

# Diagnostyka cienkościennych żelbetowych sklepień kolebkowych w budynku zabytkowym. Część II

## Diagnostics of thin-walled reinforced concrete barrel vaults in a historic building. Part II

mgr inż. Tomasz Majewski (ORCID: 0000-0003-0444-8753), Pracownia Projektowo-Inżynierska Tomasz Majewski, dr hab. inż. Maciej Niedostatkiwicz, prof. PG (ORCID: 0000-0002-6451-6220), Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska

DOI ??.?????/01.2023.??

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono opis oraz wyniki oceny stanu technicznego konstrukcji przekrycia Hali Głównej Dworca Kolejowego Gdańsk Główny. Ze względu na prowadzone prace związane z remontem kapitalnym Dworca Głównego PKP w Gdańsku zaistniała konieczność przeprowadzenia rewitalizacji poddasza Hali Głównej, obejmująca między innymi jego termomodernizację (ocieplenie wysklepek) oraz zabezpieczenie elementów więźarów dachowych przed pożarem. W celu oceny stanu technicznego sklepień oraz poziomu wyężenia elementów konstrukcyjnych dachu wykonano szereg badań i pomiarów, w tym skanowanie zbrojenia żelbetowych sklepień kolebkowych z zastosowaniem detektora ferromagnetycznego w celu oceny średnicy, rozstawu i grubości otulenia prętów zbrojenia łupin oraz badania ultradźwiękowe betonu przy użyciu betonoskopu w celu oszacowania wytrzymałości betonu na ściskanie, jego jednorodności oraz grubości płaszcza powłoki. W artykule przedstawiono wyniki wykonanych badań i analiz, które pozwoliły na zaproponowanie sposobu naprawy cienkościennych sklepień żelbetowych typu Rabitza.

**Słowa kluczowe:** sklepienie kolebkowe, sklepienie Rabitza, diagnostyka, obiekt zabytkowy, badania bezinwazyjne, łupiny żelbetowe, sklepienia walcowe.

**Abstract:** The article presents a description and results of the assessment of the technical condition of the roof covering of the Main Hall of the Gdańsk Główny Railway Station. Due to the ongoing works related to the major renovation of the Main Railway Station in Gdańsk, it was necessary to revitalize the attic of the Main Hall, including, among others, its thermal modernization (insulation of the vaults) and securing the roof truss elements against fire. In order to assess the technical condition of the vaults and the level of effort of the roof structural elements, a number of tests and measurements were carried out, including scanning the reinforcement of reinforced concrete barrel vaults with the use of a ferromagnetic detector to assess the diameter, spacing and cover thickness of the shell reinforcement bars, and ultrasonic testing of concrete using a concrete scope to estimating the compressive strength of concrete, its homogeneity and the thickness of the coating. The article presents the results of the tests and analyses carried out, which allowed to propose a method of repairing thin-walled reinforced concrete vaults of the Rabitz type.

**Keywords:** barrel vault, Rabitz vault, diagnostics, historic building, non-invasive research, reinforced concrete shells, cylindrical vaults.

