

GRAĐEVINSKI FAKULTET

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE

KATEDRA ZA MOSTOVE

LUČNI MOSTOVI



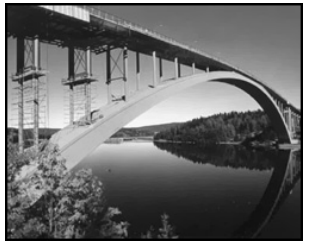
Sadržaj

1. Uvod
2. Analiza razvitka lučnih mostova
3. Načela oblikovanja
4. Izvedba lučnih mostova
5. Proračun i armiranje



UVOD

Raste konkurentnost velikih lučnih mostova u usporedbi s drugim sustavima, poglavito grednim i u manjoj mjeri ovješenim uz određene uvjete.



postupci izvedbe

gradiva

inovativna rješenja

konkurentnost velikih lučnih mostova



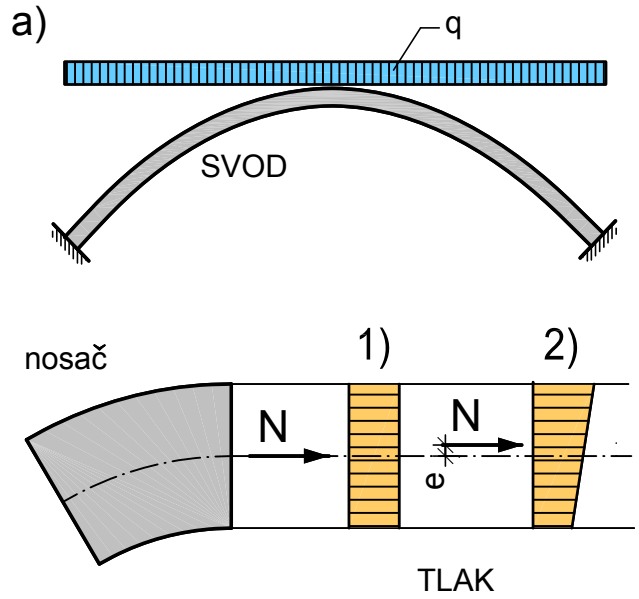


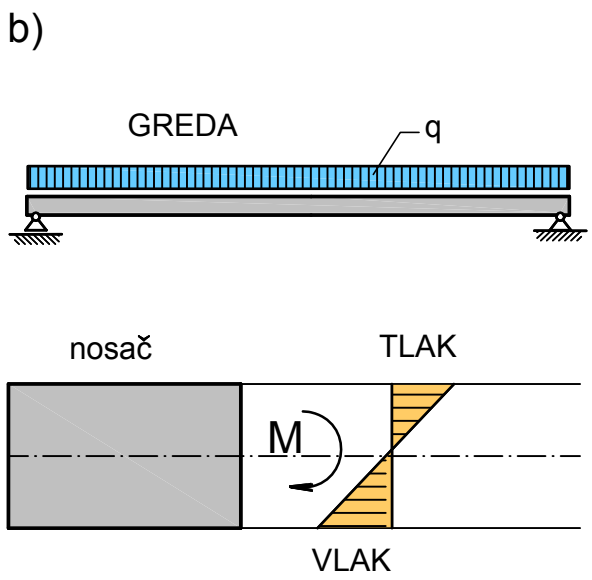






Smatra se da lučni mostovi mogu biti konkurentni ostalima za raspone 40 – 400 m.
(Najčešća primjena za raspone 50 – 250 m)

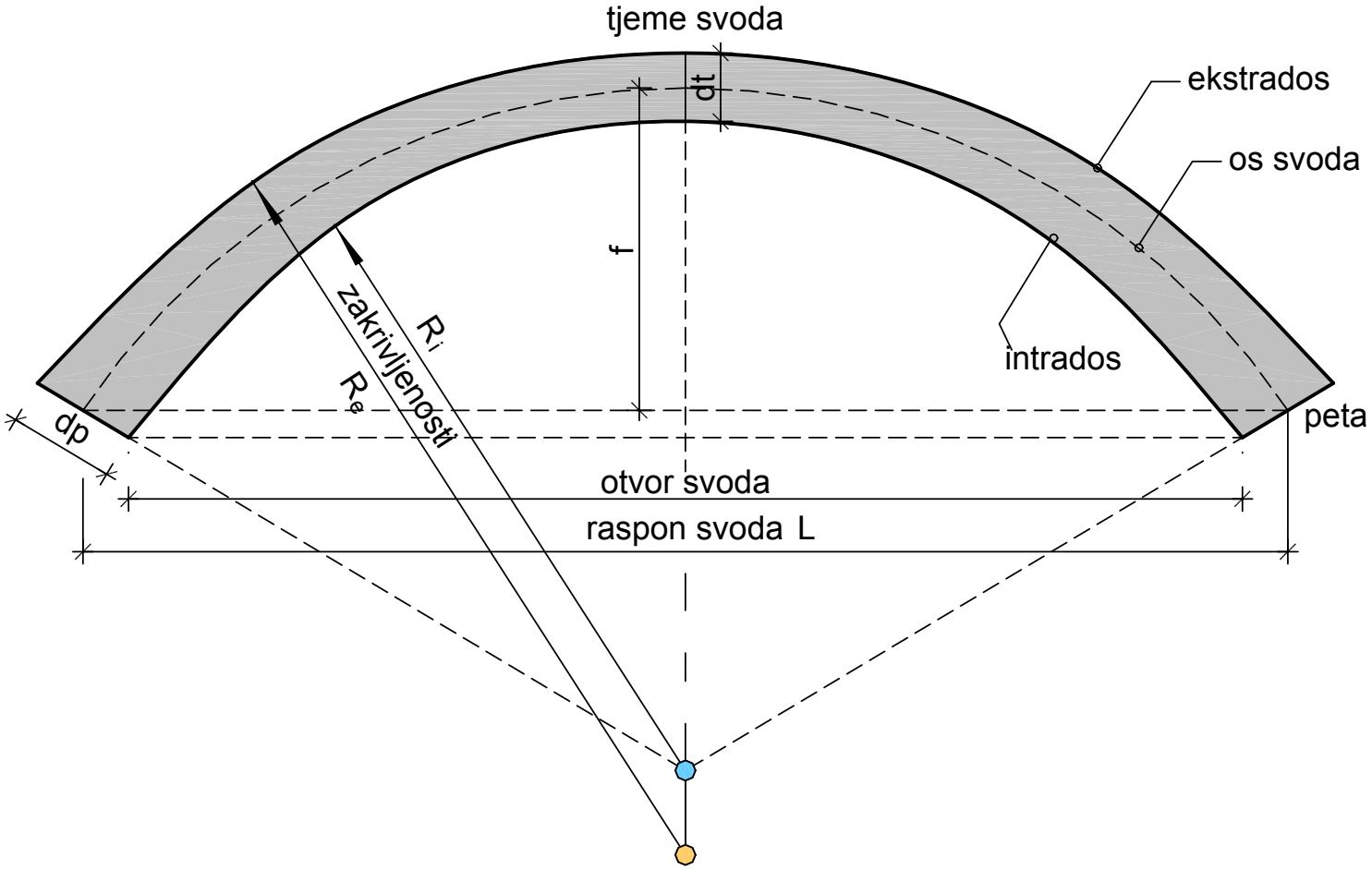




GREDNI NOSAČ – prijenos opterećenja savijanjem: tlačna i vlačna naprezanja
LUK – zakrivljena greda – prijenos opterećenja tlačnom silom

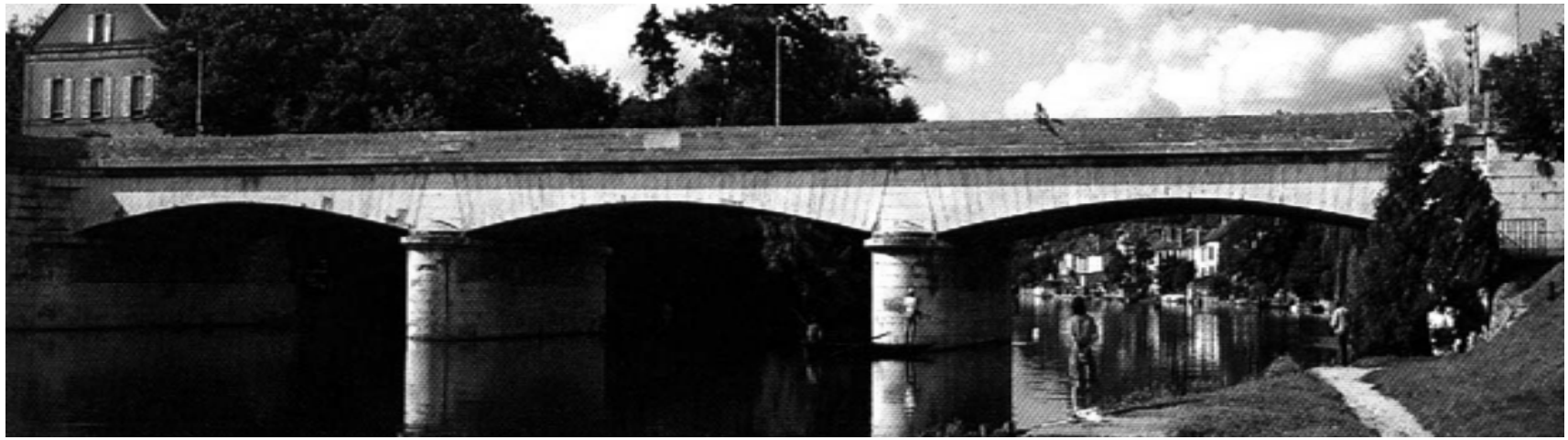


OSNOVNI DIJELOVI SVODA



Bitan parametar: spljoštenost = omjer strelice prema rasponu f/L

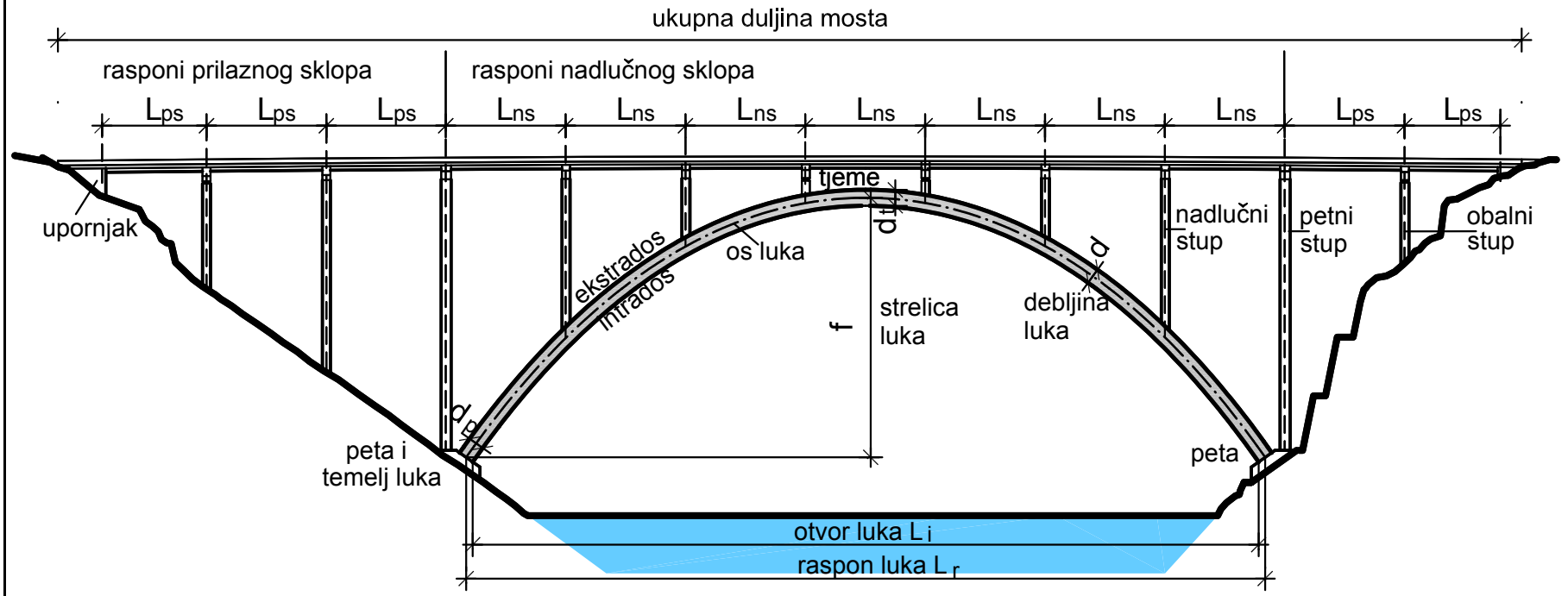
SPLJOŠTENOST LUKA

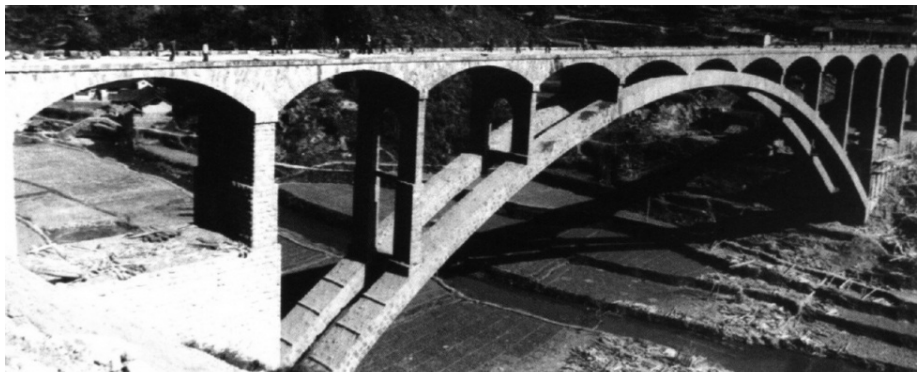


f/L
Ne manje od 1/10 (1/12)
Preporučljivo 1/5
Maslenički most 1/3,1

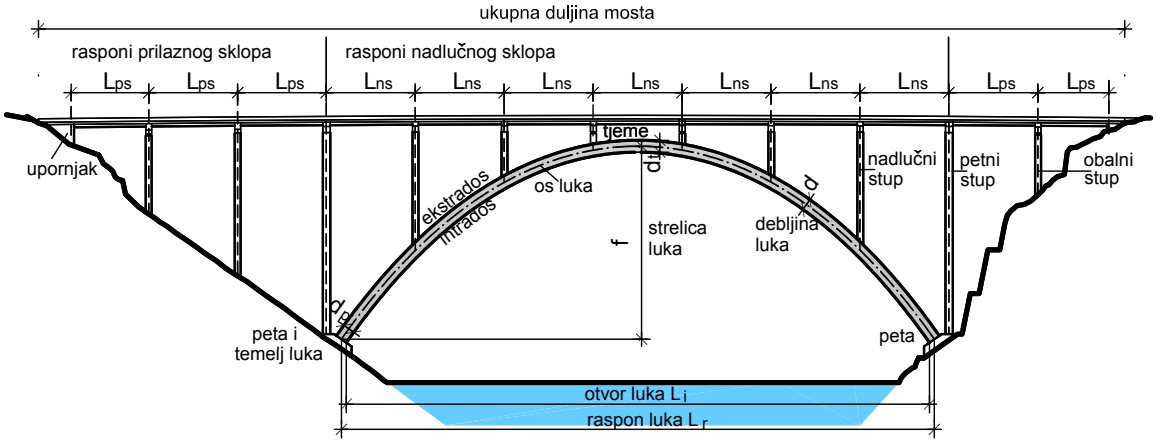


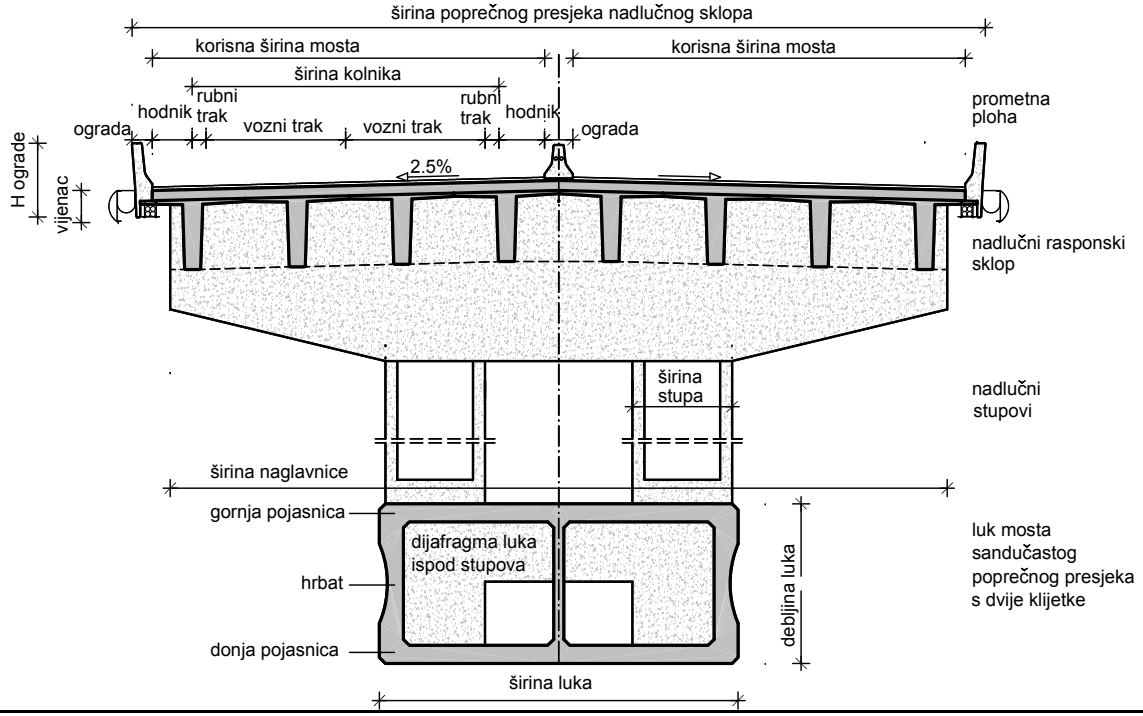
OSNOVNI POJMOVI





OSNOVNI POJMOVI







ANALIZA RAZVITKA LUČNIH MOSTOVA



Kroz poglavlja koja govore o povijesti građenja mostova pojašnjava se nastanak i razvitak oblika lučnih mostova.

