



Dr hab. inż. Prof. PK Zbigniew JANOWSKI  
Mgr inż. Łukasz HOJDYS  
Mgr inż. Piotr KRAJEWSKI  
Politechnika Krakowska

## ANALIZA ORAZ NAPRAWA I REKONSTRUKCJA SKLEPIEŃ W OBIEKTACH HISTORYCZNYCH

### ANALYSIS, REPAIR AND RECONSTRUCTION OF VAULTS IN HISTORICAL BUILDINGS

**Streszczenie** Omówiono zagadnienia związane z analizą oraz naprawą sklepień w obiektach zabytkowych. Opisano materiały stosowane do wznoszenia łuków, sklepień oraz kopuł, którymi były elementy murowe ceramiczne i kamienne podając ich właściwości mechaniczne. Zwrócono szczególną uwagę na różnice pomiędzy zaprawami starymi i współczesnymi wykonywanymi na bazie wapna. Po omówieniu kształtów sklepień podano przyczyny ich uszkodzeń oraz analizę obliczeniową. Przedstawiono problemy związane z naprawą i rekonstrukcją sklepień. W podsumowaniu podano zalecenia określające zasady i filozofię zaleceń ICOMOS oraz kart Ateńskiej i Weneckiej, które powinny stanowić wytyczne dla inżynierów i architektów.

**Abstract** In the paper there are presented questions connected with analysis and reparation of vaults in historical buildings. Materials that were used for constructing arches, vaults and domes, i.e. ceramic and stone masonry elements, are described together with their mechanical properties. Special attention was paid to the differences between old and modern mortars made on the base of lime. After presentation of different vaults' shapes there were given the causes of vaults damages as well as calculation analysis. Then, the problems of reparation and reconstruction of vaults were discussed. In conclusion there were given basic recommendations defining rules and philosophy of ICOMOS resolutions and also those included in Athens and Venice Cards, that should constitute the directions and instructions for engineers and architects.

### 1. Wstęp

Umiejętność konstruowania sklepień znana jest od starożytności. Najstarsze sklepienia to tzw. pozorne, które powstawały przez układanie poziomych warstw kamienia, nadwieszanych schodkowo ku górze. Sklepienia stosowane były niemal w całym starożytnym świecie – Chinach, Egipcie, Mezopotamii, gdzie rozwinęły się sklepienia ceglane. Dalszy rozwój konstrukcji sklepień miał miejsce zwłaszcza w Rzymie, gdzie prócz sklepień ceglanych stosowano również odlewane z betonu.

Na terenie Polski początek wznoszenia budowli murowych przypada na połowę X wieku. Powstały wówczas pierwsze budowle wzorowane na przykładach budynków realizowanych w krajach południowych i zachodnich. Okres wznoszenia budowli romańskich i gotyckich można uznać za początek budownictwa murowanego.

Sklepienia i łuki powinny być kształtowane tak, aby w ich przekrojach poprzecznych występowały naprężenia ściskające, czyli geometria ich powinna odpowiadać przebiegowi linii ciśnień zależnej od sposobu obciążenia i warunków brzegowych. Większość sklepień

wznoszonych w różnych okresach historycznych podporządkowana była wymaganiom architektonicznym, które dalekie były od zasad konstrukcyjnych, a jednak sklepienia te wytrzymały w większości próbę czasu.

## 2. Materiały stosowane do sklepień

W obiektach zabytkowych spotykamy dwa rodzaje elementów murowych, którymi są kamień naturalny i elementy ceramiczne (cegły) układane na tzw. spoiny zwykłe.

W przypadku stosowania współczesnych elementów murowych do rekonstrukcji obiektów zabytkowych, należy stosować je o wymiarach i wytrzymałości zbliżonych do starych, znajdujących się w konstrukcji.

Wytrzymałość cegieł używanych do wznoszenia budowli na terenie Polski pomiędzy XIV, a XIX wiekiem wahała się pomiędzy 2,0 - 6,0 MPa, a ciężar zawarty był w przedziale od 3,35 - 8,08 kG w zależności od wymiarów cegieł.

W sklepieniach budowli zabytkowych znajdują zastosowanie następujące rodzaje skał:

- magmowe: granit, sjenit, andezyt, gabra, tufy,
- osadowe: piaskowiec, dolomit, wapień, anhydryt, trawertyn,

Określenie wytrzymałości elementu murowego w sklepieniu jest możliwe, ale na tej podstawie można jedynie wyciągnąć wnioski odnośnie doboru nowych elementów do odbudowy lub rekonstrukcji starych sklepień.

W obiektach historycznych podstawowymi spoiwami w zaprawach było wapno, ale stosowano również gips, glinę i inne materiały wiążące, a od drugiej połowy XIX w. również cement. Głównym spoiwem stosowanym do napraw tradycyjnych konstrukcji murowych jest wapno. Pomimo panującej mody na nowe, często kosztowne spoiwa, doktryny konserwatorskie zalecają ich stosowanie z dużą ostrożnością, z uwagi na autentyczną substancję obiektów historycznych.