### 1. Wprowadzenie

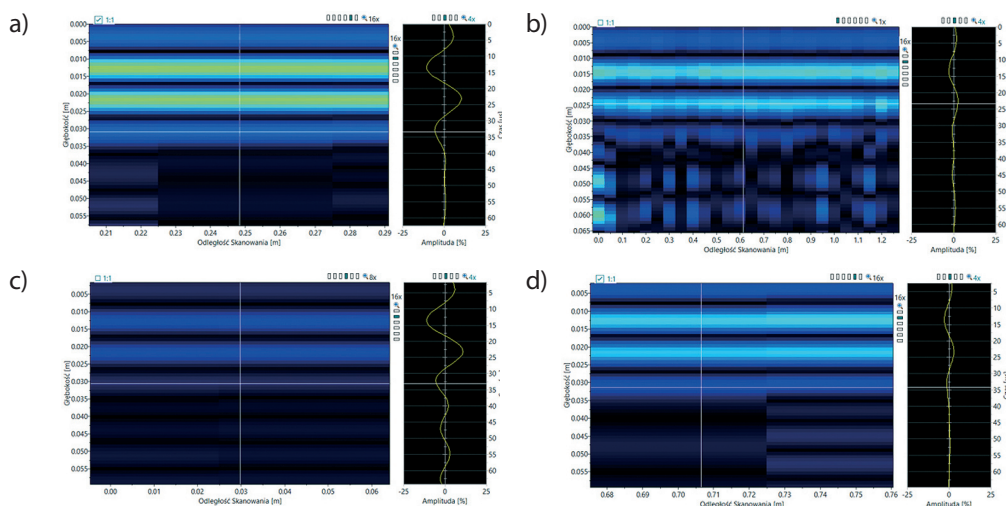
Metody bezinwazyjne umożliwiają rozpoznanie i ocenę poprawności zastosowanych rozwiązań projektowych w badanych elementach konstrukcyjnych. Należy jednak pamiętać, że metody te mają charakter przybliżony, a uzyskiwane wyniki mogą być obarczone błędem odczytu pomiarowego (diagnostycznego). Wielkość błędu zależy od stopnia dokładności zastosowanej metody, ale też jest związana z doświadczeniem zawodowym osoby wykonującej pomiar i interpretującej otrzymane wyniki. Diagnostyka elementów żelbetowych z zastosowaniem skanera ferromagnetycznego należy obecnie do jednej z powszechnie stosowanych metod mających na celu rozpoznanie sposobu zbrojenia elementu konstrukcyjnego. Jest to zagadnienie szczególnie istotne, gdy ocenie poddawane są elementy, w których nie można wykonać odkrywki, np. ponieważ stanowią część

konstrukcji zabytkowej konstrukcji. W artykule przedstawiono wyniki diagnostyki cienkościennych sklepień żelbetowych w zrealizowanych w obszarze obiektu, który aktualnie jest zabytkiem nieruchomym.

### 2. Analiza stanu istniejącego łupin żelbetowych

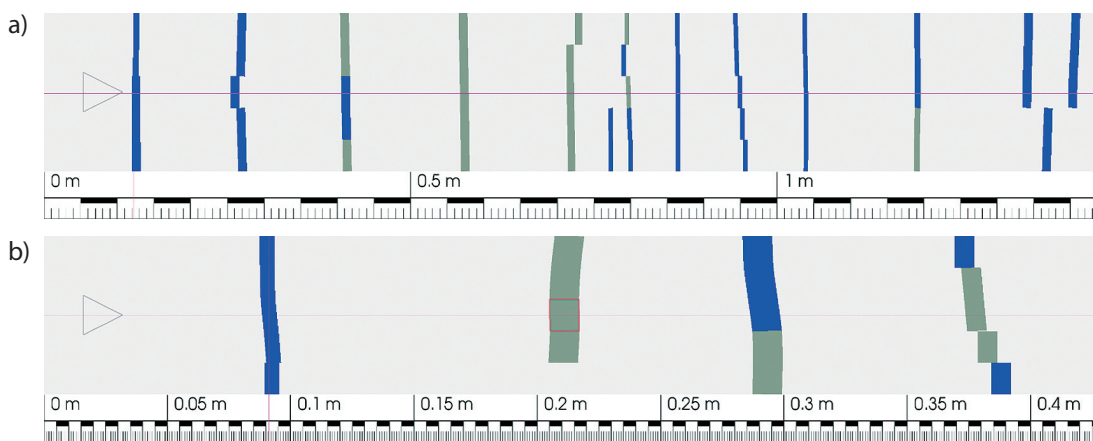
Na etapie analizy konstrukcji zrezygnowano z przeprowadzenia pomiarów drgań podłoża gruntowego, zakładając, że ich wyniki nie wniosą istotnych informacji do dalszej analizy stanu technicznego budynku Dworca Głównego jako całości: nie stwierdzono odczuwalnych drgań podłoża gruntowego, na ścianach budynku nie zaobserwowano charakterystycznych rys i pęknięć w kształcie X lub ½X świadczących o negatywnym wpływie ruchu drogowego oraz kolejowego na konstrukcje budynku, a tym samym na konstrukcje żelbetowych sklepień Rabitza.