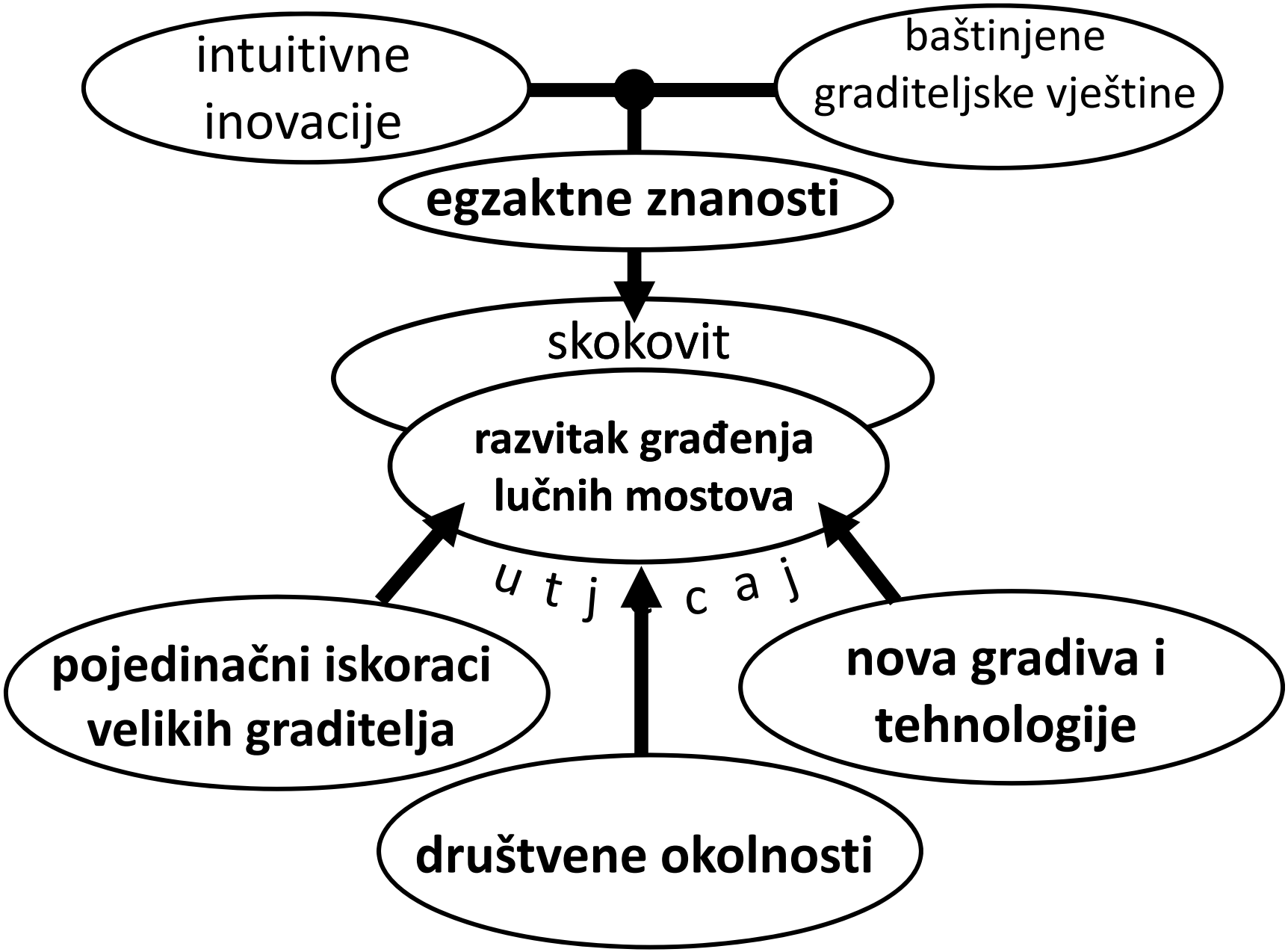
- nalaženje oblika koji optimalno koriste značajke dostupnih gradiva;
- evolucija u skladu s razvitkom znanosti, tehnologije i društvenih okolnosti;

Opširan povijesni pregled:

luk je najstariji, izvorni sklop mosta koji se razvija već oko 2500. godina

prošlost je jedino vrelo koje nam daje oruđe za oblikovanje budućnosti




intuitivne inovacije
baštinjene graditeljske vještine
egzaktne znanosti
skokovit
razvitak građenja lučnih mostova
u t j c a j
pojedinačni iskoraci velikih graditelja
nova gradiva i tehnologije
društvene okolnosti

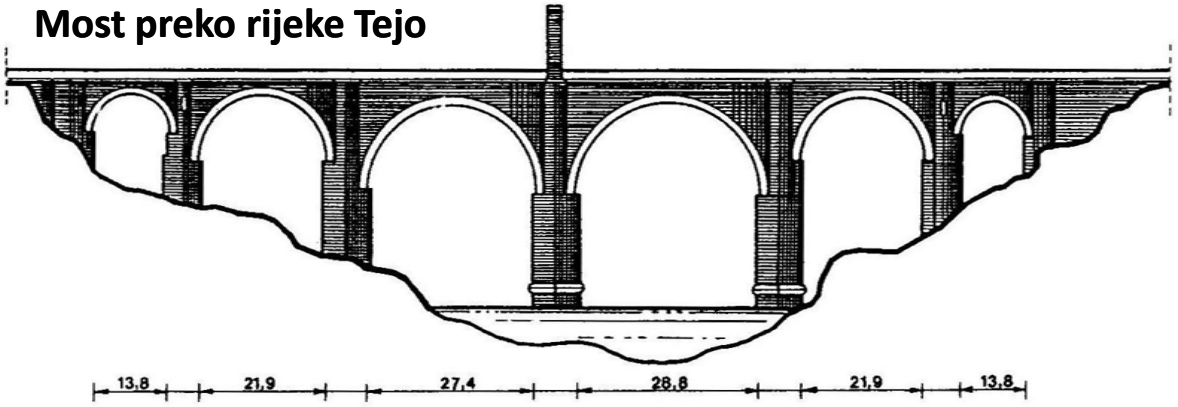
Razvitak građenja mostova u bilo kojoj kulturi i bilo kojem razdoblju vezan je uz mrežu cesta koje se planski grade uz potporu jake državne uprave.

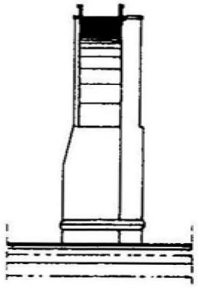
Sustavni pregled građenja mostova može započeti tek s kamenim lukovima iz razdoblja Starog Rima.

danas stoji 330 masivnih svođenih mostova i 94 akvedukta



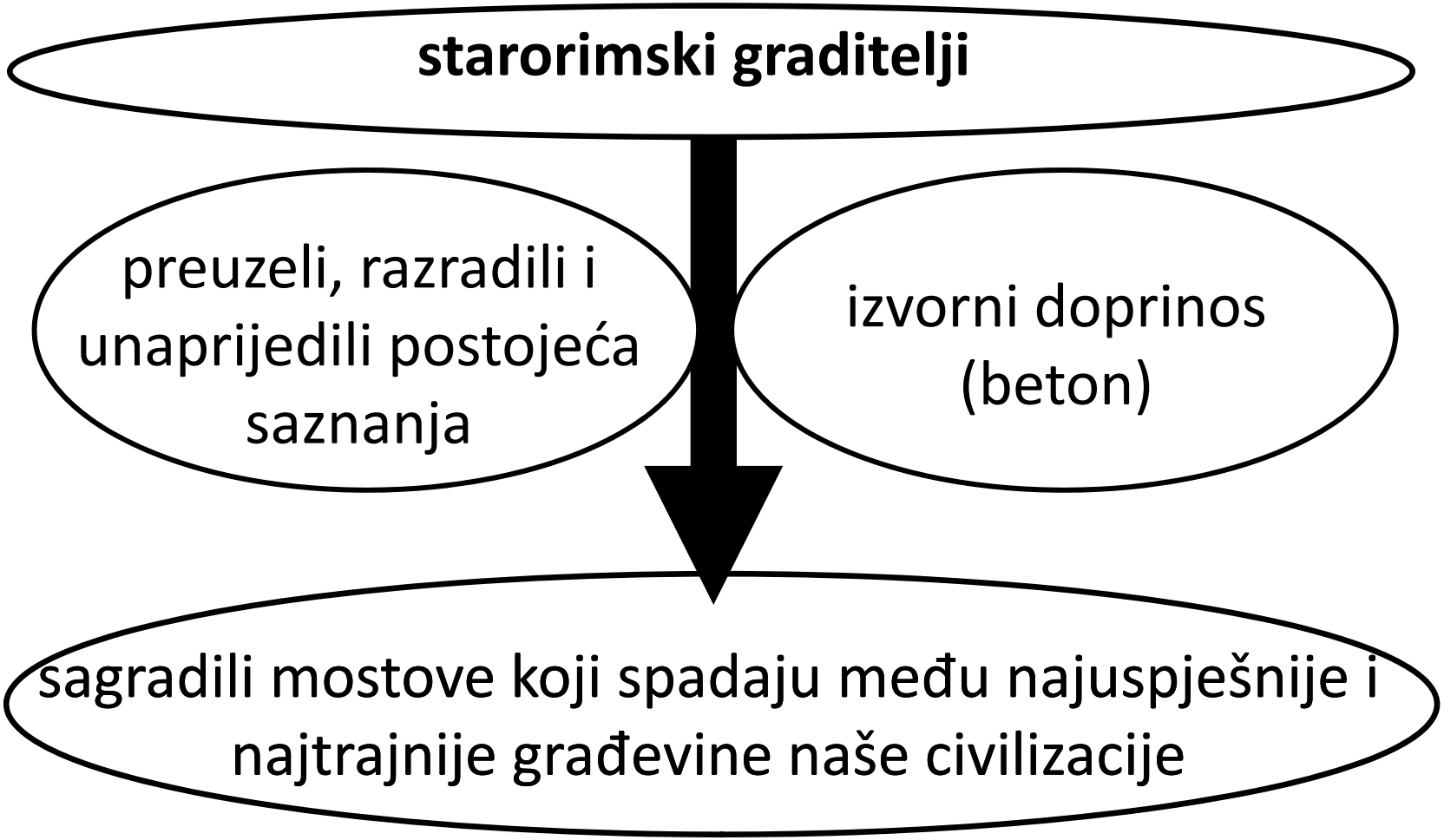
Most preko rijeke Tejo

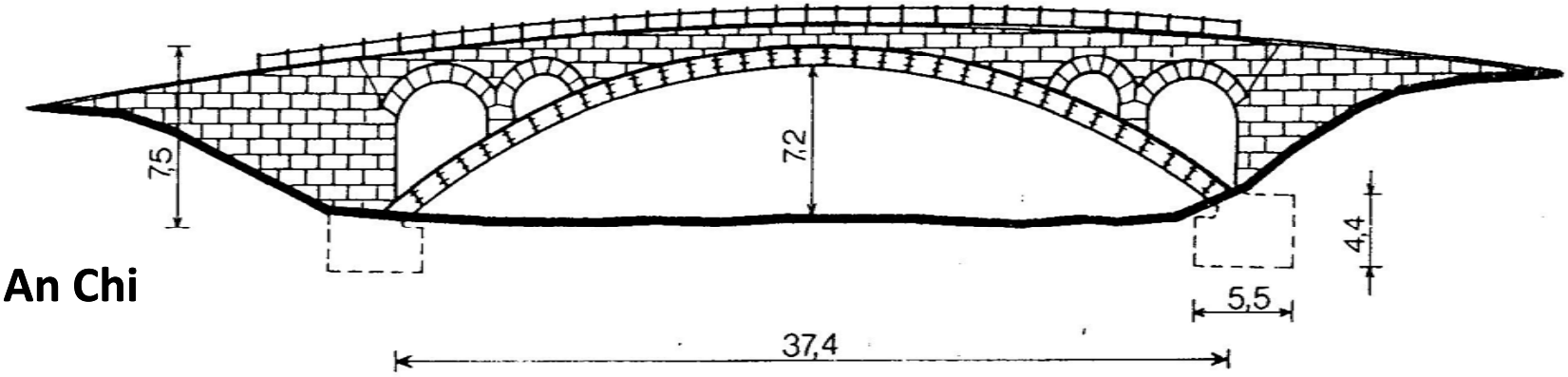






Gradnja mosta predstavlja organizacijski i logistički problem čija složenost brzo raste s veličinom građevine.





An Chi

Najstariji zapisi o lučnim mostovima sagrađenim u Kini su iz 2. i 3. stoljeća po.K., a sačuvani su ostaci više građevina iz 5. stoljeća.

Značajna sačuvana građevina je segmentni lučni most An Chi.

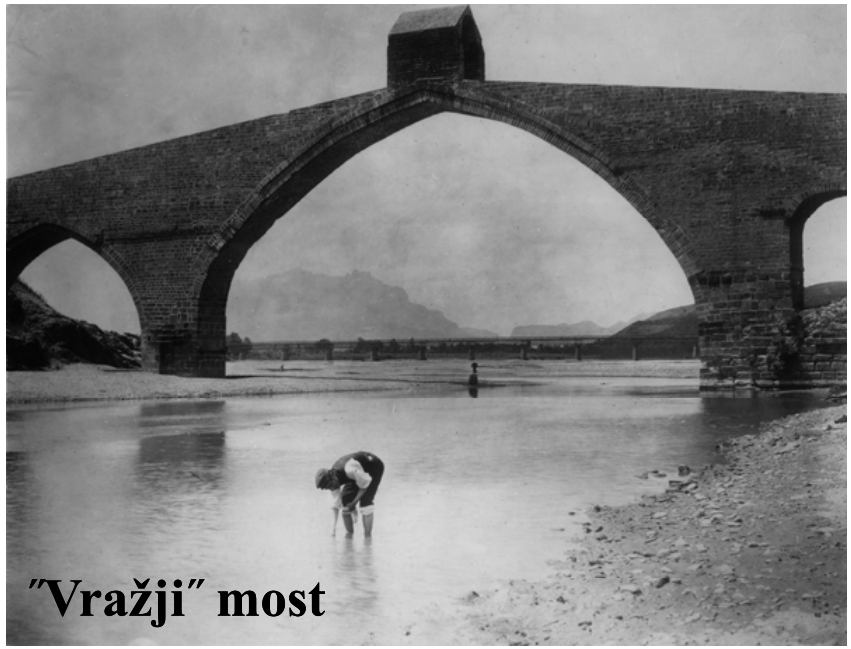
- znatna spljoštenost (0,192);
- elegantni štedni otvori;



Arapske kulture preuzele su i usavršile starorimsko umijeće gradnje mostova dodavši izvorne elemente.

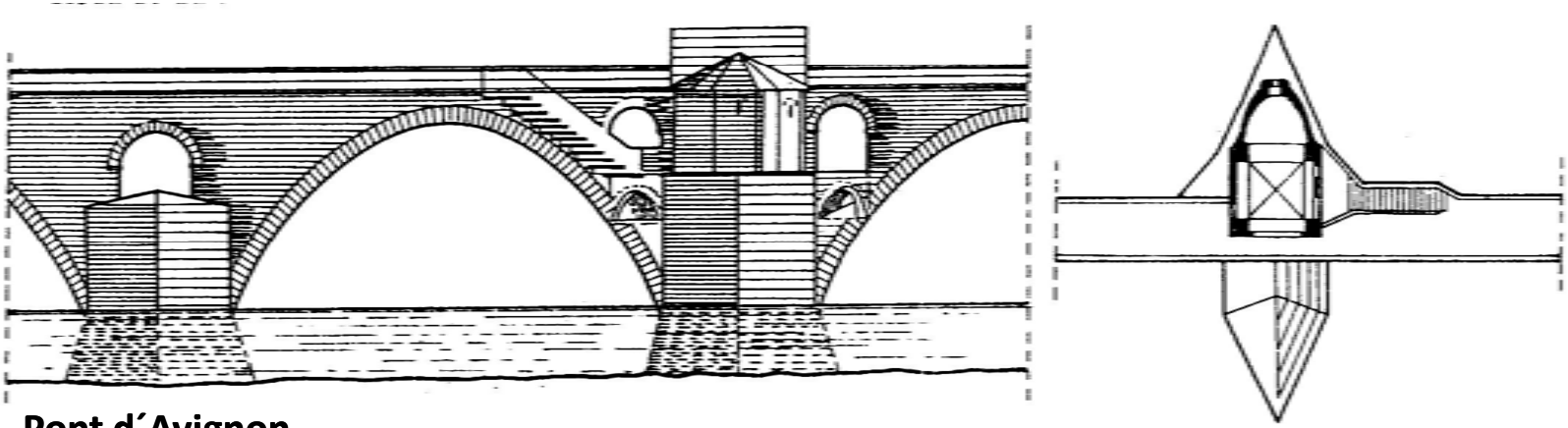
- most Malabadi, Turska;
- ″Vražji″ most kod Martorel, Španjolska;

Oba mosta karakterizira šiljati luk, strmi pristupi (rasterećenje nadsloja) i znatna visina nad preprekom.



