

Lukovi i nadvoji-materijali i izvedba

Sente, Klara

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:258792>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-23**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET ZAGREB

ZAVRŠNI RAD
LUKOVI I NADVOJI – MATERIJALI
I IZVEDBA

Klara Sente

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET ZAGREB

ZAVRŠNI RAD
LUKOVI I NADVOJI – MATERIJALI
I IZVEDBA

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Nikolina Vezilić Strmo

Student:

Klara Sente

Zagreb, 2023.



TEMA ZAVRŠNOG ISPITA

Ime i prezime studenta: **Klara Sente**

JMBAG: **0082066533**

Završni ispit iz predmeta: **Visokogradnje**

Naslov teme
završnog ispita:

HR	Lukovi i nadvoji - materijali i izvedba
ENG	Arches and lintels - materials and construction methods

Opis teme završnog ispita:

Rad se bavi istraživanjem lukova i nadvoja u zgradarstvu. Istražuje se njihova povijest primjene, karakteristike, materijali, načini te uvjeti njihove izvedbe. Teoretske postavke istraživanja dodatno se prezentiraju kroz analizu nekoliko izvedenih primjera.

Datum: **17.04.2023.**

Komentor:

(Ime i prezime komentora)

Mentor:

doc.dr.sc.Nikolina Vezilić Strmo

(Ime i prezime mentora)

N. Vezilić Strmo

(Potpis mentora)

SAŽETAK

Cilj ovog rada je pobliže objasniti lukove i nadvoje u zgradarstvu, njihovu povijest primjene, karakteristike, materijale od kojih se izvode, razne oblike, načine te uvjete izvedbe. Razmotrit će se nekoliko primjera gdje će se pokazati primjena lukova i nadvoja kako u povijesti, tako i danas. Lukove i nadvoje nalazimo na mjestima gdje je potrebno poduprijeti zid. Razlika lukova i nadvoja je u načinu prijenosa opterećenja. Također, kod lukova će se razmotriti njihova tlačna linija, a kod nadvoja kut rasprostiranja opterećenja. Primjena prvih lukova potječe iz 4000. godine prije Krista te se dolaskom novih materijala i znanja usavršava što je slučaj i kod nadvoja.

Ključne riječi: lukovi i nadvoji, materijali, oblici, tlačna linija, kut rasprostiranja opterećenja

ABSTRACT

The aim of this work is to explain arches and lintels in building construction, their history of application, characteristics, materials from which they are made, various forms, methods and performance conditions. Several examples will be considered where the application of arches and lintels both in history and today will be shown. Arches and lintels are found in places where it is necessary to support the wall. The difference between arches and lintels is in the way the load is transferred. Also, in the case of arches, their pressure line will be considered, and in the case of lintels, the angle of load distribution. The use of the first arches dates back to 4000 years before Christ, and with the arrival of new materials and knowledge, it is perfected, which is also the case with lintels.

Keywords: arches and lintels, materials, shapes, pressure line, load distribution angle

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Općenito o lukovima i nadvojima	1
2. POVIJESNI PREGLED PRIMJENE LUKOVA I NADVOJA U ZGRADARSTVU.....	4
3. RAZVOJ TEORIJE PRORAČUNA LUKOVA	5
3.1. Tlačna linija lukova.....	5
4. LUKOVI OD KAMENA	6
4.1. Ravni lukovi	6
4.2. Segmentni lukovi	7
4.3. Polukružni lukovi	8
4.4. Ostali lukovi	9
5. LUKOVI OD OPEKE	10
5.1. Ravni lukovi	10
5.2. Segmentni lukovi	11
5.3. Polukružni lukovi	12
5.4. Šiljasti ili gotički lukovi	13
6. PODJELA NADVOJA PREMA MATERIJALU	14
6.1. Nadvoji od kamena	14
6.2. Nadvoji od drvenih greda.....	15
6.3. Nadvoji od čeličnih traverzi	15
6.4. Armiranobetonski nadvoji.....	16
6.5. Nadvoji od prefabriciranih armiranobetonskih elemenata	17
6.6. Nadvoji od armirane tankostijene opeke.....	17
7. NADVOJI KOMBINIRANI SA SERKLAŽEM.....	19
8. PRIMJERI	20
8.1. Rad arhitekta Antonija Gaudija.....	20
8.2. Amfiteatar u Puli	22
8.3. Lavlja vrata.....	23
9. ZAKLJUČAK.....	24

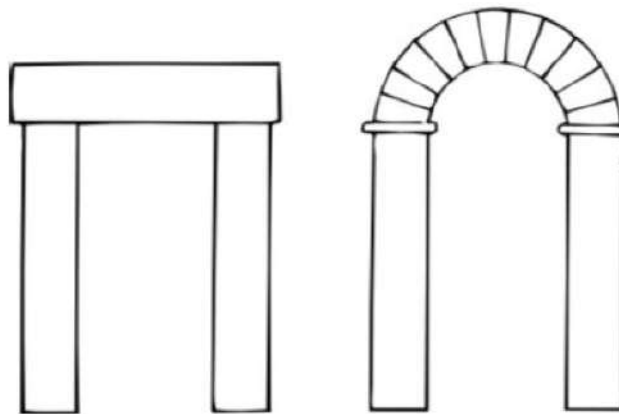
1. UVOD

1.1. Općenito o lukovima i nadvojima

Lukovi i nadvoji su grede, odnosno građevinski elementi koji premošćuju otvore u zidu. Pretežno su opterećeni na tlak.

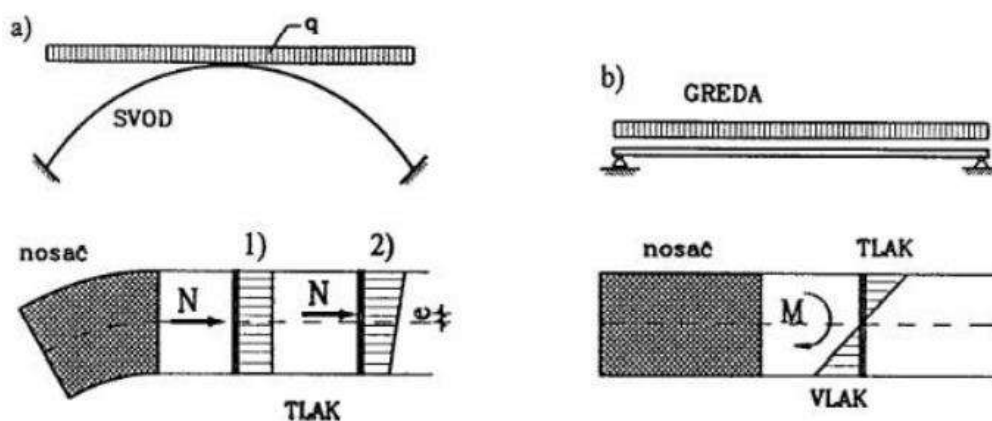
Kod grede nad otvorom izbočene na gornju stranu te učvršćene na uporištima ili kontinuirano produžene kroz susjedne otvore, u gornjoj i u donjoj zoni javit će se tlak koji će se prenositi na uporišta. Najpovoljnije je kad se greda nad otvorom polukružno izboči na gornju stranu jer se time opterećenja prenose vertikalno na uporišta.

Razlika između lukova i nadvoja je u tome što su lukovi zaobljene grede, a nadvoji ravne grede. Iznimka je ravni luk koji se izrađuje kao horizontalna greda u kojoj je sadržan segmentni luk. [1]



Slika 1. Nadvoj i luk

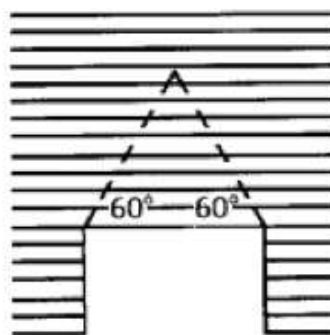
Opterećenje na ravnu gredu uzorkuje pojavu momenta savijanja, a u samoj se gredi javljaju tlačna i vlačna naprezanja. Formiranjem luka, u njemu nastaju tlačna naprezanja te se momenti savijanja znatno smanjuju, a u idealnom slučaju potpuno iščezavaju. [2]



Slika 2. a) U idealnom slučaju luk je opterećen centričnom tlačnom silom (1), a u stvarnosti tlačna sila djeluje ekscentrično (2)
 b) Jednako vanjsko opterećenje u gredi izaziva moment savijanja, odnosno vlačna i tlačna naprezanja

Iz te razlike proizlazi da se lukovi mogu primjenjivati nad većim otvorima, ali i da im je konstrukcija složenija.