**Rys. 1.** Pomiar grubości: żelbetowego sklepienia kolebkowego SK-1: a) w pkt. 15 (pacha, X), b) w pkt. 24 (klucz, Z), gurtu pomiędzy łupinami SK-1 i SK-2, c) w pkt. 19 (pacha, X), żelbetowego sklepienia kolebkowego SK-2, d) w pkt. 25 (klucz, Z) – wynik pomiaru ~31 mm

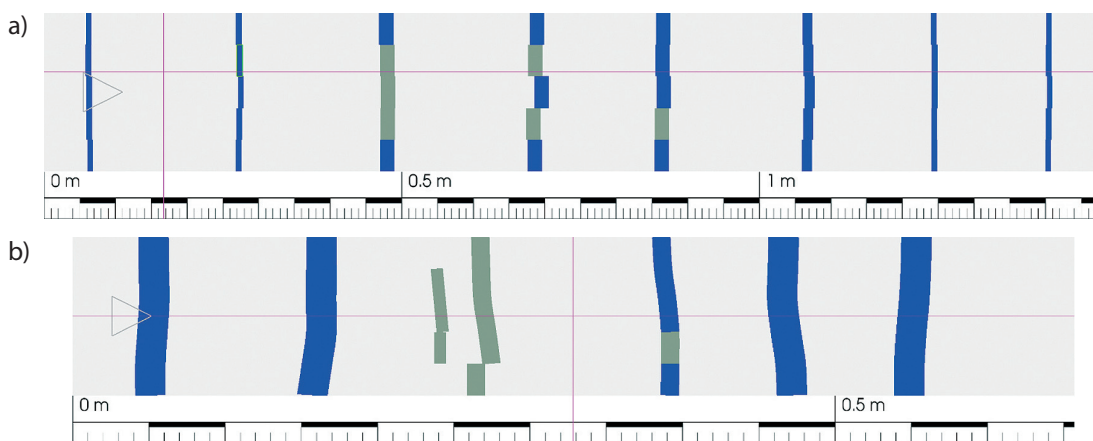


Ustalono, że w okresie minionym z przyległego do budynku Dworca Głównego nie usunięto żadnych drzew o istotnej wielkości pnia oraz korony. W tym czasie nie wykonano także jakichkolwiek nasadzeń nowych drzew i krzewów wysokopiennych. Tym samym brak było podstaw do wnioskowania, że system korzeniowy drzewostanu miał kiedykolwiek lub też będzie miał w przyszłości

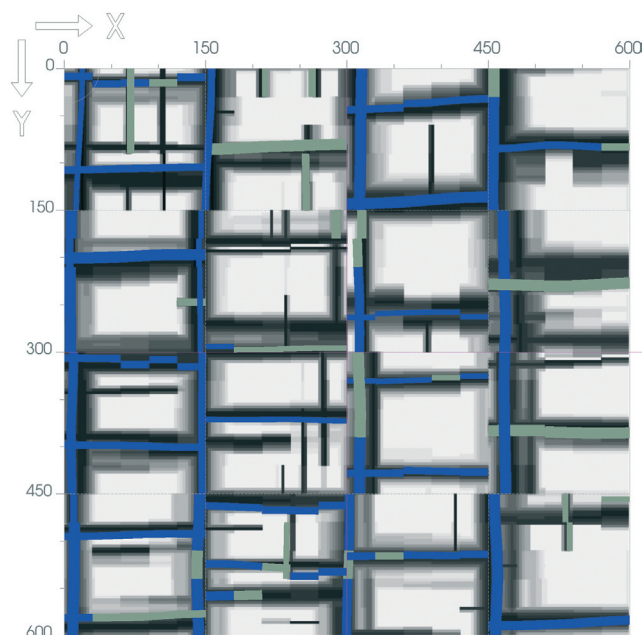
wpływ na wystąpienie usterek i/lub uszkodzeń fundamentów Hali Głównej Dworca Kolejowego, jak również do sformułowania tezy, że korzenie drzewostanu przyczyniały się lub przyczynią się w przyszłości do zaburzenia warunków gruntowo-wodnych w obszarze przedmiotowego budynku, co mogłoby mieć wpływ na stan techniczny łupin żelbetowych [14–16].



