

# PROJEKTOWANIE WZMOCNIEŃ I REWALORYZACJA ZABYTKOWYCH SKLEPIEŃ CEGLANYCH, POWŁOKOWO-ŻEBROWYCH

Janusz KRENTOWSKI\*, Romuald SZELAĞ, Rościław TRIBIŁŁO

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

**Streszczenie:** Przedmiotem badań były murowane sklepienia w zabytkowym obiekcie o konstrukcji murowanej. Dokonano analizy morfologii występujących wad w postaci spękań łuków ceglanych i sklepień krzyżowych. Wskazano genezę uszkodzeń wynikających z działalności użytkownika. Opracowano koncepcję wzmocnienia elementów konstrukcyjnych. Restauracja zabytku architektury miała na celu zachowanie i ujawnienie historycznych i estetycznych wartości przy jednoczesnym poszanowaniu autentycznej substancji. Uzupełnienia istniejącej, uszkodzonej w znacznym stopniu materii były uzasadnione naukowo, ponieważ podstawę rekonstrukcji elementów stanowiła materialna substancja, która pozostała w formie tak zwanego „świadka”.

*Słowa kluczowe:* łuki murowane, sklepienia krzyżowe, spękania, wzmocnienie.

## 1. Wprowadzenie

Działalność inwestycyjna w zakresie konserwacji obiektów zabytkowych, wzniesionych przed kilkuset a nawet przed kilkudziesięciu laty, przykładowo adaptacja do współczesnych funkcji, czy procesy wzmocniania elementów konstrukcji budynku, nie mogą wynikać jedynie z aktualnego stanu określonego w procesie normalizacji (Szymgin i in., 2009). Prace konserwatorskie, restauratorskie oraz budowlane powinny być również efektem uwzględnienia aspektów naukowo-

badawczych. Ratowanie zabytkowej substancji jest uzasadnione nawet w sytuacji awaryjnego stadium obiektu (Tajchman, 1995). Decyzja konserwatora zabytków o podjęciu działań zmierzających do ratowania spuścizny dziejowej może również dotyczyć konstrukcji zagrożonej wystąpieniem katastrofy budowlanej. Etapy rewitalizacji zabytkowego budynku „Pod Łokietkiem” w Ojcowie, którego stan oceniono jako awaryjny i kwalifikujący obiekt do rozbiórki, będącej efektem decyzji konserwatora zabytków, pokazano na rysunkach 1 i 2.



Rys. 1. Wady kwalifikujące do rozbiórki zabytkowy obiekt w stadium katastrofy

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: j.krentowski@pb.edu.pl



Rys. 2. Efekt rewitalizacji obiektu uratowanego decyzją konserwatora

Obiekty znajdujące w stadium tak zwanych „śmierci technicznej” bezwzględnie należy rozebrać, a następnie zrekonstruować z wykorzystaniem historycznych materiałów lub zachowanych elementów. Wszelkie prace, począwszy od etapu badania stanu obiektu, należy poprzedzić otrzymaniem pozwolenia lokalnego konserwatora zabytków (Zalasińska, 2010), a kolejne stadia muszą być szczegółowo dokumentowane. Przykładem takiej inwestycji może być odbudowa zabytkowego obiektu, w którym zlokalizowano siedzibę Hotelu Branicki w Białymstoku.

Uszkodzone zabytkowe elementy konstrukcyjne nadające się do naprawy lub wymagające wzmocnienia powinny być rekonstruowane specjalistycznymi metodami, które w jak najmniejszym stopniu ingerują w strukturę materiałów i nie zmieniają historycznej formy estetycznej (Podręcznik rewitalizacji, 2003).

