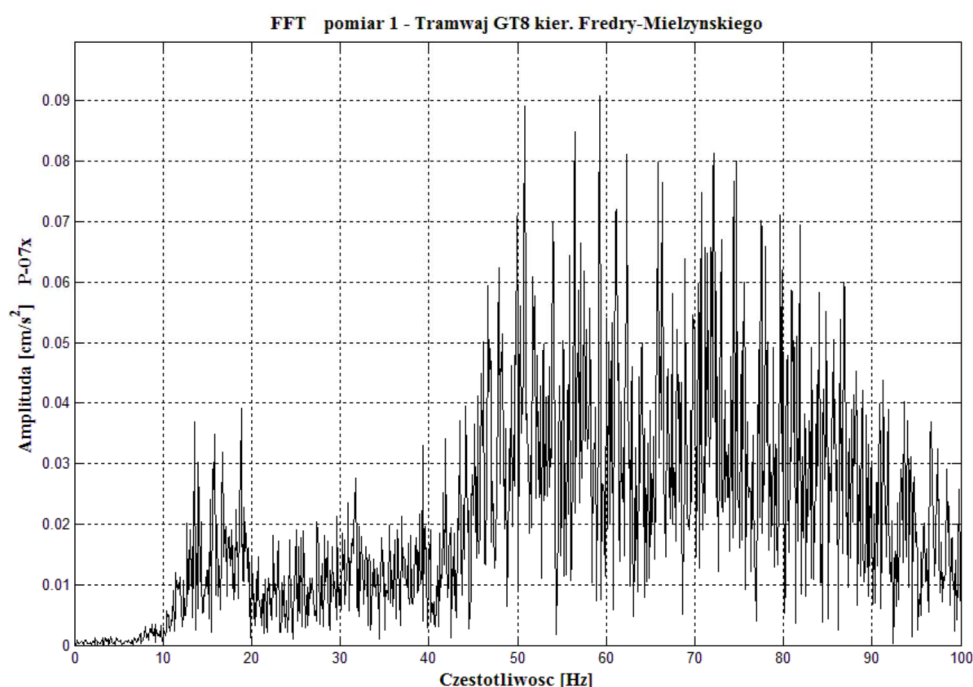


Rys. 8. Wizualizacja modelu obliczeniowego budynku: aksonometria (a), widok z boku (b) i z góry (c)

Tablica 2. Częstotliwości i postacie drgań własnych modelu Okrągłaka, walidowane pomiarami

L.p.	Częstotliwość [Hz]	Charakter postaci drgań
1	1,32	Giętna
2	1,33	Giętna
3	1,37	Skretna
4	2,92	Skretna
5	3,63	Skretna

Porównanie dominującego zakresu spektrum częstotliwości (FFT – 11–100 Hz), generowanego przez przejeżdżające tramwaje (rys. 9), z podstawowymi częstotliwościami drgań własnych Okrągłaka (tab. 2) wskazało na brak istotnego oddziaływania dynamicznego. Potwierdziły to wyniki analiz numerycznych na modelu budynku. Maksymalne naprężenia wynikowe otrzymane w charakterystycznych punktach konstrukcyjnych nie przekroczyły 2 kPa (tab. 3), co stanowiło poniżej 0,15% wytrzymałości charakterystycznej betonu na rozciąganie (dla klasy betonu odpowiadającej C12/15 lub C16/20) – w projekcie oryginalnym beton B17,5.



Rys. 9. FFT przyspieszeń drgań (składowa pozioma) – słup kondygnacji – 2, w poziomie nad posadzką

Tablica 3 Maksymalne wartości wynikowe naprężeń w elementach konstrukcyjnych budynku

Pomiar	Maksymalne wartości wynikowych naprężeń [kPa]		
	zewnętrzne belki obwodowe	słupy prostokątne w poziomie parteru	powłoka trzonu wewnętrznego klatki schodowej
01	0,080	0,503	0,905
16	0,150	0,790	1,425
25	0,136	0,634	1,100
28	0,113	0,661	1,194
38	0,142	0,795	1,420

Przeprowadzona na obiekcie inwentaryzacja objęła także pomiary szerokości rozwarcia występujących zarysowań. Uzyskane wyniki mieściły się w zakresie 0,1–0,2 mm. W przeglądniętej dokumentacji archiwalnej znaleziono opis podobnych uszkodzeń (do tych stwierdzonych w roku 2011 i 2015), które wymusiły konieczność wykonania remontu elewacji w 1993 roku. Uszkodzenia elewacji o stwierdzonym obecnie charakterze, w postaci zarysowań podokienników i elementów pionowych („żyletek”) oraz lokalnych ubytków i pęknięć otuliny betonowej, nie są zjawiskiem, które objawiło się teraz w sposób nagły.

