

Piotr Rapp

Współpraca łuków i sklepień w stropach odcinkowych w obiektach zabytkowych

Ochrona Zabytków 47/3-4 (186-187), 267-272

1994

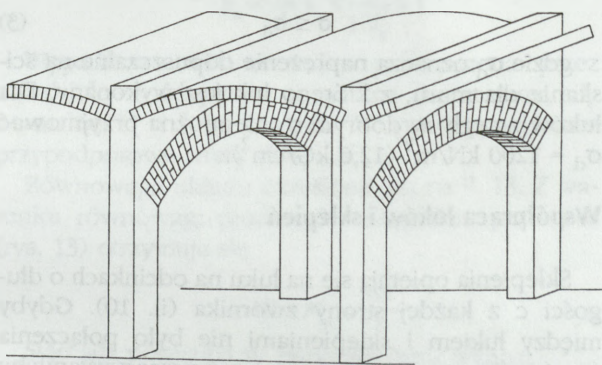
Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

WSPÓŁPRACA ŁUKÓW I SKLEPIEŃ W STROPACH ODCINKOWYCH W OBIEKTACH ZABYTKOWYCH

Wstęp

W starych budynkach murowanych często spotyka się stropy, których konstrukcją nośną są sklepienia odcinkowe oparte na łukach murowanych z kamienia lub z cegły. Takie stropy stosowano nad piwnicami oraz w kondygnacjach nadziemnych, przeważnie parteru, w układach jedno- lub wielotraktowych. Il. 1 i 2 przedstawia dwa układy konstrukcyjne — sklepienia oparte na ścianach powyżej łuków oraz sklepienia oparte na łukach. Sklepienia opiera się o płaszczyzny wsporcze w bruzdach (il. 3) lub na stopkach wysuniętych z muru lub łuku (il. 4). Na całej płaszczyźnie wsporczej między sklepieniami i podporą spoina wypełniona jest zaprawą. Sklepienia odcinkowe obciążają podpory siłami pionowymi R_s oraz siłami poziomymi H_s . Wypadkową tych sił oznaczamy symbolem F_s (il. 5) — jest to nacisk sklepienia na ścianę lub łuk. Gdy podporę sklepień stanowi ściana, wówczas siły poziome równoważą się w obrębie ściany nad łukiem i łuk obciążony jest wyłącznie siłami pionowymi (il. 6). W tym wypadku sklepienia obciążają łuk i nie wspomagają go w przenoszeniu obciążeń. Odmienna sytuacja ma miejsce, gdy sklepienia oparte są na łuku (il. 7). Nacisk F_s sklepienia na łuk wywołuje siły tarcia między sklepieniem i łukiem. Dodatkowo można uwzględnić wytrzymałość zaprawy na ścinanie, w wypadku gdy spoina nie jest zarysowana. Siły tarcia oraz wytrzymałość zaprawy powodują włączenie się stref przypodporowych sklepień do przenoszenia sił ściskających występujących w łukach.



1. Sklepienia odcinkowe oparte na ścianach powyżej łuków murowanych

1. Segmental barrel vaults supported on walls above masonry arches

W praktyce inżynierskiej przy określaniu nośności stropów przedstawionych na il. 1 i 2, w obu przypadkach pomija się współpracę łuków i sklepień, obliczając oddzielnie nośność łuku i nośność sklepienia. W pierwszym wypadku (il. 1, 6) postępowanie takie jest uzasadnione.

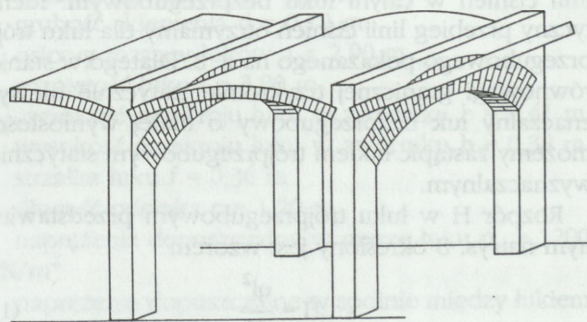
W drugim (il. 2, 7) łuk współpracuje z opartymi na nim sklepieniami, przez co zwiększa się nośność łuku w strefie zwornika o 20 - 50%. Na ogół łuk ma mniejszą nośność niż sklepienie i on limituje nośność stropu. Dlatego rozróżnienie tych przypadków jest celowe ze względu na różną nośność obu konstrukcji i różne sposoby jej obliczania.