**Rys. 2.** Skan zbrojenia żelbetowego sklepienia kolebkowego SK-1 w pkt. 15 (pacha, X): a) kierunek poziomy H, zbrojenie pionowe:  $\varnothing 6$  mm, co 111 mm, b) kierunek pionowy V, zbrojenie poziome:  $\varnothing 6$  mm, co 107 mm



**Rys. 3.** Skan zbrojenia żelbetowego sklepienia kolebkowego SK-1 w pkt. 24 (klucz, Z): a) kierunek poziomy H, zbrojenie pionowe:  $\varnothing 6$  mm, co 185 mm, b) kierunek pionowy V, zbrojenie poziome:  $\varnothing 6$  mm, co 81 mm

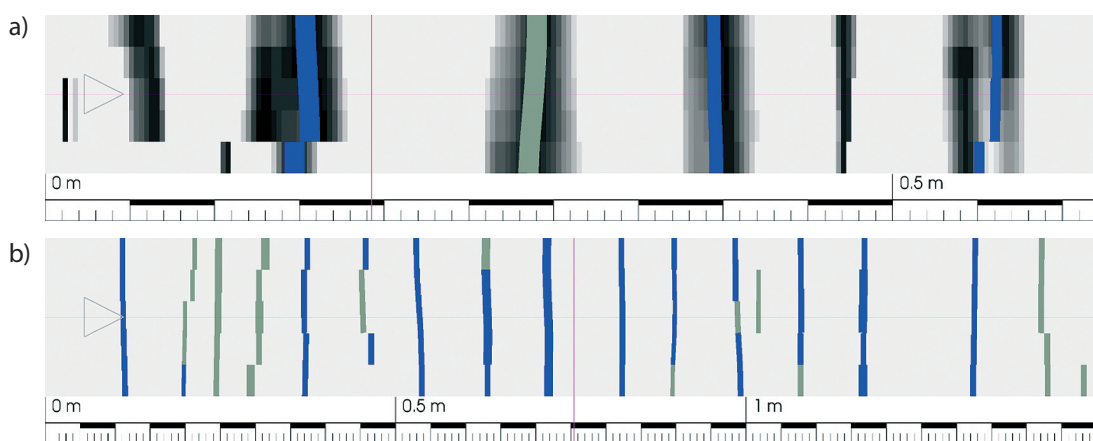


**Rys. 4.** Skan powierzchniowy zbrojenia żelbetowego sklepienia kolebkowego SK-1 pomiędzy pkt. 15 i pkt. 24: kierunek poziomy H, zbrojenie pionowe oraz kierunek pionowy V, zbrojenie poziome

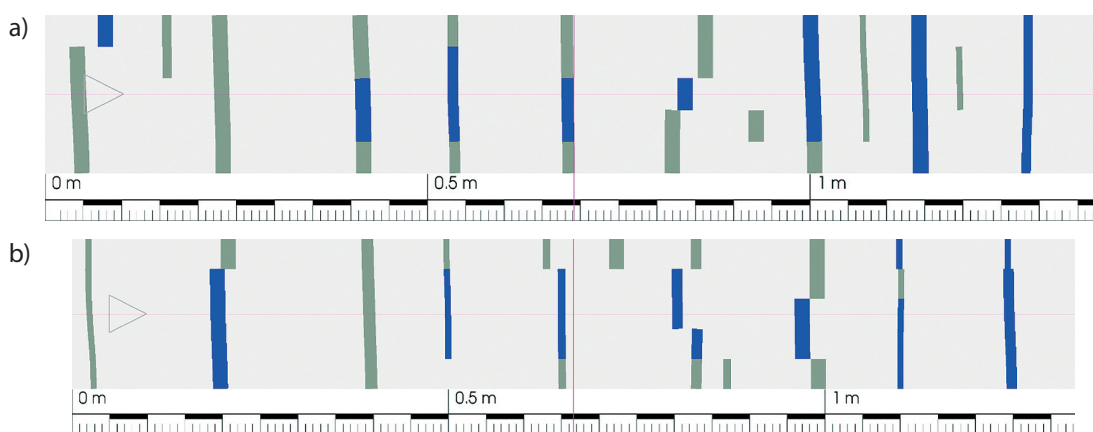
Analiza stanu technicznego żelbetowych sklepień kolebkowych (łupin Rabitza) (SK) przeprowadzona została przy następujących założeniach:

- założono, na podstawie wykonanych pomiarów inwentaryzacyjnych, że wszystkie kolebki (od SK-1 do SK-5) mają jednakową geometrię, do celów obliczeń pominięto fakt prawdopodobnej odbudowy w okresie powojennym łupiny SK-1,
- do obliczeń sprawdzających określono pojedynczą łupinę,
- przyjęto w łupinach klasę betonu C12/15 (B15),
- grubość łupiny (wysklepki) 3,0 cm określono na podstawie wykonanych badań ultradźwiękowych z zastosowaniem betonoskopu (rys. 1),
- średni rozstaw zbrojenia głównego ( $\varnothing 6$ , co  $\sim 10$  cm) i rozdzielczego ( $\varnothing 6$ , co  $\sim 20$  cm) przyjęto na podstawie wyników pomiarów wykonanych z zastosowaniem detektora ferromagnetycznego (rys. 2-7),
- w analizie wykorzystano również informacje dotyczące konstruowania kolebek żelbetowych zamieszczone między innymi w [4, 6, 8–13, 18, 21–23].

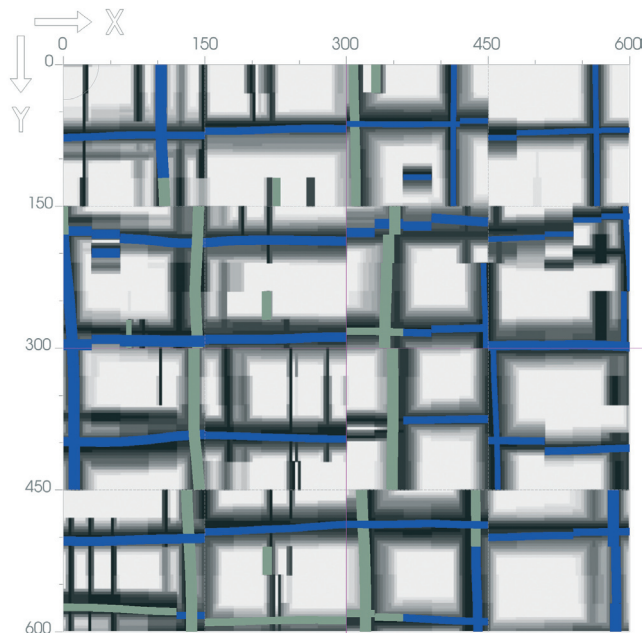
Wyniki obliczeń w postaci krzywych interakcji M-N w przekroju, z naniesionymi punktami symbolizującymi wyężenie



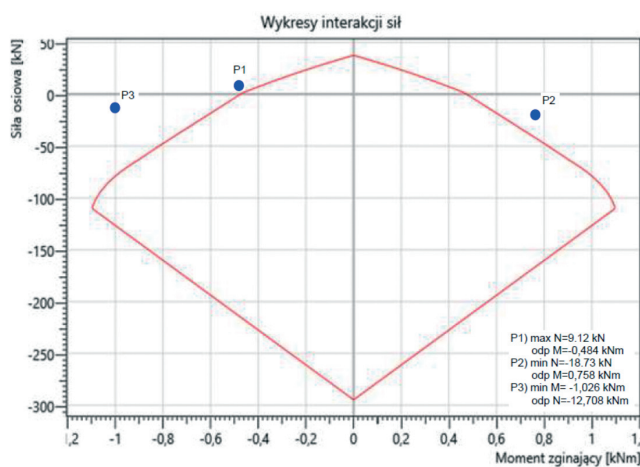
**Rys. 5.** Skan zbrojenia gurtu pomiędzy łupinami SK-1 i SK-2 w pkt. 19 (pacha, X): a) kierunek poziomy H, zbrojenie pionowe:  $\varnothing 6$  mm, co 104 mm, b) kierunek pionowy V, zbrojenie poziome:  $\varnothing 6$  mm, co 95 mm



