



ARCHITEKTURA A STATYKA CEGLANYCH NADPROŻY ŁUKOWYCH ARCHITECTURE AND STATICS OF BRICKS CURVE LINTEL

Wojciech Pawłowski¹
dr inż. arch.

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Wydział Budownictwa i Architektury
Katedra Architektury Współczesnej Teorii i Metodologii Projektowania

Rafał Nowak
mgr inż.

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Wydział Budownictwa i Architektury
Katedra Budownictwa Ogólnego i Konstrukcji Drewnianych

STRESZCZENIE

Zwieńczenia łukowe stanowią istotny element zarówno konstrukcyjny jak również architektoniczny w całej formie przestrzennej obiektów w których występowały, jednakże należy stwierdzić iż wiedza o pracy łuków powstała dopiero w XVIII wieku, a co za tym idzie w pełni świadomego ich stosowania przyczyniło się do prawidłowego ich wykorzystania w budownictwie na przestrzeni minionych wieków.

Słowa kluczowe: ceglane nadproża łukowe, rodzaje łuków w architekturze.

ABSTRACT

Bricks curve LINTEL are important architectural and constructional elements in whole spatial form of object, however, it belongs to ascertain that knowledge emerge about work of arch in XVIII century. It has effected correction of safety building structure.

Key words: bricks curve lintel, kind of arches in architecture.

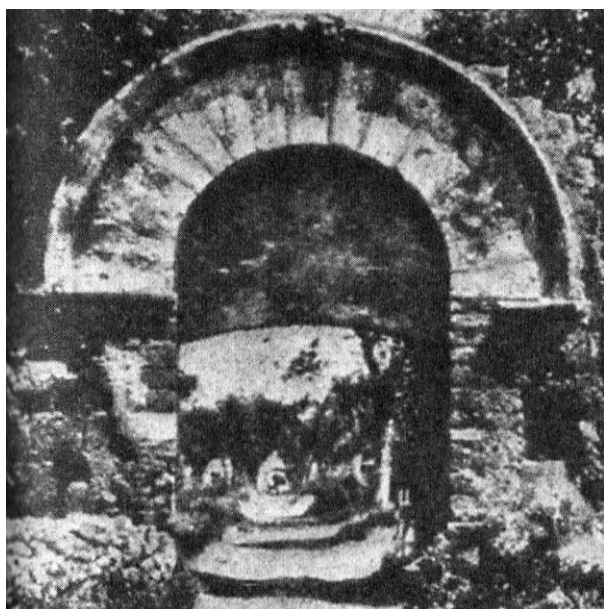
Łuk, łęk, *arch.* element konstrukcyjny (z kłińców kam. lub ceglanych), zakrzywiony i wsparty na obu końcach; stosowany w sklepieniach, do przekrywania otworów, wzmocnienia ścian; ł. dekoracyjne są zwykle wykonane w tynku lub stiuku.²

¹ Informacja o autorach na końcu artykułu / Note about authors on the end of paper.

W architekturze formy łukowe przybierają różne postacie. Prowadzone są jako odcinki koła, elipsy lub paraboli. W zależności od ich kształtu mamy do czynienia z łukiem pełnym, ostrym, eliptycznym jak i wieloma innymi wyszczególnionymi w zestawieniu zamieszczonym poniżej.

Nadproża łukowe występowały w swych różnych postaciach od wczesnych czasów starożytnych jako zwieńczenia otworów drzwiowych, w późniejszym okresie przybierających formę portali, bądź też będąc częścią struktury otworów okiennych.

Już Akarnanii 228r. p.n.e., Knidos 227r. p.n.e. oraz Etrurii 228r. p.n.e. pojawiły się bramy zwieńczone nadprożem łukowym (il. 1). Jednakże wprowadzenie formy nadproża łukowego do architektury monumentalnej należy przypisać Rzymianom.³ (il. 2)



Il. 1. Etruria rok 228. Santa Maria di Falleri. Źródło: Z.Mączyński, *Elementy i detale architektoniczne w rozwoju historycznym*

Pic. 1. Etruria 228 B.C. Santa Maria di Falleri. Source: Z.Mączyński, *Elementy i detale architektoniczne w rozwoju historycznym*



Il. 2. Francja Nîmes , Akwedukty 150 r.n.e. – stan obecny. Źródło: Voyteck100

Pic.2. France, Nîmes, Aqueducts 150 A.D. – present condition. Source: photo by Voyteck100

Elementy nadproży łukowych pojawiały się w różnych formach na przestrzenie całego rozwoju formy architektonicznej aż do dnia dzisiejszego. W okresie starożytnego Rzymu, wczesnego chrześcijaństwa, czasów romańskich największe znaczenie miał łuk pełny; w gotyku wprowadzono łuk ostry, a w czasach nowożytnych powrócono do łuku pełnego, stosowano także łuki odcinkowe i koszowe.