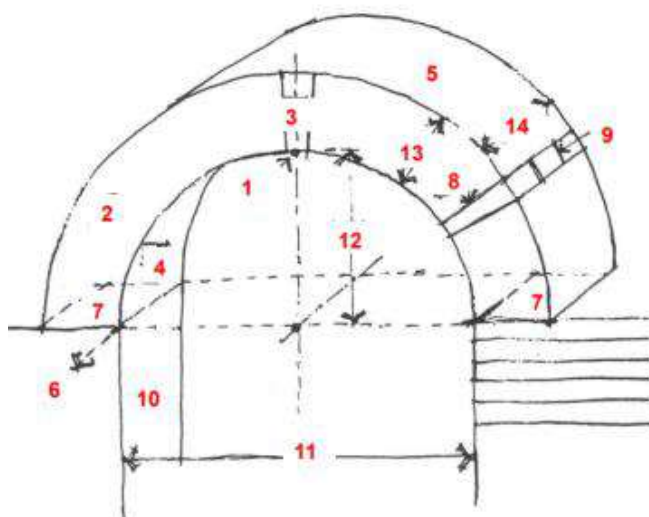
Nadvoji su opterećeni dijelom mase iznad otvora, a širenje opterećenja u zidu se pretpostavlja pod kutem rasprostiranja od 60° .



Slika 3. Kut rasprostiranja opterećenja nad nadvojima

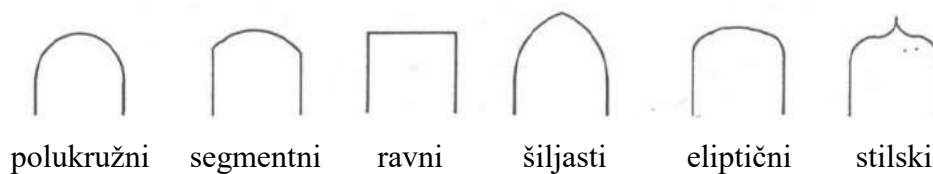
Kutom rasprostiranja opterećenja definira se trokut koji pokazuje koji dio zida iznad otvora se uzima kao opterećenje od nadvoja. Tom opterećenju potrebno je dodati opterećenje od dijela stropa koji zahvaća trokut te pojedinačna opterećenja neposredno iznad trokuta zajedno s dijelom zida na koji ono djeluje. [3]

1. Tjeme
2. Čelo
3. Zaglavni kamen
4. Podlučje
5. Leđa luka (nadlučje)
6. Uporišna točka
7. Uporište
8. Ležajnica
9. Sudarnica
10. Uporišni zid
11. Raspon luka
12. Visina luka
13. Debljina luka
14. Širina luka



Slika 4. Elementi luka

Lukove i nadvoje možemo podijeliti prema nekoliko kriterija. Prema materijalu kojim su građeni postoje kameni, zidani, drveni, betonski, metalni i spregnuti lukovi i nadvoji. Što se tiče oblika samog luka, lukove možemo podijeliti na ravne, polukružne, segmentne, šiljaste, plosnate, eliptične, itd. [4]

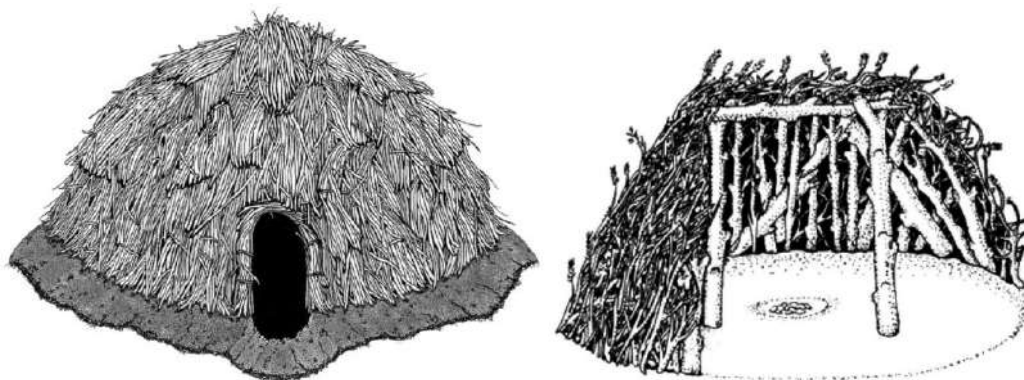


Slika 5. Vrste i oblici lukova

2. POVIJESNI PREGLED PRIMJENE LUKOVA I NADVOJA U ZGRADARSTVU

Prvi su lukovi i nadvoji, kao i ostali građevni elementi, građeni od materijala dostupnih u prirodi. Inovacije u građenju bile su uvjetovane iskoracima velikih graditelja, uvođenjem novih tehnologija te primjenom novih materijala.

Pretpostavlja se da su prvi lukovi i svodovi nastali u starom Egiptu i Mezopotamiji na tradiciji građenja trskom i blatom. Graditelji su povezivali trsku u snopove te od njih formirali lukove koji su međusobno povezivani vodoravnim snopovima. Takav skelet zatim bi prekrivali blatnim pločama. Arheološka nalazišta u gradu Uru upućuju na to da su prvi takvi lukovi izvedeni pred kraj kamenoga doba oko 4000 godina prije Krista, a prvi opečni lukovi potječu iz razdoblja oko 3000 godina prije Krista.



Slika 6. Primjena lukova i nadvoja u povijesti

Na tlu Europe prvi luk su upotrebljavali stari Grci i Etruščani od kojih su Rimljani preuzeli stečena znanja te dodatno usavršili gradnju lukova, svodova i kupola.

Prava konstrukcijska vrijednost luka u Europskoj arhitekturi započela je u gotici kad se koristi šiljasti luk. Gotički luk ima dva središta i obično jednake radijuse. Primjena polukružnih lukova oživljava u renesansi, baroku te u klasicizmu. Upotrebom šiljastog luka može se postići veća vertikalna luka u odnosu na polukružni luk. [2]



Slika 7. Polukružni i šiljasti luk

3. RAZVOJ TEORIJE PRORAČUNA LUKOVA

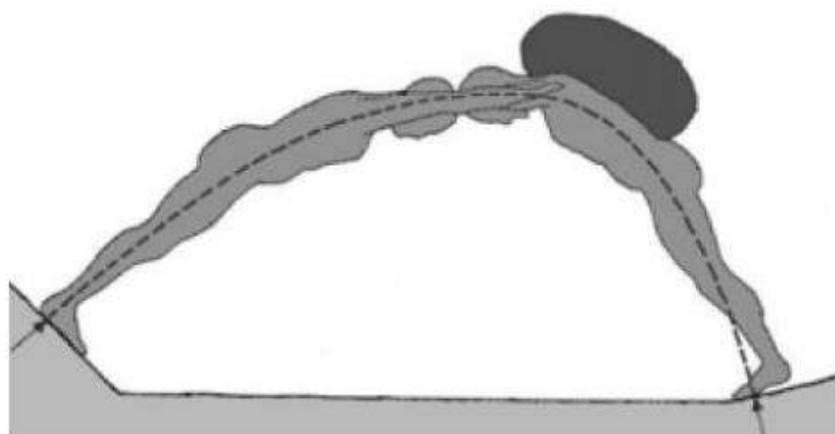
3.1. Tlačna linija lukova

Tlačna linija predstavlja rezultantnu krivulju hvatišta tlačne sile u presjecima luka. Praktično, to znači da je tlačnom linijom određen položaj, odnosno ekscentricitet djelovanja tlačne sile u svakom presjeku luka za promatrano opterećenje.