Rozwój metod badawczych pozwala ustalić skład i właściwości starych zapraw. Jednak ich wykonanie jest trudne z uwagi na nieznane technologie stosowane przy ich przygotowaniu oraz zjawiska reologiczne.

W obiektach zabytkowych niedopuszczalne jest stosowanie metod naprawczych przy użyciu tynków i zapraw o dużej zawartości cementu. Tynki należy wykonywać w technice odpowiadającej danej epoce, przy użyciu wapna z domieszkami, które wykazano w badaniach laboratoryjnych próbek pobranych z danego muru.

W pracach naprawczych obiektów historycznych obowiązuje zasada, że nie powinno się stosować tzw. nowoczesnych tynków oraz nie należy tynkować murów z ciosów kamiennych, kamienia łamanego i polnego oraz cegieł, jeśli badania wykażą, że nie były one wcześniej stosowane.

Oceniając wytrzymałość starych zapraw w murze na podstawie badań nowych zapraw należy uwzględnić fakt, że warunki twardnienia zaprawy w spoinie między elementami murowymi są z reguły inne niż warunki przechowywania próbek do badań wytrzymałości zaprawy. Istotne znaczenie ma tu również zdolność tworzywa elementów murowych do odciągania wody z zaprawy.

Zapraw wapiennych nie należy stosować bez żadnych dodatków z uwagi na niską ich wytrzymałość oraz małą odporność na działanie czynników atmosferycznych. Należy unikać w zaprawach wapiennych stosowania np. cementu w ilości mniejszej niż proporcje cement : wapno : piasek (1 : 3 : 12). Dodatek niewielkich ilości cementu do zapraw wapienno-piaskowych ma negatywny wpływ na wytrzymałość i trwałość zapraw. Zaprawy o składzie wapno : piasek : pył ceglany wykazują lepszą wytrzymałość i trwałość niż zaprawy o składzie wapno : piasek : cement, aż do momentu, gdy zawartość cementu osiągnie połowę zawartości

wapna. Największy wpływ dodatku pyłu ceglanego na właściwości zaprawy występuje w przypadku proporcji składników wapno : piasek : pył ceglany (1 : 3 : 1), co może wpływać także na teksturę i kolorystykę zaprawy.

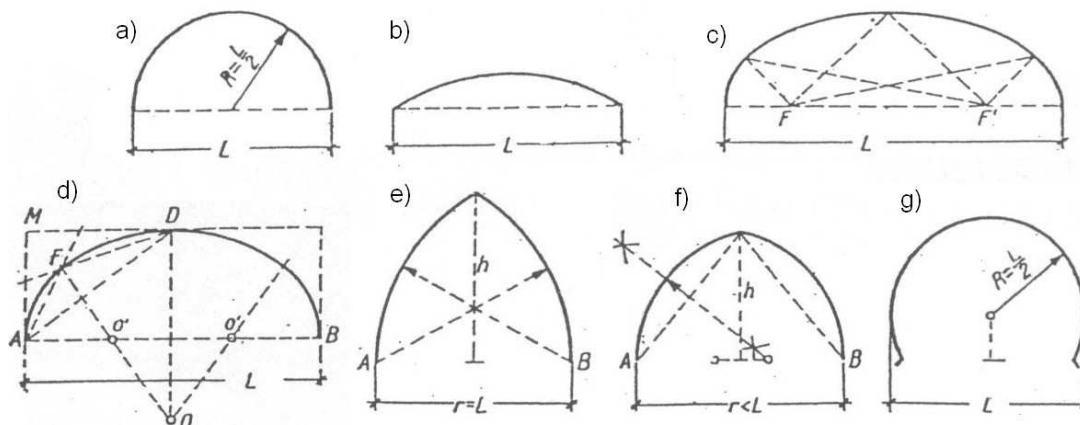
Stare zaprawy wapienne z różnymi dodatkami, występujące w istniejących konstrukcjach zabytkowych nie odpowiadają cechom współczesnych zapraw o identycznej nazwie. Zaprawy dobrze zachowane w murze są zbliżone swymi własnościami wytrzymałościowymi i odkształcalnymi do współczesnych zapraw o niskiej wytrzymałości. Mogą one odpowiadać klasom zaprawy M1 i M2, których wytrzymałość uzyskana z badań może być najczęściej zawarta w przedziale od 1,0 – 2,0 MPa.

Stosowanie zapraw cementowych do napraw starych konstrukcji sklepień wykonanych na zaprawach wapiennych jest niewłaściwe z wielu przyczyn, do których można zaliczyć często wyższą wytrzymałość zaprawy cementowej w stosunku do elementów murowych sklepienia. Powoduje to występowanie naprężeń rozciągających, co w konsekwencji może prowadzić do powstawania pęknięć i rys.