## 2. Badania zabytkowych sklepień ceglanych

Przedmiotem prezentowanych badań autorów był

zabytkowy obiekt o konstrukcji murowanej, w którym aktualnie zlokalizowano pomieszczenia dydaktyczne ogólnokształcącej szkoły średniej. Dwukondygnacyjny budynek, częściowo podpiwniczony, o podłużnym układzie ścian konstrukcyjnych wymurowano z cegły ceramicznej pełnej, na zaprawie wapiennej i otynkowano warstwą wyprawy wapiennej. Drewnianą więźbę dachową pokryto blachą stalową, ocynkowaną. Nad nawą korytarzową o szerokości około 4,60 m, wykonano murowane sklepienia krzyżowe. Nad pozostałymi pomieszczeniami wykonano stropy na belkach drewnianych, których rozpiętość wynosi 7,30-7,50 m. Jako warstwę izolacyjną wykorzystano polepę glinianą. Tynki na stropach drewnianych ułożono na warstwie trzciny. Budynek został wybudowany przed I wojną światową. Po II wojnie światowej, zniszczony częściowo w wyniku działań wojennych, został odbudowany. Do bezpiecznej rekonstrukcji, w świetle wymagań normy PN-54/B-03002, wykorzystano materiał pozyskany z rozbiórki uszkodzonych ścian oraz elementy produkowane wówczas przez lokalne wytwórnie ceramiczne. Aktualny widok pomieszczeń budynku ilustruje rysunek 3.



Rys. 3. Krzyżowe sklepienia ceglane nad holem XIX-wiecznego budynku

### 3. Wady obiektu

W trakcie eksploatacji obiektu na przestrzeni kilkudziesięciu lat obserwowano zjawiska degradacji struktury łuków i sklepień ceglanych oraz podłużnych ścian wewnętrznych zlokalizowanych w strefie korytarza na I piętrze budynku. Stan zarysowań ulegał propagacji i utrwalaniu wraz z upływem lat. Rysy powstały w środkowej strefie ceglanych łuków stropu nad I piętrem oraz na krzyżowych sklepieniach ceglanych. Układ spękań na sklepieniu, widoczny na rysunku 4, jest równoległy do ścian podłużnych, które uległy zarysowaniu w sąsiedztwie ścian szczytowych. Na powstałych spękaniach ściany podłużnej w miejscu o największej szerokości rozwarcia, umieszczono płomby gipsowe. Kontrolne elementy gipsowe również uległy zarysowaniu.

Przed laty dokonano demontażu murowanych ścian poprzecznych, stanowiących usztywnienie podłużnych ścian korytarza. Rozebrana ściana piętra stanowiła jednocześnie podporę poprzecznych drewnianych belek stropu nad piętrem o rozpiętości około 9,0 m, do których podwieszono drewniane belki nośne o rozpiętości 7,30 m. Po usunięciu ściany połączono dwie sąsiadujące belki drewniane stalową konstrukcją z dwuteowych profili walcowanych i wieszaków prętowych. Sposób wykonania oraz stan zrealizowanej konstrukcji nie zapewniał bezpieczeństwa istniejącej konstrukcji. Pozbawione podparcia krawędzie dwóch belek drewnianych o znacznej rozpiętości, wymagały wzmocnienia. Aktualny stan skorodowanej konstrukcji wzmocniającej ilustruje rysunek 5.



Rys. 4. Identyfikacja zarysowanych łuków i sklepień



Rys. 5. Wady stalowej konstrukcji wzmocniającej połączenie belek drewnianych

#### 4. Warunki i zakres realizowania prac badawczych

Podstawą makroskopowej oceny konstrukcji murów są zarysowania zarówno substancji nośnej jak i wyprawy zewnętrznej. W istniejącym obiekcie na starych murach zostały ułożone wyprawy wapienne. Wykonywana identyfikacja rys i uszkodzeń służy wykazaniu zakresu uszkodzeń, mechanizmu ich działania, a w szczególności powinna doprowadzić do wykrycia źródeł wywołujących zniszczenie. Prawidłowe rozpoznanie techniczne rzeczywistego obrazu zarysowań może stanowić podstawę oceny diagnostycznej istniejącego stanu, przyczyn zarysowania, stopnia szkodliwości rys oraz możliwości naprawy.