″Vražji″ most

Nastavak povijesti mostogradnje u Europi:
Most u Avignonu, građen od 1177. do 1185. godine



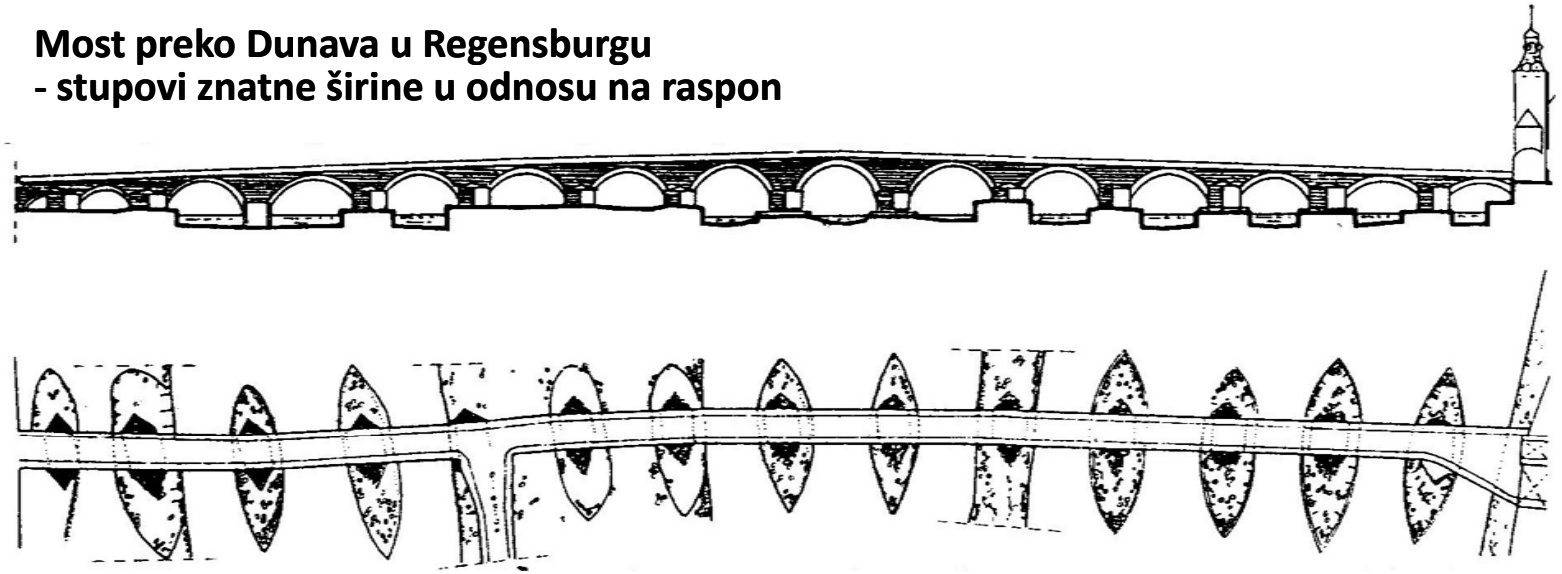
Pont d´Avignon

Iznimka je Španjolska gdje su pod utjecajem islamskog graditeljstva i kroz srednji vijek sagrađeni značajni mostovi:
11.st most Roda de Tar



Most u Avignonu je za ono vrijeme predstavljao znatan iskorak što se uočava usporedbom s mostom preko Dunava u Regensburgu.

Most preko Dunava u Regensburgu
- stupovi znatne širine u odnosu na raspon

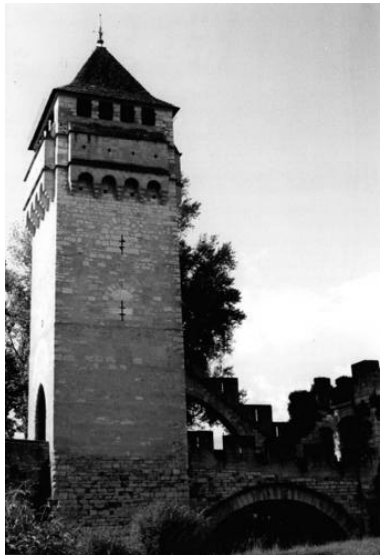


Pont d´Avignon

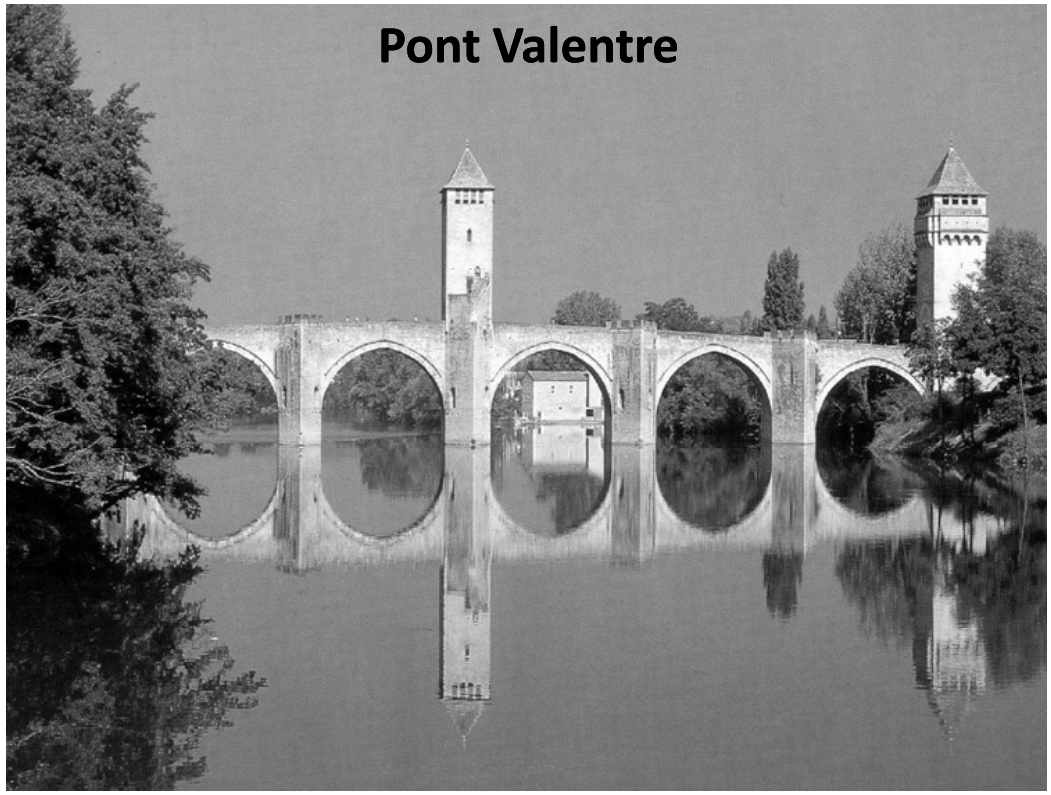


Sličan je bio i stari Londonski most preko Temze (1176.-1209.):
- 19 raspona veličine 4,6–10,4 m koji su premošteni šiljatim lukovima;

Najljepši srednjevjekovni most:
Pont Valentre (građen 1308.-1355.), Cahors, Francuska
- svodovi raspona oko 14 m lagano su zašiljeni (svod s dva središta) i oslonjeni na stupove široke oko 6 m;

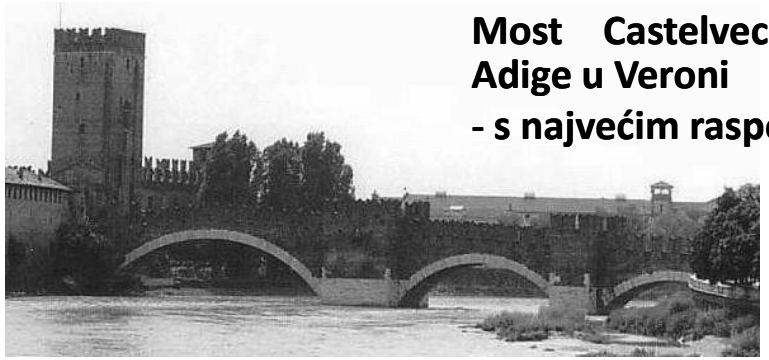






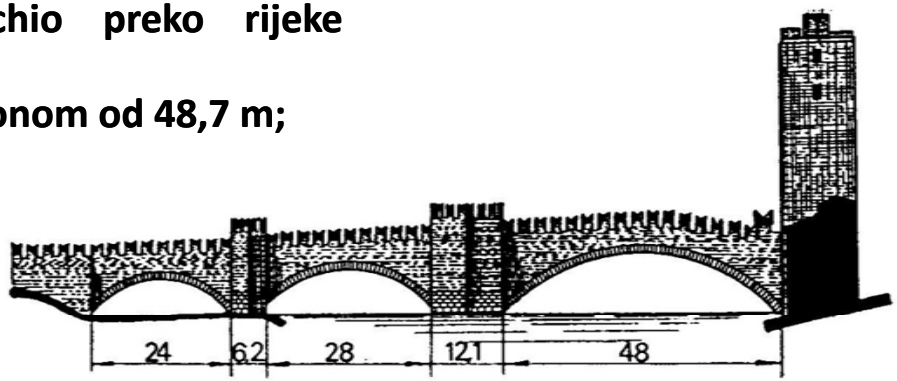
Rasponi srednjevjekovnih mostova varirali su od 12 do 22 m.

U oblikovnom smislu srednjevjekovni graditelji ne ističu dekorativnu snagu konstruktivnih elemenata, već koriste ukrase poput tornjeva i kipova.

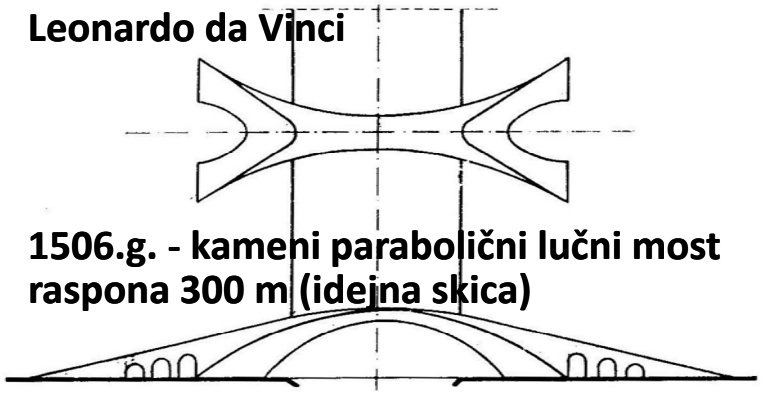


Most Castelvecchio preko rijeke Adige u Veroni

- s najvećim rasponom od 48,7 m;



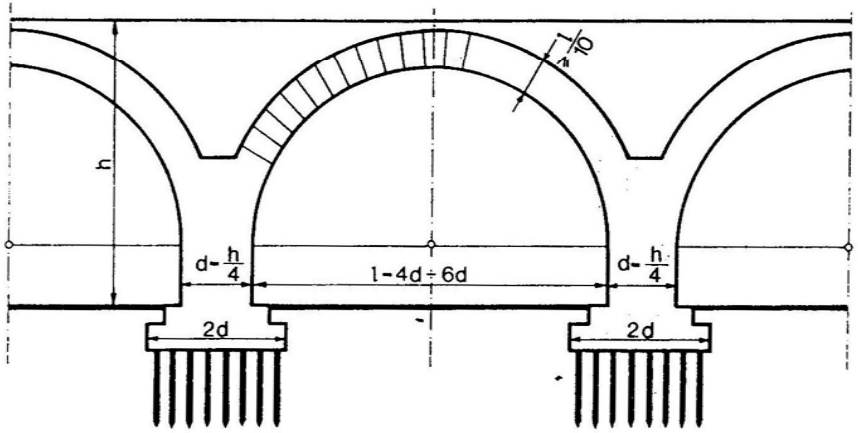
Leonardo da Vinci



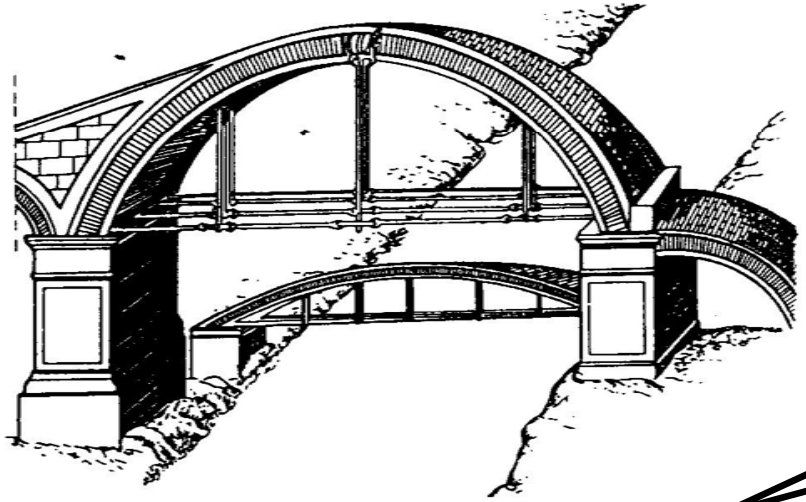
1506.g. - kameni parabolični lučni most raspona 300 m (idejna skica)

Ako svođene mostove promatramo s motrišta arhitektonskog oblikovanja, a posebno dekorativnih elemenata, renesansna obilježja mogu se razlučiti od srednjevjekovnih.

S tehničkog motrišta u građenju mostova nema vidljive prijelomnice. (pojedini iskoraci značajnih graditelja)



Alberti - talijanski graditelj;
- pravila određivanja osnovnih izmjera lučnog mosta (1450. g);



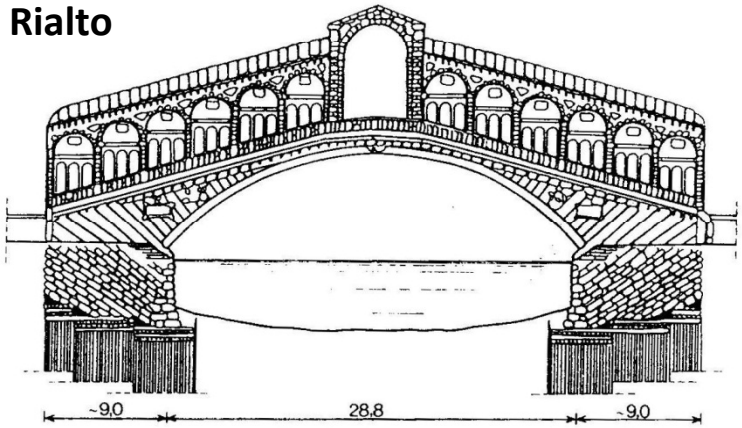
Faust Vrančić:
- značajan teorijski doprinos;
- preuzimanje potiska željeznim zategama;



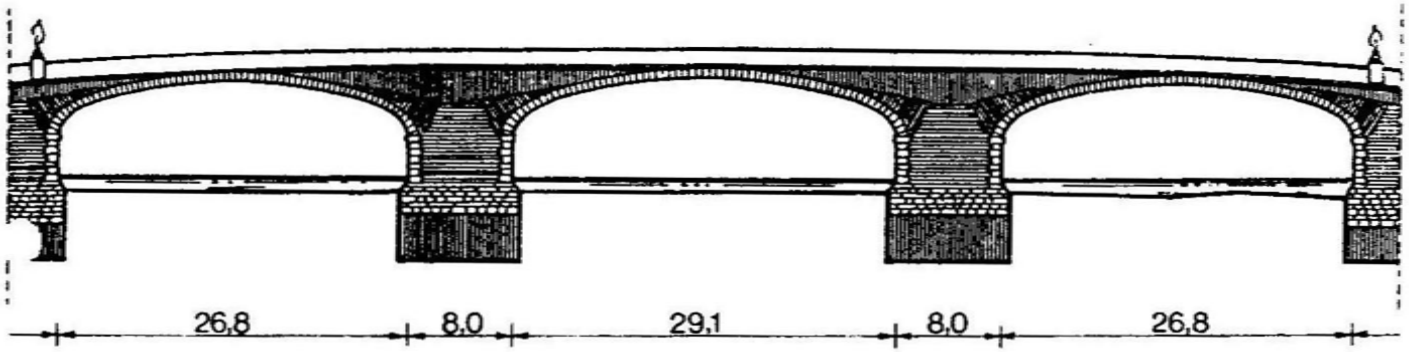
Most Rialto preko kanala Grande, Venecija
(segmentni luk unutarnjeg kuta 120°, s jednim rasponom oko 28,8 m)

U Nürnbergu je izveden sličan most.
(raspona 34 m, visine luka 4,6 m, spljoštenosti 0,14)

Rialto



Most Santa Trinita preko Arna u Firenci





Izvorni oblik krivulje luka – zadivljujući iskorak u odnosu na do tada ostvarene.

Obrnuta lančanica predstavlja optimalni oblik svoda.

Kameni blokovi svoda spajani su željeznim sponama zalivenim u olovo.



Most preko Seine u Parizu: Pont Neuf



Prva primjena prikrivenog svoda – nosivi polukružni luk prikriven je istaknutim spandrilnim zidom izvedenim u obliku plićeg i elegantnijeg segmentnog luka.

Pont Royal

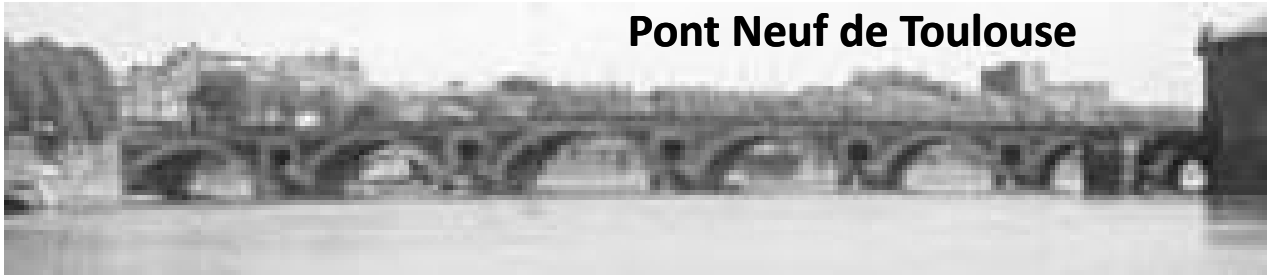


druga polovica 18. st.