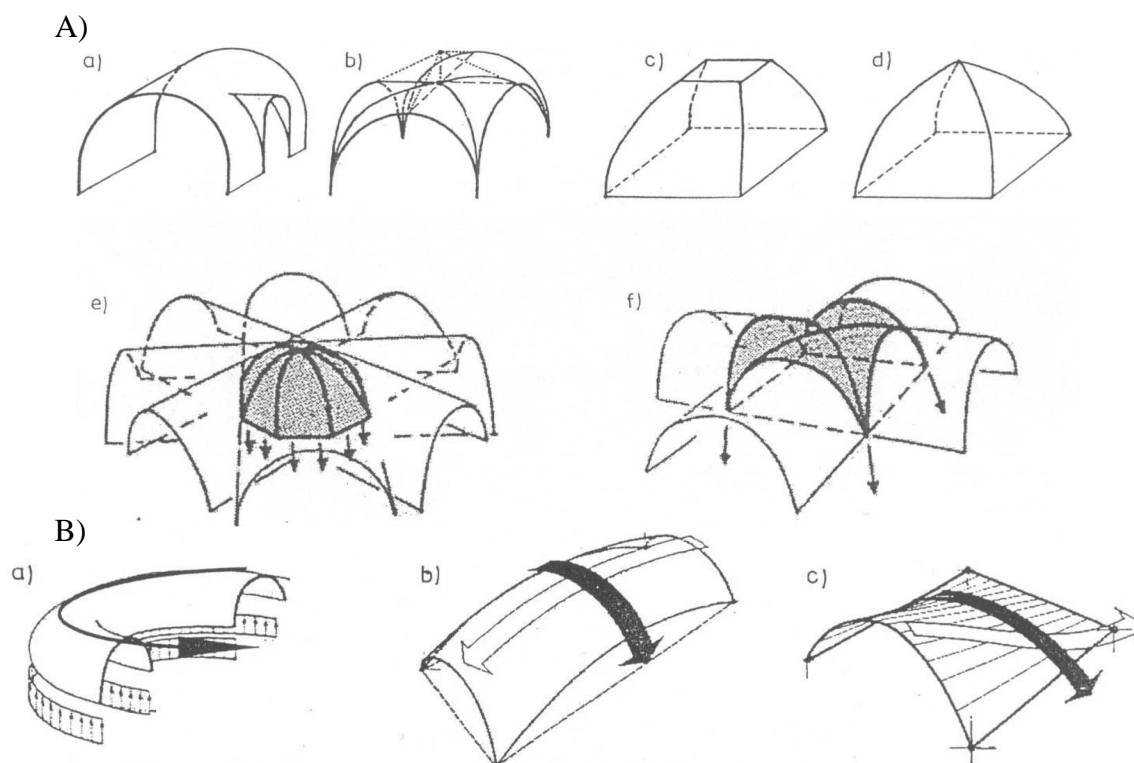
Większa odkształcalność termiczna zapraw cementowych w stosunku do zapraw wapiennych powoduje powstawanie naprężeń ścinających na styku zaprawy z elementami murowymi. Zjawisko to może być przyczyną powstawania szczelin, które pozwalają na penetrację wilgoci w głąb sklepienia.

### 3. Kształty sklepień

Charakterystyka konstrukcyjna sklepień jest niezwykle złożona z uwagi na rzut poziomy sklepienia, powierzchnię pola przesklepianego pomieszczenia, sposób podparcia i jego kształt oraz strzałki sklepienia. W budownictwie sakralnym, a następnie świeckim występuje cała gama sklepień, do których można zaliczyć między innymi: walcowe, kolebkowe na pasach, kolebkowe z lunetami, żaglowe klasztorne oraz kopuły. Przekrycia te posiadają kształty w zależności od rzutów pomieszczeń, oparte na trójkącie, prostokącie, kwadracie, kole, elipsie, paraboli i innych krzywych. Przykłady sklepień o różnych kształtach przedstawiono na rys. 1, 2.



Rys. 1. Rodzaje sklepień w zależności od kształtu: a) półkolisty, b) odcinkowy, c) eliptyczny, d) koszykowy, e), f) ostrotukowy, g) bizantyjski.



Rys. 2. Sklepienia o kształtach złożonych: A) a) kolebkowe z lunetą, b) krzyżowe, c) zwierciadlane, d) nieckowe, e) klasztorne, f) krzyżowe; B) dwukrzywiznowe: a) torusowe, b) eliptyczno-paraboliczne, c) konoidalne.