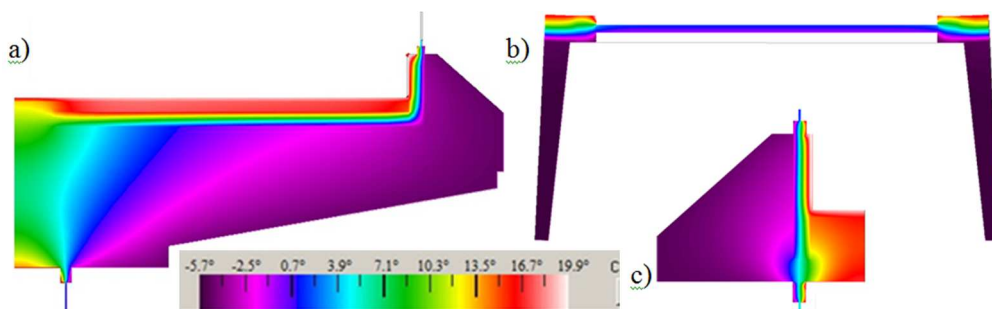
Przeprowadzony kontrolny pomiar grubości otuliny w kilku elementach podokiennika i pionowych „żyletkach” (rys. 6c) pokazał, że pomierzone wartości otuliny były bardzo zróżnicowane i wynosiły od ok. 25 mm do lokalnie nawet 100–110 mm. Występujące już wcześniej w przeszłości zarysowania pionowe „żyletek” powstają w efekcie destrukcji otuliny betonowej wzdłuż zbrojenia tych elementów, poddanej długotrwałym oddziaływaniom środowiskowym. Objawiają się one w pierwszej kolejności w tych elementach, dla których obniżeniu ulega trwałość z uwagi na zbyt małe grubości otuliny betonowej zbrojenia lub dla których niewłaściwie przeprowadzone zostały prace naprawcze w przeszłości (np.: brak odpowiedniej warstwy szpempnej między betonem elementu a warstwą naprawczą). Zarysowania na podokiennikach elewacji budynku powstały w wyniku działania (w tym łącznego) różnych czynników. Należy do nich zaliczyć odkształcenia termiczne związane z pracą całego stropu, który nie jest zdylatowany, jak i efekty odkształceń termiczno-skurczowych samego materiału naprawczego, który został zastosowany dla pojedynczego podokiennika.

Zarysowania elewacji pojawiały się cyklicznie praktycznie w całym okresie użytkowania budynku. Na podstawie dokumentacji obliczono (wg normy PN-EN 1992-1-1 [3]) wielkość minimalnego zbrojenia z uwagi na zarysowanie dla elementu obwodowego nad parterem. Określenie takiego minimalnego zbrojenia ma szczególne znaczenie wtedy, gdy występują istotne obciążenia pośrednie (termiczno-skurczowe) [4, 5], które mogą wywołać rozciągania w takich przekrojach, w których obciążenia bezpośrednie nie wymagają zbrojenia rozciąganego. Oszacowane zostało minimalne pole przekroju zbrojenia przy założeniu, że siła w zbrojeniu rozciągany nie będzie mniejsza niż wypadkowa siła w betonie strefy rozciąganej w chwili poprzedzającej zarysowanie. Rzeczywista wielkość zbrojenia (8 cm^2) przy zewnętrznej powierzchni (rozciąganej) belki obwodowej z uwagi na ograniczenie zarysowania była niewystarczająca – ponad dwukrotnie zaniżona w stosunku do obliczonego minimum ($18,4 \text{ cm}^2$). Wynik ten pokazuje, że niewystarczająca ilość zbrojenia obwodowego w budynku przy braku dylatacji umożliwiła powstanie zarysowań elementów konstrukcyjnych pod obciążeniami termiczno-skurczowymi już na wczesnym etapie eksploatacji obiektu.