Jean Perronet – École des ponts et Chaussées

- kvalitativni iskorak: primjena košarastih lukova, uvođenje uskih stupova (1/9-1/12(1/5)), razdvajanje masivnog stupišta na dva odvojena stupa koji podupiru svod rastavljen u lukove odnosno rebra;

Pont Neuf de Toulouse





- do 18. st. – oblikovanje svih svođenih mostova zasnovano je na geometrijskim kriterijima, a ne na kriterijima otpornosti; većina pravila oblikovanja zanemaruje ili pridaje malo važnosti debljini svoda;

- 1638. Galileo: “Discorsi e di mostrezioni matematiche intorno a due nuove scienze”, osnovna načela proračuna naprezanja;
- kraj 17.st. Robert Hooke – zakon na kojem se temelji teorija elastičnosti;

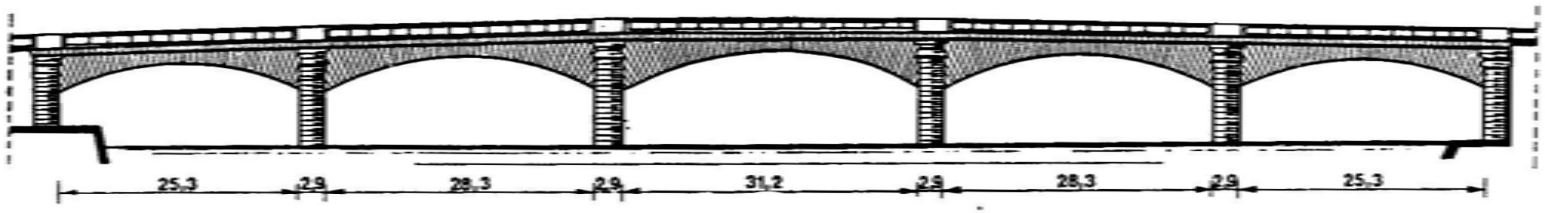
- 18. st. – razvitak prirodnih znanosti potakao je preobrazbu graditeljstva od zanata prema disciplini tehničkih znanosti;

- 1675. Corps des ponts et Chaussées, vladina ustanova za promicanje građevinarstva;
- 1716. Ingenieurs des Ponts et Chaussées, djelatnost koja se isključivo bavi gradnjom mostova i cesta potpuno odvojena od arhitekture;
- 1747. École des Ponts et Chaussées, prva visoka inženjerska škola, Pariz;

- gradnja mostova postaje samostalna profesija;

- 1695. De la Hire “Traite de Mechanique”, primjena statike na svodove;
- 1714. H. Gautier, ˝Traite des Ponts˝, knjiga koja se bavi isključivo mostovima;
- 1736.-1806.- Coulomb – u svojim radovima daje sintezu eksperimentalnih i teorijskih saznanja, postavio jednadžbe ravnoteže krutog tijela uključujući trenje;

(1785. Mascheroni; Couplet; 1846. Snell: stabilnost lukova;)



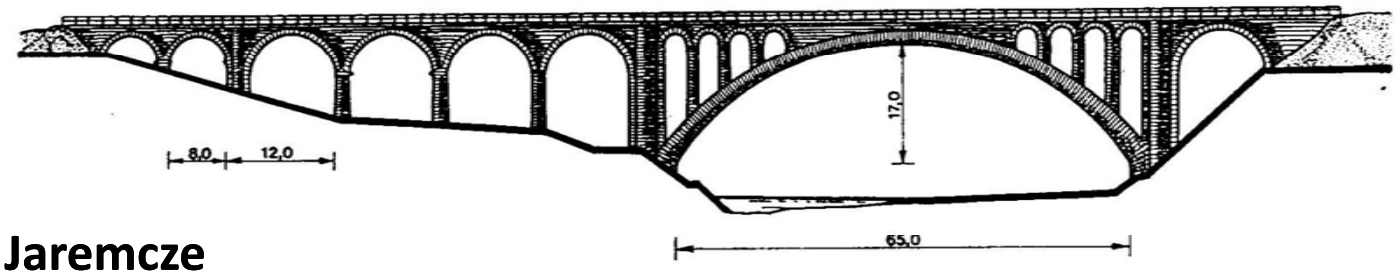
Most preko Seine u Parizu: La Concorde (građen od 1787. – 1790. godine)

- 19. st. – sigurnost kod izvedbe većih raspona (razvitak znanosti i lakša dostupnost informacija);
- Séjourné, 1913. - “Grandes Voûtes”;
- rasponi 40-60 m od klesanaca, polutesanog kamena, lomljenog kamena, betona i opeke; gdje nije bilo šire prepreke: rasponi 15-25 m;





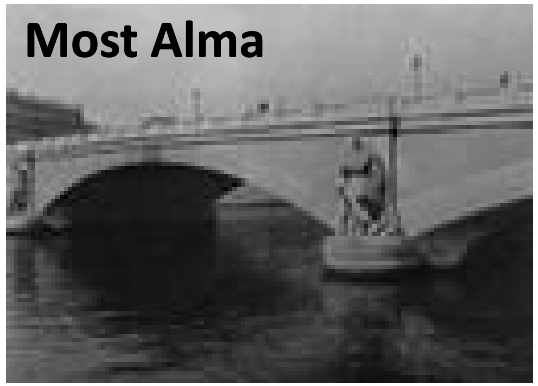


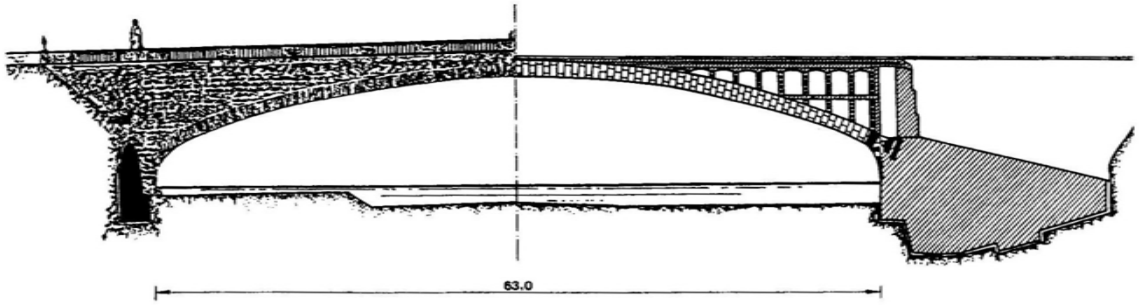


Jaremcze

Važniji mostovi toga razdoblja:

- Grosvenor, dovršen 1832. g., kružni segmentni luk otvora 61 m;
- Most Alma, Pariz, 1854. g., tri elipsasta luka raspona 43 m, strelice 8,2 m;
- Göltzschtal, 1846. g., četverokatni željeznički vijadukt od opeke sa središnjim lukom raspona 30,3 m;
- Jaremcze, Ukrajina, Austro-Ugarska monarhija, 1894. g., raspon 65 m;
- Prinz-Regentbrücke, Münchenu, 1901. g., raspon 63 m;

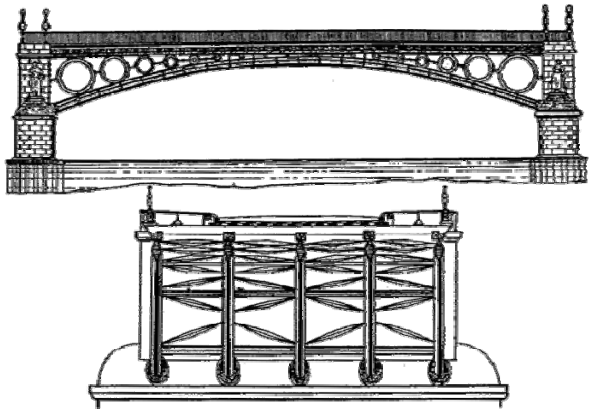


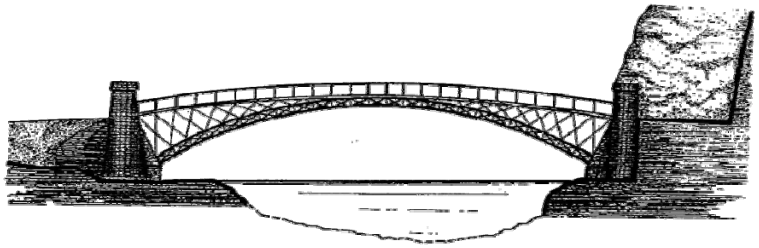


Prinz-Regentbrücke

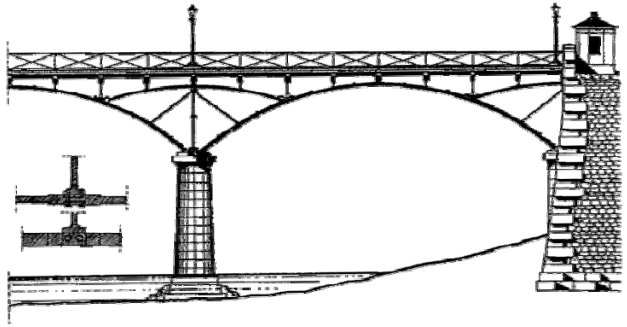
Željezni i čelični mostovi

- prvi most od lijevanog željeza raspona 30 m:
Lučni most preko rijeke Severn u Coalbrookdalu, 1779.

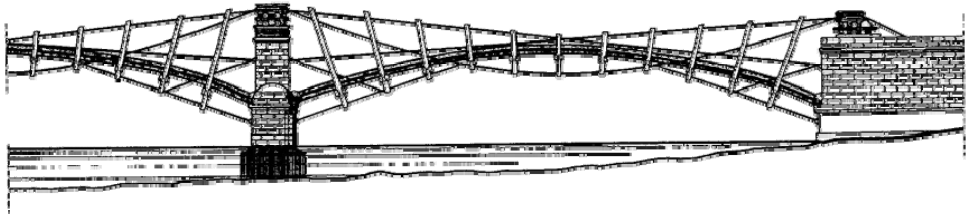




Most preko rijeke Spey kraj Craigellachiea, Škotska, 1813. g.
- raspon 50 m; otvoreni spandrilni zid ojačan spregom – prvi
- moderni metalni most; graditelj Thomas Telford

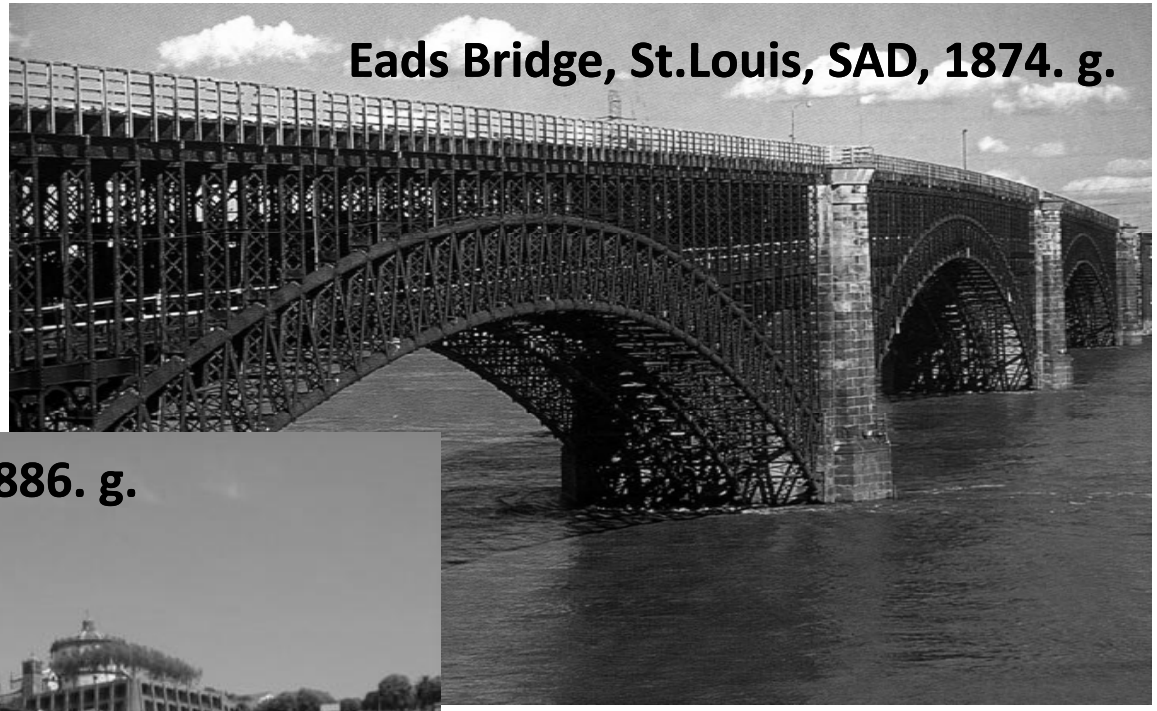


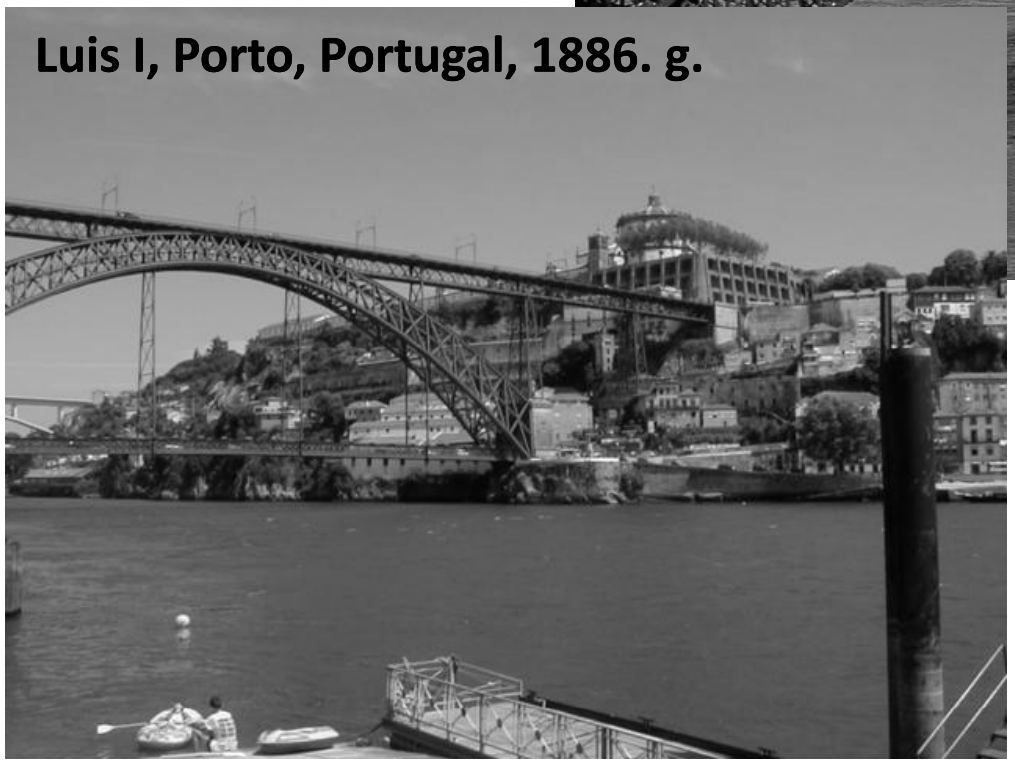
Pont des Arts, Pariz, 1804. g.

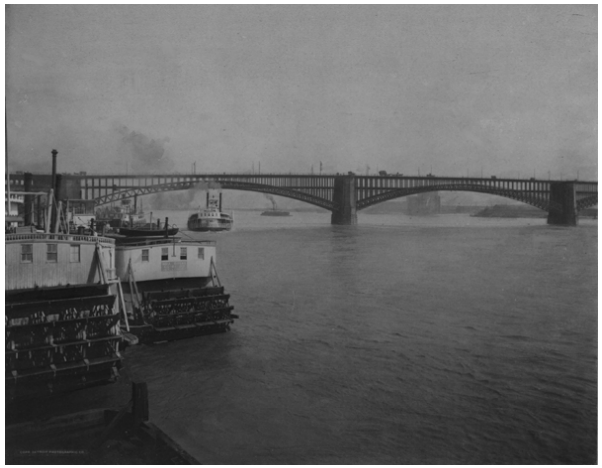


Most Carrousel i viseća skela, Pariz

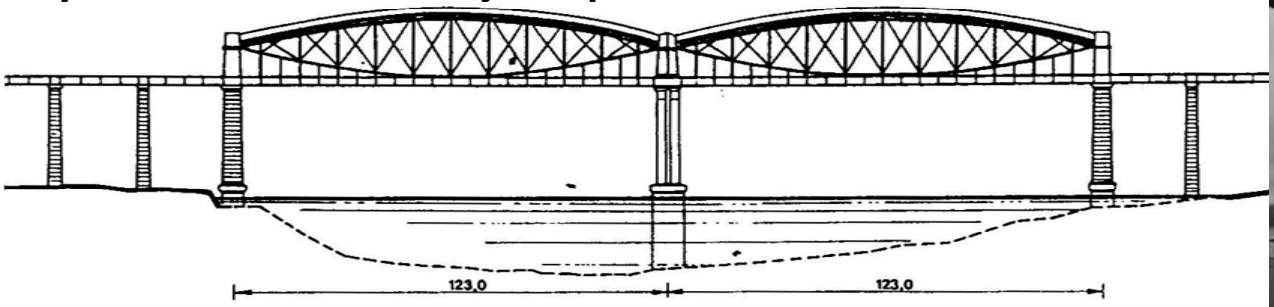



Eads Bridge, St.Louis, SAD, 1874. g.

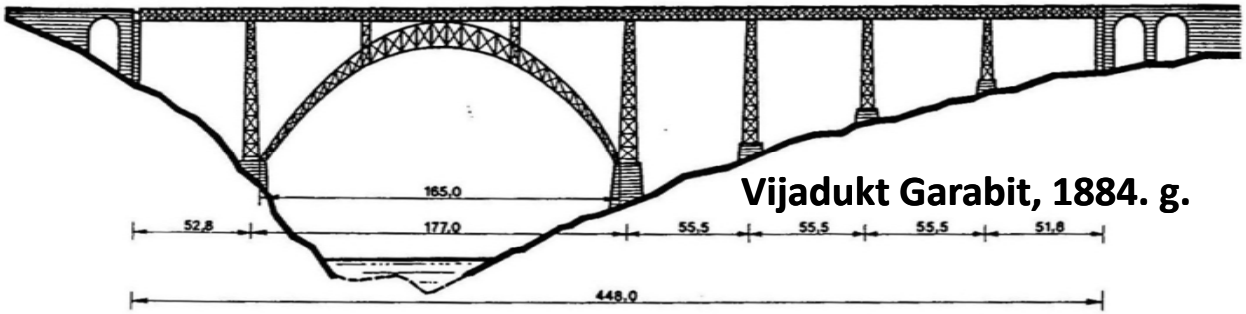

Luis I, Porto, Portugal, 1886. g.



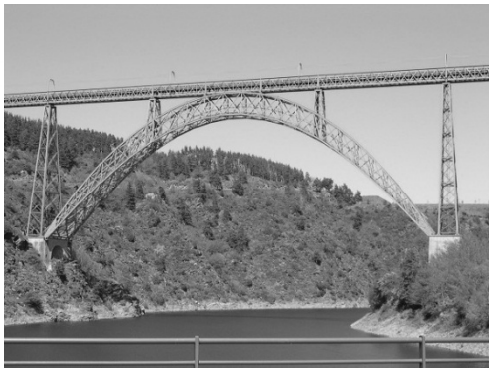
Royal Albert, Velika Britanija, rasponi 123 m;

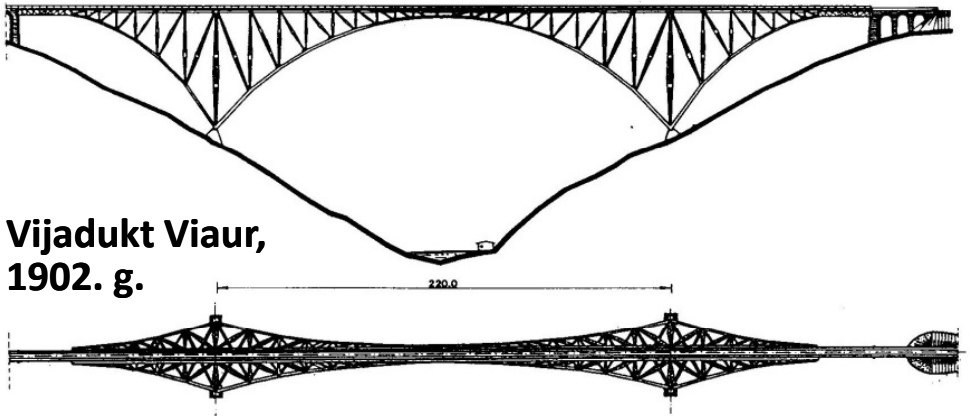






Vijadukt Garabit, 1884. g.





