

STANISŁAW JURCZAKIEWICZ, STANISŁAW KARCZMARCZYK\*

## ZABEZPIECZANIE HISTORYCZNYCH SKLEPIEŃ Z ZASYPEM GRUZOWYM

### PROTECTION OF HISTORICAL VAULTS FILLED WITH CRUSHED BRICKS

#### Streszczenie

Ceglane sklepienia z zasypem gruzowym pełnią na ogół w historycznych obiektach rolę stropów pomiędzy dolnymi kondygnacjami. Są to elementy wrażliwe na wiele czynników destrukcyjnych. Po trwającej setki lat eksploatacji stan sklepień budzi często obawy projektantów co do możliwości włączenia ich do pracy w remontowanym obiekcie zabytkowym. W adaptowanym na muzeum budynku dawnego więzienia w Kielcach przewidywano odciążenie sklepień za pomocą niezależnych stropów ze stalowymi belkami nośnymi. Autorzy artykułu zaprojektowali wzmocnienie płaszcza sklepienia w sposób gwarantujący jego bezpieczną pracę w warunkach całkowicie zgodnych z pierwotną funkcją.

*Słowa kluczowe: sklepienia, zabezpieczanie, zabytki*

#### Abstract

Brick vaults filled with crushed bricks usually function as floors between low storeys in historical buildings. These elements are sensitive to a range of destructive factors. Contemporary engineers have doubts about the technical condition of the vaults after hundreds years of usage. The building of a former prison in Kielce is being adapted for a museum. It has been predicted that the vaults would be unloaded by means of independent floors with steel carrying beams. The authors of this paper have reinforced the vault and ensured its safe functioning in the restored building.

*Keywords: vaults, protection, monuments*

\* Mgr inż. Stanisław Jurczakiewicz, dr inż. Stanisław Karczmarczyk, Instytut Projektowania Budowlanego, Wydział Architektury, Politechnika Krakowska.

## 1. Ceglane sklepienia z zasypem gruzowym w zabytkowym budynku

### 1.1. Sklepienia stropowe w strukturze budynku

Sklepienia – krzywoliniowe przekrycia złożone z drobnowymiarowych elementów spajanych zaprawą – tworzone były z kamienia lub cegły, czyli materiałów charakteryzujących się wysoką wytrzymałością na ściskanie oraz znacznie niższą wytrzymałością na rozciąganie. Formowanie ich zmierzało więc do eliminacji z płaszcza sklepienia naprężeń rozciągających. Stosowano łuki koliste, odcinkowe, paraboliczne lub koszowe [5]. Pachy sklepień stropowych wypełniano do poziomu klucza materiałem łatwo dostępnym, a jednocześnie higienicznym – ceglanym gruzem zmieszanym z wapnem. Zasyp umożliwiał wykonanie ponad sklepieniem posadzki wyższej kondygnacji, wpływał również na równowagę całego ustroju sklepienia stropowego [4]. Duże znaczenie na stateczność płaszcza sklepienia mają też ściany usytuowane na górnej i dolnej kondygnacji. O ewentualnym negatywnym oddziaływaniu ścian decyduje ich układ: równoległy lub prostopadły do osi sklepienia. Na koniec obciążenia zmienne – technologiczne. W tym przypadku znaczenie mają zarówno wartości obciążeń, jak i sposób rozmieszczenia na rzucie. Inne niekorzystne oddziaływania mogą pochodzić od przemieszczeń wezłowi sklepień powodowanych przez poziome siły rozporu lub od nierównomiernego osiadania ścian nośnych. Dopełniają one układu sił, który – oddziałując na sklepienie – decyduje o bezpieczeństwie jego pracy w ustroju budynku.

### 1.2. Czynniki oddziałujące niszcząco na sklepienia stropowe

Do grupy wad pierwotnych konstrukcyjnych i wykonawstwa należą: niewłaściwie dobrane formy łuków sklepień, błędne założenia statyczne budynków skutkujące np. niedostateczną sztywnością podpór sklepienia, błędna ocena cech gruntu prowadząca do nierównomiernego osiadania ścian, zastosowanie materiałów o niskiej jakości oraz wadliwe wykonawstwo. Czynniki z tej grupy prowadziły nieraz do katastrof budowlanych. Sklepienia ulegały zawaleniu w trakcie wznoszenia budowli lub niedługo potem i nie dochowały się do naszych czasów. Istnieją przekazy historyczne o takich zdarzeniach.