W okresie romańskim znacznie zmniejszono otwory okienne i drzwiowe przesklepiając je pełnymi łukami, niekiedy lokując otwory te w grupach po 2, 3 lub więcej (il. 3), bądź też na prostokątnym nadprożu sadowiono łuk odciążający.

W okresie gotyku półokrągły łuk romański ewoluuje do kształtu ostrołuku, a do tej pory w miarę skromne portale zostają rozbudowane niemalże na całą elewację frontową (il. 4).

² <http://encyklopedia.pwn.pl/>

³ Z.Mączyński. *Elementy i detale architektoniczne w rozwoju historycznym*, Budownictwo i Architektura, Warszawa 1956, s. 142



Il. 3. Tum pod Łęczycą XII w. – stan obecny. Źródło: M. Art

Pic. 3. Tum at Łęczycza, 12th century – present condition, Source: photo by M. Art



Il. 4. Katedra Notce Dame, Rouen, Francja; XII-XVI w. – stan obecny. Źródło: fot autora

Pic. 4. Notre Dame cathedral, Rouen, France, 12th-16th century, present condition. Source: photo by author



Il. 5. Palazzo Strozzi, Florencja, Włochy; XV–XVI w – stan obecny. Źródło: fot. Autora

Pic. 5. Palazzo Strozzi, Florence, Italy, 15th–16th century – present condition. Source: photo by author




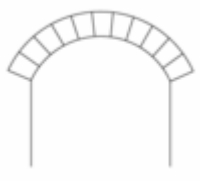
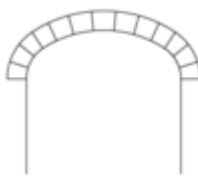
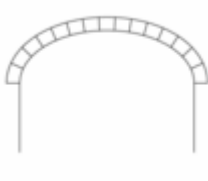
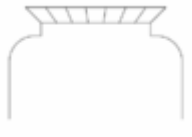

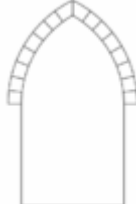
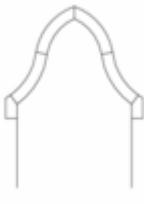
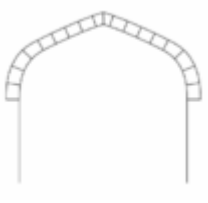



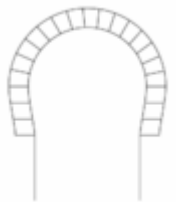


Il. 6. Budynek Uniwersytetu we Wrocławiu; 1728-1733. Źródło: G. Stępień

Pic. 6. University in Wrocław Wrocławiu, years 1728-1733, Source: photo by G. Stępień

W renesansie powrócono do nadproży łukowych wprowadzając również dodatkowe podziały w oknach zwieńczone mniejszymi łukami (il. 5).

Zwieńczenia otworów okiennych i drzwiowych w okresie baroku charakteryzowały się dużą ilością zdobień jak również zróżnicowaniem kształtów od pełnych półłuków przez łuki koszowe i eliptyczne, kończąc na zwieńczeniach prostokątnych (il. 6).