Vijadukt Viaur, 1902. g.

Početkom 20. st. građeni su i punostijeni lučni mostovi.
remekdjelo mostogradnje: Most Aleksandra III, Pariz, 1900. g.
(punostijeni trozglobni luk)









Vremensko razdoblje od 1915.-1940. g. najviše označava izgradnja velikih čeličnih lukova, koji do danas nisu nadmašeni:

Most Hell Gate



Most Hell Gate, New York: dvozglobni rešetkasti luk; raspona 298 m;

Sydney Harbour Bridge; raspona 503 m;

Usporedba:



Vremensko razdoblje od 1915.-1940. g. najviše označava izgradnja velikih čeličnih lukova, koji do danas nisu nadmašeni:

Sydney Harbour



Bayonne

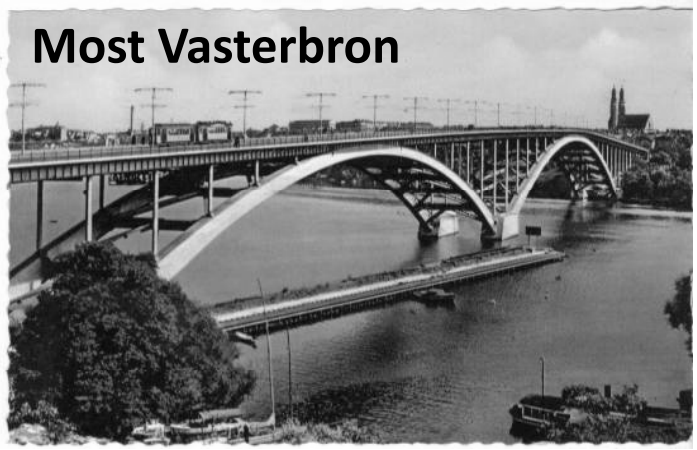


Most Vasterbron preko jezera Mälarsee u Stockholmu, 1933. g.; raspona 204 m;

Bayonne preko zaljeva Kill van Kull; raspona 511 m;

Sydney Harbour Bridge, raspona 503 m;

Most Vasterbron





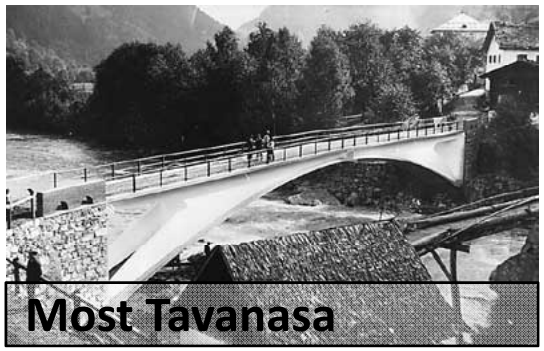
Betonski i armiranobetonski mostovi

- završilo razdoblje velikih kamenih lučnih mostova;
- prvi veći most: akvedukt preko rijeke Murg, 1885. g. raspona 40 m;

Maillart: mostovi Tavanasa, Salginatobel i Schwandbach

Hennebique: most Risorgimento

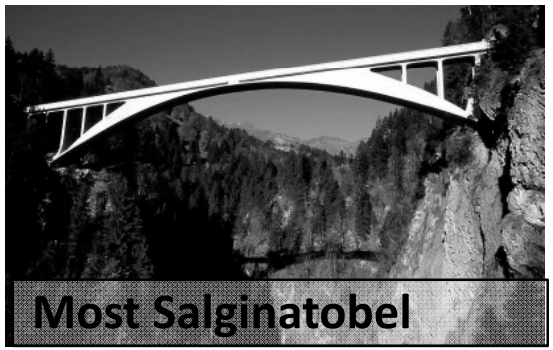
Freysinnet: mostovi Le Veurdre, Saint-Pierre du Vauvray, Albert Louppe (Plougastel)



Most Tavanasa



Most Schwandbach

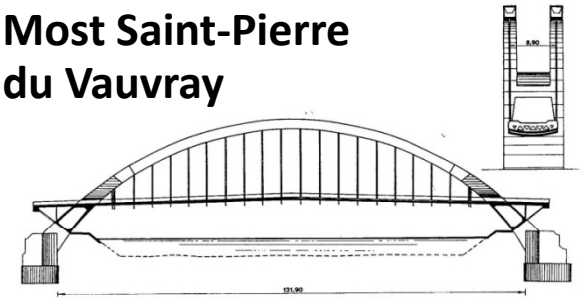


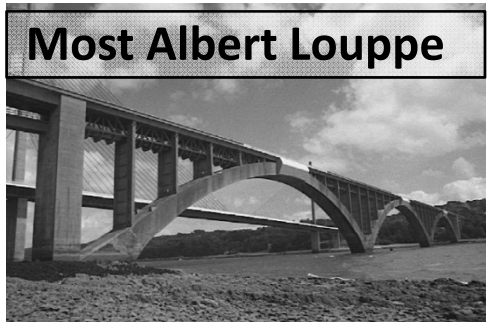
Most Salginatobel



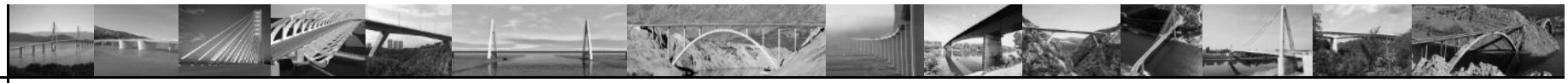
Most Risorgimento

Most Saint-Pierre du Vauvray





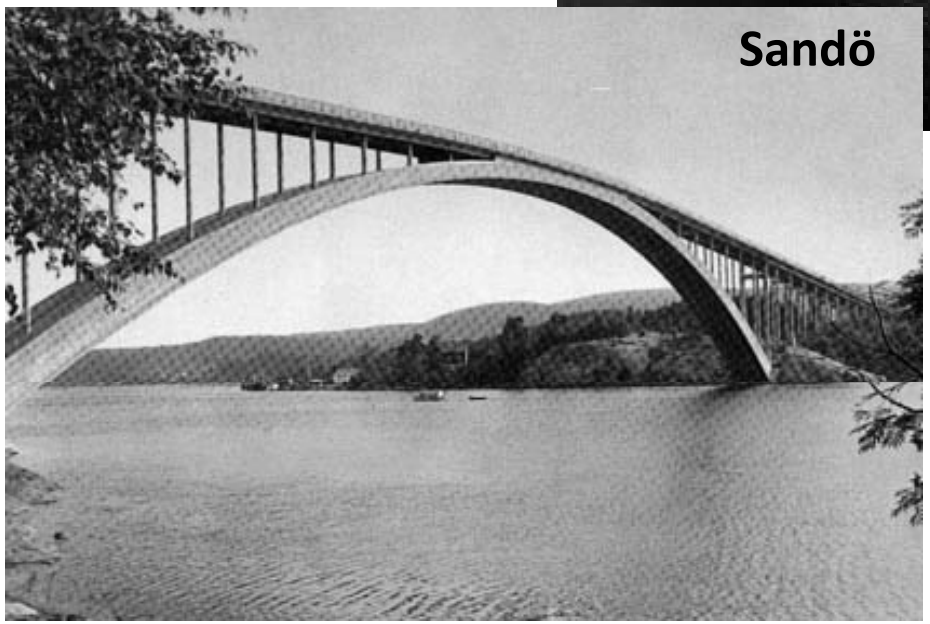
Most Albert Louppe



Viaducto Martin Gil



Sandö



Za vrijeme 2. svjetskog rata:

Željeznički most Viaducto Martin Gil, Španjolska, raspona 192 m;

Most Sandö u Švedskoj, raspona 264 m;



suvremeni armiranobetonski lučni mostovi

konkurentnost

- gredni sustavi
- zavješeni sustavi

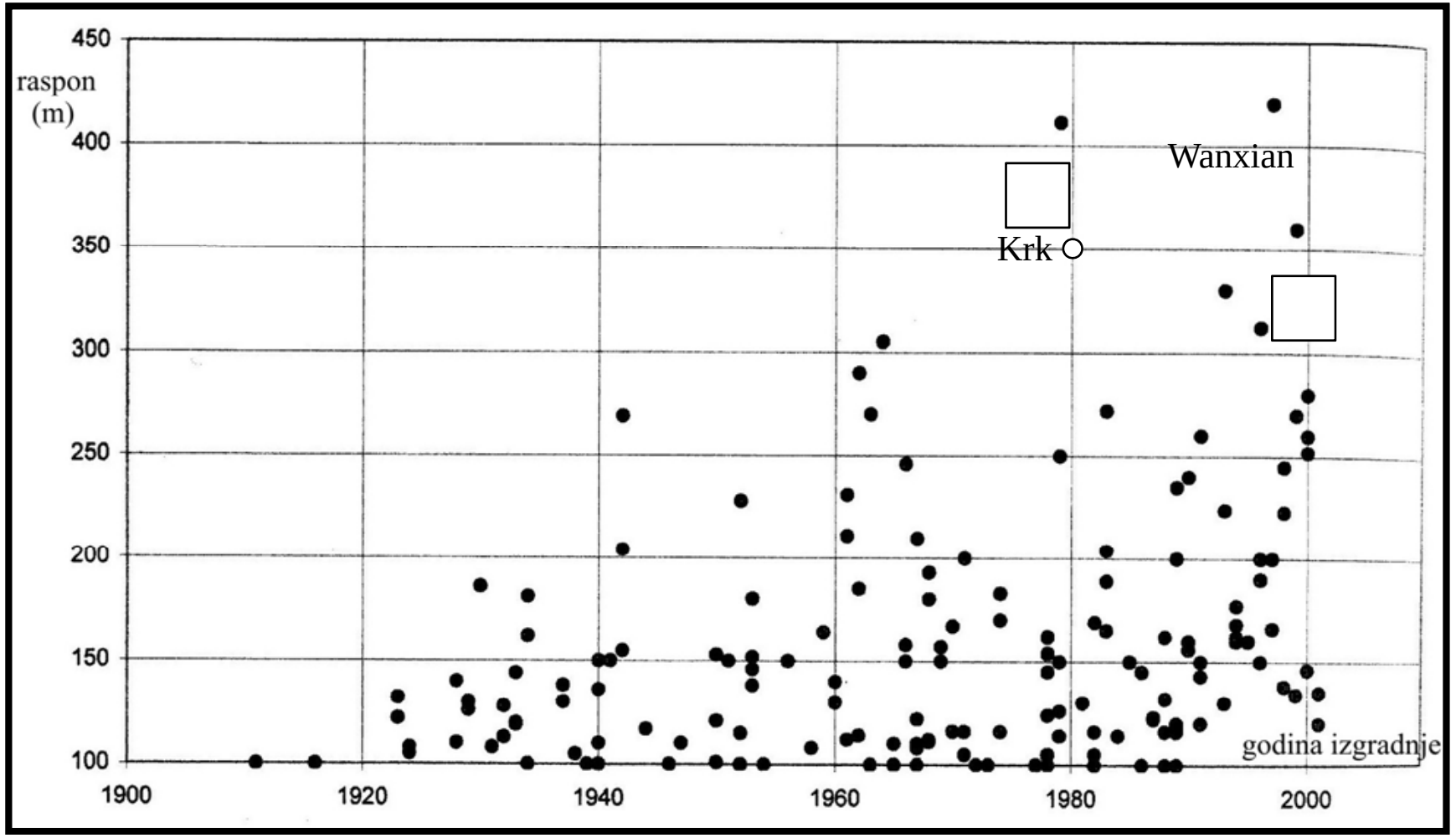
razvitak postupaka izvedbe

uključivanje što je moguće više izvedenih dijelova luka u preuzimanje vlastite težine neizvedenih dijelova luka

kombinacije +

- **izvedba na skeli**
- **kruta armatura**
- **konzolna gradnja (zatege i pomoćni pilon)**
- **konzolna gradnja (privremene zatege-Pratt)**
- **zaokretanje luka**

Izvedeni betonski lučni mostovi



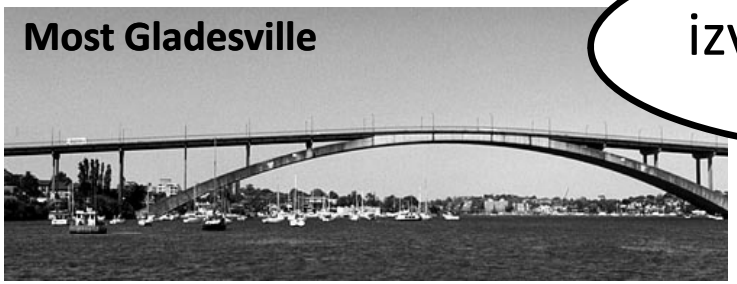


pojedini postupci izvedbe razvili su se vezano uz određeni prostor sukladno općim okolnostima

(pristupačna gradiva, razvijenost operative, odnos cijena gradivo/rad)