Agresja chemiczna otaczającego środowiska w odniesieniu do elementów murowych ujawnia się w sytuacjach, gdy kapilarna struktura materiału znajdzie się w stałym kontakcie z wodą transportującą szkodliwe sole rozpuszczalne. W ścianach wewnętrznych dochodzi do takiej sytuacji w warunkach posadowienia ceglanych fundamentów poniżej zwierciadła wody gruntowej lub przy intensywnym nawadnianiu podłoża z nieszczelności instalacji kanalizacyjnej. Mechanizm niszczenia muru polega na krystalizacji soli wewnątrz porów materiału i rozsadzaniu jego struktury. Pierwszym objawem przemian chemicznych w materiałach murowych są widoczne na powierzchni kamienia i cegły występujące białoszare plamy, wykwity, spulchnienia i łuszczenie się warstw zewnętrznych. Korozja stopniowo przenika w głąb tworzywa, powodując kruszenie i rozpad materiału.

Procesy biologiczne występują dość powszechnie w wyniku działania grzybów, owadów, roślin, bakterii, a często też zwierząt i ptaków. Szkodliwe oddziaływanie na konstrukcje murowe może odbywać się bezpośrednio lub poprzez niszczenie drewnianych elementów konstrukcyjnych – np. belek stropowych lub wbudowanych w murze drewnianych elementów. Działalność drobnoustrojów jest różnokierunkowa. Atak biologiczny może stać się powodem szybkiego rozkładu zapraw zawierających związki wapnia. Aktywne działanie bakterii

i grzybów można rozpoznać nie tylko po ukazaniu się pleśni i nalotów na częściach konstrukcyjnych, lecz także po charakterystycznym zapachu. Bardzo szkodliwe może okazać się również działanie roślin, a zwłaszcza trawy, pnączy i mchów, które rosną na powierzchniach niezabezpieczonych przed tym murów i sklepień. Należy też wspomnieć o niszczącym działaniu zwierząt domowych, szczególnie krów, koni oraz ptaków, a zwłaszcza gołębi. Zawarty w nawozie zwierzęcym kwas fosforowy może oddziaływać szczególnie destrukcyjnie, a usunięcie z muru jego soli jest niemożliwe.

Innym źródłem zagrożenia są adaptacje i przebudowy dokonywane samorzutnie, bez porady i udziału fachowców. Usuwanie murów nośnych w celu powiększenia przestrzeni użytkowej, likwidowanie skarp, usuwanie ściągów, wprowadzanie dodatkowych przepierzeń dzielących większe sale powodowały zmianę pierwotnego układu statycznego, osłabienie więzi przestrzennych, deformacje sklepień i w następstwie ich uszkodzenia.

Duży wpływ na stan zachowania sklepień stropowych ma sposób użytkowania obiektu i jego bieżąca konserwacja. Brak troski o stan obiektu rozpoczyna się zwykle od nienaprawianego latami pokrycia dachu. Woda przedostająca się do wnętrza niszczy między innymi usytuowane poniżej sklepienia.

W wielu przypadkach przyczyną powstawania rys i spękań sklepień są wstrząsy i drgania wywołane ruchem ludzi i maszyn znajdujących się wewnątrz obiektu lub przenoszące się na budowlę ze źródeł zewnętrznych.



II. 1. Synagoga w Dąbrowie Tarnowskiej. Zalewanie wnętrza przez nieszczelności pokrycia dachu i przemieszczenie ściany frontowej doprowadziły do zniszczenia części sklepień nad parterem

III. 1. Synagogue in Dąbrowa Tarnowska. Part of vaults above the first floor has been destroyed by flooding the interior and bending of the front wall

Poważne szkody w utrzymaniu zabytkowych sklepień mogą wyrządzić również błędy konstrukcyjne powstałe w wyniku nieprzemyślnych poczynań konserwatorskich. Wprowadzenie nieracjonalnych konstrukcji zabezpieczających może nie tylko nie przyczynić się do wzmocnienia budowli, lecz wręcz przeciwnie, stać się powodem naruszenia równowagi istniejącego systemu konstrukcyjnego.