Kod projektiranja lukova od materijala znatne tlačne čvrstoće, oblik tlačne linije definira najpovoljniji oblik osi luka, odnosno oblik kod kojeg će se javiti minimalna vlačna naprezanja.

Optimalno rješenje pri projektiranju lukova je ono kod kojeg se os luka i tlačna linija podudaraju jer se time poništava moment savijanja te se naprezanje prenosi isključivo preko tlaka.

Točka kojom sila prolazi kroz element luka zove se centar potiska. Dva potiska sa svake strane elementa održavaju ravnotežu i osiguravaju stabilnost. Tok sila mora se osigurati od tjemena luka do pete u kojima luk prenosi opterećenje na oslonce. Najveća sila u luku javlja se na mjestu dodira pete luka i oslonca. To se zove potiskom luka i on ne smije biti veći od projektirane sile koju može primiti oslonac jer će u suprotnom doći do otkazivanja i rušenja konstrukcije. Tlačna linija stabilnog luka nalazi se unutar područja kojeg zatvaraju tlačne linije maksimalnog i minimalnog potiska. [5]



Slika 8. Zoran prikaz tlačne linije

4. LUKOVI OD KAMENA

Lukovi od kamena sastoje se od posebno izrezanih kamena u klinaste oblike tako da se njihovi spojevi zrakasto sastaju u jednoj točki koja se nalazi u središtu otvora. Kao posljednji kamen stavlja se onaj u samom središtu luka te se on naziva zaglavni kamen. Iz prethodne činjenice proizlazi da je broj kamena u luku uvijek neparan. [3]

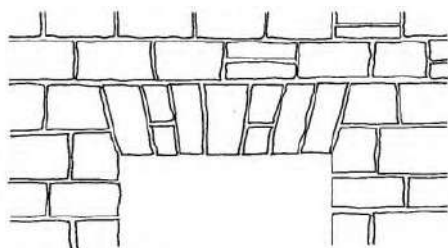
4.1. Ravni lukovi

Za raspone do 120 cm moguće je upotrijebiti dotjerani lomljeni kamen ili obrađeni kamen, a za veće raspone, one do 160 cm, koristi se samo dotjerani kamen (klesanci). Prilikom zidanja, elemente je potrebno izvesti s malim nadvišenjem kako bi luk nakon uklanjanja oplata i slijeganja bio vodoravan.

Bolju povezanost luka možemo dobiti kvakastim klesancima, međutim time se povećava vrijeme obrade klesanaca čime se usporava rok izrade i kvari se estetski izgled pa se oni danas ne primjenjuju.

Kao oplata, koristi se podnica.

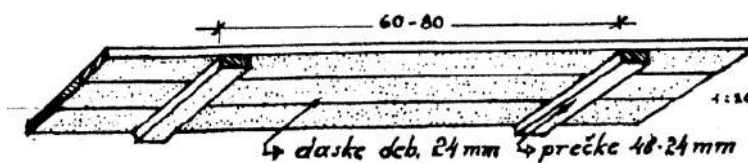
Postoje obloge od kamena kao ravni lukovi koje se nalaze iznad otvora u mješovitim zidovima od kamena i drugog materijala. [1]



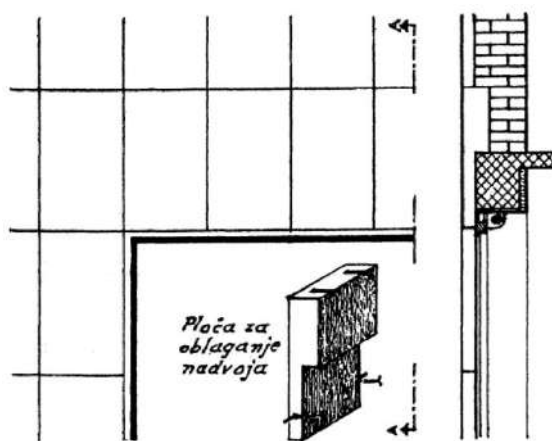
Slika 9. Ravni luk od dotjeranog lomljenog kamena



Slika 10. Izvedeni ravni luk od kamena



Slika 11. Daščana podnica



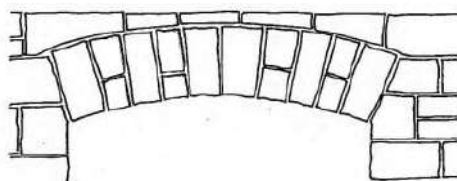
Slika 12. Obloga od kamena kao ravni luk

4.2. Segmentni lukovi

Prilikom zidanja segmentnog luka koristi se drvena šablona, oblučilo koje se postavlja na skelu u otvoru zida. Zaglavni kamen često se izvodi veće visine od ostalih elemenata u luku te je on u prošlosti bio posebno isklesan.

Segmentni luk moguće je izvesti s posebno izrađenim uporišnim klesancima s petom. Peta ima skošenu uporišnu plohu iznad samog otvora pa je time povoljno smanjen raspon, a uporište je pojačano.

Kako bi se rasteretili ravni lukovi i nadvoji, moguće je izvesti segmentni luk iznad njih. Površina između donje linije segmentnog luka i gornje linije ravnog luka ili nadvoja samo se na licu i naličju zatvara tankim kamenim pločama. [1]



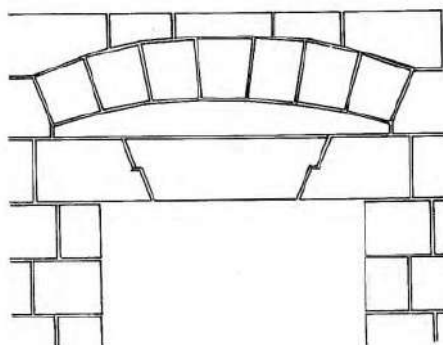
Slika 13. Segmentni luk od dotjeranog lomljenog kamena



Slika 14. Izvedeni segmentni luk od kamena



Slika 15. Oblučilo za segmentne lukove

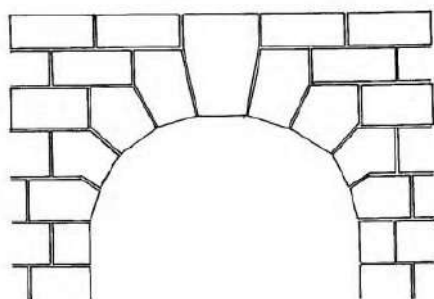


Slika 16. Segmentni luk koji rasterećuje ravni luk

4.3. Polukružni lukovi

Za raspone do 100 cm koristi se puno oblučilo, za raspone do 150 cm prazno oblučilo te za raspone do 250 cm rešetkasto oblučilo, odnosno remenat. Razlika oblučila je u jače i gušće čavlanim daskama te dodacima potpora.