izvedba na skeli

Most Gladesville



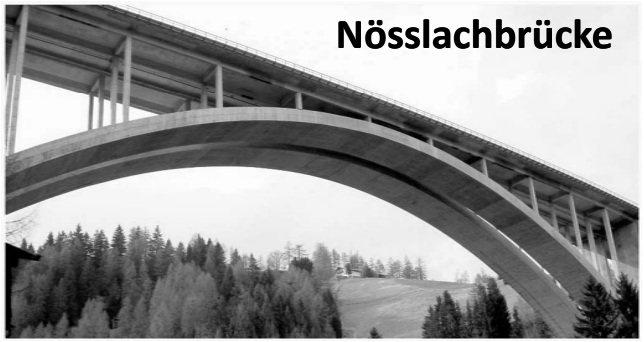
Most Arabida



Vijadukt Fiumarella

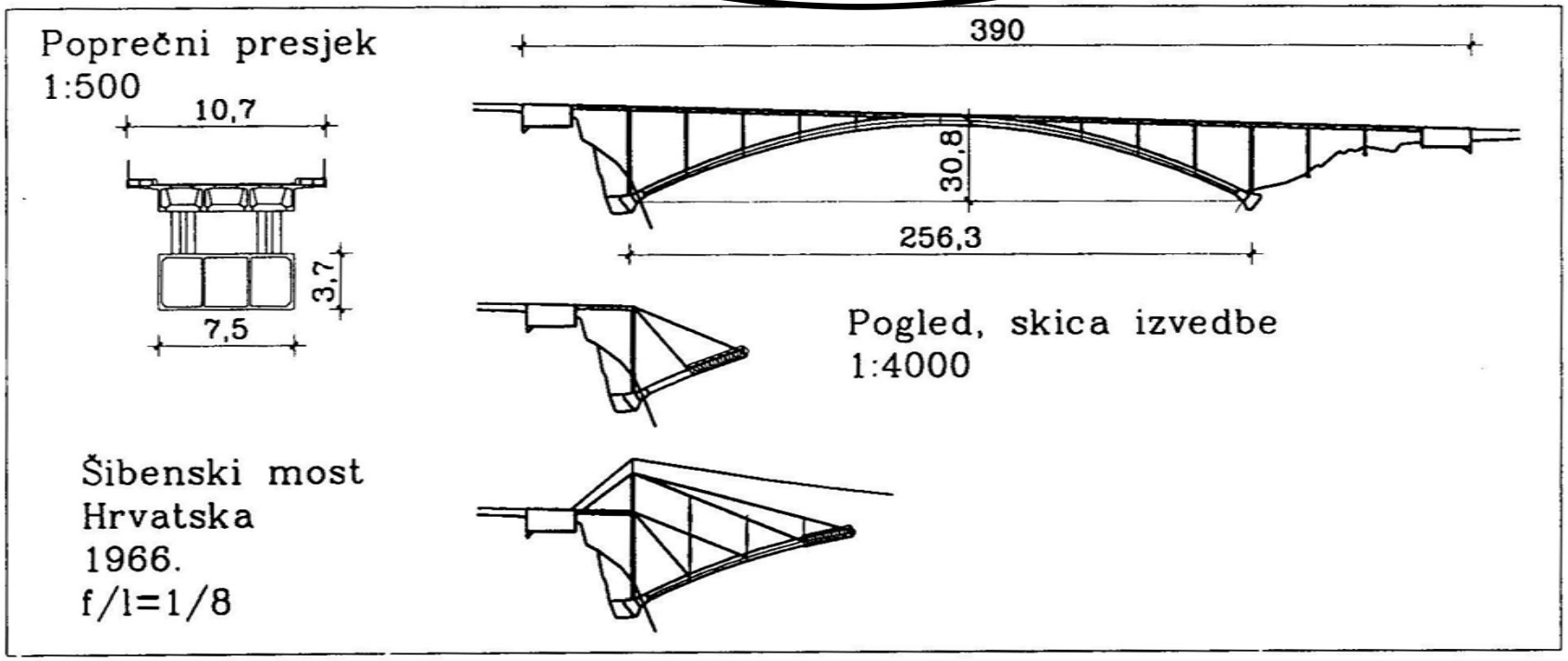


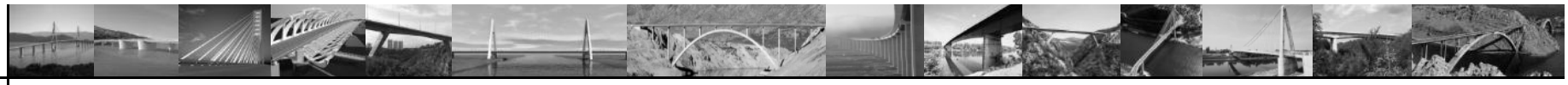
Nösslachbrücke



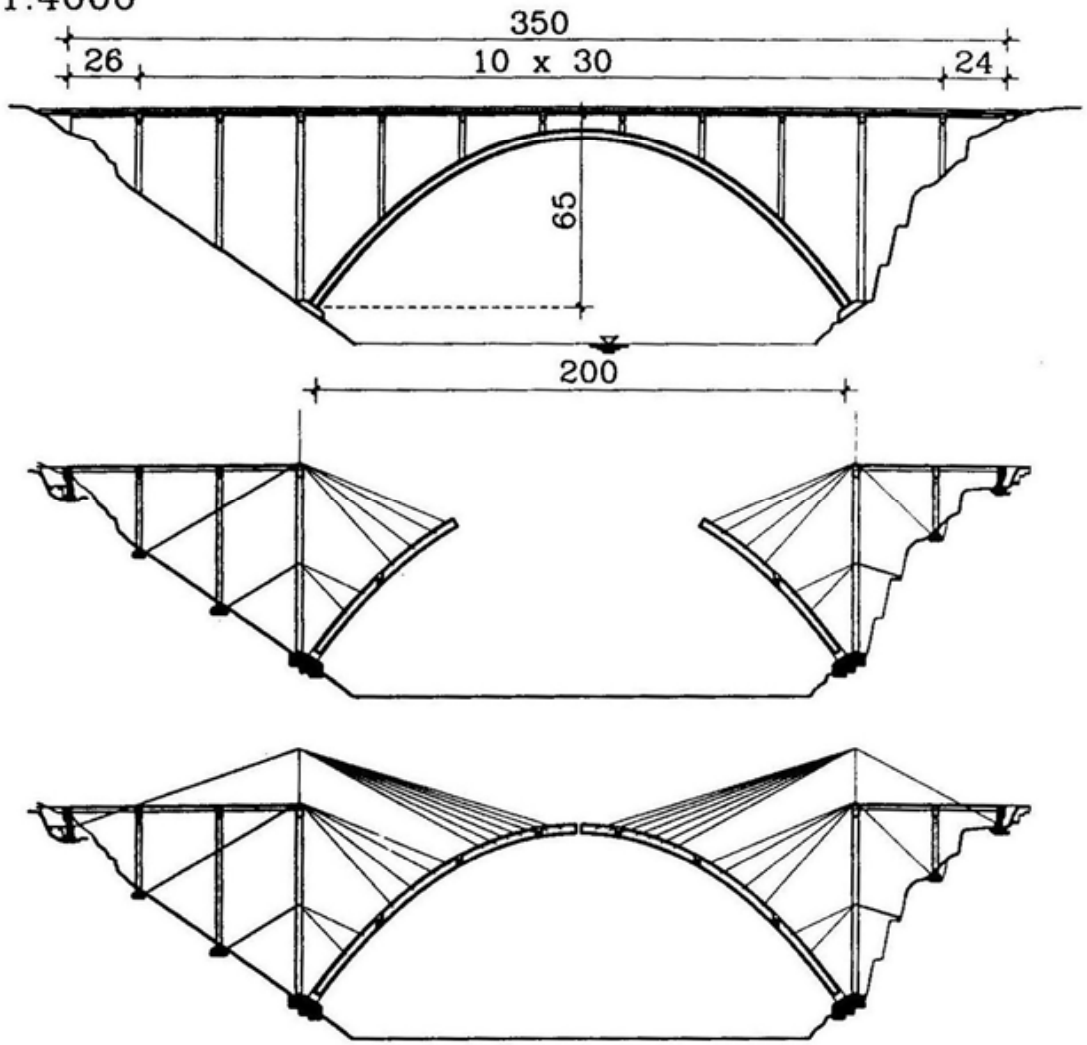
podaci o izvedbi lukova dani su samo pregledno uz zaključak da tehničke mogućnosti izvedbe nisu ograničavajući faktor raspona luka, već samo cijena izvedbe

konzolna gradnja
(zatege i pomoćni pilon)

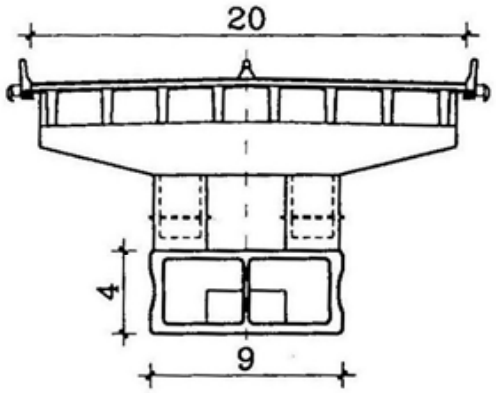




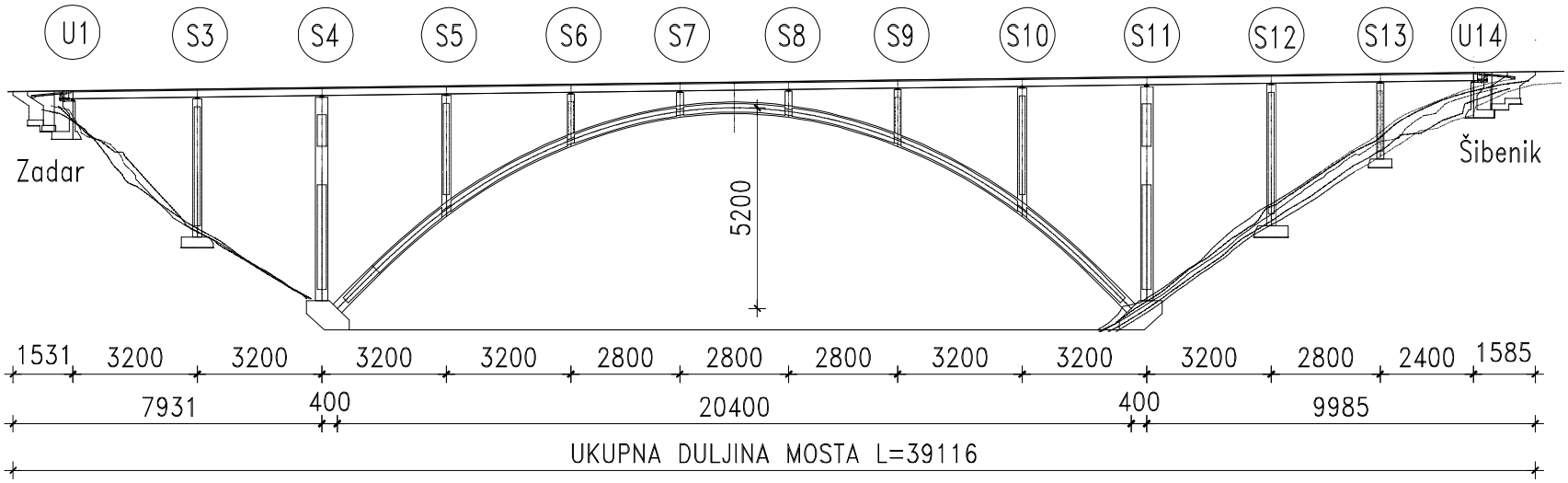
Pogled, skica izvedbe
1:4000

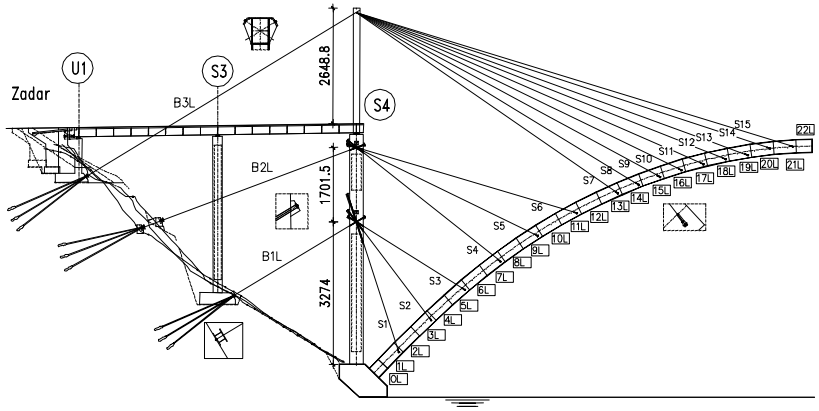


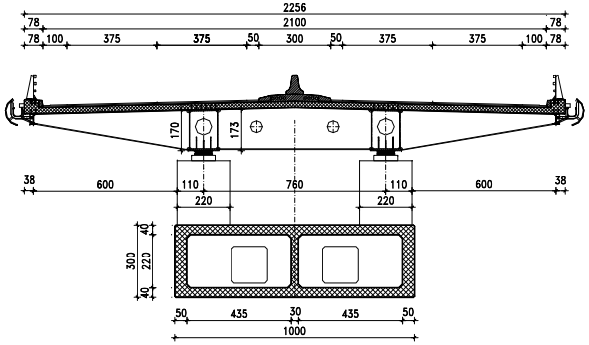
Poprečni presjek
1:500



Maslenički most
Republika Hrvatska
1997.
f/l=1/3,08

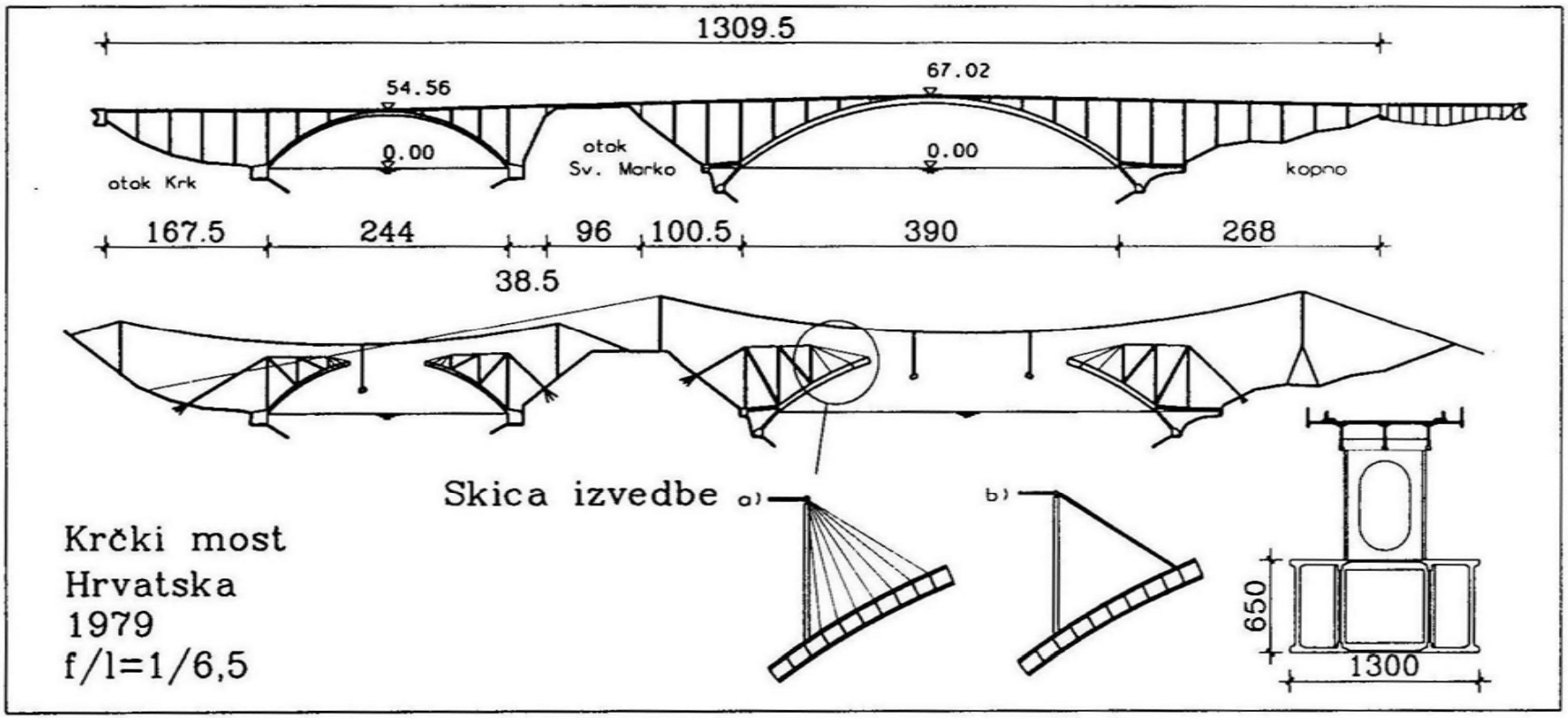






Most preko rijeke Krke

konzolna gradnja
(privremene zatege-Pratt)