**Rys. 6.** Skan zbrojenia żelbetowego sklepienia kolebkowego SK-2 w pkt. 25 (klucz, Z): a) kierunek poziomy H, zbrojenie pionowe  $\varnothing 6$  mm, co 126 mm, b) kierunek pionowy V, zbrojenie poziome:  $\varnothing 6$  mm, co 148 mm

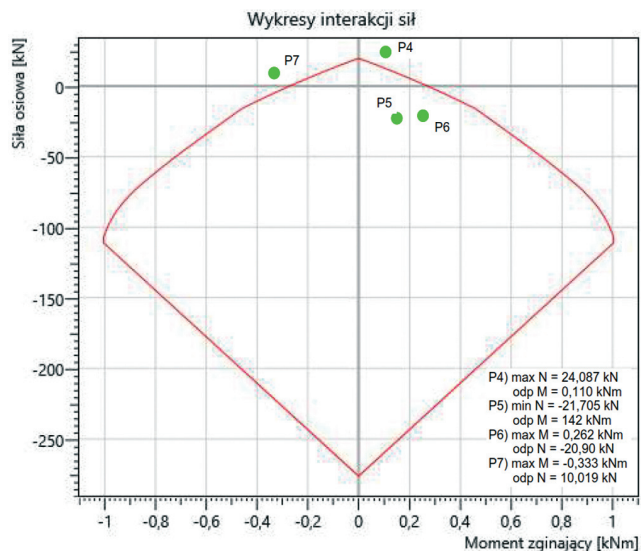


**Rys. 7.** Skan powierzchniowy zbrojenia żelbetowego sklepienia kolebkowego SK-2 poniżej pkt. 25: kierunek poziomy H, zbrojenie pionowe oraz kierunek pionowy V, zbrojenie poziome



**Rys. 8.** Krzywa interakcji  $M_x(N_x)$  w kierunku lokalnej osi X. Wartości sił podano dla kombinacji SGN (ULS) – obciążenia stałe

powłoki sklepienia dla dwóch kierunków zbrojenia pokazano odpowiednio na rysunkach: 8 – zbrojenie główne, 9 – zbrojenie rozdzielcze. Punkty zlokalizowane w środku obszaru ograniczonego krzywymi granicznymi oznaczają, że powłoka w analizowanym przekroju spełnia wymagania Stanu Granicznego Nośności (SGN) (Ultimate Limit State (ULS)), natomiast dla punktów spoza obszaru – nie spełnia warunków nośności SGN (ULS). W analizie obliczeniowej nie sprawdzano w stanie istniejącym warunków normowych Stanu Granicznego Użytkowania (SGU) (Serviceability Limit State (SLS)) ze względu na niską jakość wykonania elementów żelbetowych oraz pozytywną weryfikację w czasie zastosowanych rozwiązań projektowych: brak wystąpienia stanu przedawaryjnego lub awarii



**Rys. 9.** Krzywa interakcji  $M_y(N_y)$  w kierunku lokalnej osi Y; wartości sił podano dla kombinacji SGN (ULS) – obciążenia stałe

cienościennych żelbetowych sklepien walcowych, poza przypadkiem zniszczonego w trakcie działań wojennych i odbudowanego sklepienia SK-I.

### 3. Konceptje zakresu prac remontowych żelbetowych sklepien kolebkowych

Zaproponowany zakres remontu łupin żelbetowych obejmował:

- oczyszczenie (odkurzenie) górnych powierzchni kolebek;
- oczyszczenie przy zachowaniu najwyższej ostrożności odkrytych prętów i fragmentów siatki Rabitza z brudu oraz rdzy;
- dokonanie wizualnej oceny stanu prętów i oceny wielkości ubytków korozyjnych. Maksymalny dopuszczalny ubytek przekroju z uwagi na korozję zbrojenia nie mógł być większy niż 10% przekroju poprzecznego elementu stalowego;
- ponowne oczyszczenie (odkurzenie) górnych powierzchni kolebek (łupin);
- zabezpieczenie przed korozją odkrytych i oczyszczonych elementów stalowych powłoką z materiału pasywującego;
- wykonanie warstwy szepnej na powierzchni prętów i profili stalowych, a następnie uzupełnienie ubytków materiałem mineralnym;
- po zakończeniu prac remontowych w obszarze poddasza nad Halą Główną – wykonanie lekkich pomostów komunikacyjnych (drewnianych lub stalowych) umożliwiających przemieszczanie się personelu na poddaszu w sposób uniemożliwiający stąpanie po kolebkach. Szczególną uwagę należało zwrócić na konieczność wykonania pomostów (stopnic) umożliwiających zejście do pach kolebek w celu okresowej kontroli ich stanu;