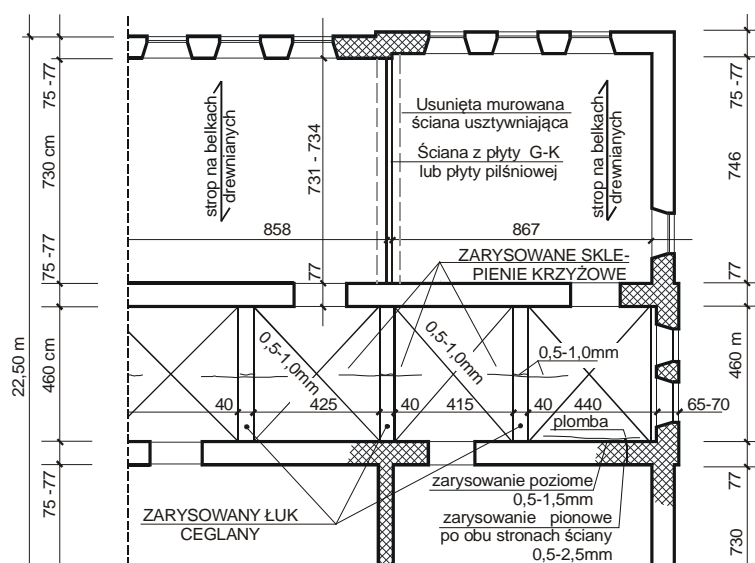
Dokonana analiza wynikowa została poprzedzona wnikliwymi badaniami, opracowano technologię pomiarów i badań materiałów, murów a w szczególności używanych w nich zapraw (Ciesielski, 1987). Oceniono również wpływ zmian dokonanych w ciągu kilkudziesięciu lat eksploatacji obiektu zabytkowego, m.in. usunięcia murowanych, poprzecznych ścian usztywniających konstrukcję budynku, na wystąpienie zjawisk spękania murów ceglanych i tynków wapiennych. Zidentyfikowaną morfologię wad zilustrowano na rysunku 6.

Zarysowania o układzie prostopadłym do osi łuków lokalizowane były w środkowej strefie elementów murowanych z cegły ceramicznej. Na podstawie oględzin makroskopowych oraz pomiarów inwentaryzacyjnych ustalono, iż szerokość rozwarcia rys widocznych na powierzchni wyprawy wapiennej ułożonej na powierzchni łuków ceglanych nie przekraczała 1mm. Szerokości rozwarcia rys na sklepieniach wahały się w granicach 0,5-1,5 mm. Kształt spękań określono jako nieregularny o układzie zbliżonym do podłużnego. Zinwentaryzowano również spękania w strefie oparcia sklepienia na ścianie podłużnej. W trakcie makroskopowych oględzin powierzchni ścian podłużnych stwierdzono, że zarysowania tynków osiągały największe szerokości rozwarcia, o wartości około 1,5 mm, w środkowej strefie. Szerokości rozwarcia zarysowań

w strefach przy sklepieniach krzyżowych wynosiły 0,5-1,0 mm, a przy posadzkach ulegały zamknięciu.