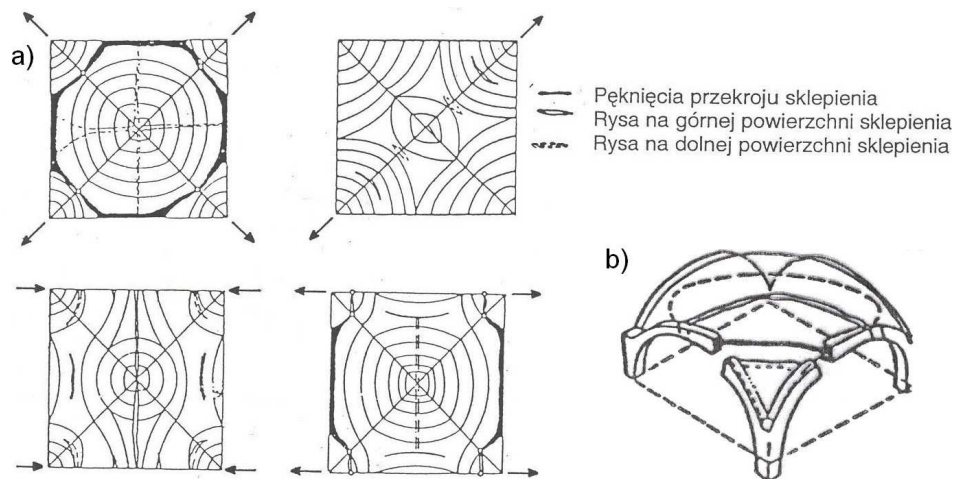
#### 4. Uszkodzenia

Sklepienia, które dotrwały do naszych czasów, a znajdują się w starych obiektach zabytkowych, były w większości wykonane zgodnie z zasadami statyki i dobrej jakości. Wykazują one obecnie uszkodzenia będące najczęściej wynikiem zmiany schematu statycznego, zmianą warunków podparcia, przemieszczeniem podpór oraz uszkodzeniami elementów murowych lub wypłukiwaniem zaprawy ze spoin.

Duża różnorodność sklepień spowodowała, że budowniczowie podporządkowując się wymaganiom danej epoki wykonywali te obiekty często w rozbieżności z zasadami statyki i cechami materiału, z których je wznoszono. Powoduje to występowanie naprężeń rozciągających zlokalizowanych przy zewnętrznych i wewnętrznych powierzchniach sklepień, które nie biorą udziału w przenoszeniu obciążeń. Rezultatem tego są tzw. strefy wiszące lub martwe, które prowadzą do otwierania się spoin pomiędzy elementami murowymi. Uszkodzenia te przy znacznych głębokościach rozwarcia spoin mogą powodować wypadanie poszczególnych elementów murowych z dolnych powierzchni sklepień.

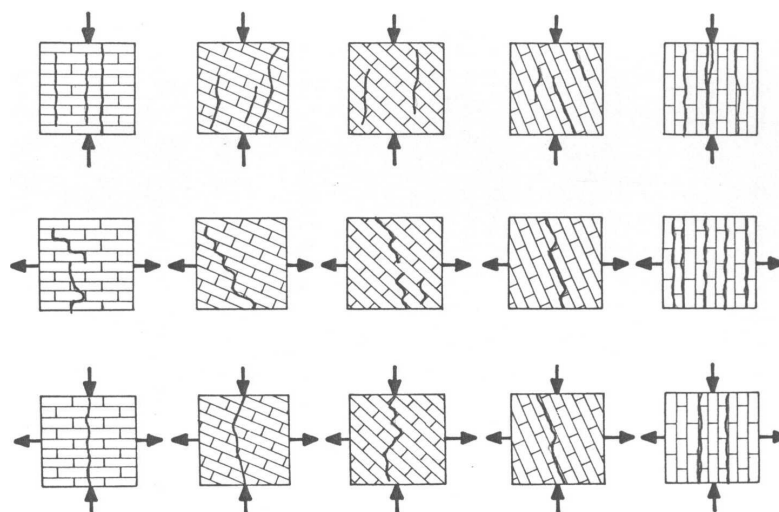
W zależności od usytuowania sklepień w obiekcie mogą być na nie wywierane różne siły, które mogą prowadzić do uszkodzeń - spękań, mających podobne objawy, ale różne przyczyny. Zjawiska te ilustrują schematy przedstawione na rys. 3.

Uszkodzenia spowodowane zmianami geometrycznymi podparcia sklepień są szczególnie trudne w analizie obliczeniowej.



Rys. 3. a) Rysy w sklepieniu krzyżowym, b) obniżenie jednej podpory w sklepieniu.

W zależności od kształtu sklepienia elementy murowe oraz jego fragmenty znajdują się w jednoosiowym lub złożonym stanie naprężeń. Forma zniszczenia sklepienia murowanego uzależniona jest od kąta zawartego pomiędzy kierunkiem działania sił, a powierzchnią spoin wspornych (rys. 4).