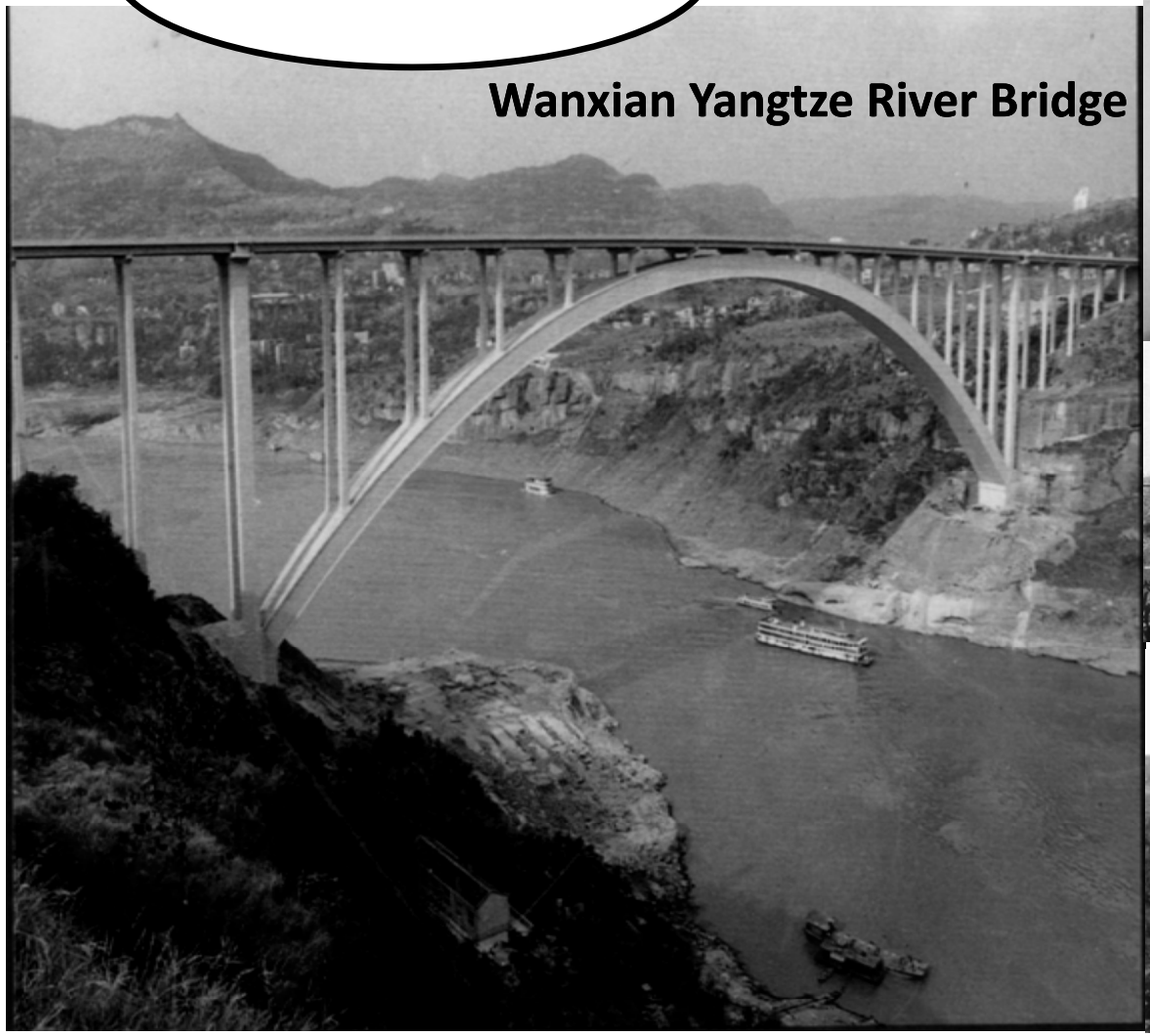


zaokretanje luka

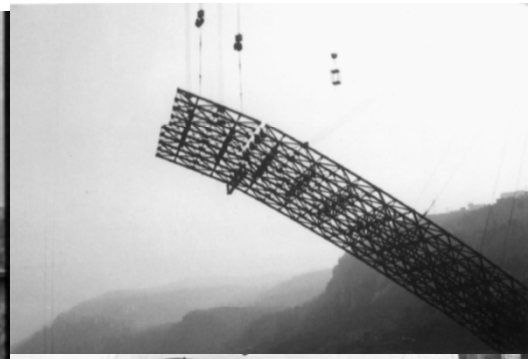
Argentobelbrücke



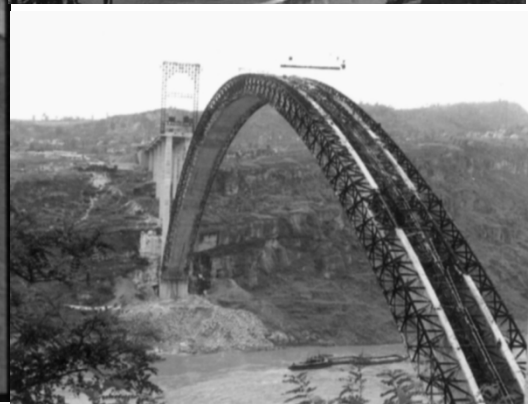
kruta armatura



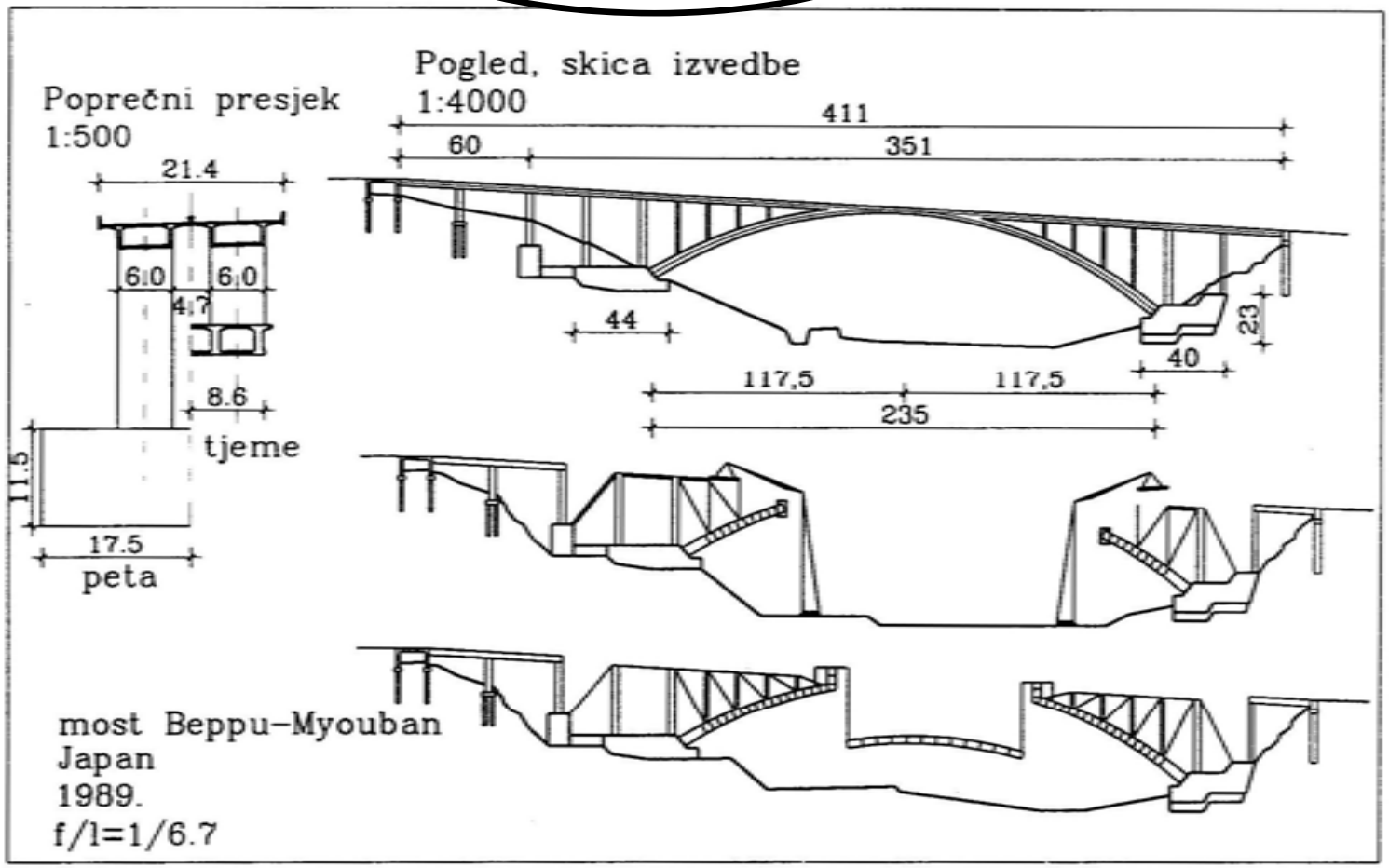
Wanxian Yangtze River Bridge



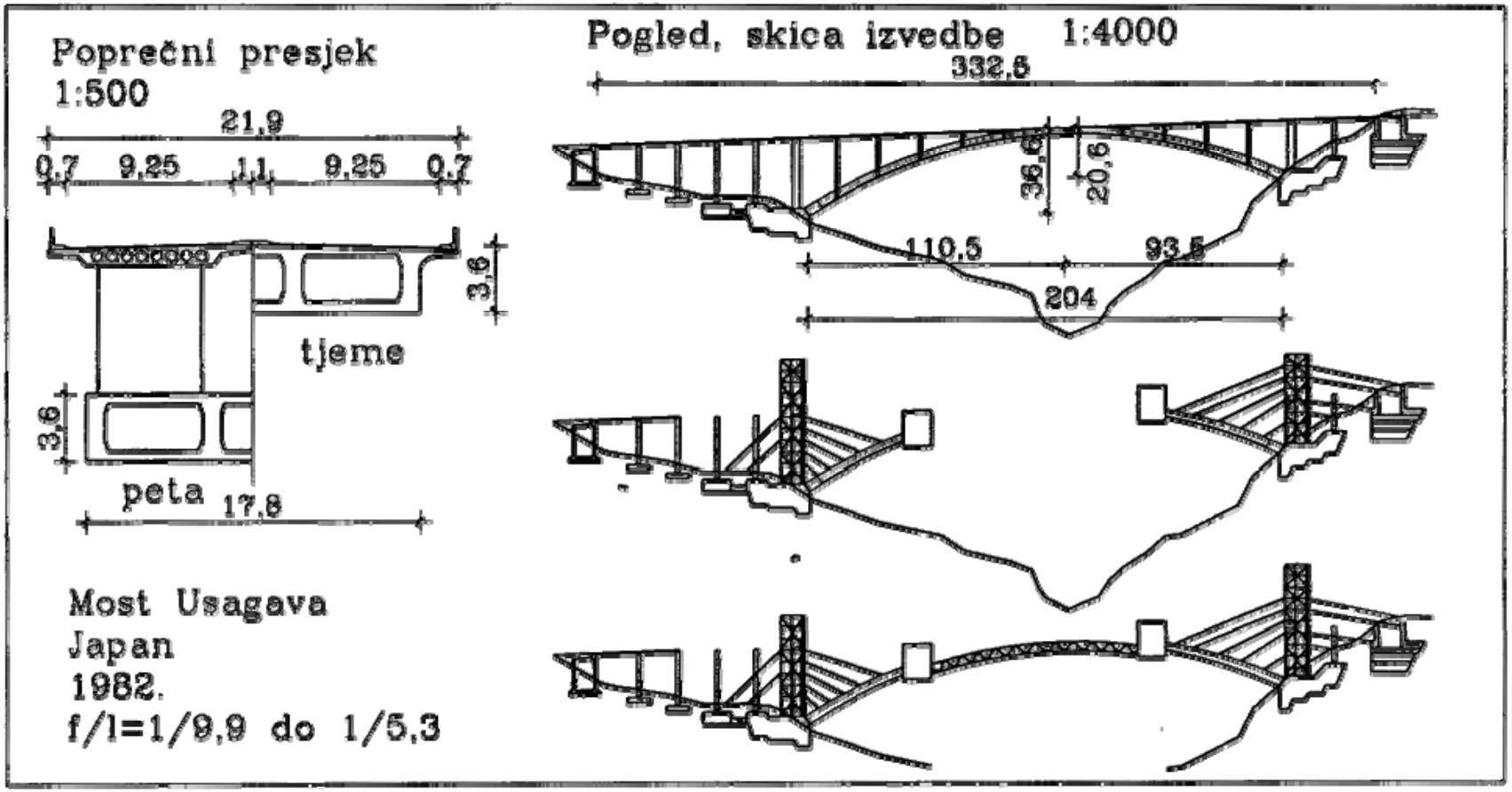




kombinirani postupci



formiranje rešetke i Melanov postupak



konzolna izvedba s privremenim zavješenjem luka o pomoćni pilon i montažna kruta armatura



suvremeni čelični lučni mostovi

s t a g n a c i j a

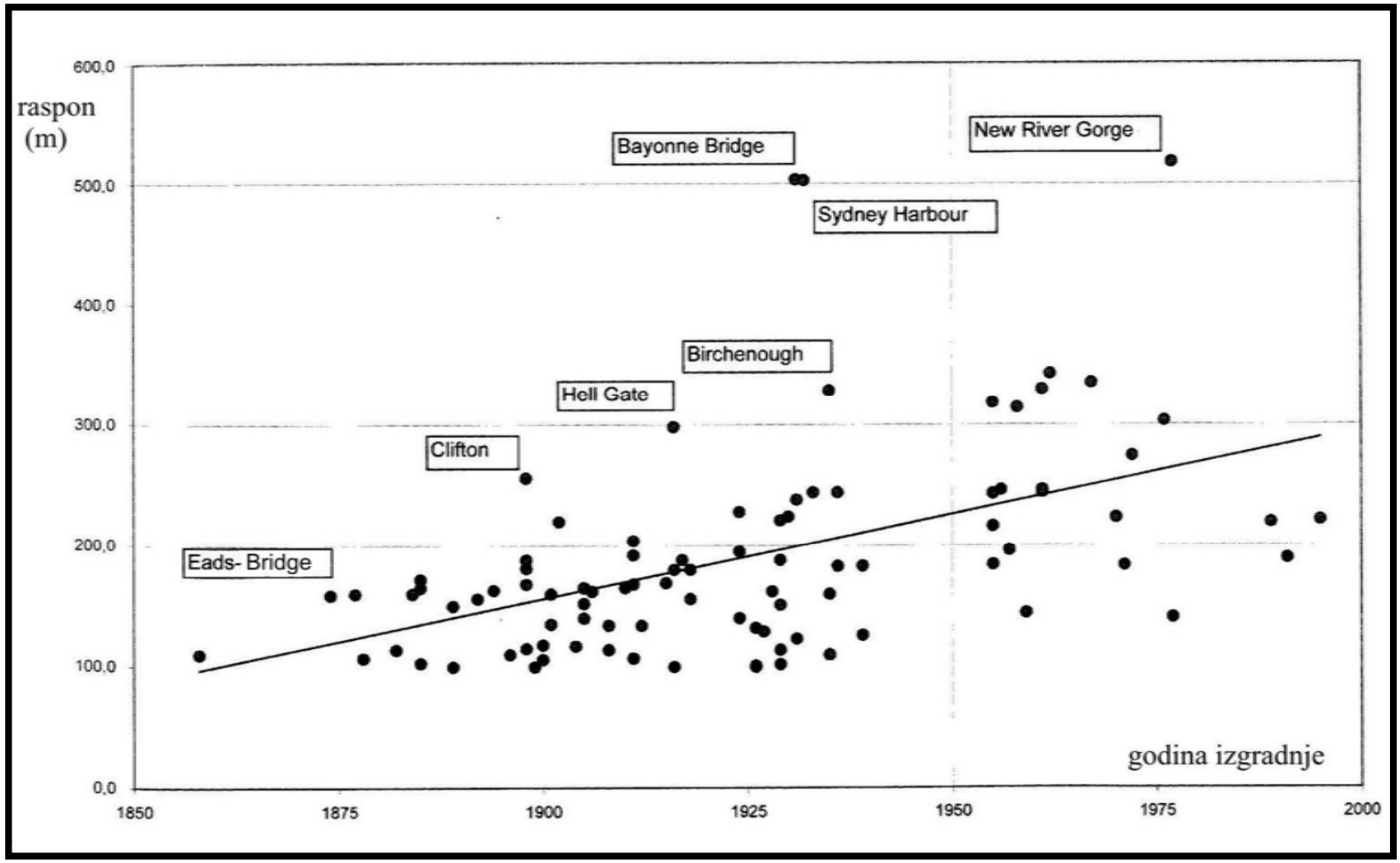
SAD ← | → Japan

- spregnuti mostovi;
- lučni mostovi s kolnikom dolje;
- mostovi s djelomično upuštenim kolnikom;
- (spregnuti poprečni presjeci);

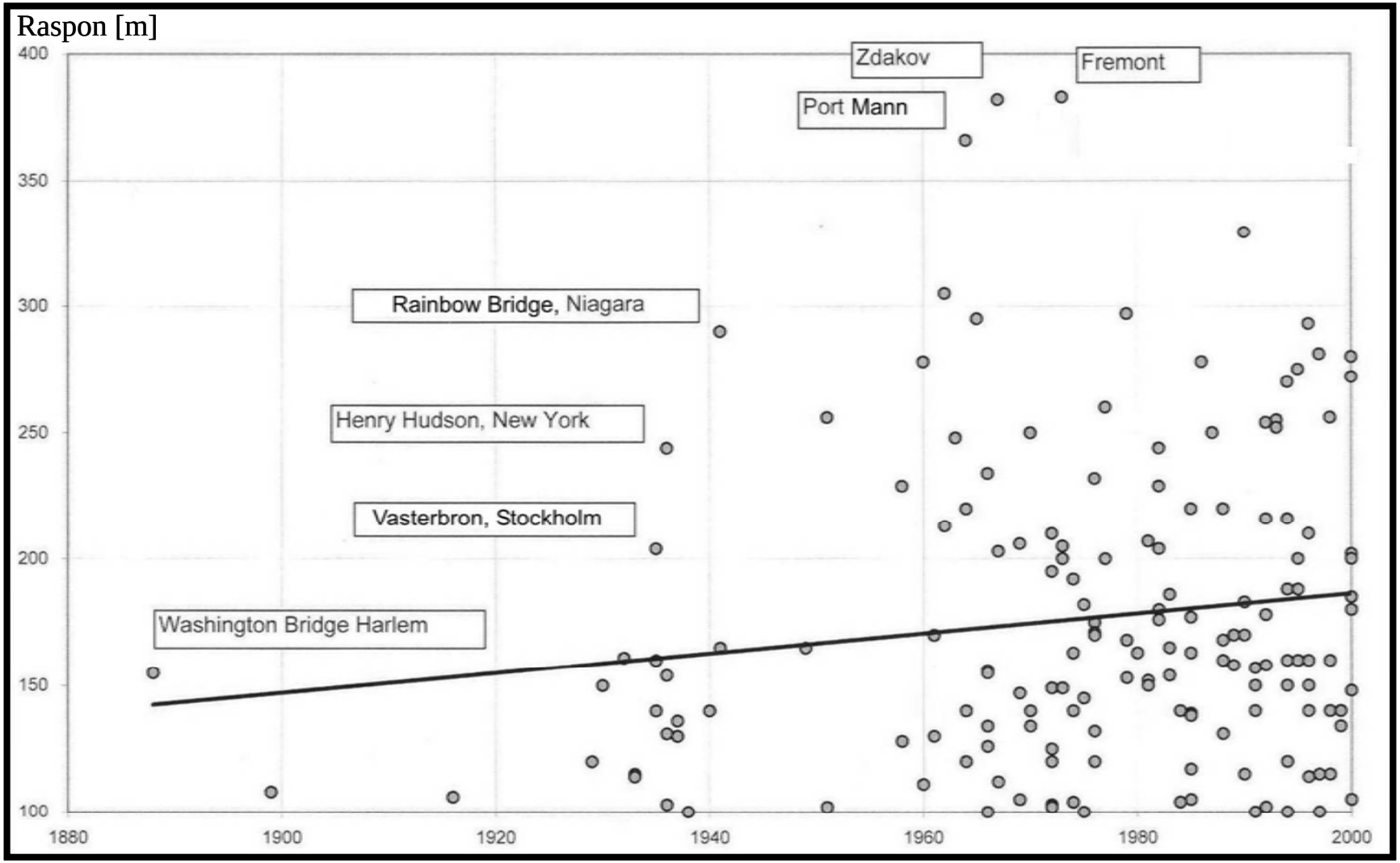
postupci izvedbe

sve metode gradnje masivnih mostova prvo su primjenjene kod čeličnih mostova

Izvedeni čelični rešetkasti lukovi



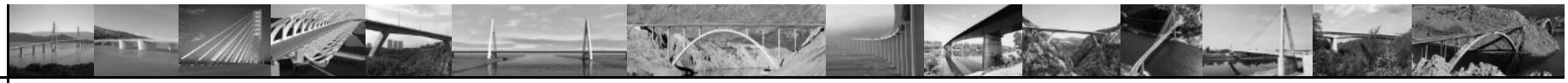
Izvedeni čelični rešetkasti lukovi





Izvedeni punostijeni čelični lukovi L>150 m

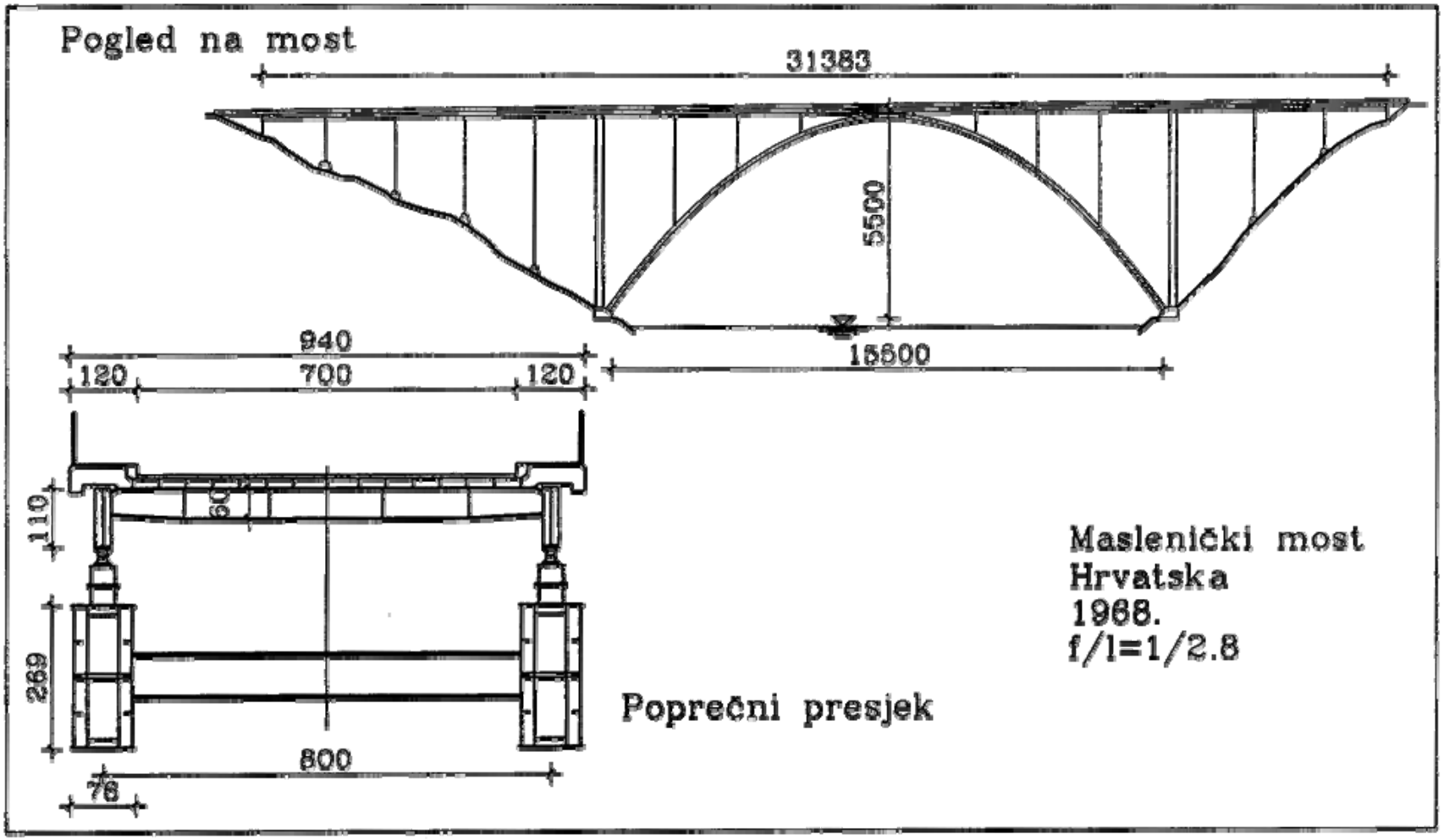
Godina / Zemlja	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	∑
Japan								1	8	7	8	**24**
SAD	1				1	3	1	2	4	6	2	**20**
Njemačka					1		1	2	2	2	5	**13**
Kina										1	8	**9**
Nizozemska					1			3		1	3	**8**
Hrvatska							1					**1**
ostale				1	2			3	1	4	4	**16**
∑	**1**	**0**	**0**	**1**	**5**	**3**	**3**	**11**	**15**	**21**	**30**	**90**