Długa lista czynników mogących w sposób szkodliwy oddziaływać na wrażliwe elementy, jakimi są sklepienia została w tym miejscu podana za profesorem Władysławem Borusiewiczem [1]. Autorzy wielokrotnie obserwowali uszkodzenia sklepień spowodowane agresją środowiska lub niewłaściwą działalnością człowieka. Jednak o ile nie doszło jeszcze do zawalenia sklepienia (il. 1), to przy wykorzystaniu dostępnych obecnie środków technicznych możliwe jest jego uratowanie, a nawet przywrócenie całkowitej funkcjonalności.

### 1.3. Dostępne obecnie metody zabezpieczania sklepień stropowych

Zachowane do naszych czasów sklepienia stropowe występują na dolnych oraz podziemnych kondygnacjach budynków. Konieczność ich wzmocnienia i naprawy wynika z istnienia uszkodzeń, takich jak rozspojenia, ubytki cegieł i zaprawy lub wypłaszczenia oraz zawilgocenie i nasycenie szkodliwymi solami. Dodatkowym powodem może być zwiększenie technologicznych obciążeń stropów wynikające z projektowanej zmiany sposobu użytkowania pomieszczeń. Wstępnymi czynnościami projektanta są pomiary geometrii sklepienia i jego podpór oraz inwentaryzacja uszkodzeń wraz z ekspertyzą określającą przyczyny ich powstania. Projekt zabezpieczenia sklepienia powinien uwzględniać usunięcie istniejących źródeł zagrożeń, stabilizację podpór sklepienia i naprawę samego płaszcza prowadzącą do eliminacji występujących naprężeń rozciągających oraz ograniczenia naprężeń ściskających do wartości nieprzekraczających obliczeniowej wytrzymałości muru sklepienia na ściskanie.

Tradycyjnymi metodami naprawy ceglanych sklepień są [2]:

1. **Przemurowania fragmentów sklepień** stosowane w przypadku istnienia znacznych uszkodzeń lub ubytków cegieł z płaszcza sklepienia. Realizowane są odcinkami po wykonaniu ściśle dopasowanego deskowania. Do przemurowań stosowane są materiały odpowiadające cechami mechanicznymi materiałom istniejącym w konstrukcji.
2. **Spoinowanie** stosowane w sytuacjach znacznych ubytków zaprawy.
3. **Wypełnianie rozspojen w płaszczu sklepienia** metodą grawitacyjną przez zalewanie od góry lub metodą iniekcji ciśnieniowej. Stosowany do tego celu jest zaczyn cementowy lub żywice epoksydowe.
4. **Wymiana zasypki** na materiał o zaprojektowanym ciężarze nasypowym i korzystnym kącie tarcia wewnętrznego, a także częściowe wypełnianie pach sklepienia betonem lekkim.
5. **Wykonanie dodatkowej powłoki żelbetowej** ponad sklepieniem i podwieszenie do niej ceglanego płaszcza za pomocą kotew. Powoduje to jednak znaczne zwiększenie obciążeń przekazywanych na podpory sklepienia i zwiększa opór dyfuzyjny przegrody, powodując zmianę mikroklimatu pomieszczeń. Powłoki takiej nie da się zdemontować. Z tego względu metoda ta często nie jest akceptowana przez konserwatorów zabytków.
6. **Wykonanie dodatkowych odciażających konstrukcji:** stropu ponad sklepieniem lub ściąągów przenoszących siły rozporu.

Od kilkunastu lat do wzmocnienia konstrukcji budowlanych stosowane są materiały kompozytowe: FRP (*Fiber Reinforced Polymers*) z matrycą z żywic polimerowych oraz od

niedawna FRCM (*Fiber Reinforced Cementitious Matrix*) z matrycą ze specjalnej zaprawy mineralnej. Używane są wysokowytrzymałe włókna szklane, aramidowe lub węglowe. Szczególnie chętnie stosowane są przez projektantów i wykonawców siatki FRCM ze względu na zapewnienie normalnej dyfuzyjności gazów i równowagi chemicznej powłoki oraz łatwość aplikacji.