W dalszych okresach klasycyzm, historyzmu, eklektyzmu oraz secesji stosowano kształty nadproży łukowych używanych już we wcześniejszych fazach historycznych wprowadzając różnego rodzaju wariacje (il. 7)

			
Łuk pełny (półkolisty) Round arch(semi-circular)	Łuk odcinkowy Segmental arch	Łuk koszowy Three-centered arch	Łuk eliptyczny Elliptical arch
			
Łuk dwuramienny Shouldered flat arch	Łuk trójlistny Three-foiled cusped arch	Łuk ostry (ostrołuk) Equilateral pointed arch	Łuk wklęsło-wypukły ostry Reverse ogee arch
			
Łuk Tudorów Tudor arch	Łuk w ośli grzbiet Ogee arch	Łuk kotarowy dwudzielny Inflexed arch	Łuk lancetowy Lancet arch
			
Łuk podkowiasty Horseshoe arch	Łuk paraboliczny Parabolic arch	Łuk wspięty Rampant round arch	

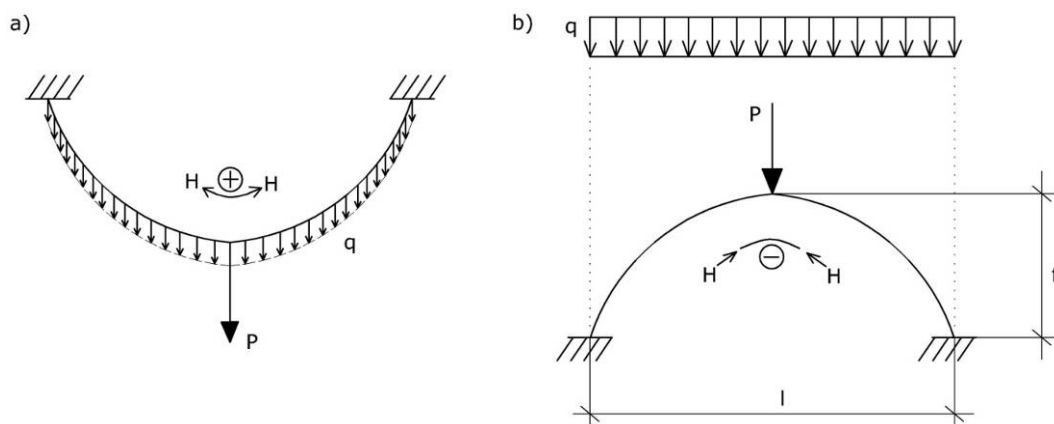
Il. 7. Schemat rodzajów łuków w architekturze. Źródło: Wikipedia

Pic. 7. Table of archs in architecture. Source: Wikipedia

W XX wieku okna traktuje się niejednokrotnie z niespotykaną dotąd swobodą zarówno co do kształtu, zdobienia jak i sposobu grupowania i rozmieszczenia ich na fasadzie, przy czym ich opracowanie plastyczne przybiera formy zależne od fantazji projektującego, stylowe lub fantastyczne, lub też zupełnie nie jest stosowane, pozbawiając fasady określonego wyrazu architektonicznego⁴

Bezsprzecznie zwieńczenia łukowe stanowią istotny element zarówno konstrukcyjny jak również architektoniczny, jednakże należy stwierdzić iż wiedza o pracy łuków powstała dopiero w XVIII wieku, a co za tym idzie w pełni świadomego ich stosowania.

W drodze doboru kształtu łuków popełniano wiele błędów, co było przyczyną wielu katastrof budowlanych. Budowlańcy z tamtych czasów zdawali sobie sprawę, że optymalny kształt łuku powinien odpowiadać linii ciśnięć. Linia ciśnięć (zależna od działającego obciążenia na układ) powinna znajdować się wewnątrz geometrii analizowanego łuku, dzięki czemu konstrukcja tego typu może przenosić jedynie naprężenia ściskające. Nie dysponując w owych czasach żadnymi metodami obliczeń kształt łuku uzyskano w sposób doświadczalny według bardzo prostej metody. Do liny z zamocowanymi końcami na podporach podwieszono ciężar, który miał na celu imitować przyszłe rzeczywiste obciążenie konstrukcji (ciężar własny łuku q , obciążenie stropu P i wyżej usytuowanej części muru). Pod tym obciążeniem lina przyjmowała odpowiedni kształt (il. 8a). Z uwagi na znikomą małą sztywność giętą, w linie tej powstawały wyłącznie naprężenia rozciągające. Oznacza to, że w odwróconym stanie obciążenia naprężenia te będą ściskające, a uzyskany kształt, kształtem nadproża łukowego (il. 8b).