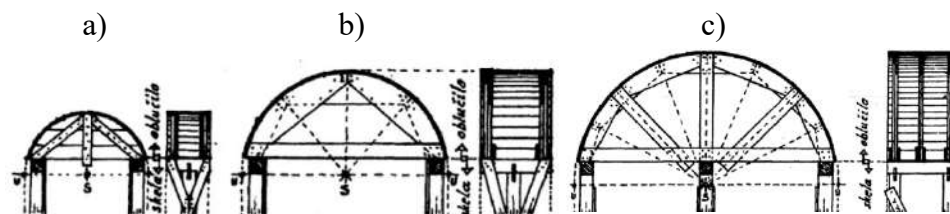
Polukružni lukovi većinom se rade s klesancima peterokutnih lica i s kvakastim klesancima. [1]



Slika 17. Polukružni luk od kvakastih klesanaca



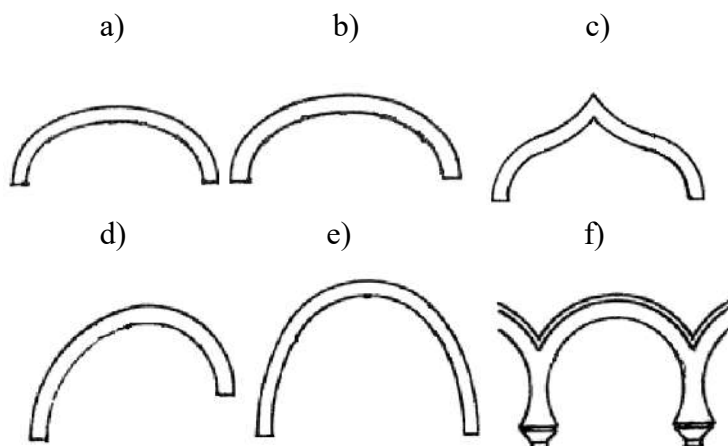
Slika 18. Izvedeni polukružni luk od kvakastih klesanaca



Slika 19. Oblučilo za raspone do: a) 100 cm, b) 150 cm, c) 250 cm

4.4. Ostali lukovi

Postoje još eliptični, košarasti, nadvišeni, potkovasti i više vrsta šiljastih lukova, no oni se danas ne rade. Mogu se izvoditi samo iznimno kod restauracija povijesnih građevina. [1]

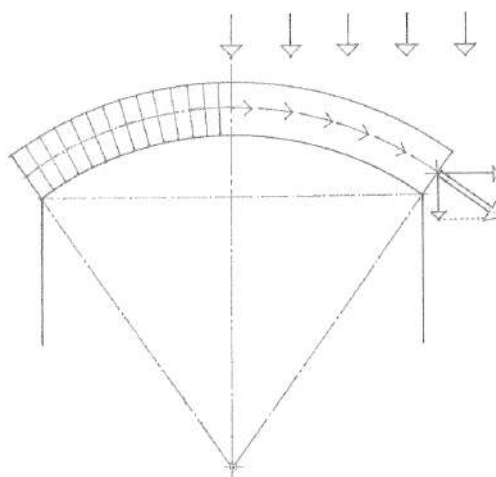


Slika 20. a) ovalni luk, b) košarasti luk, c) uvijeni luk, d) usponski luk, e) nadvišeni luk, f) potkovasti luk

5. LUKOVI OD OPEKE

Kod lukova od opeke koristi se tlačna čvrstoća opeke za rješavanje otvora pretvarajući vertikalne sile opterećenja u nagnute komponente.

Vanjski potisci lučnog djelovanja su proporcionalni ukupnom opterećenju nad rasponom te obrnuto proporcionalni visini. Oni se mogu oduprijeti upornjacima uz otvor ili jednakim, ali suprotnim potiscima susjednih lukova. Kako bi se isključilo savijanje, linije potiska se moraju podudarati s osi luka. [6]



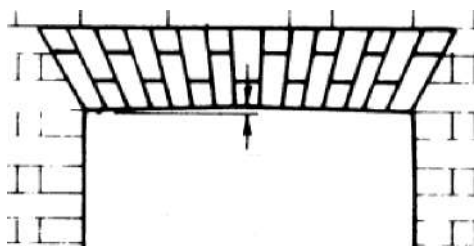
Slika 21. Prijenos opterećenja u lukovima od opeke

5.1. Ravni lukovi

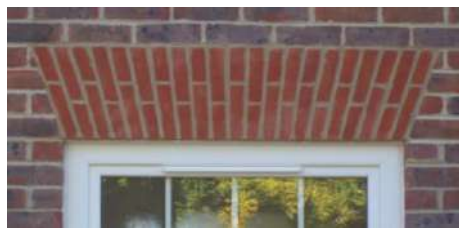
Ravni lukovi rade se tamo gdje mogu nadomjestiti skuplje armiranobetonske nadvoje. Povoljni su nad otvorima širokim do 100 cm. Prilikom zidanja potrebno je na određenoj visini izraditi skošene ležajne plohe s obje strane otvora.

Luk koji će se žbukati zida se neklesanim komadima opeke, a komadi se slažu tako da su im ležajnice i reške klinastog oblika, odnosno gore šire, a dolje uže. Kod golih lukova potrebno je ležajne plohe svake opeke klesati da im lice i naličje bude klinastog oblika te je potrebno dobiti horizontalnu gornju i donju stranu luka, a ležajne plohe i reške ostaju u cijeloj visini luka jednako debele.

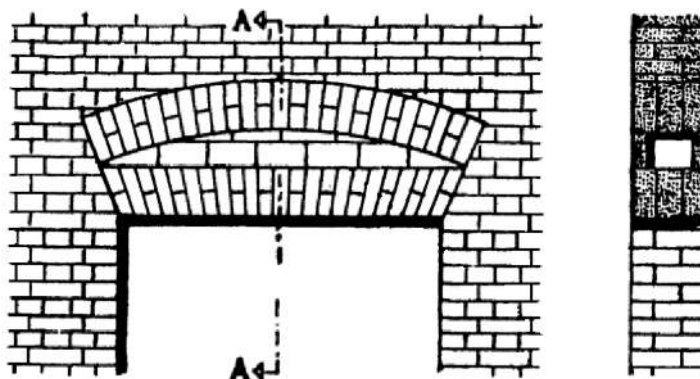
Iznimno se mogu izvesti nad otvorima većim od 100 cm, ali je tada potrebno iznad ravnog luka izvesti segmentni luk koji se naziva rasteretni luk jer preuzima glavni dio tereta. [1]



Slika 22. Ravni luk od opeke



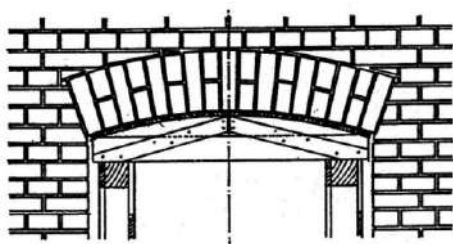
Slika 23. Izvedeni ravni luk od opeke



Slika 24. Rasteretni luk od opeke iznad ravnog luka

5.2. Segmentni lukovi

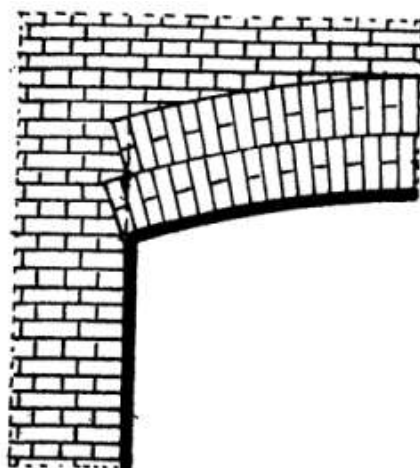
Pošto su segmentni lukovi po statičkom djelovanju čvršći od ravnih, mogu se izvoditi nad otvorima do 300 cm, ponekad i do 500 cm, a iznimno do 800 cm. Prilikom zidanja koriste se oblučila, kao i kod kamenih segmentnih lukova. Nad otvorima širokim od 300 do 500 cm, visina luka mora biti minimalno 2 opeke. Tada se zidaju dva luka jedan iznad drugog gdje gornjem luku donji luk služi kao oblučilo. [1]



Slika 25. Segmentni luk od opeke s oblučilom



Slika 26. Izvedeni segmentni luk od opeke

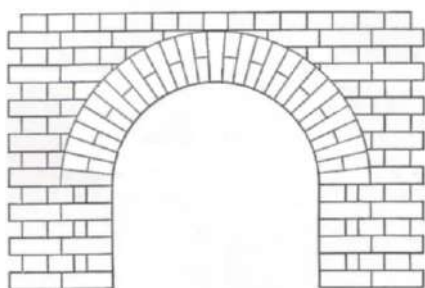


Slika 27. Dvostruki segmentni luk od opeke

5.3. Polukružni lukovi

Centar krivine u središtu otvora udaljen je za pola širine otvora s jedne i druge strane uporišne točke što dovodi do zaključka da je polukružni luk po statičkom djelovanju čvršći od ravnih i segmentnih lukova.