W niniejszym artykule przedstawiam klasyczną metodę obliczania łuków murowanych oraz propozycję obliczania łuków współpracujących z opartymi na nich sklepieniami odcinkowymi. Proponowana metoda ma praktyczny, inżynierski charakter.

Obliczanie łuków metodą równowagi granicznej

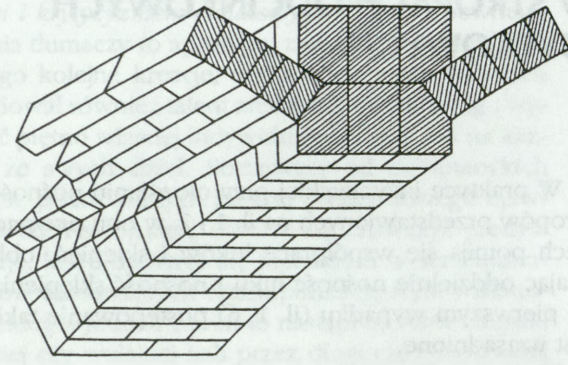
Przedmiotem rozważań są łuki **mało wyniosłe**, które określamy warunkiem $f : l \leq 0,3$ dla łuków dowolnych lub warunkiem $\alpha \geq 30^\circ$ dla kołowych (il. 8).

W praktyce nośność łuków mało wyniosłych obliczamy metodą **równowagi granicznej**, która opiera się na obserwacjach mechanizmu załamywania się bezprzegubowych łuków murowanych symetrycz-

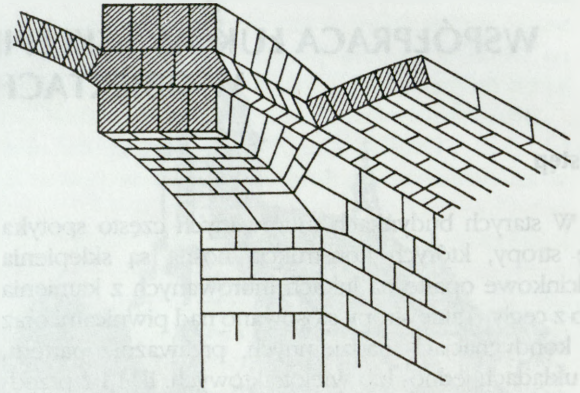


2. Sklepienia odcinkowe oparte na łukach murowanych

2. Segmental barrel vaults supported on masonry arches



3. Sklepienia odcinkowe osadzone w bruzdach
3. Segmental barrel vaults seated in grooves



4. Sklepienia odcinkowe oparte na wysuniętych stopkach
4. Segmental barrel vaults supported on advanced bases

nych i symetrycznie obciążonych. Załamanie się takich łuków poprzedza równoczesne zarysowanie się trzech przekrojów: w zworniku i w węzłowiach. Przekrój zwornikowy rozwiera się od strony podniebienia, a przekroje węzłowiowe rozwierają się od strony grzbietu. Początek zarysowania się przekrojów łuku określamy jako **stan równowagi granicznej**. Łuki wykonywane są z materiału kruchego, charakteryzującego się dużą wytrzymałością na ściskanie i niewielką (w obliczeniach przyjmowaną równą zero) wytrzymałością na rozciąganie. Stąd początek zarysowania następuje przy trójkątnym rozkładzie naprężeń w przekroju łuku (il. 9). W tym momencie siła normalna w przekroju, będąca wypadkową naprężeń ściskających, znajduje się na granicy rdzenia przekroju — od strony grzbietu w zworniku i od strony podniebienia w węzłowiach (il. 8).

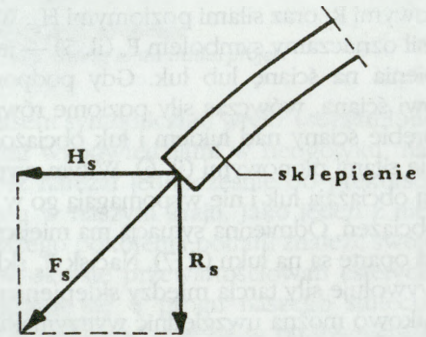
Mamy zatem ustalone trzy punkty w łuku, przez które przechodzi linia ciśnień, i stosując np. metodę wieloboku sznurowego możemy wyznaczyć przebieg linii ciśnień w całym łuku bezprzegubowym. Identyfikacyjny przebieg linii ciśnień otrzymamy dla łuku trójprzegubowego pokazanego na il. 8. Dlatego w stanie równowagi granicznej trzykrotnie statycznie niewyznaczalny łuk bezprzegubowy o małej wyośności możemy zastąpić łukiem trójprzegubowym statycznie wyznaczalnym.