W celu oceny, czy również struktura murów uległa zarysowaniu, miejscowo odsłonięto fragmenty powierzchni warstwy konstrukcyjnej. W efekcie przeprowadzonych badań wykazano, iż struktura murów również została uszkodzona. Zaobserwowane pęknięcia, o rozwartości około 1,0-2,0 mm, przebiegały przez spoiny a miejscowo przez elementy ceglane. Na etapie makroskopowego badania zaprawy w spoinach zewnętrznych warstw murów, stwierdzono kruszenie się zaprawy i brak spójności ziaren piasku. Podczas realizacji odkrywek i inwentaryzacji rys stwierdzono, iż powierzchniowe warstwy zaprawy wapiennej w spoinach murów są porowate co wskazuje na efekt działania procesów korozyjnych. Stan zaprawy i jej własności dobrze charakteryzują pH-metryczne badania procesów karbonizacji materiału, które mają istotny wpływ na cechy sprężyste, trwałość murowanej konstrukcji i przyczepność tynków wewnętrznych. W rezultacie badań pH-metrycznych udokumentowano fakt wyeliminowania z zaprawy murów i fragmentów wypraw tynkarskich, spoiwa w postaci wodorotlenku wapnia. Uzasadniono, iż zaprawa w zewnętrznych warstwach muru wykonanego przed ponad 100 laty, jest pozaklasowa i nieodporna na działanie czynników środowiskowych.

Pomieszczenia dydaktyczne zlokalizowane na I piętrze budynku przekryte zostały stropami na belkach drewnianych, usytuowanych w rozstawach co około 100cm. Dolne powierzchnie stropów otynkowano wyprawą wapienną na warstwie trzciny. Na powierzchni stropów stwierdzono mikrozarzysowania a ugięcia belek stropowych w strefie usuniętej ściany przekraczały wartości graniczne. Pozostałe belki nie wykazywały efektu nadmiernych ugięć. Dokonano również badań warstw izolacyjnych. Ustalono, iż stropy ocieplono słomą i warstwą polepy glinianej o łącznej grubości 8cm. Sklepienia krzyżowe i łuki murowane ocieplono warstwą polepy ceglano-glinianej. Fragmenty łuków i żeber sklepiń murowanych są pozbawione warstwy izolacyjnej.



Rys. 6. Morfologia wad i zarysowań murowanych elementów konstrukcyjnych

## 5. Warunki trwałości zarysowanych konstrukcji mурowych i wypraw wewnętrznych

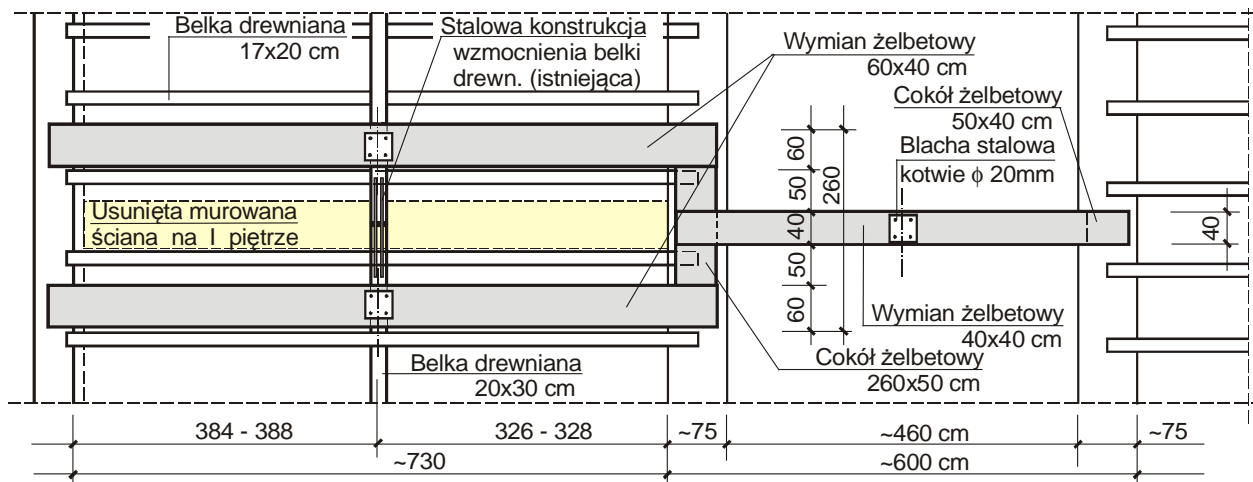
Fakt eksploatacji elementów krzyżowych sklepień mурowych po usunięciu poprzecznej ściany usztywniającej doprowadził do degradacji struktury materiału ceramicznego i wyprawy wapiennej. Zidentyfikowane rysy powstały wskutek przekroczenia granicznych wytrzymałości na rozciąganie struktury muru i wapiennej wyprawy warstwy elewacyjnej. Kolejnym czynnikiem, który intensyfikował zjawisko długotrwałej degradacji zaprawy, był wpływ środowiska atmosferycznego powierzchniowo działającego w czasie na zniszczone i eksploatowane od dziesiątków lat tynki i spoiny muru. Zjawiskom destrukcyjnym sprzyjały lokalne zawilgocenia materiału ściany wywołane nieszczelnościami obróbek blacharskich, rynien i rur spustowych. Woda opadowa jest czynnikiem stanowiącym środowisko ługujące. Nieszczelne powłoki pokrycia dachowego doprowadziły do trwałego uszkodzenia poszycia z desek. Z uwagi na fakt niedostatecznej izolacyjności cieplnej poziomej przegrody zewnętrznej jaką stanowi strop nad I piętrzem przy braku ocieplenia więźby dachowej, wystąpiło zjawisko oddziaływania obciążenia termicznego na elementy łuków ceglanych, co