- niedopuszczalna była jakakolwiek ingerencja w istniejące wieszaki podtrzymujące zbrojenie łupin. Nawet niewielkie uszkodzenie czy usunięcie pojedynczego wieszaka mogło doprowadzić do zniszczenia wysklepki w wyniku utraty stateczności i awarii sklepień;
- w stanie istniejącym niedopuszczalne było podwieszenie żyrandoli bezpośrednio do żelbetowych sklepień kolebkowych (łupin Rabitza), zalecono podwieszenie żyrandoli bezpośrednio do stalowej konstrukcji wiązarów kratowych;
- po zakończeniu prac remontowych żelbetowe łupiny zalecono poddawać cyklicznym i regularnym kontrolom (wizualnym oględzinom) w ramach Obsług Technicznej Obiektu. Kontrole stanu technicznego (wizualne) należy wykonać po zakończeniu prac remontowych, przez pierwszy rok użytkowania Hali Głównej Dworca Kolejowego w odstępach co 2 miesiące, a po upływie roku, cyklicznie co 6 miesięcy,
- w przypadku stwierdzenia, w ramach prowadzonych kontroli okresowych, wystąpienia nowych rys lub pęknięć na powierzchni żelbetowych łupin zalecono w trybie natychmiastowym ograniczenie użytkowania Hali Głównej i przystąpienie do ich zabezpieczenia, naprawy i wzmocnienia. Zalecono rozważenie możliwości docelowego wzmocnienia łupin za pomocą mat z tworzywa sztucznego (CFRP lub z innych materiałów) przyklejanych do ich górnej powierzchni.

#### 4. Podsumowanie

W stanie istniejącym (dla aktualnego poziomu obciążenia) oraz w stanie projektowanym (dla przyjętego w dokumentacji projektowej poziomu obciążenia) sklepienia kolebkowe (Rabitza) nie spełniały obowiązujących wymagań konstrukcyjnych zawartych w aktualnych normach projektowania (Eurokodach). Jednak po około 100-letnim okresie eksploatacji sklepienia nie wykazywały usterek lub uszkodzeń świadczących o ich przeciążeniu lub nieprawidłowej pracy statycznej. Stan techniczny i zastosowane w łupinach rozwiązania materiałowe zostały pozytywnie zweryfikowane w czasie, pomimo braku spełnienia obecnych przepisów normowych, w szczególności wymagań Stanu Granicznego Nośności (SGN) (Ultimate Limit State (ULS)) dla przyjętych, według PN-EN, wartości obciążeń.

Nie zalecono wzmocnienia kolebek żelbetowych w trybie natychmiastowym.