Rys. 4. Przykłady uszkodzenia murów w sklepieniach ceglanych w zależności od kierunku działania sił w jedno i dwuosiowym stanie naprężeń

## 5. Analiza obliczeniowa sklepień

Różnorodność sklepień, których gama rozwiązań jest praktycznie nieokreślona, powoduje, że nie mogą powstać proste metody analizy pracy statycznej sklepień. W wielu budowlach zabytkowych spotykamy ściągi żelazne lub stalowe, których zadaniem było przenoszenie sił rozporowych, wywoływanych w sklepieniu. Ściągi te często zaopatrywane były w tzw. „śruby rzymskie”, które służyły do wywoływania stanu wstępnego naprężenia w ściąгах. Charakterystyka naprężenie – odkształcenie żelaza i stali stosowanych jako ściągi w budowlach historycznych wykazuje, że skuteczność ich w przenoszeniu sił rozporowych jest znikoma a często żadna. Niska jakość tych ściągów, które posiadają małą wytrzymałość na rozciąganie, dużą odkształcalność i znaczną relaksację, powoduje że uwzględnianie ich w analizie konstrukcyjnej sklepień jest często nieuzasadnione.

Ocena nośności sklepień jest zagadnieniem trudnym i wymagającym rozważań przy jego rozwiązaniu.

Ocena wytrzymałości muru w sklepieniu jest dodatkowo skomplikowana w stosunku do ścian, z uwagi na różny kierunek spoin do sił normalnych, co spowodowane jest kształtem sklepienia.

Stosowana ocena wytrzymałości istniejącego muru na podstawie wyznaczonej wytrzymałości cegieł (pobranej z analizowanego obiektu) i szacunkowe określenie wytrzymałości zaprawy w murze nie może być podstawą do szczegółowej oceny konstrukcji murowej sklepień.

Analiza konstrukcji murowych pozwala stwierdzić zaniżenie średniej wytrzymałości muru ( $f_{mean}$ ) w stosunku do wytrzymałości elementów murowych  $f_B$ . Stosunek tych wytrzymałości określa tzw. sprawność murów:

$$\eta = \frac{f_{mean}}{f_B} \cdot 100\% \quad (1)$$

Współczynnik sprawności muru jest bardzo zróżnicowany, gdyż może zawierać się w przedziale od 10 ÷ 90%. Tak duża zmienność współczynnika zależy głównie od rodzaju zaprawy z jakiej wykonano mur. Sprawność muru dla różnych zapraw wynosi:

- zaprawy gliniane  $\eta = 10 \div 40\%$
- zaprawy wapienne  $\eta \leq 10 \div 50\%$
- zaprawy cementowe i bloki betonowe  $\eta = 50 \div 90\%$ .

Współczynnik sprawności muru może mieć tylko znaczenie przy określaniu przybliżonej wytrzymałości muru.

Norma PN-55/B-03003 „Mury z kamienia. Obliczenia statyczne i zasady projektowania” – dla oceny wytrzymałości muru w zależności od materiału elementów murowych, podawała wzór zaproponowany przez L.J. Oniszczyka, w którym uwzględniono prócz wytrzymałości elementów murowych i wytrzymałości zaprawy dodatkowo cztery współczynniki empiryczne.

Określone wytrzymałości na ściskanie, przy założeniu współczynnika pewności  $s = 2,5$ , zależne były od grubości muru, wytrzymałości kamienia i zaprawy.

Szacowane wytrzymałości murów z kamienia na zaprawach o wytrzymałościach od 0,2 ÷ 1,5 MPa, wytrzymałości kamienia na ściskanie w przedziale 10,0 ÷ 30,0 MPa, wynosiły:

- dla murów z kamienia łamanego:  
 $f_m = 0,2$  [MPa]       $f_k = 0,34 \div 3,21$  [MPa]  
 $f_m = 1,5$  [MPa]       $f_k = 2,00 \div 3,09$  [MPa]
- dla murów z ciosów:  
 $f_m = 0,6 \div 10,2$  [MPa]       $f_k = 1,0 \div 10,5$  [MPa].

Do czasu uzyskania wiarygodnej weryfikacji doświadczalnej (co jest bardzo odległe w czasie) wydaje się bezpieczne przyjmować zależność pomiędzy wytrzymałością określoną na próbkach wycinanych z muru a wytrzymałością muru w konstrukcji w sklepieniu według relacji:

$$f'_k = 0,70 f_k \cdot m \quad (2)$$

gdzie:  $m \leq 1$  – współczynnik, który należy przyjąć w zależności od aktualnego stanu konstrukcji murowej.

Przy ocenie nośności muru należy każdorazowo uwzględnić jego stan zachowania oraz jego niejednorodność, co może mieć wpływ na ostatecznie przyjętą wytrzymałość muru na ściskanie.