Kod manjih raspona koriste se puna oblučila, a za veće raspone prazna, odnosno remenata oblučila. Donji rub oblučila se kod polukružnih lukova izvodi nešto kraći od širine otvora kako bi se kasnije mogao bez oštećenja maknuti. [1]



Slika 28. Polukružni luk od opeke



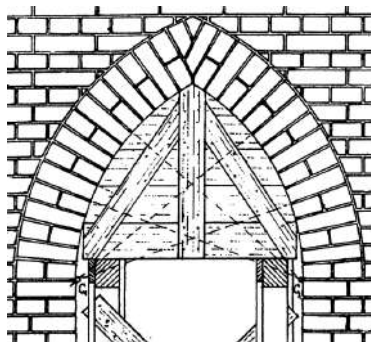
Slika 29. Izvedeni polukružni luk od opeke

5.4. Šiljasti ili gotički lukovi

Šiljasti lukovi sastavljeni su od 2 međusobno simetrična luka s obzirom na središte otvora, a centar krivine jednog luka simetričan je s centrom krivine drugog luka. Centri krivina nalaze se na pravcu spojnice uporišnih točaka.

Po statičkom djelovanju, čvršći su od polukružnih pa tako i od ostalih lukova, ali se najmanje primjenjuju jer na većim rasponima zahtjevaju veće visine otvora. Oblučila se izvode kao kod segmentnih i polukružnih lukova.

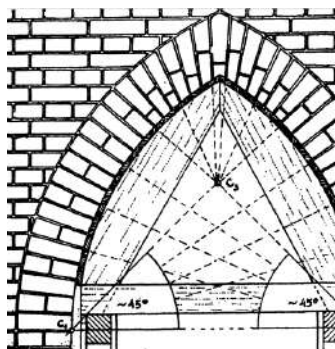
Prvi način zidanja šiljastih lukova je na lastin rep. Središta slojeva svake strane luka usmjeravaju se u centar krivine za tu stranu te se na vrhu sastaju na način da podsjećaju na lastin rep. Kod drugog načina zidanja se središta slojeva svake strane usmjeruju u centar krivine za tu stranu, ali samo do onog sloja gdje spojnice obaju centara zatvaraju kut od 45° . Time se dobiva točka koja je središte za preostale slojeve jedne i druge strane luka. [1]



Slika 30. Šiljasti luk s punim oblučilom zidan načinom lastin rep



Slika 31. Izvedeni šiljasti luk od opeke zidan načinom lastin rep



Slika 32. Šiljasti luk s prozračnim oblučilom zidan načinom s tri središta



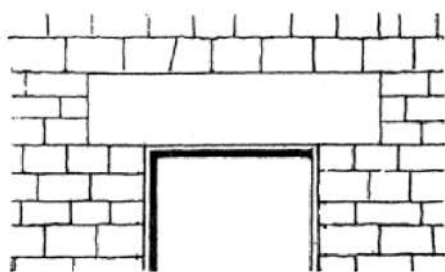
Slika 33. Izvedeni šiljasti luk od opeke zidan načinom s tri središta

6. PODJELA NADVOJA PREMA MATERIJALU

6.1. Nadvoji od kamena

Nadvoji od kamena izrađuju se od dotjeranog lomljenog kamena ili od klesanaca. Ležajevi nadvoja iznose minimalno 20 cm u konstruktivnim zidovima te minimalno 12 cm u pregradnim zidovima.

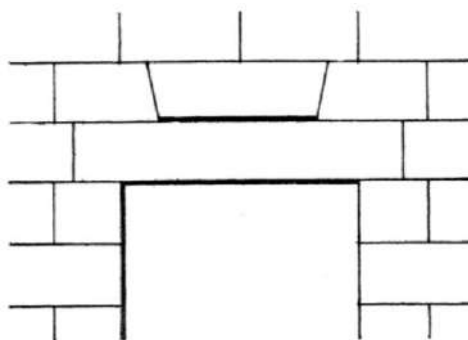
U zidovima od obrađenog kamena, kada je u pitanju veći raspon, nadvoji se mogu rasteretiti tako da se iznad njih ugradi klesanac sa skošenim ležajnim plohamama te se on izvodi 1 - 2 cm odmaknuto od nadvoja. Taj prazan prostor je najopasniji dio i iz tog razloga nije opterećen. Nakon slijeganja, on se puni mortom.



Slika 34. Nadvoj od kamena

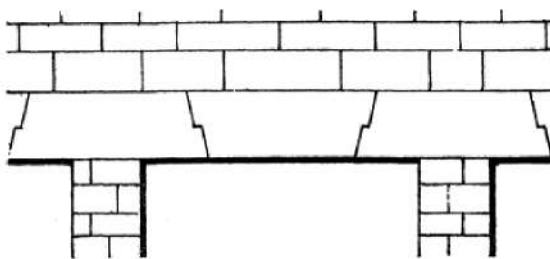


Slika 35. Izvedeni nadvoj od kamena



Slika 36. Rasterećeni nadvoj od kamena

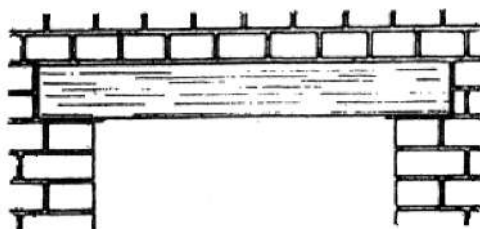
Moguće je izvesti i sastavljeni nadvoj od kamena. Iznad oslonaca postavlja se po jedan kameni element sa skošenim sudarnim plohamama, a između njih se stavlja zaglavni kamen sa suprotno skošenim plohamama. [3]



Slika 37. Sastavljeni nadvoj od kamena

6.2. Nadvoji od drvenih greda

Pomoću drvenih greda, najjednostavniji je način izvedbe nadvoja. Međutim, nadvoji od drvenih greda izvode se samo kod skromnih građevina gdje se ne zahtijeva veća trajnost i na kojima će biti zaštićeni od padalina. Iako se drvu može povećati trajnost raznim premazima ili impregnacijom, ovi nadvoji nisu pouzdani zbog zapaljivosti. [1]



Slika 38. Nadvoj od drvenih greda



Slika 39. Izvedeni nadvoj od drvenih greda

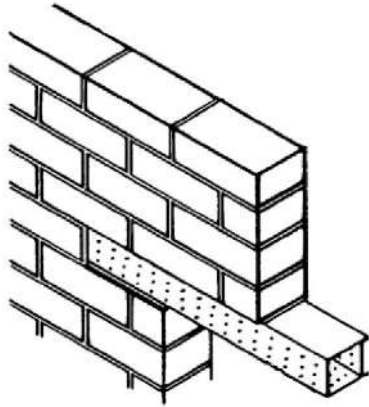
6.3. Nadvoji od čeličnih traverzi

Traverze su specijalni nosivi elementi proizvedeni u željezarama koji se koriste kao grede ili stupovi. Za horizontalne konstrukcije upotrebljavaju se traverze I profila. [1]

Pogodni su nad otvorima većih raspona te im je prednost što se mogu izvesti niži nego armiranobetonski nadvoji. Također, prednost ovih nadvoja je u tome što se radovi nakon postavljanja mogu nastaviti bez odlaganja. [3]

Traverze moraju ležati na podložnoj ploči od čeličnog lima postavljenoj u cementni mort. Ukoliko je u nadvoju potrebno više traverzi, one se moraju međusobno povezati na razmacima do 150 cm.