## **2. Wzmocnienie sklepień kolebkowych nad piwnicą w rewitalizowanym powięziennym budynku w Kielcach**

### **2.1. Charakterystyka obiektu**

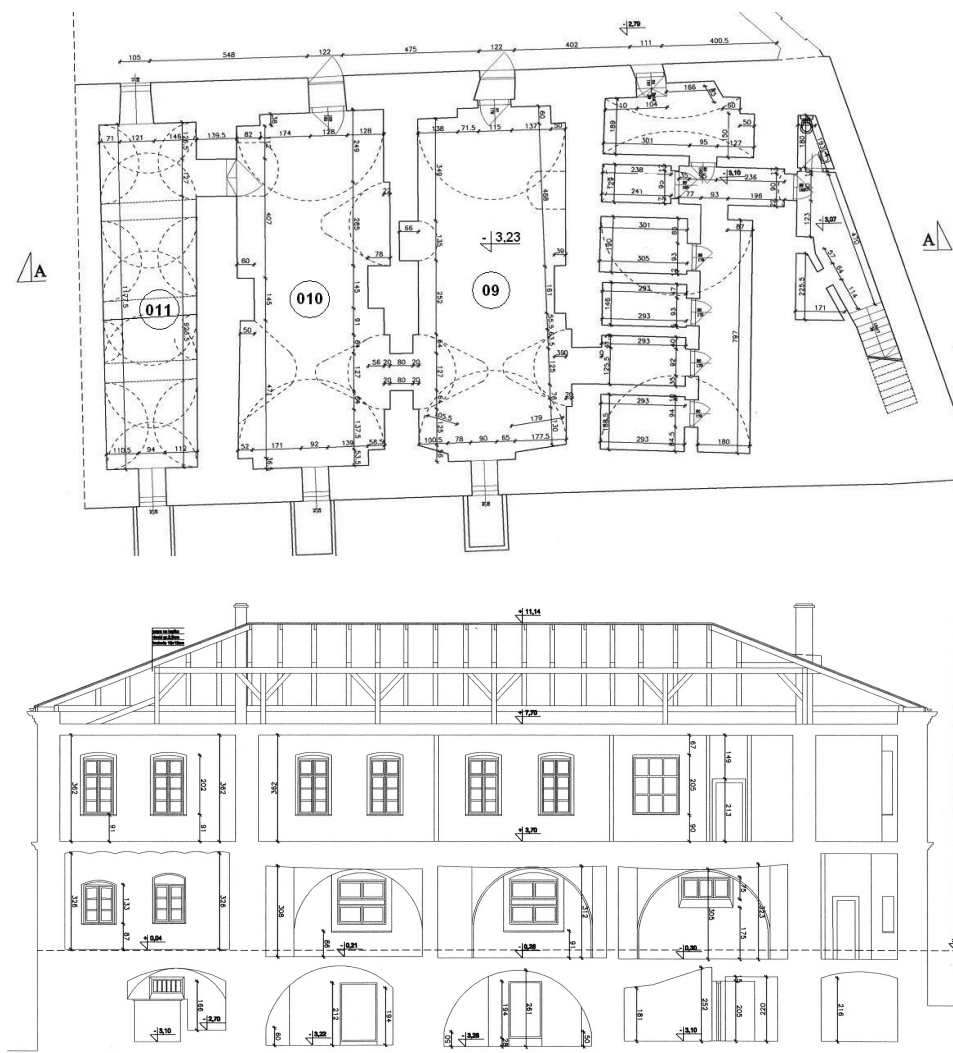
Budynek Nr 4 wchodzący w skład Zespołu Powięziennego przy ul. Zamkowej w Kielcach powstał w I połowie XVIII w. jako część zabudowy zwanej „stajnie i wozownie pańskie”. Początkowo był to budynek parterowy z podpiwniczeniem. Na początku XIX wieku dobudowano piętro. Ze względu na nachylenie stoku od strony zachodniej poziom posadzki piwnic jest prawie równy z otaczającym terenem. Piwnice przekryte są ceglanymi sklepieniami kolebkowymi z lunetami opartymi na ścianach poprzecznych. Rozpiętość sklepień półkolistych w pomieszczeniach 09. i 010. wynosi około 5,10 m. W obecnym projekcie rewitalizacji budynek Nr 4 przeznaczony został na ekspozycję muzealną [3].