Cienkościennne żelbetowe sklepienia kolebkowe zostały warunkowo dopuszczone do użytkowania z zaleceniem okresowej kontroli oraz koniecznością docelowego wykonania prac związanych z ich wzmocnieniem.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Bajno D., Utrzymanie i naprawy dachów oraz stropodachów, XXX Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji WPPK-2015, Szczyrk, 2015
- [2] Baryłka A., Baryłka J., Diagnostyka techniczna obiektu budowlanego, Budownictwo i Prawo, 4/2015, str. 19–22
- [3] Bednarz Ł., Metody wzmocnienia zabytkowych, zakrzywionych konstrukcji ceglanych, Wiadomości Konserwatorskie, 14/2003, str. 34–42
- [4] Drobiec Ł., Metody wzmocnienia murowanych sklepień, Materiały Budowlane, 6–7/2017, str. 5
- [5] Drobiec Ł., Przyczyny zniszczeń i sposób remontu murów Bazyliki matki Boskiej Anielskiej w Dąbrowie Górniczej, Czasopismo Techniczne, 9, 106, 2009, str. 25–36
- [6] Drobiec Ł., Renowacja konstrukcji obiektów zabytkowych. Systematyka-uszkodzenia-naprawy. Część II. Monografia, Archmedia Grażyna Gałka, 2019
- [7] Gajownik R., Jarmontowicz R., Sieczkowski J., Diagnostyka i metody oceny bezpieczeństwa konstrukcji murowych, XXII Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji WPPK-2007, Szczyrk, 2007
- [8] Guide to design and construction of externally bonded Fabric-Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) systems for repair and strengthening concrete and masonry structures. Reported ACI Committee 549. ACI 549.4R-13, December 2013
- [9] Guide for the design and construction of externally bonded Fiber-Reinforced Polymer Systems for strengthening unreinforced masonry structures. Reported by ACI Committee 440. ACI 440.7R-10, April 2010
- [10] Halicka A., Ocena istniejących konstrukcji budowlanych według normy ISO 13822-2010, V Ogólnopolska Konferencja Problemy techniczno-prawne utrzymania obiektów budowlanych, Warszawa, 2019
- [11] Janowski Z., Hojdyś Ł., Krajewski P., Analiza oraz naprawa i rekonstrukcja sklepień w obiektach historycznych, XXIII Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane-2007, Szczecin-Międzyzdroje, 2007
- [12] Janowski Z., Hojdyś Ł., Krajewski P., Sklepienia zabytkowe – klasyfikacja, ocena stanu technicznego i nośności, naprawy i wzmocnienia, XXII Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji WPPK-2007, Szczyrk, 2007
- [13] Jasińko J., Rapp P., Konserwacja konstrukcyjna i wzmocnienie wybranych, historycznych konstrukcji ceglanych, XXII Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji WPPK-2007, Szczyrk, 2007
- [14] Jeż J., Przyrodnicze aspekty bezpiecznego budownictwa, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 1998
- [15] Jeż J., Suwalski J., Wpływ nieprawidłowego zastrzewienia osiedla na rysowanie się ścian budynków, VII Konferencja Naukowo-Techniczna Problemy Remontowe w Budownictwie Ogólnym, Wocław-Szklarska Poręba, 1996
- [16] Jeż J., Wojtasik A., Wpływ drzew na awarię budynku posadowionego na gruncie pęczniącym. Inżynieria i Budownictwo, Warszawa, 7/89, 1989
- [17] Kamiński M., Jasiczak J., Buczkowski W., Błaszczczyński T., Praca zbiorowa: Trwałość i skuteczność napraw obiektów budowlanych, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław, 2007
- [18] Karczmarczyk S., Jurczakiewicz S., Zabezpieczanie historycznych sklepień przed deformacjami pochodzącymi od rozporu, Czasopismo Techniczne, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 2-B, 106, 9, 2009
- [19] Kucharska-Stasiak E., Metody pomiaru zużycia obiektów budowlanych, Materiały Budowlane, 2/1995, str. 29–38
- [20] Markiewicz P., Detale projektowe dla architektów, Wydawnictwo Archipius, Warszawa, 2009
- [21] Pająk Z., Stan zachowania sklepień Rabitza w wybranych obiektach zabytkowych, Wiadomości Konserwatorskie, 26/2009, str. 574–583
- [22] Praca zbiorowa pod redakcją dr ing. R. Saligera Der Eisenbeton in Theorie und Konstruktion, Stuttgart 1906
- [23] Praca zbiorowa: Kalendarz techniczno-budowlany na rok 1929, Wydawnictwo Architektura i Budownictwo Warszawa, 1927
- [24] Substyk M., Utrzymanie i kontrola okresowa obiektów budowlanych, Wydawnictwo ODDK, Warszawa, 2012
- [25] Szer J., Jeruzal J., Szer I., Filipowicz P., Kontrole okresowe budynków – zalecenia, wymagania i problemy, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź, 2020
- [26] Terlikowski W., Diagnostowanie konstrukcji budynków zabytkowych, XXX Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji WPPK-2015, Szczyrk, 2015