Il. 8. Schemat wyznaczania optymalnego kształtu konstrukcji łuku: a) rozciąganie, b) ściskanie. Źródło: rys. autora

Pic. 8. Scheme of determining optima shape of arch: a) stretching, b) compressing. Source: drawing by author

Dla celów analizy statycznej posłużono się czterema charakterystycznymi kształtami nadproży łukowych: odcinkowym, półkolistym, ostrołukiem gotyckim, łukiem koszowym z trzema punktami środkowymi. Analizę przeprowadzono metodą obliczeń MES w programie Robot Millenium v20. Założono stałą wartość obciążenia, wymiar przekroju poprzecznego oraz odległości prześwitu otworu l . Zmiennymi były kształt oraz strzałka łuku f . Otrzymane wartości porównano z wartościami otrzymanymi dla maksymalnych wartości nadproża belkowego o tej samej rozpiętości l . Wyniki zostały przedstawione w postaci bezwymiarowej momentu zginającego (M_l), siły tnącej (Q_l) (tab. 1) jako stosunek tych wartości w łukach do odpowiednich wartości (M_b , Q_b) w belkach oraz siłą normalną N i rozporciem w strefie przypodporowej H .

⁴ Cit. Z. Mączyński *Elementy i detale...* s. 19

Tab. 1. Wytyężenie łuku w zależności od kształtu. Źródło: opr. autora
 Table 1. Value of put forth of arch depending on shape. Source: prepared by author

Kształt łuku Shape of arch	f/l	M/M _b		Q/Q _b		N [kN]		H [kN]	
		P	q	P	q	P	q	P	q
Odcinkowy Segmental	1/8	0,20	0,01	0,95	0,06	1928	1145	1862	1021
Półkolisty Semicircular	1/2	0,30	0,01	0,96	0,06	679	80	459	32
Ostrołek gotycki Gothic lancet	1/1	0,21	0,22	0,50	0,46	557	1162	245	235
Koszowy Three-centered	3,7/10	0,29	0,25	1,28	0,82	818	705	647	421

Z otrzymanych wyników można wysnuć wniosek, że każda z analizowanych konstrukcji łukowych wykazała wytyężenie mniejsze, niżeli porównywana prosta belka wolnopodparta. Nośność łuku ściśle zależna jest od jego przyjętej geometrii. Łuki wykazują lepsze właściwości nośne konstrukcji niż belki. Przeprowadzona analiza jest wysoko przybliżonym ujęciem zagadnienia, ponieważ na nośność tego typu konstrukcji mają duży wpływ warstwy muru usytuowanego powyżej łuku, docierające konstrukcję i przejmujące siły rozporowe, które zwiększają nośność tego typu elementów. Ze wzrostem strzałki łuku M, Q, N, H maleją. Stwierdzono, że wszystkie nadproża łukowe wykazują bardzo dobre właściwości nośne w porównaniu z odpowiadającymi im nadprożami belkowymi. Najlepsze parametry nośne wykazywał ostrołek gotycki, stąd w praktyce obserwujemy w tego typu konstrukcjach najmniejszą ilość spękań. W dwóch wariantach obciążenia P i q stwierdzono znacznie gorsze przeniesienie sił skupionych przez konstrukcję, niżeli obciążenia rozłożonego o tej samej wartości zbiorczej.

ARCHITECTURE AGAINST STATICS OF BRICK LINTELS

Arch, architectural element of construction (made of brick or stone), curved and supported at both ends; used in vaults to crown openings and reinforce walls; decorative arch as usually made of plaster or stucco.⁵

The architecture has different forms of arches. Constructed on segments of circle, ellipse or parabola. Depending on its shape, we can distinguish a round arch, lancet arch, elliptical arch and many others as in the specification below.

The arch lintels have been used since the early Middle Ages as finials of door openings, later on portals, still being part of the structure of window openings.

The gates with the arch lintel finials appeared early in Akarnania in 228 B.C., in Knidos in 227 B.C. and in Etruria in 228 B.C. (pic. 1.). However, the Romans introduced the arch lintel to monumental architecture.⁶ (pic. 2.)

⁵ <http://encyklopedia.pwn.pl/>

⁶ Z. Mączyński. *Elementy i detale architektoniczne w rozwoju historycznym*, Budownictwo i Architektura, Warsaw 1956, page 142

The arch lintels have been present in architectural development until today. In the times of Ancient Rome, early Christianity and Romanesque the most popular was round arch; the sharp arch was introduced in the Gothic style, and in modern times the round arch has returned as well as segmental arch was used.