dotychczas sprzyjało procesom powstania i propagacji stanu zarysowań.

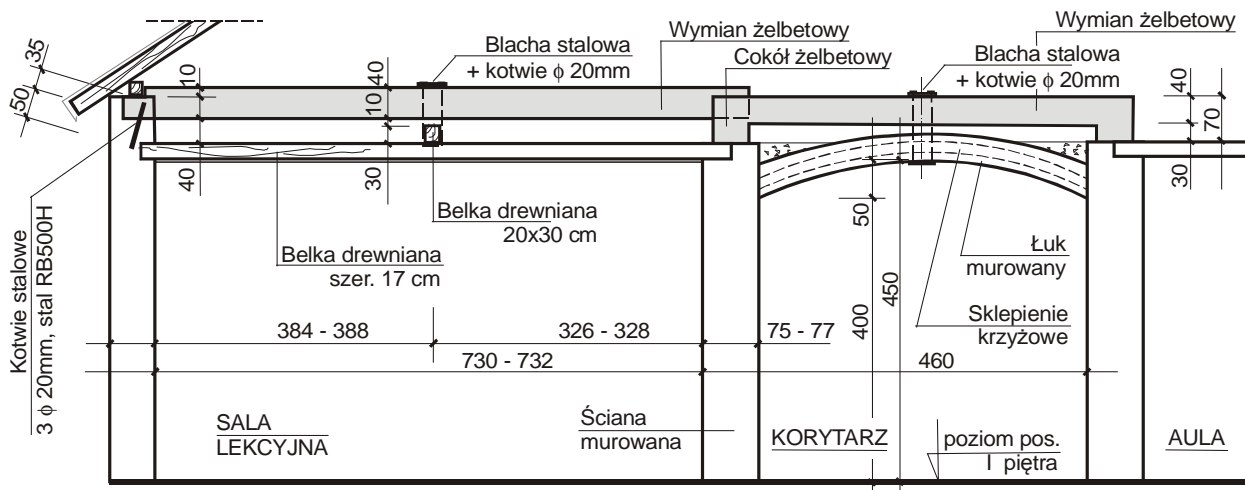
Całkowite wyeliminowanie rys w starej substancji nie jest możliwe, ani konieczne. Ustabilizować należy natomiast stan istniejący i zabezpieczyć przed procesami destrukcji w możliwie dużym stopniu ze szczególnym uwzględnieniem korozyjnego wpływu środowiska i obciążeń pozastatycznych. Takim sposobem jest np. wypełnienie spękań o cechach dylatacyjnych szczególnie widocznych w gzymsach elewacji, materiałami o kształtujących. Po wykonaniu niezbędnych napraw mury oraz łuki i sklepienia należy użytkować tak jak pozostałe elementy budynku zgodnie z wytycznymi określonymi w rozdziale 6 „Utrzymanie obiektów budowlanych” ustawy „Prawo budowlane”.