Rozpór H w łuku trójprzegubowym przedstawionym na rys. 8 określony jest wzorem

$$H = \frac{ql^2}{8f} \quad (1)$$

Maksymalne naprężenie ściskające w zworniku łuku o przekroju prostokątnym określone jest wzorem

$$\sigma = \frac{2H}{bh} \quad (2)$$



5. Oddziaływanie sklepienia na podpórę
5. Vault action on the support

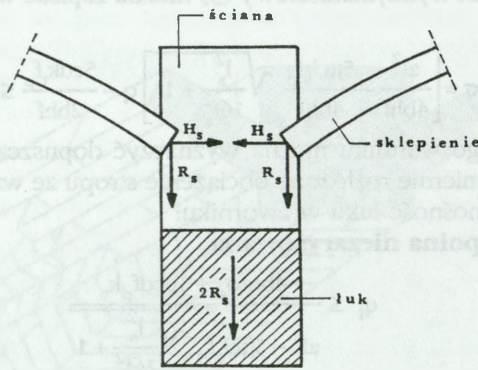
Warunek wytrzymałościowy ma postać

$$\sigma \leq \sigma_d \quad (3)$$

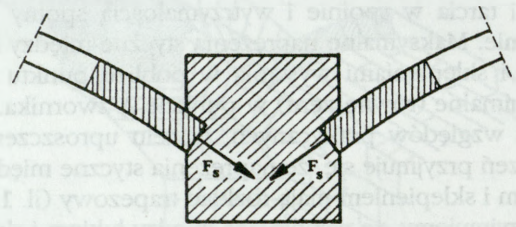
gdzie σ_d oznacza naprężenie dopuszczalne na ściskanie dla muru, z którego łuk jest wykonany. Dla łuków z cegły w dobrym stanie można przyjmować $\sigma_d = 1200 \text{ kN/m}^2$ ($12,0 \text{ kG/cm}^2$).

Współpraca łuków i sklepień

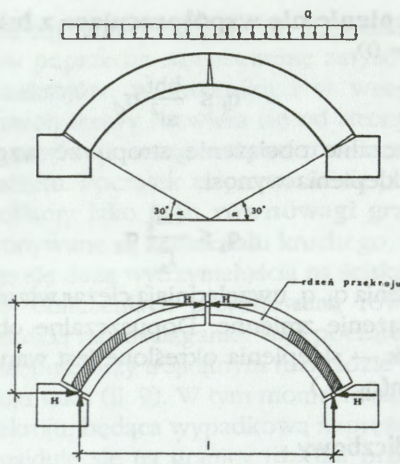
Sklepienia opierają się na łuku na odcinkach o długości c z każdej strony zwornika (il. 10). Gdyby między łukiem i sklepieniami nie było połączenia (spoiny zarysowane bez tarcia), wówczas wystąpiłyby przemieszczenia względne między łukiem (na skutek jego skrócenia) i sklepieniami odcinkowymi. Maksymalna różnica przemieszczeń wystąpiłaby w pobliżu



6. Obciążenie łuku gdy sklepienia oparte są na ścianie powyżej łuku
6. Loading of masonry arc when segmental barrel vaults are supported on the wall above the arc



7. Obciążenie łuku sklepieniami opartymi na łuku
7. Loading of masonry arc when segmental barrel vaults are supported on the arch



8. Łuk o małej wzniosłości — $f: l \leq 0,3$ lub $\alpha \geq 30^\circ$: a — Mechanizm zniszczenia łuku bezprzegubowego; b — Łuk trójprzegubowy odpowiadający łukowi bezprzegubowemu
8. Small height arch — $f: l \leq 0,3$ or $\alpha \geq 30^\circ$: a — Collapse mechanism of a hingeless arch; b — Three hinged arch corresponding to the hingeless arch