Kako je čelik materijal podložan hrđanju, potrebno je traverze zaštititi. [1]



Slika 40. Nadvoj od čeličnih traverzi

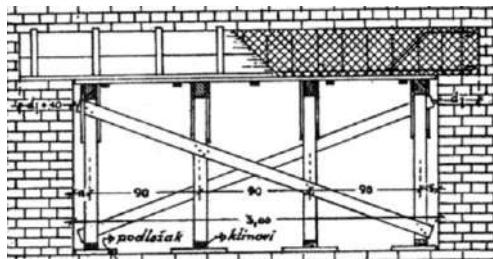


Slika 41. Izvedeni nadvoj od čeličnih traverzi

6.4. Armiranobetonski nadvoji

Armiranobetonski nadvoji su nadvoji koji se najčešće primjenjuju. Za njihovo betoniranje potrebno je koristiti oplatu sastavljenu od podnice i dviju stranica te skelu.

Nad otvorima za obična vrata i za čelične prozore izvode se nadvoji pravokutnog presjeka. [1]



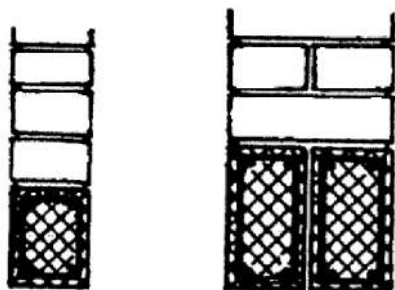
Slika 42. Skela i oplata lijevo te uzdužni presjek nadvoja desno



Slika 43. Izvedeni armiranobetonski nadvoj

6.5. Nadvoji od prefabriciranih armiranobetonskih elemenata

Proizvode se armiranobetonski nadvoji koji odgovaraju najčešćim rasponima i najobičnijim opterećenjima iznad otvora za vrata i prozore. Prednost ovih nadvoja je u tome što nije potrebna izrada oplata i skela. Ugrađuju se cementnim mortom. Moguće je kombinirati više elemenata u zidu ukoliko je to potrebno. [1]



Slika 44. Jednostavni pravokutni nadvoji



45. Izvedeni nadvoj od prefabriciranih armiranobetonskih elemenata

6.6. Nadvoji od armirane tankostijene opeke

Nadvoji od armirane tankostijene opeke su predgotovljeni elementi, a sastoje se od opečnih kanalice, betona i armature. Izrađuju se u unaprijed definiranim oblicima i dimenzijama. Premošćuju otvore od 0,75 do 3,00 m. Duljina ležaja nadvoja na zid mora biti najmanje 12 cm.

Prednosti ovog tipa nadvoja su jednostavno i brzo premošćenje otvora, mala težina, a visoka nosivost, brzina postavljanja pošto nema oplata, armature i betoniranja. [7]



Slika 46. Tipovi nadvoja od armirane tankostijene opeke



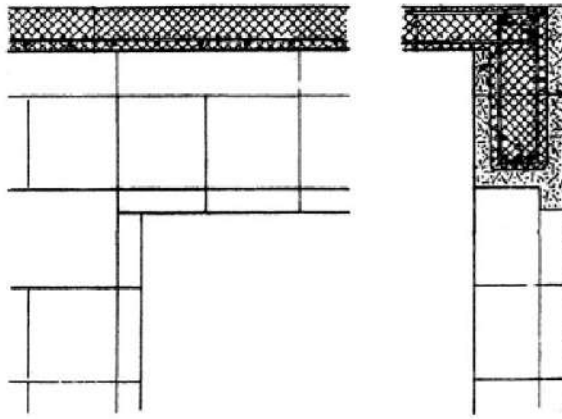
Slika 47. Izvedeni nadvoj od armirane tankostijene opeke

7. NADVOJI KOMBINIRANI SA SERKLAŽEM

Horizontalni serklaži su armiranobetonske monolitne konstrukcije koje povezuju konstruktivne zidove. [4]

Nadvoji odvojeni od serklaža se izvode ukoliko između gornjeg ruba otvora i donjeg ruba serklaža ima dovoljno mjesta za pravilnu izradu nadvoja.

Ako između gornjeg ruba otvora i donjeg ruba serklaža nema dovoljno prostora za pravilnu izvedbu nadvoja, tada se nadvoji kombiniraju sa serklažem. [1]

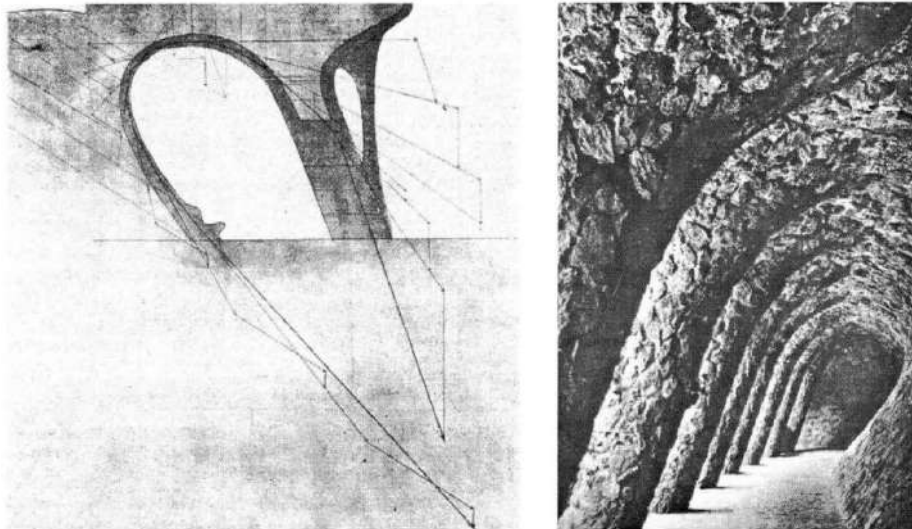


Slika 48. Nadvoj kombiniran sa serklažem

8. PRIMJERI

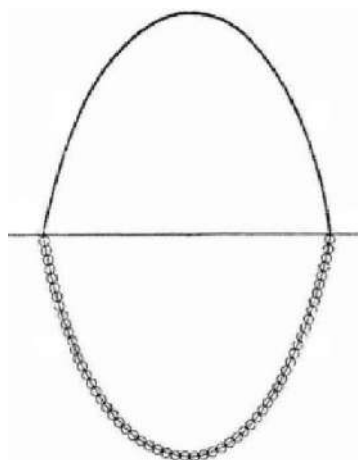
8.1. Rad arhitekta Antonija Gaudija

Već u samim počecima, Gaudi pokazuje svoju originalnost među ostalim arhitektima. Umjesto korištenja lukova dobivenih iz kruga, on koristi lukove koji nisu kružnog oblika, već parabolične, hiperbolične te lančane lukove. [8]



Slika 49. Lukovi u Parku Güell

Oblik lančanog luka dobije se kada se uža ili lanac objese u krajnjim točkama. Prednost takvog luka je što se može izgraditi od relativno laganih materijala, a opet može podnijeti velike težine. [9]



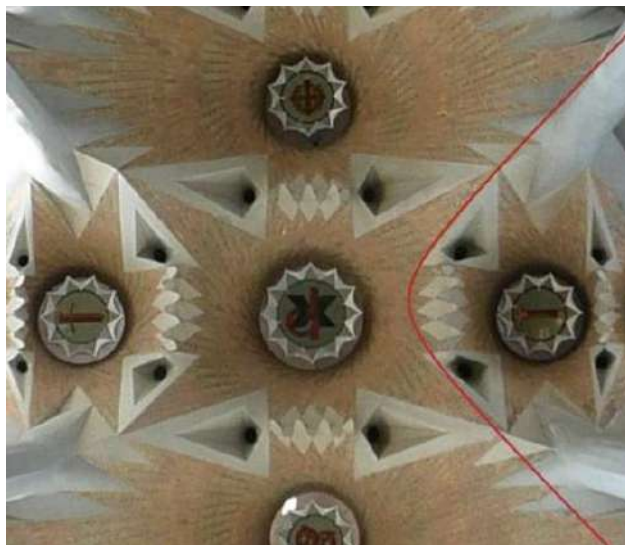
Slika 50. Robert Hookeova analogija lančanice



Slika 51. Lančani lučni koridor, fakultet, Barcelona

Posljednje Gaudijevo djelo je katedrala Sagrada Familia u Barceloni na kojoj je radio do svoje smrti. Ovim projektom Gaudi predlaže savršenstvo gotičkog stila. [8]

Složenost katedrale s asimetričnim opterećenjima podijeljenim na svodove, lukove i kupole zahtjevala je drugačiji pristup. U njoj unutrašnjosti koristi hiperbolične lukove. Njima postiže poprilično visoke svodove. [9]



Slika 52. Hiperbolični lukovi Sagrada Familia

8.2. Amfiteatar u Puli

Amfiteatar u Puli ili pulska Arena je spomenik antičkog graditeljstva u Hrvatskoj. U zidnom plaštu izgrađenom od vapnenca nalaze se otvori. Na prvoj i drugoj etaži iznad otvora se nalaze polukružni lukovi, a na trećoj etaži, gdje su manji otvori, nalaze se nadvoji.