## 6. Metodyka likwidacji wad

W efekcie przeprowadzonych badań i analiz sformułowano wytyczne w zakresie prac remontowych, zmierzających do wyeliminowania lub zminimalizowania skutków zaistniałych wad. Lokalizację i elementy zaproponowanej metody rekonstrukcji uszkodzonych elementów i ich wzmocnienia zilustrowano na rysunkach 7 i 8.



Rys. 7. Metody rekonstrukcji uszkodzonych elementów – rzut



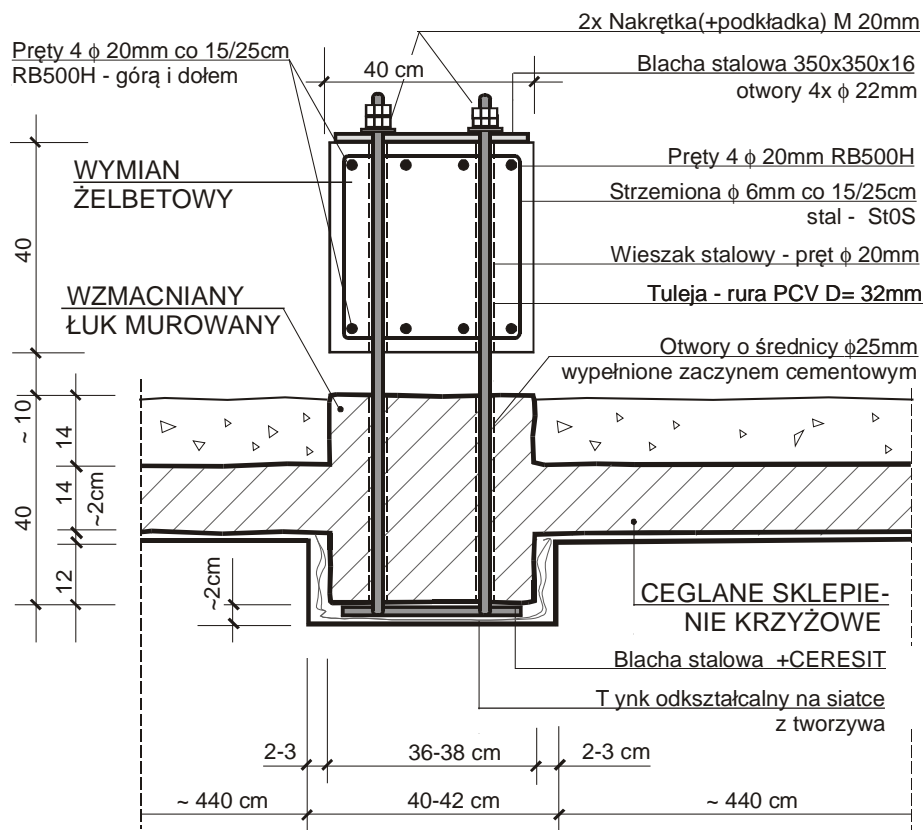
Rys. 8. Metody rekonstrukcji uszkodzonych elementów – przekrój