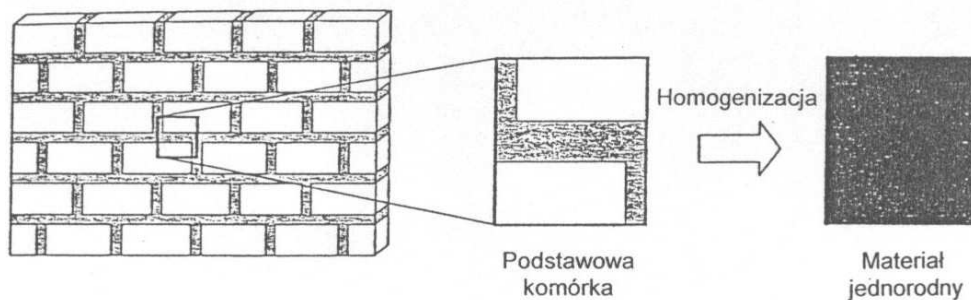
Uwzględniając podane uwarunkowania znaczącym problemem jest zbudowanie odpowiedniego modelu, który pozwala zidentyfikować stany mechaniczne sklepień. Do tego zagadnienia wykorzystywane są najczęściej metody empiryczne, bazujące na długoletnich doświadczeniach oraz metodzie analizy sprężystej. Metoda analizy sprężystej polega na ocenie poziomu wyężenia konstrukcji sklepienia w zakresie liniowo-sprężystym.

Duże możliwości analizy statycznej sklepień o dowolnych kształtach stwarzają metody komputerowe, które dają możliwości uwzględniania znacznej liczby parametrów wpływających na zachowanie się sklepienia pod dowolnym obciążeniem. Analizy komputerowe złożonych konstrukcji murowych przeprowadzono, między innymi, dla sklepień Bazyliki św. Marka w Wenecji, jednego z czterech najstarszych akweduktów w Segowii, Krzywej Wieży w Pizie i wielu innych historycznych obiektów.

Technika komputerowa pozwala analizować zarówno całe konstrukcje jak i poszczególne fragmenty sklepień. Analiza może dotyczyć tak obciążeń statycznych jak i dynamicznych. Trudności w analizie komputerowej sklepień polegają na modelowaniu elementów murowych i zapraw we wspólnej ich pracy w konstrukcji.

Określenie charakterystyki naprężenie – odkształcenie sklepień, szczególnie zabytkowych, w złożonych stanach naprężeń występujących w konstrukcjach, są przedmiotem szczegółowych badań. Najczęściej rozważa się mur w sklepieniu jako materiał homogenizowany lub oddzielnie traktuje elementy murowe i zaprawy. Obliczenia prowadzone dla takich założeń pozwalają przedstawić analizę naprężeń w całej konstrukcji z zaznaczeniem miejsc silnie wyężonych, co pozwala na szczegółowe zainteresowanie się tymi obszarami w dalszej analizie. Aktualnie nie istnieje model muru w sklepieniu, który pozwoliłby uwzględnić złożoność tych konstrukcji z uwagi na znaczną ilość czynników wpływających na określenie zależności naprężenie – odkształcenie w złożonym stanie naprężeń w jakim pracuje sklepienie.

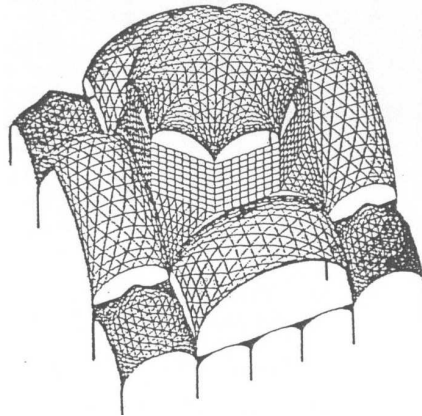
Idea homogenizacji konstrukcji murowej (elementy murowe i warstwy zaprawy) przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Podstawowa komórka procesu homogenizacji przyjmowana do analizy numerycznej muru

Analizy zaawansowane wykorzystują technikę MES do tworzenia modeli przestrzennych, uwzględniających współpracę ze sklepieniem wszystkich elementów sklepień. Dostępne elementy (jedno, dwu i trójwymiarowe oraz elementy kontaktowe) pozwalają opisywać niekiedy bardzo skomplikowane zachowania i współdziałania w obrębie całej konstrukcji sklepienia.

Przykład siatki MES przyjętej do analizy numerycznej kopuły oraz sklepień w kościele św. Lambertusa w Maastricht przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Siatka MES dla konstrukcji kopuły i sklepienia kościoła św. Lambertusa w Maastricht

## 6. Naprawy i rekonstrukcja

Ocena stanu technicznego konstrukcji sklepień w obiektach istniejących wynika najczęściej z konieczności określenia ich stanu bezpieczeństwa, który ma gwarantować dalsze użytkowanie budowli.

Problem oceny, napraw i rekonstrukcji sklepień występuje niemal od początku ich powstania, co jest dyktowane wymaganiami utrzymania obiektu w dobrym stanie technicznym oraz ewentualnym usuwaniem wad budowlanych popełnionych w okresie wcześniejszym. Sklepienia zabytkowe są zróżnicowane pod względem materiałowym oraz technik stosowanych do ich budowania. Metody oceny stanu technicznego muszą uwzględniać czas ich powstania, wcześniejsze rekonstrukcje, stopień zużycia elementów murowych i zapraw oraz lokalne warunki gruntowo-wodne, mogące mieć wpływ na przemieszczenia podpór sklepień.