### **2.2. Stan sklepień w piwnicach budynku Nr 4 i wstępne decyzje projektowe**

Przeprowadzone badania wykazały wysoką wilgotność ścian piwnicznych i parterowych, w tym również sklepień w piwnicach. Zasyпки sklepień były zawilgocone w wysokim stopniu, co przesądziło o ich wymianie. To wymusiło z kolei konieczność całkowitej rozbioru posadzek znajdujących się ponad sklepieniami. Zasolenie ścian było oczywistym następstwem długotrwałego zawilgocenia. Wszystkie wyprawy w piwnicach i na parterze zakwalifikowano do wymiany na tynki renowacyjne. W ścianach w poziomie posadzek przewidziano wykonanie izolacyjnych poziomych przepon metodą iniekcji ciśnieniowej. Na sklepieniach nie zauważono pęknięć i deformacji mogących świadczyć o nierównomiernym osiadaniu fundamentów czy też oddziaływaniu poziomych niezerównoważonych sił rozporu. Nad sklepieniami piwnic zaprojektowano strop odciążający typu WPS oparty na ścianach poprzecznych. Jako belki nośne zastosowano dwuteowniki NP.180 w rozstawie osiowym 1 m.

Autorzy, po dokonaniu oględzin stanu samych sklepień i ścian budynku, zaproponowali rezygnację z wykonywania odciążającego stropu belkowego. Powodował on konieczność wykucia w zabytkowych murach wielu gniazd na oparcia stalowych belek. Zdecydowano o naprawieniu i wzmocnieniu ceglanego płaszcza sklepienia oraz zastosowaniu zasyпки o parametrach zapewniających równowagę całego ustroju. Równowagę układu i właściwy rozkład naprężeń w płaszczu sklepienia osiągnięto przez wykonanie powłoki z porowatej zaprawy z dodatkiem rozproszonych włókien polipropylenowych oraz częściowe wypełnienie wezglowi sklepienia keramzytem stabilizowanym cementem (keramzytobetonem).





II. 2. Rzut piwnic i przekrój podłużny A-A budynku Nr 4 dawnego więzienia

III. 2. Cellar and longitudinal section A-A of the building No 4 of the former prison

### 2.3. Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe ceglanego płaszczu sklepienia

Sprawdzono stan naprężeń dla następujących wariantów:

- w płaszczu ceglanego sklepienia bez wzmocnienia,
- przy wypełnieniu węzłowi keramzytem stabilizowanym cementem (keramzytobetonem),
- z uwzględnieniem współpracy wykonanego na grzbiecie sklepienia płaszczu 6 cm z zaprawy z dodatkiem włókien rozproszonych,
- wariant b + c.

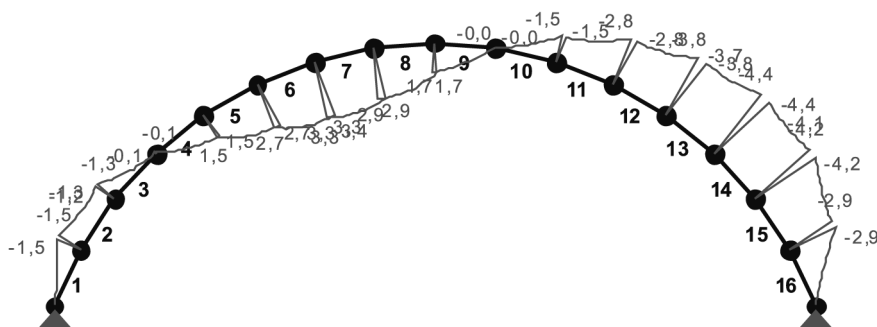
Wartości obciążeń powierzchni rzutu sklepienia:

- stałe (A) ciężar objętościowy zasypki pach sklepienia:  $g_k = 8,0 \text{ kN/m}^3$ ;  $\gamma_f = 1,3$
- stałe (B) ciężar posadzki:  $g_k = 2,4 \text{ kN/m}^2$ ;  $\gamma_f = 1,3$
- technologiczne (C i D):  $p_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$ ;  $\gamma_f = 1,4$

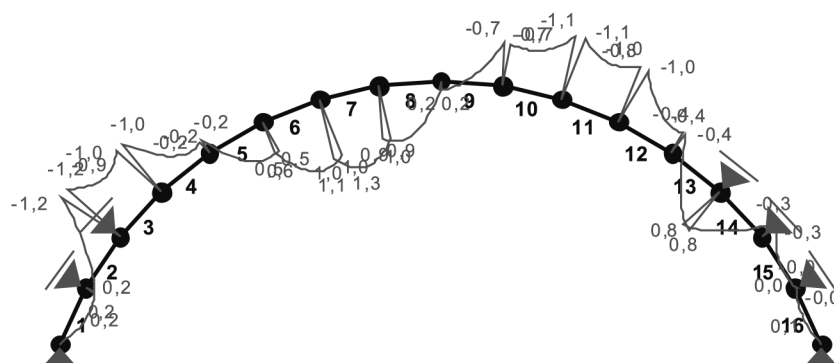
Warianty rozmieszczenia obciążenia technologicznego:

- na całej powierzchni rzutu sklepienia (obciążenie C + D)
- na połowie powierzchni rzutu – między osią podpory i podłużną osią sklepienia (obc. C)

a)



b)



II. 3. Momenty zginające w płaszczu sklepienia kolebkowego, obciążenia na połowie rzutu:  
a) bez wzmocnienia, b) po częściowym wypełnieniu węzłowi betonem lekkim

III. 3. Bending moments in the shell of barrel vault, loading on the half of surface: a) without reinforcement, b) aboutment partly filled with lightweight concrete

### 3. Podsumowanie wyników obliczeń

W przypadku **cegłanego płaszcza sklepienia bez wzmocnień** w obu wariantach obciążenia, rozmieszczonego na całej powierzchni sklepienia oraz na jednej jego połowie, w kluczu sklepienia wystąpiło ściskanie z dużym mimośrodem – siła wypadkowa znalazła się poza ob-

rysem przekroju – przekroczona została wytrzymałość na ściskanie. Podobnie przy **pokryciu grzbietu sklepienia powłoką z zaprawy o grubości 6 cm z włóknem rozproszonym**.

Po **częściowym wypełnieniu węzłowi sklepienia keramzytobetonem** w przypadku obciążenia symetrycznego – występuje ściskanie z małym mimośrodem, a w przypadku obciążenia niesymetrycznego – ściskanie z dużym mimośrodem (w obu wariantach obciążenia naprężenia nie przekraczają założonej wartości wytrzymałości obliczeniowej).

Zdecydowano o wykonaniu na grzbiecie sklepienia powłoki 6 cm z porowatej zaprawy zbrojonej włóknem rozproszonym oraz dodatkowym częściowym wypełnieniu węzłowi keramzytobetonem.

#### Literatura

- [1] Borusiewicz W., *Konserwacja zabytków budownictwa murowanego*, Arkady, Warszawa 1985.
- [2] Hojdys Ł., *Wpływ wzmocnienia materiałami kompozytowymi sklepień murowych na ich nośność*, praca doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków 2010.
- [3] Kozakiewicz Opałka R., *Projekt Budowlany. Rewitalizacja śródmieścia Kielc – przebudowa obiektów powięziennych przy ul. Zamkowej 3w Kielcach*, Autorska Pracownia Projektowa, Kielce, 2009.
- [4] Krajewski P., *Analiza wpływu materiału zasypowego na nośność sklepień murowych*, praca doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków 2010.
- [5] Żenczykowski W., *Budownictwo Ogólne*, tom 2/1, Arkady, Warszawa 1981.