Bezpośrednią przyczyną powstania wad w postaci spękań w środkowych strefach ceglanych łuków na I piętrze budynku były naprężenia wywołane zmianą warunków podporowych występującą po usunięciu murowanej ściany poprzecznej, stanowiącej usztywnienie budynku oraz podparcie dla podłużnych belek, do których podwieszono drewniane belki stropowe. Dodatkowym czynnikiem stymulującym proces propagacji zarysowań były oddziaływaniami termiczne wywołane niewłaściwie ocieplonymi elementami stropodachu. W celu wyeliminowania wskazanych wad należy zrealizować nowoprojektowaną konstrukcję wzmacniającą spękaną łuki. Popularną i skuteczną metodą wzmacniania uszkodzonych łuków (Orłowicz i in., 2011), jest zastosowanie ściągowców stalowych. W analizowanym przypadku wprowadzone „obce” elementy ingerowałyby w estetykę historycznej substancji, na co zgody nie wyraził konserwator zabytków. W konsekwencji braku pozytywnej decyzji w stosunku do przedstawionego rozwiązania, zaproponowano wykonanie na poddaszu obiektu żelbetowej konstrukcji nośnej, do której zostaną podwieszono uszkodzone łuki. Z uwagi na klasyfikację środowiska jako XC3, czyli o umiarkowanej wilgotności, przewidziano zastosowanie betonu klasy C25/30, wykonanego na cemencie portlandzkim. W strukturze łuku należy wywiercić cztery otwory o średnicy 25mm, przy czym niedopuszczalne jest zastosowanie urządzeń udarowych. Po uzyskaniu przez beton wymaganej wytrzymałości można wykonać proces stabilizacji stalowej konstrukcji wzmacniającej łuki poprzez systematyczne i równomierne napinanie czterech

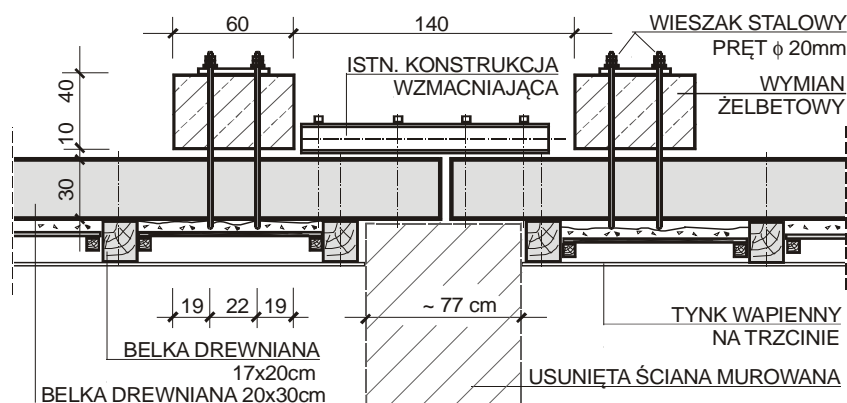
wieszaków (rys. 9). Szczelina w łuku powinna być oczyszczona, zwilżona obficie wodą i wypełniona wysokowytrzymałościową zaprawą cementową, przykładowo poprzez iniekcję ciśnieniową.

Po wykonaniu wzmocnień łuków zaleca się usunięcie uszkodzonych tynków ułożonych na sklepieniu. Po skuciu starych tynków na dolnych powierzchniach łuków w miejscach braku przyczepności, należy wykonać nowe wyprawy z materiałów odkształcalnych, zbrojone włóknami z tworzywa sztucznego. Oczyszczone i dokładnie zwilżone powierzchnie łuków ceglanych, po założeniu i ustabilizowaniu siatki stanowią poprawne podłoże do ułożenia nowych wypraw. Usunięte powinny być wszystkie tynki nie związane trwale ze strukturą sklepienia.

Po usunięciu murowanej ściany poprzecznej Użytkownik wykonał wzmocnienie połączenia podłużnych belek drewnianych, poprzez wykonanie stalowej konstrukcji. Zastosowane wzmocnienie, zilustrowane na rysunku 3, nie zapewniło spełnienia warunków stanu granicznego użyteczności w zakresie ugięć. Zaproponowano wykonanie żelbetowej konstrukcji w postaci dwóch żelbetowych wymianów o wymiarach 40 × 60 cm, opartych na cokole żelbetowym oraz na zewnętrznej ścianie podłużnej (rys. 10). Poprawnie zrealizowana konstrukcja wzmacniająca, zastępująca usuniętą ścianę murowaną, pozwoli na odciążenie i zmniejszenie ugięć drewnianych belek stropowych a także dodatkowo wpłynie na usztywnienie konstrukcji budynku i uniemożliwi poziome przemieszczenia łuków ceglanych.