Arena je eliptičnog oblika duljine 132,45 m, širine 105,1 m, visine 32 m na morskoj strani. Njena gradnja odvijala se tijekom 1. stoljeća u nekoliko faza. U drugoj polovici 1. stoljeća proširena je te su drveni dijelovi zamijenjeni kamenom. Kroz povijest, stanovništvo je često uzimalo materijal ugrađen u Arenu kako bi izgradili i obnovili vlastite kuće.

1932. godine obnovljeno je gledalište jedne strane amfiteatra. Rekonstrukcija je napravljena u skladu s očuvanim arheološkim ostacima i prema originalnoj građevini. [10]



Slika 53. Amfiteatar u Puli



Slika 54. Lukovi i nadvoji na amfiteatru

8.3. Lavlja vrata

Lavlja vrata su monumentalni ulazni portal gradskih zidina u Mikeni. Napravljena su oko 1250. godine prije Krista na sjeverozapadnoj strani akropole. Ime su dobila po reljefnoj skulpturi dviju lavica koja se nalazi iznad nadvoja.

Vrata su masivna konstrukcija široka 3,1 m i visoka 2,95 m. Sastoje se od dva velika monolita prekrivena nadvojem dimenzija 4,5 x 2,0 x 0,8 m.

Iznad nadvoja nalazi se vapnenačka ploča u obliku trokuta na kojoj se nalaze lavice između kojih je stup. [11]



Slika 55. Lavlja vrata, Mikena



Slika 56. Reljefna skulptura dviju lavica nad nadvojem

9. ZAKLJUČAK

Mnogo godina prije Krista izvedeni su lukovi i nadvoji što nam pokazuje da se njihova izvedba razvila gotovo prirodno. Vremenom se gradnja usavršavala raznim proračunima i prikazima prijenosa sila putem lukova i nadvoja.

Postoji mnogo vrsta lukova i nadvoja, a samo neke od podjela su prema materijalu i obliku. Dio materijala od kojih se mogu graditi su: kamen, opeka, drvo, čelik te armirani beton. Prema obliku, lukovi mogu biti: ravni, segmentni, polukružni, šiljasti i mnogi drugi što je prikazano primjerom arhitekta Antonija Gaudija. Kod odabira vrste potrebno je najprije razmotriti raspon otvora kako bi se dobila informacija o mogućim izvedbama.

Lukovi i nadvoji mogu svojim izgledom bitno pridonjeti konačnom izgledu građevine pa im je stoga važno posvetiti pozornost.

LITERATURA

- [1] Đ. Peulić, Konstruktivni elementi zgrada, Croatiaknjiga, 2002.
- [2] <https://nastava.tvz.hr/gukov/pdf/5-luk.pdf> [20. srpnja 2023.]
- [3] R. Barry, The Construction of Buildings, Blackwell Science, 1999.
- [4] Osnovni elementi i tipologije konstrukcija visokogradnje, predavanje iz kolegija Visokogradnje Građevinskog fakulteta sveučilišta u Zagrebu
- [5] P. Block, M. DeJong, J. Ochsendorf, As Hangs the Flexible Line: Equilibrium of Masonry Arches
https://www.researchgate.net/publication/225587685_As_Hangs_the_Flexible_Line_Equilibrium_of_Masonry_Arches/link/581758fc08aedc7d8968e18c/download [22. srpnja 2023.]
- [6] F. D. K. Ching, Building Construction Illustrated, Wiley, 2008.
- [7] <https://webgradnja.hr/clanci/nadvoji-porotherm/1009> [23. kolovoza 2023.]
- [8] S. Huerta, Structural Design in the Work of Gaudi
https://www.researchgate.net/publication/233572046_Structural_Design_in_the_Work_of_Gaudi [10. kolovoza 2023.]
- [9] The Geometry of Antoni Gaudi
https://mathstat.slu.edu/escher/index.php/The_Geometry_of_Antoni_Gaudi [10. kolovoza 2023.]
- [10] Amfiteatar u Puli
https://hr.wikipedia.org/wiki/Amfiteatar_u_Puli [11. kolovoza 2023.]
- [11] Lion Gate
https://en.wikipedia.org/wiki/Lion_Gate [12. kolovoza 2023.]

POPIS SLIKA

Slika 1. Nadvoj i luk

[Mrežno] https://images.all-free-download.com/images/graphiclarge/arch_types_clip_art_18896.jpg [22. kolovoza 2023.]

Slika 2. Opterećenje grede

[Mrežno] <https://nastava.tvz.hr/gukov/pdf/5-luk.pdf> [20. srpnja 2023.]

Slika 3. Kut rasprostiranja opterećenja nad nadvojima

R. Barry, The Construction of Buildings, Blackwell Science, 1999.

Slika 4. Elementi luka

Osnovni elementi i tipologije konstrukcija visokogradnje, predavanje iz kolegija Visokogradnje Građevinskog fakulteta sveučilišta u Zagrebu

Slika 5. Vrste i oblici lukova

Osnovni elementi i tipologije konstrukcija visokogradnje, predavanje iz kolegija Visokogradnje Građevinskog fakulteta sveučilišta u Zagrebu

Slika 6. Primjena lukova i nadvoja u povijesti

[Mrežno] https://www.researchgate.net/figure/Reconstruction-of-Fisher-Phase-pit-house-drawing-by-Val-Vallese-courtesy-of-Illinois_fig2_286194018 [22. kolovoza 2023.]

Slika 7. Polukružni i šiljasti luk

[Mrežno] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=37468> [20. srpnja 2023.]

Slika 8. Zoran prikaz tlačne linije

Nosive strukture u mostovima, predavanje iz kolegija Mostovi 1 Građevinskog fakulteta sveučilišta u Zagrebu

Slika 9. Ravni luk od dotjeranog lomljenog kamena

Ž. Koški, N. Bošnjak, I. Brkanić, Elementi visokogradnje 1, skripta

Slika 10. Izvedeni ravni luk od kamena

[Mrežno] <https://www.istockphoto.com/photo/paris-an-old-wooden-door-gm1283732632-381081283?phrase=stone+lintels> [23. kolovoza 2023.]

Slika 11. Daščana podnica

Đ. Peulić, Konstruktivni elementi zgrada, Croatiaknjiga, 2002.

Slika 12. Obloga od kamena kao ravni luk

Đ. Peulić, Konstruktivni elementi zgrada, Croatiaknjiga, 2002.

Slika 13. Segmentni luk od dotjeranog lomljenog kamena

Ž. Koški, N. Bošnjak, I. Brkanić, Elementi visokogradnje 1, skripta

Slika 14. Izvedeni segmentni luk od kamena

[Mrežno] <https://www.pxfuel.com/en/free-photo-imwxd> [23. kolovoza 2023.]

Slika 15. Oblučilo za segmentne lukove

Đ. Peulić, Konstruktivni elementi zgrada, Croatiaknjiga, 2002.