Zróżnicowanie materiałowe w sklepieniach, usterki projektowe i wykonawcze oraz oddziaływania środowiska mogą spowodować występowanie zjawisk, które niekorzystnie działają na wybrane fragmenty sklepień, co może określić zakres niezbędnych badań diagnostycznych oraz napraw i rekonstrukcji.

Zakres prac przy ocenie konstrukcji sklepień zależy do wielu czynników, do których można zaliczyć:

- właściwości elementów murowych i zapraw,
- występowanie dodatkowych obciążeń statycznych na skutek prowadzonych w obiekcie remontów, adaptacji, zmian funkcjonalnych,
- rysy i pęknięcia konstrukcji sklepień w wyniku wystąpienia w niej sił rozciągających, których przyczyny mogą być bardzo zróżnicowane i często trudne do ustalenia,
- niekorzystne lub zmienne warunki gruntowo-wodne w podłożu budowli,
- zmiany charakteru użytkowania terenów przyległych do budowli, np. budowa dróg powodująca występowanie niekorzystnych drgań na konstrukcję nieprzystosowaną do tego rodzaju oddziaływań,
- zróżnicowane odkształcenia sąsiednich elementów konstrukcyjnych,
- oddziaływania środowiska (zanieczyszczenia, wilgoć, procesy biologiczne itp.),
- techniki stosowane przy wznoszeniu obiektu.

Określenie i prawidłowe ustalenie przyczyn powodujących uszkodzenie sklepień jest podstawą do opracowania projektu lub zaleceń odnośnie wykonania niezbędnych napraw lub rekonstrukcji pozwalających na dalszą bezpieczną eksploatację obiektu.

W konstrukcjach sklepień obowiązuje zasada, że każdorazowo sprawdzany jest stan



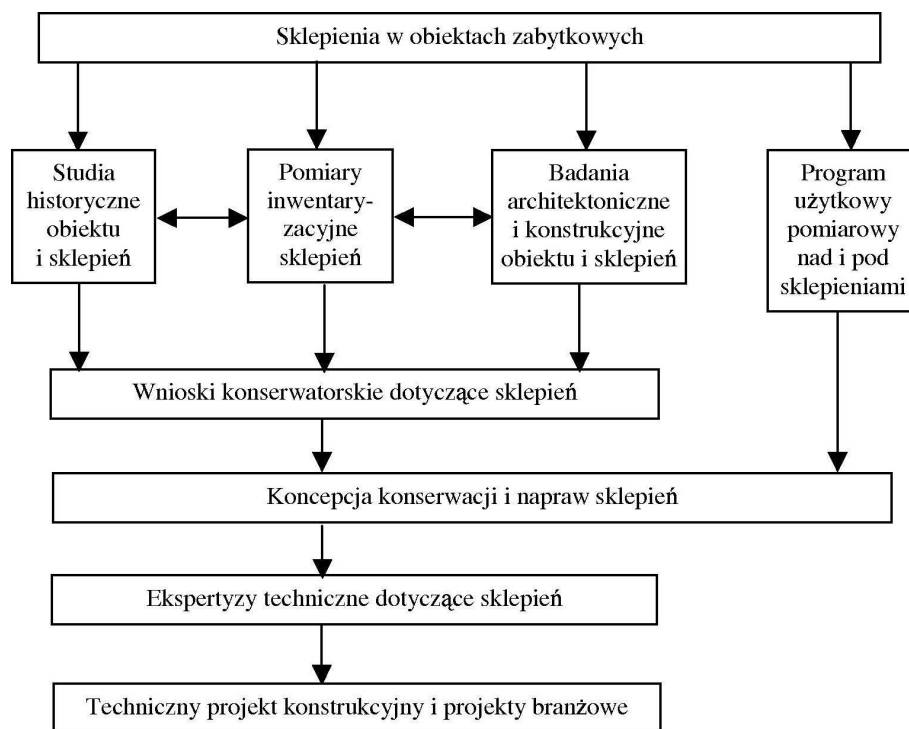
graniczny nośności, natomiast stanu granicznego użytkowności można nie sprawdzać, jeśli są podstawy do uznania, że istniejący w konstrukcji stan graniczny nośności zapewnia nieprzekroczenie stanu granicznego użytkowności dla wybranych, znaczących sytuacji obliczeniowych.

W obiektach zabytkowych istotnym zagadnieniem w ocenie stanu technicznego sklepień jest autentyzm materiałów i technologii stosowanych w danych okresach historycznych, co powinno znaleźć odniesienie we wzmocnieniach, naprawach czy przebudowach.

Remonty, naprawy i rekonstrukcje wpływają w różnym stopniu na autentyzm sklepień. Ogólnie można stwierdzić, że mają one ujemny wpływ na zachowanie autentyzmu. Nośność konstrukcji sklepień może w trakcie prac rekonstrukcyjnych ulec obniżeniu jak i w pewnych przypadkach podwyższeniu.