Rys. 9. Konstrukcja wzmacniająca spękaną łuki



Rys. 10. Żelbetowa konstrukcja wzmocnienia połączenia belek drewnianych

Autorzy opracowania wyeliminowali zastosowanie profili stalowych jako elementów wzmacniających z uwagi na utrudnienia w transporcie kształtowników o znacznej wadze i długości na poddasze budynku. W trakcie prac remontowych niedopuszczalne jest wykonywanie robót spawalniczych na poddaszu budynku.

## 7. Podsumowanie

W analizowanym przypadku czynnikami stymulującymi procesy destrukcyjne było usunięcie ścian murowanych na I piętrze budynku, stanowiących poprzeczne usztywnienie konstrukcji budynku i jednocześnie oparcie belek drewnianych. Uszkodzone elementy wymagają naprawy. W przewidywanym procesie rekonstrukcji należy pamiętać, iż restauracja zabytku architektury ma na celu zachowanie i ujawnienie historycznych i estetycznych wartości przy jednoczesnym poszanowaniu autentycznej substancji. Zaproponowane wzmocnienia istniejącej, uszkodzonej w znacznym stopniu substancji były uzasadnione, ponieważ podstawę rekonstrukcji stanowiła materialna substancja, którą pozostawiono w formie tak zwanego „świadka” (Tajchman, 1999).

Prowadzenie prac budowlanych czy restauracyjnych wymagało uzyskania pozwolenia lokalnego konserwatora zabytków, zgodnie z wytycznymi określonymi w ustawie „O ochronie zabytków i opiece nad zabytkami”, a w trakcie prac niezbędne było bieżące dokumentowanie prowadzonych działań i uzyskanych efektów.

## Literatura

Ciesielski R. (1987). O pomiarze, opisie i interpretacji rys w konstrukcjach murowanych. Wskazówki instrukcyjne. *Przegląd Budowlany*, 11/1987.

Orłowicz R., Rzeszotarski A., Nowak R. (2011). Naprawy ceglanych nadproży łukowych. *Inżynier Budownictwa*, 2/2011.

Szmygin B. i in. (2009). Adaptacja obiektów zabytkowych do współczesnych funkcji użytkowych. *Lubelskie Towarzystwo Naukowe*, Warszawa-Lublin.

Tajchman J. (1995). Konserwacja zabytków – uwagi o metodzie. *Ochrona zabytków*, z. 2.

Tajchman J. (1999). Czynniki warunkujące i kształtujące ochronę i konserwację zabytków architektury. *Architektura et historia*, Toruń.

Zalasińska K. (2010). Ochrona zabytków. *Wydawnictwo LexisNexis*, Warszawa.

Podręcznik rewitalizacji (2003). Zasady, procedury i metody działania współczesnych procesów rewitalizacji. *GTZ Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit*, Warszawa.

## REINFORCEMENT DESIGN AND REVALUATION OF THE ANTIQUE SHELL-RIB BRICK VAULTS

**Abstract:** The studies were made upon brick vaults in the historical building. The analysis of the defect morphology occurring in the form of cracks of brick arches and cross vaults was done. Authors indicated the origin of damage resulting from the user activity in destroying some parts of bearing structures. The concept of structural elements strengthening was presented. Renovation of architectural monument was designed to preserve and disclose the historical and aesthetic values while respecting the authentic substance. Complementation of the existing, extensively damaged substances was scientifically justified, because the base of reinforcing works was a historical substance, which should remain in the form of so-called "witness".

Pracę wykonano w Politechnice Białostockiej w ramach realizacji projektu badawczego statutowego S/WBiIŚ/3/09