Osobnym czynnikiem destrukcyjnym jest oddziaływanie cyklicznie zmiennych gradientów temperaturowych (dzień-noc, lato-zima) i wpływ nasłonecznienia [6, 7, 8] oraz różnic temperatur pomiędzy wnętrzem i zewnątrz budynku. Brak wystarczającego zbrojenia obwodowego na oddziaływania termiczne w Okrąglaku sprzyjał restytucji pierwotnych uszkodzeń, co potwierdza czasokres otwierania się naprawionych rys (zarysowania markerów gipsowych – odtwarzanie się uszkodzenia). W zimie (przy niskich temperaturach na zewnątrz i wysokich w ogrzewanych pomieszczeniach) największy gradient temperaturowy występuje na elewacji północnej, powodując otwieranie się rys (punkty 3–6 i 8 w tab. 1). W lecie, na powierzchni pochylonych podokienników elewacji południowej, temperatura od nasłonecznienia może dochodzić nawet do 50°C , wywołując znaczny gradient temperatury ze spodnią (zacienioną) powierzchnią masywnego pierścienia żelbetowego stropu nad parterem, powodując otwieranie się rys (punkty 2 i 12 w tab. 1). Duże gradienty termiczne spowodowane są słabą izolacją termiczną budynku.

Wnioski te potwierdzają obliczeniowe analizy transportu ciepła i rozkładu temperatury, które zostały wykonane przy użyciu programu komputerowego do analizy dwuwymiarowego

przepływu ciepła THERM 7.3. Rozkłady temperatury zostały wyznaczone dla stałej temperatury wewnętrznej $+20^{\circ}\text{C}$ i przyjętej temperatury powietrza zewnętrznego -5°C . Obliczeniowo, wielkość skoku temperatury na powierzchni ściany określono na podstawie wzoru Mackeya-Wrighta [9]. Na rys. 10 przedstawione zostały analizy termiczne węzłów i detali. Najbardziej zniszczonym fragmentem elewacji są zewnętrzne parapety podokienne, przyjmujące promienie słoneczne na powierzchni pod kątem prostym, co zapewnia maksymalne nasłonecznienie tej płaszczyzny. Różnice między maksymalnymi wartościami natężenia promieniowania w okresie lata oraz zimy, są znaczne.



Rys. 10. Rozkład temperatury (w ziemie) w przekroju: a) pierścienia żelbetowego stropu nad parterem, b) w strefie międzyokiennej – żyłki, c) ściany zewnętrznej w strefie stropowej pod oknem

Żelbetowe fragmenty konstrukcji budynku widoczne na elewacjach zewnętrznych zostały zaprojektowane jako odsłonięte przez co są stale narażone na oddziaływania obciążeń środowiska zewnętrznego. Powierzchnie zewnętrzne pierścienia żelbetowego stropu nad parterem, górne powierzchnie żelbetowych parapetów podokiennej oraz zewnętrzne powierzchnie słupów międzyokiennych są stale poddawane zmiennym wpływom środowiskowym. W miesiącach zimowych elementy te znajdują się w strefie przemarzania, natomiast w miesiącach letnich poddawane są ekstremalnym obciążeniom termicznym wywołanym promieniowaniem słonecznym. Dodatkowo elementy parapetów nie są zabezpieczone hydrofobowo przed opadami atmosferycznymi, przez co mogą ulegać cyklicznemu zawilgoceniu.

4. Wnioski

Odtworzenie się częściowo na elewacji występujących już wcześniej zarysowań jest konsekwencją historii budynku od chwili jego wybudowania i ujawnionych już w przeszłości niekorzystnych efektów – głównie termiczno-skurczowych oraz obniżenia trwałości elementów. Prowadzone dotychczas naprawy (cyklicznie powtarzane co kilkanaście lat), w postaci powierzchniowego przykrywania głębokich rys (głównie termiczno-skurczowych) przy użyciu sztywnych (niekompatybilnych termo-mechanicznie) warstw naprawczych, okazały się nieskuteczne w dłuższym okresie. Z uwagi na pracę termiczną konstrukcji budynku, zwłaszcza w okresie zimowym (wydłużanie się ogrzewanych belek promienistych i płyt stropowych, przy jednoczesnym kurczeniu się pierścieni obwodowych elewacji w poziomie stropów pod wpływem oziębiania), dochodzi do cyklicznie zmieniającej się rozwarkości istniejących rys (naturalnie wytworzone dylatacje).