Opracowany program technologiczno-realizacyjny winien zawierać rozwiązania materiałowe oraz podać kolejność prac naprawczych. Powinien on być oparty na wiarygodnych analizach materiałowych i obliczeniowych. Błędne lub niekompletne analizy mogą spowodować degradację, awarię lub nawet katastrofę konstrukcji sklepień.

Schemat prac projektowych i badawczych podczas napraw i konserwacji sklepień zabytkowych przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Schemat prac badawczych i projektowych dla napraw i konserwacji sklepienia zabytkowego

W naprawach należy do minimum ograniczyć nowe, uznane jako „lepsze” materiały, o wyższej wytrzymałości i niższej odkształcalności w stosunku do materiałów tradycyjnych. Materiały współczesne, stosowane do napraw zabytkowych konstrukcji sklepień, należy stosować z ostrożnością nie tylko z uwagi na brak dostatecznej wiedzy o ich charakterystykach odkształcalności i wytrzymałości w czasie oraz kompatybilności ze starymi materiałami.

## 7. Podsumowanie

Zalecenia ICOMOS/ISCARSAH określają główne zasady przeprowadzania analiz, wykonywania projektów renowacji obiektów zabytkowych zgodnie z Kartą Wenecką. Zgodnie z tymi zaleceniami, zawartymi w dokumencie *Recommendations for the Analysis and Restoration of Historical Structures* oficjalnie przyjętego przez ICOMOS w roku 2003, konserwacja musi się opierać na znajomości historii, problemów konstrukcyjnych oraz koniecznych interwencji w zabytkową strukturę obiektu. Zalecenia określają trzy różne fazy w badaniu zabytkowych konstrukcji: wstępna diagnoza, warunki bezpieczeństwa i projekt koniecznych interwencji. W każdej z tych trzech faz określa się idee i metodologie stanowiące podstawę do dalszych analiz. Stanowią one podstawę dla konkretnych rozwiązań konstrukcyjnych, bezpieczeństwa budynku oraz potrzeb naprawczych i dokonania koniecznych wzmocnień.

Violet-le-Duc rozpoczął traktowanie konserwacji jako odrębnego działania mającego na celu odnowę obiektów zabytkowych, jednak dla niego konstrukcja budynku stanowiła jedynie użytkową jego część. Karta Ateńska z roku 1933 już wspominała, że użycie nowoczesnych technik takich jak żelbet, musi być tak stosowane w obiektach zabytkowych by je jak najbardziej chronić. Dopiero Karta Wenecka w 1966 roku konstrukcję budynku podniosła do rangi równej walorom estetycznym obiektu.

Trudności w dobrym rozpoznaniu struktur zabytkowych mogą być rozwiązywane przez elastyczne traktowanie uzyskanych informacji pozyskiwanych z badań historycznych, inwentaryzacji i wizji lokalnych, monitoringu i analizy konstrukcyjnej. Cała ta wiedza musi zostać zebrana i połączona w jedną część będącą naukową analizą prowadzącą do projektowych rozwiązań mających za podstawę wiedzę na temat stanu budynku, zniszczeń lub uszkodzeń i koniecznej interwencji. Jednak pomimo całej tej wiedzy zawsze istnieje przestrzeń dla niepewności subiektywizmu. Ma to wpływ na dwa problemy. Dane, które uzyskujemy a co za tym idzie rozwiązania są ograniczone ekonomicznie i technicznie i zawsze są przybliżone oraz podlegają pewnym uproszczeniom. Po drugie nawet bardzo szczegółowy i oparty na licznych badaniach model nie oddaje całości problemu oraz nie oddaje rzeczywistości. Dlatego w analizie należy wyraźnie określić obszary niewiedzy czy subiektywizmu i ich możliwy wpływ na realne wnioski.

## Literatura

1. Arun G.: *Behaviour of Masonry Vaults and Domes: Geometrical Considerations, Structural Analysis of Historical Constructures*, New Delhi, 2006.
2. Bucur Horváth I., Popa I., Bascó A., Puskás A.: *Approaches of the technical state and behaviour for old structures in brick vaults*, Historical Constructions, Guimaraes, 2001.
3. Janowski Z.: *Nośność i trwałość konstrukcji murowych w obiektach zabytkowych*, IV Konferencja Naukowo-Techniczna, Inżynieryjne problemy odnowy staromiejskich zespołów zabytkowych, Kraków, 1998.
4. Janowski Z.: *Analiza sklepień w obiektach zabytkowych*, XI Konferencja Naukowo-Techniczna, Problemy remontowe w budownictwie ogólnym i zabytkowym, Wrocław-Kliczków, 2004.
5. Janowski Z.: *Przyczyny zawalenia sklepień i problemy związane z ich odbudową*, XII Konferencja Naukowo-Techniczna, Szczecin-Międzyzdroje, 2005.