2. Spoina zarysowana

$$q_{\text{I}} = 7,91 \text{ kN/m}^2$$

3. Nośność łuku bez współpracy ze sklepieniami

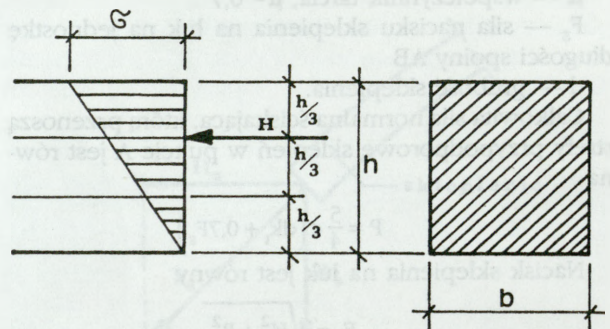
$$q_{\text{I}} = 6,44 \text{ kN/m}^2$$

4. Nośność sklepienia odcinkowego

$$q_{\text{S}} = 25,8 \text{ kN/m}^2$$

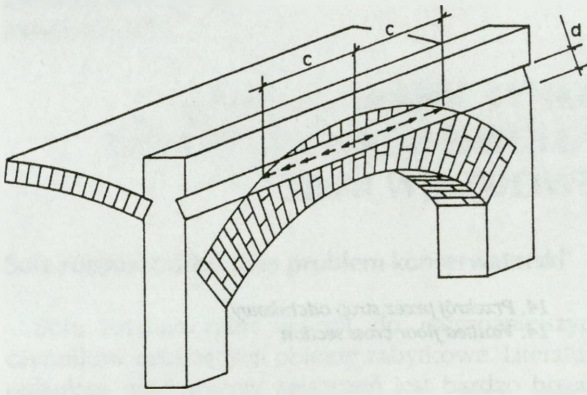
Uwagi końcowe

Wyniki przykładowych obliczeń wskazują, że nośność sklepienia odcinkowego może znacznie przekroczyć nośność podtrzymującego je łuku murowanego. O nośności stropu decyduje nośność łuków. W rozważanym przypadku pełna współpraca łuków

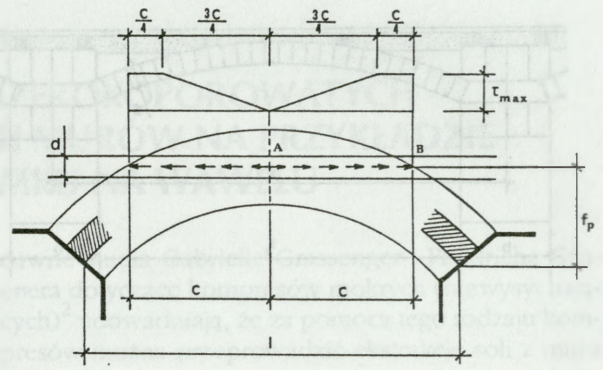


9. Rozkład naprężeń ściskających w zworniku łuku w stanie równowagi granicznej
9. Compressive stress distribution at the crown section in the rest resistance state

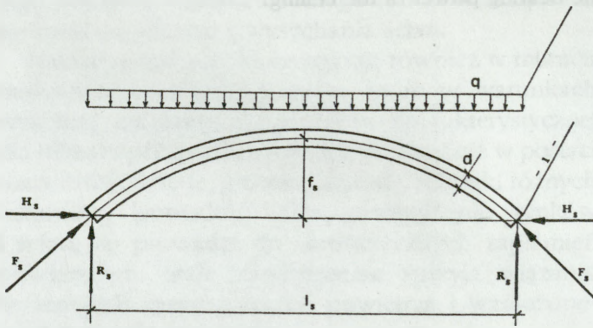
i sklepień odcinkowych zwiększa nośność stropu o $3,00 \text{ kN/m}^2$, co stanowi 46% nośności samych tylko łuków murowanych. Możliwość zwiększenia obciążenia stropu o wartości rzędu $3,0 \text{ kN/m}^2$ (300 kg/m^2) jest warta zachodu. Jest to wielkość obciążenia zmiennego przyjmowana w pomieszczeniach takich jak audytoria, aule, sale zebrań, restauracje, kawiarnie, widowiska teatralne lub koncertowe, sale bankowe itp. Ma to duże znaczenie, gdy wraz z rewaloryzacją obiektu zabytkowego przewiduje się zmianę jego funkcji użytkowej. Dlatego celowe jest rozróżnianie tych układów, w których może występować współpraca łuków i sklepień odcinkowych w przenoszeniu obciążeń działających na strop. Możliwość uwzględ-