The Romanesque period contributed to decrease of door and window openings with finials of round arc, sometimes the openings were combined in groups or 2,3 or more (pic. 3) and sometimes the supporting arch was put on rectangular lintel.

The half-round Romanesque arch has evolved into shape of the ogive in Gothic style, and in that time the modest portals were extended to entire front facades. (pic. 4)

The arch lintel was used again in the period of Renaissance, introducing also some additional divisions of openings with finial of smaller arch. (pic. 5)

The finials of window and door openings in the Baroque were characterized by a lot of ornaments and diversified shapes from semi-circular arch, through elliptical arch, finally to rectangular finials. (pic. 6)

Numerous variations of the previously used forms of arch lintels were used in the further periods of Classicism, Historicism, Eclecticism and Secession. (pic. 7)

*In the 20th century, windows are used with rare freedom of shape, ornament and way of grouping and position on the façade, however its form is dependent on designer's imagination, stylish or fantastic, as well as denied leaving the façade without architectural expression.*⁷

Unquestionably the arch is very important construction and architectural element, but it has to be mentioned, that the knowledge about statics of arch was introduced only in the 18th century – that is the conscious application.

A lot of mistakes, resultant in many building accidents, were made in the process of selection of arch shapes. Engineers of those times did not know, that optimal shape of arch should be appropriate to the line of pressures. The line of pressures (dependant on load on arch) should be inside geometry of analyzed arch, that is why the construction can carry only the compression stress. At that time, without any calculation methods, the shape of arch was constructed by very simple perceptive method. The weight imitating real load of construction was under slung to rope mounted at both ends to the bearings (tare weight of arch – q , load of floor – P , and higher situated part of wall). The rope was formed in the proper shape under this load (pic. 1a). Because of very low flexural rigidity the rope was only exposed to stretching stress. It means, that in the reversed state of load such stress would be the compression stress and resultant shape is the shape of arch lintel (pic. 1b.).

For the purpose of static analysis, four characteristic shapes of arch lintels were used: segmental arch, semicircular arch, Gothic lancet arch, three-centered arch.

The analysis was carried out with the MES calculation method using Robot Millenium v20. computer software. The value of load, cross-section dimensions and distance of opening 1. clearance were set as constant. The variables were shape and antinode of arch f . The resultant values were compared with results of analysis of maximum values of beam lintel of the same length l . The results were presented in non-dimensional form of the bending moment (M_1), shearing force (Q_1) (Table 1.) as relation of these values to appropriate values (M_b , Q_b) in beams, normal force N and expand in area of bearings H .

According to the results we can draw a conclusion, that each analyzed arch constructions presented lower tension than compared typical beam. The load capacity of arch is directly dependant on its geometry. The arch has better load capacity than the beam. The applied analysis is very approximate research of the problem because the layers of wall situated

⁷ Cit. Z. Mączyński *Elementy i detale...* page 19.

above the arch, encumbered construction and taking expanding forces, increase load capacity of this type of elements. With the increase of antinode of arch, M , Q , N , H are decreasing. It was prove, that all arch lintels have very good load capacity in comparison to the analogical beams. The best load capacity has the Gothic lancet arch, that is why in practice we can observe the lowest amount of crazing. In two cases of load P and q , notably worse transmission of forces by construction than regularly spread load of the same general result was observed.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Z. Mączyński. *Elementy i detale architektoniczne w rozwoju historycznym*, Budownictwo i Architektura Warszawa 1956.
- [2] W. Koch *Style w architekturze arcydzieła budownictwa europejskiego od antyku po czasy współczesne*, Świat Książki, Warszawa 1996
- [3] Strona internetowa <http://encyklopedia.pwn.pl/>

O AUTORACH

Wojciech Pawłowski: Architekt czynny zawodowo jednocześnie od 1998 roku jest pracownikiem Katedry Architektury Współczesnej Teorii i Metodologii Projektowania Wydziału Budownictwa i Architektury, od 2008 roku ,po uzyskaniu stopnia doktora , zatrudniony na stanowisku adiunkta.

Rafał Nowak: Student WBiA na Politechnice Szczecińskiej w latach 2004-2009. Aktualnie zatrudniony na stanowisku asystenta w katedrze Budownictwa Ogólnego i Konstrukcji Drewnianych na ZUT.