Na podstawie przeprowadzonych czynności można stwierdzić, że zaobserwowane uszkodzenia nie zagrażają bezpiecznej eksploatacji budynku i nie wynikają z nierównomiernych osiadań od zmiennych warunków gruntowo-wodnych, bądź pracy budynku pod działaniem sił dynamicznych. Bezpośrednią przyczyną uszkodzeń fragmentów powierzchni zewnętrznych

elementów konstrukcji są znaczne różnice temperatur pomiędzy temperaturą scalenia, a temperaturą osiąganą pod wpływem promieniowania słonecznego oraz różnicami pomiędzy temperaturą wewnętrzną i zewnętrzną ścian. Zmonolityzowane elementy budynku nie mają możliwości kompensowania naprężeń termicznych.

Otwieranie się istniejących rys skurczowych pod wpływem obciążeń termicznych można jedynie ograniczyć poprzez zastosowanie kompozytowego zbrojenia obwodowego, zamocowanego w poziomie stropów w bruzdach pod tynkiem elewacji, przy użyciu warstw adhezyjnych niewrażliwych na działanie podwyższonych temperatur.

Literatura

1. Kiernożycki W., Lipski M.: Przerwy dylatacyjne w konstrukcjach żelbetowych. Przegląd Budowlany 12/2006, pp. 33–44.
2. Kawecki J.: Kryteria oceny wpływu drgań komunikacyjnych na budynki zabytkowe i ludzi w budynkach w ujęciu normowym. Przegląd Budowlany 11/2015, pp. 43–50.
3. PN-EN 1992-1-1: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
4. Kiernożycki W., Kurzawa J.: Rysy i naprężenia wywołane wpływami technologicznymi w masowych płytach fundamentowych, Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej, 1986.
5. Klemczak B., Knoppik-Wróbel A.: Ocena ryzyka wystąpienia wczesnych rys termiczno-skurczowych w betonowych ścianach obudów reaktorów atomowych XXVI Konf. Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane 2013, pp. 825–832.
6. Ajdukiewicz A., Klemczak B.: Fizykochemiczne przyczyny uszkodzeń budynku murowego. XXVI Konf. Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane 2013, pp. 761–768.
7. Krentowski J., Tribiło R.: Analiza wpływu obciążenia temperaturą na stan odkształceń i zagrożeń konstrukcji budowlanych. Budownictwo i Inżynieria Środowiska 2(2011), pp. 155–162.
8. Ratajewicz B., Tataro T.: Analiza termiczna żelbetowych kominów. Przegląd Budowlany 6/2015, pp. 83–87.
9. Mackey C.O., Wright L.T.: Periodic Heat Flow-Homogeneous Walls or Roofs. ASHVE Trans. 50 (1944): 293.

ANALYSIS OF THE CAUSES OF DAMAGE TO THE FACADE OF THE „OKRĄGLAK” BUILDING IN POZNAN

Abstract: The paper presented results of analyses carried out for the building „Okrągłak” in Poznan. Its aim was to determine the causes of recurrence of cracks in the facade of the structure after its renovation. Effectiveness of the repair work was analyzed. The results of the on-site inspection of the building and detailed inspection of damaged parts of the facade of the building, as well as the review of technical documentation made available were used in the analysis. On site, the geodetic measurements of subsidence and crack widths were conducted. Dynamic measurements of the structure and 3D model calculations allowed to determine structural stresses generated by vibrations from trams. The moisture-thermal effects were also considered in the analysis. Restoration of the facade cracks was a consequence of the building's history from the time of its construction and disclosed in the past adverse effects - mainly thermal shrinkage and exposure to the environmental factors. The direct cause of damage to the parts of the external surfaces of structural elements were significant temperature differences.

Keywords: RC structure, thermal and moisture influences, cracks, shrinkage, repair