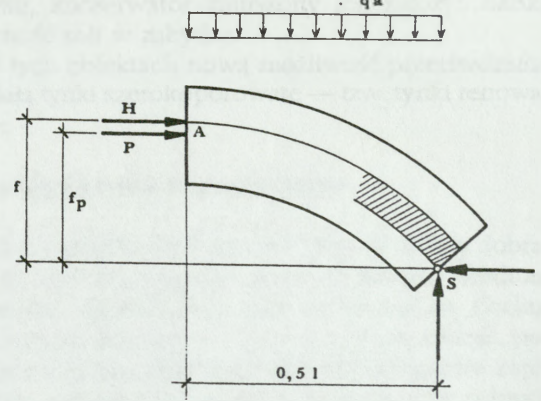
10. Strefa współpracy łuku i sklepienia
10. Vault — arch cooperation area



11. Rozkład naprężeń stycznych w strefie współpracy łuku i sklepienia
11. Shear stress distribution in vault — arch cooperation area



12. Reakcje sklepienia
12. Vault reactions

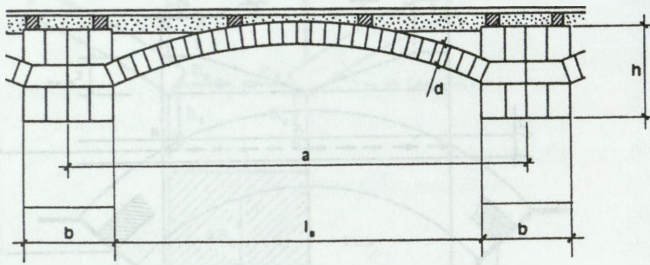


13. Równowaga układu łuk — sklepienia
13. Equilibrium of the vaults — arch system

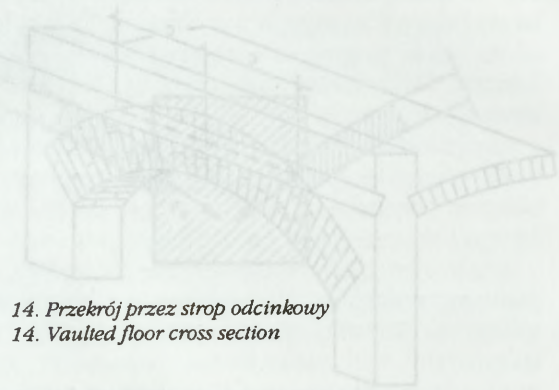
nienia tej współpracy ma duże znaczenie konserwatorskie, gdyż pozwala na wykorzystanie naturalnej rezerwy nośności konstrukcji tkwiącej w jej przestrzennym układzie. W tych wypadkach, zamiast często pochopnego odciążania sklepień za pomocą dodatkowych stropów belkowych stalowych lub żelbetowych, należy zrewaloryzować układ łuki-sklepienia przez uzupełnienie ubytków i wypełnienie spoin za

pomocą zapraw lub kompozycji iniekcyjnych.

Artykuł niniejszy nie wyczerpuje całej problematyki obliczania i oceny stanu technicznego łuków i sklepień. Sklepienia odcinkowe i łuki o małej wyniosłości opisane tutaj stanowią odrębną grupę konstrukcji z punktu widzenia mechaniki i sposobu obliczania. Inne układy konstrukcyjne złożone z łuków i sklepień będą przedmiotem dalszych opracowań.



14. Przekrój przez strop odcinkowy
14. Vaulted floor cross section



The Co-operation of Arches and Vaults in the Segmental Ceilings of Historical Objects

The article deals with ceilings composed of vaults based on small height masonry arches. It considers the co-operation of arches and vaults and distinguishes two construction configurations: one, in which the vault is based on a wall above the arch, and the other, in which the vaults are partly supported by the wall and partly by the keystone fragment of the arch; in the latter case, the vault and arch co-operate in shifting the burden. Such co-operation makes it feasible

to increase the load borne by the ceiling by 20-50 per cent. The possibility of taking arches and vaults into consideration is of essential significance for conservation since it permits the avoidance of a rash discharge of the vaults with the aid of steel bars or reinforced concrete additions. The author presents a statical analysis of the problem, formulae for practical calculations and an example of determining the bearing power of the ceiling.