Slika 16. Segmentni luk koji rasterećuje ravni luk

Ž. Koški, N. Bošnjak, I. Brkanić, Elementi visokogradnje 1, skripta

Slika 17. Polukružni luk od kvakastih klesanaca

Ž. Koški, N. Bošnjak, I. Brkanić, Elementi visokogradnje 1, skripta

Slika 18. Izvedeni polukružni luk od kvakastih klesanaca

[Mrežno] <https://www.romeartlover.it/Costroma.html> [23. kolovoza 2023.]

Slika 19. Oblučilo za raspone do 100 cm, 150 cm, 250 cm

Đ. Peulić, Konstruktivni elementi zgrada, Croatiaknjiga, 2002.

Slika 20. Ovalni luk, košarasti luk, uvijeni luk, usponski luk, nadvišeni luk, potkovasti luk

Đ. Peulić, Konstruktivni elementi zgrada, Croatiaknjiga, 2002.

Slika 21. Prijenos opterećenja u lukovima od opeke

F. D. K. Ching, Building Construction Illustrated, Wiley, 2008.

Slika 22. Ravni luk od opeke

R. Chudley, R. Greeno, Building Construction Handbook, Elsevier, 2006.

Slika 23. Izvedeni ravni luk od opeke

[Mrežno] <https://www.premierbuildingproducts.co.uk/brick-arches> [23. kolovoza 2023.]

Slika 24. Rasteretni luk od opeke iznad glavnog luka

Đ. Peulić, Konstruktivni elementi zgrada, Croatiaknjiga, 2002.

Slika 25. Segmentni luk od opeke s oblučilom

Đ. Peulić, Konstruktivni elementi zgrada, Croatiaknjiga, 2002.

Slika 26. Izvedeni segmentni luk od opeke

[Mrežno] <https://www.istockphoto.com/photo/hasselt-street-view-in-overijssel-netherlands-during-a-beautiful-spring-day-gm1145994763-308640475> [23. kolovoza 2023.]

Slika 27. Dvostruki segmentni luk od opeke

Đ. Peulić, Konstruktivni elementi zgrada, Croatiaknjiga, 2002.

Slika 28. Polukružni luk od opeke

[Mrežno] <https://medium.com/@rohitgurjar009/arches-part-2-48db547179bd> [12. kolovoza 2023.]

Slika 29. Izvedeni polukružni luk od opeke

[Mrežno] <https://www.istockphoto.com/photo/ancient-door-in-kremlin-wall-gm946838426-258548615> [23. kolovoza 2023.]

Slika 30. Šiljasti luk s punim oblučilom zidan načinom lastin rep

Đ. Peulić, Konstruktivni elementi zgrada, Croatiaknjiga, 2002.

Slika 31. Izvedeni šiljasti luk od opeke zidan načinom lastin rep

[Mrežno] https://www.tripadvisor.com/Attraction_Review-g612423-d9745066-Reviews-Rosfurt_mit_Elbtor-Tangermuende_Saxony_Anhalt.html [23. kolovoza 2023.]

Slika 32. Šiljasti luk s prozračnim oblučilom zidan načinom s tri središta

Đ. Peulić, Konstruktivni elementi zgrada, Croatiaknjiga, 2002.

Slika 33. Izvedeni šiljasti luk od opeke zidan načinom s tri središta

[Mrežno] <https://www.istockphoto.com/photo/cloister-with-arched-colonnade-gm695171426-128497113?phrase=brick+arches> [23. kolovoza 2023.]

Slika 34. Nadvoj od kamena

Đ. Peulić, Konstruktivni elementi zgrada, Croatiaknjiga, 2002.

Slika 35. Izvedeni nadvoj od kamena

[Mrežno] <https://www.istockphoto.com/photo/a-doorway-through-a-stone-wall-in-volubilis-morocco-ancient-roman-ruins-and-a-unesco-gm1447293659-485147047?phrase=stone+lintels> [23. kolovoza 2023.]

Slika 36. Rasterećeni nadvoj od kamena

[Mrežno] <https://webgradnja.hr/clanci/kameni-lukovi/3187> [12. kolovoza 2023.]

Slika 37. Sastavljeni nadvoj od kamena

[Mrežno] <https://webgradnja.hr/clanci/kameni-lukovi/3187> [12. kolovoza 2023.]

Slika 38. Nadvoj od drvenih greda

Đ. Peulić, Konstruktivni elementi zgrada, Croatiaknjiga, 2002.

Slika 39. Izvedeni nadvoj od drvenih greda

[Mrežno] <https://www.istockphoto.com/photo/ancient-window-gm90937188-2531281?phrase+=wooden+lintel> [23. kolovoza 2023.]

Slika 40. Nadvoj od čeličnih traverzi

R. Barry, The Construction of Buildings, Blackwell Science, 1999.

Slika 41. Izvedeni nadvoj od čeličnih traverzi

[Mrežno] <https://www.istockphoto.com/photo/steel-beam-lintel-on-a-door-of-a-renovated-old-house-facade-gm1609288729-530803387?phrase=steel+lintels> [23. kolovoza 2023.]

Slika 42. Skela i oplata lijevo te uzdužni presjek nadvoja desno

Đ. Peulić, Konstruktivni elementi zgrada, Croatiaknjiga, 2002.

Slika 43. Izvedeni armiranobetonski nadvoj

[Mrežno] <https://www.istockphoto.com/photo/window-or-door-concrete-lintel-on-brick-unfinished-house-construction-gm622303060-108950939?phrase+=reinforced+concrete+lintels> [23. kolovoza 2023.]

Slika 44. Jednostavni pravokutni nadvoji

Đ. Peulić, Konstruktivni elementi zgrada, Croatiaknjiga, 2002.

Slika 45. Izvedeni nadvoj od prefabriciranih armiranobetonskih elemenata

[Mrežno] <https://hr.puntomariner.com/bar-lintels-types-marking-features/> [23. kolovoza 2023.]

Slika 46. Tipovi nadvoja od armirane tankostijene opeke

[Mrežno] <https://webgradnja.hr/clanci/nadvoji-porotherm/1009> [23. kolovoza 2023.]

Slika 47. Izvedeni nadvoj od armirane tankostijene opeke

[Mrežno] <https://www.istockphoto.com/photo/lintel-adjusting-at-construction-site-gm946641268-258504080?phrase=brick+lintels> [23. kolovoza 2023.]

Slika 48. Nadvoj kombiniran sa serklažem

Đ. Peulić, Konstruktivni elementi zgrada, Croatiaknjiga, 2002.

Slika 49. Lukovi u Parku Güell

[Mrežno]

https://www.researchgate.net/publication/233572046_Structural_Design_in_the_Work_of_Gaudi [10. kolovoza 2023.]

Slika 50. Robert Hookeova analogija lančanice

[Mrežno]

https://www.researchgate.net/publication/233572046_Structural_Design_in_the_Work_of_Gaudi [10. kolovoza 2023.]

Slika 51. Lančani lučni koridor, fakultet, Barcelona

[Mrežno] <https://www.manuelcohen.com/image/I0000MI0tf8riSWI> [10. kolovoza 2023.]

Slika 52. Hiperbolični lukovi, Sagrada Familia

[Mrežno] https://mathstat.slu.edu/escher/index.php/The_Geometry_of_Antoni_Gaudi [10. kolovoza 2023.]

Slika 53. Amfiteatar u Puli

[Mrežno] https://hr.wikipedia.org/wiki/Amfiteatar_u_Puli [11. kolovoza 2023.]

Slika 54. Lukovi i nadvoji na amfiteatru

[Mrežno] https://hr.wikipedia.org/wiki/Amfiteatar_u_Puli [11. kolovoza 2023.]

Slika 55. Lavlja vrata, Mikena

[Mrežno] https://en.wikipedia.org/wiki/Lion_Gate [12. kolovoza 2023.]

Slika 56. Reljefna skulptura dviju lavica nad nadvojem

[Mrežno] https://en.wikipedia.org/wiki/Lion_Gate [12. kolovoza 2023.]