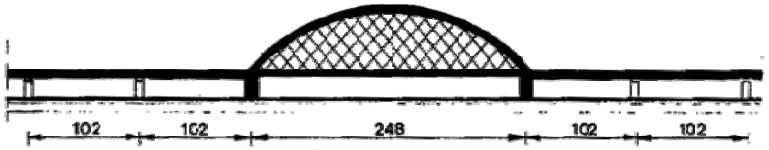
Most preko Vltave kod Ždakova



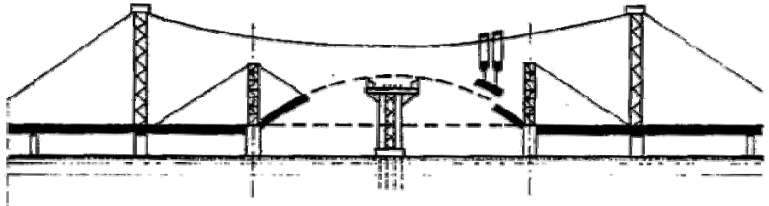



Pogled na most
31383
5500
940
120
700
120
15600
110
60
269
800
76
Poprečni presjek
Maslenički most
Hrvatska
1968.
f/l=1/2.8



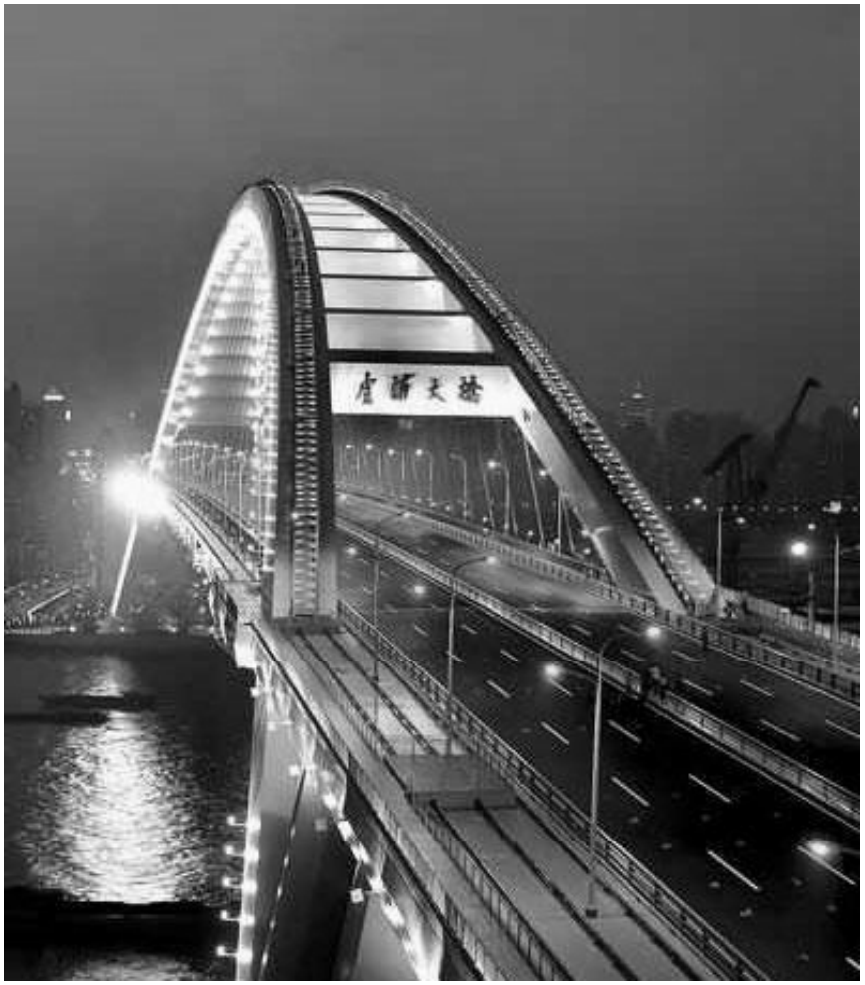


Fehrmarsund

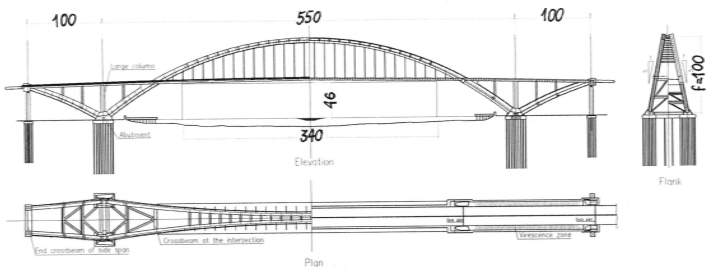




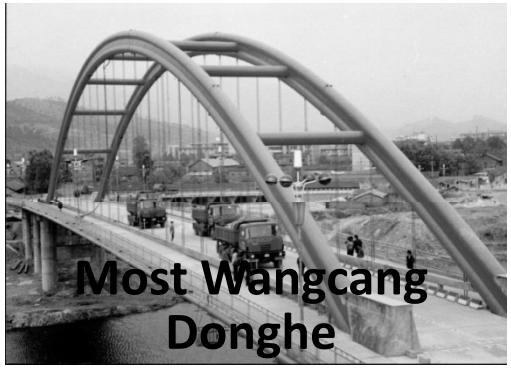
New River Gorge

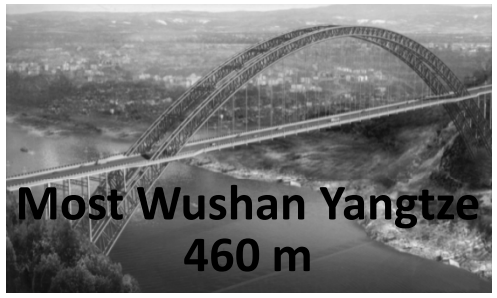


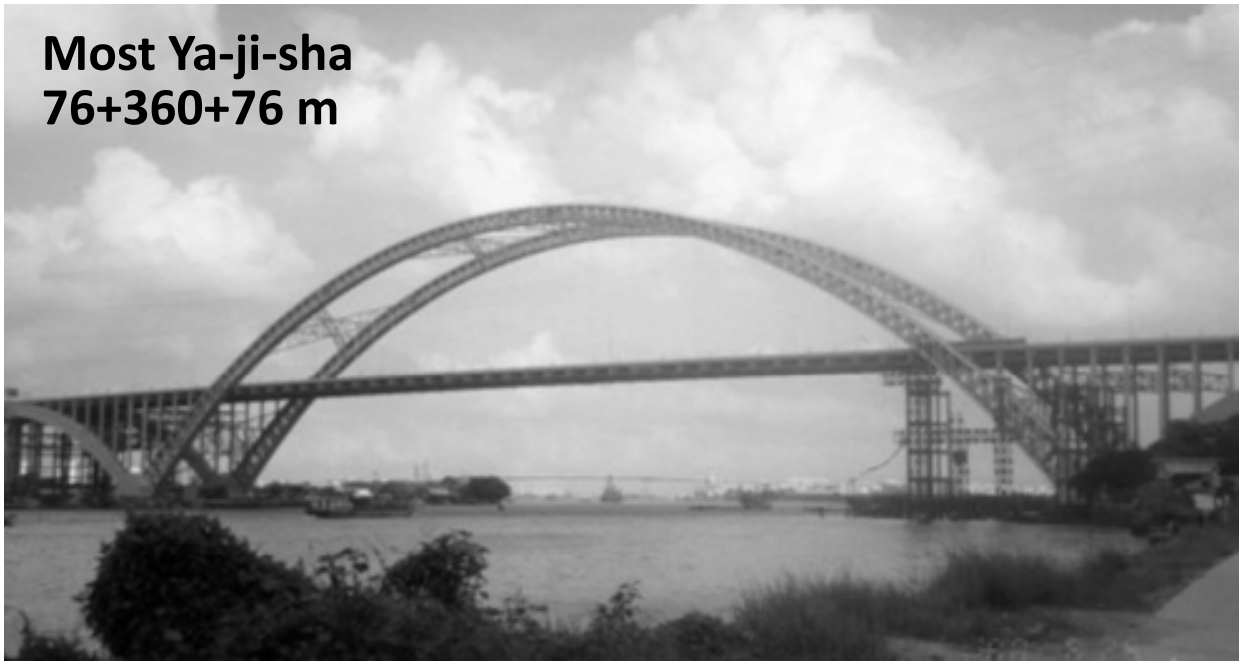



100
550
100
46
340
f=100
Elevation
Flank
Plan

Lučni mostovi s čeličnim cijevima ispunjenim betonom







kombinacija zaokretanja u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini





NAČELA OBLIKOVANJA



UOBIČAJENI SUSTAVI

UPETI LUKOVI	Srednji i veći rasponi, najčešće s kolnikom gore, konstantni ili promjenjivi poprečni presjek
ELASTIČNO UPETI LUKOVI	Znatna promjena momenta inercije nosača duž luka, smanjenje pri petama, srpasti oblik
JEDNOZGLOBNI LUKOVI	Zglob u tjemenu
DVOZGLOBNI LUKOVI	Rijetko u masivnim gradivima
TROZGLOBNI LUKOVI	Statički određen sustav, rijetko se danas rabi za konačno stanje
LUKOVI S PREUZETIM POTISKOM	Luk sa zategom, vrlo rijetko za masivne mostove

UPETI LUKOVI

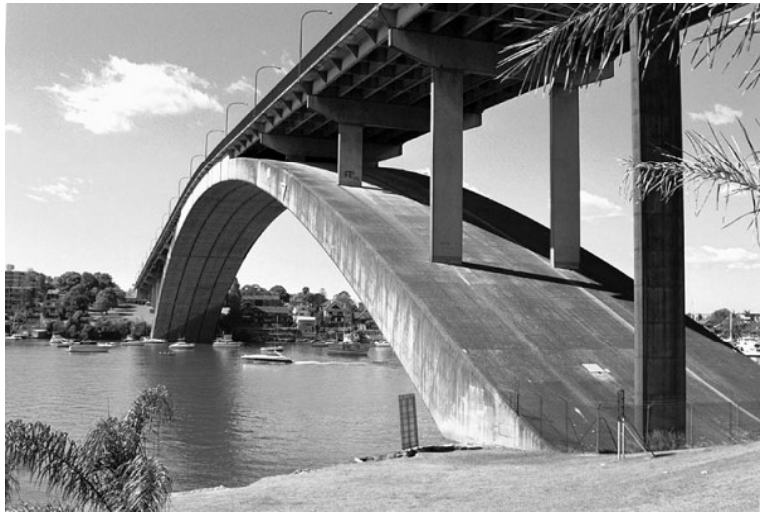
Rasponi masivnih lukova – racionalni 40 – 300 m

Nadlučni sklop – najčešće AB ili PB, rasponi 10 – 50 m,
i u spregnutoj izvedbi

3 puta statički neodređen nosač, znatna naprezanja od temperature, pomaka oslonaca i dugotrajnih pojava u betonu

Konstruktivno najjednostavniji, izvedbeno najpovoljniji

Promjena poprečnog presjeka - prema potrebi



Most Gladesville, Sydney

Rasponi 40 – 150 m oblikovno najpovoljniji, pogodni za gradski okoliš, nadvožnjake

Nadlučni sklop – bez stupova ili s minimalnim brojem stupova

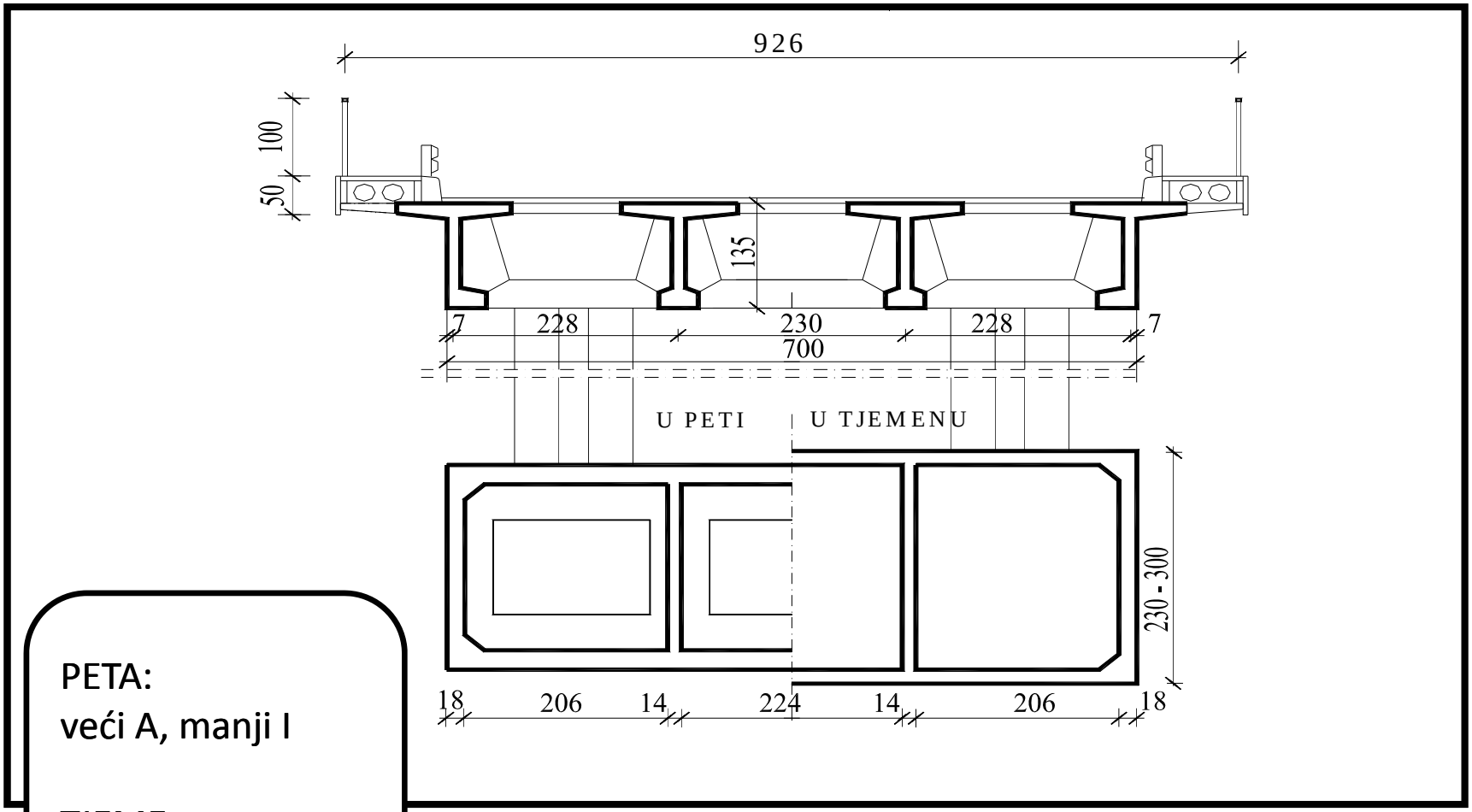
Ideja: smanjiti moment tromosti i na mjestu gdje se u luku očekuju najveći momenti

Ujednačeni momenti duž nosača – racionalan presjek



Paški most

ELASTIČNO UPETI LUKOVI



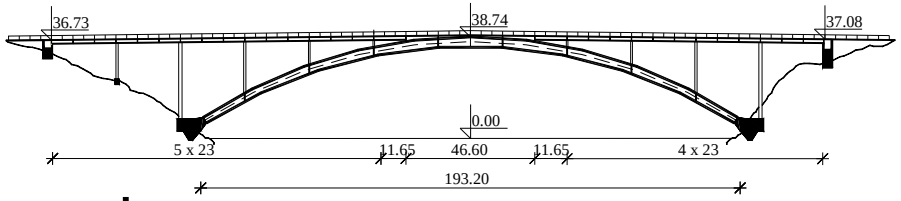
PETA:
veći A, manji I

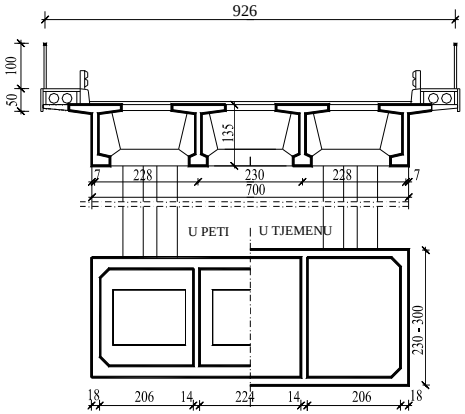
TJEME:
manji A, veći I

Paški most

ELASTIČNO UPETI LUKOVI

Paški most









DVOZGLOBNI LUKOVI

Umetanjem zglobova u petama mogu se smanjiti neka nepovoljna djelovanja – utjecaj pomaka ili zakretanja vrha temelja

Svrsishodan oblik – debljina najveća u tjemenu, smanjuje se prema petama

Jedini moderni dvozglobni luk velikog raspona – Lingenau, Austrija, L=210 m. U pete luka ugrađeni su čelični ležaji, a most je izveden na čeličnoj cijevnoj skeli

Uobičajeno – čelični lukovi manjih i srednjih raspona (Maslenički most na državnoj cesti)

DVOZGLOBNI LUKOVI

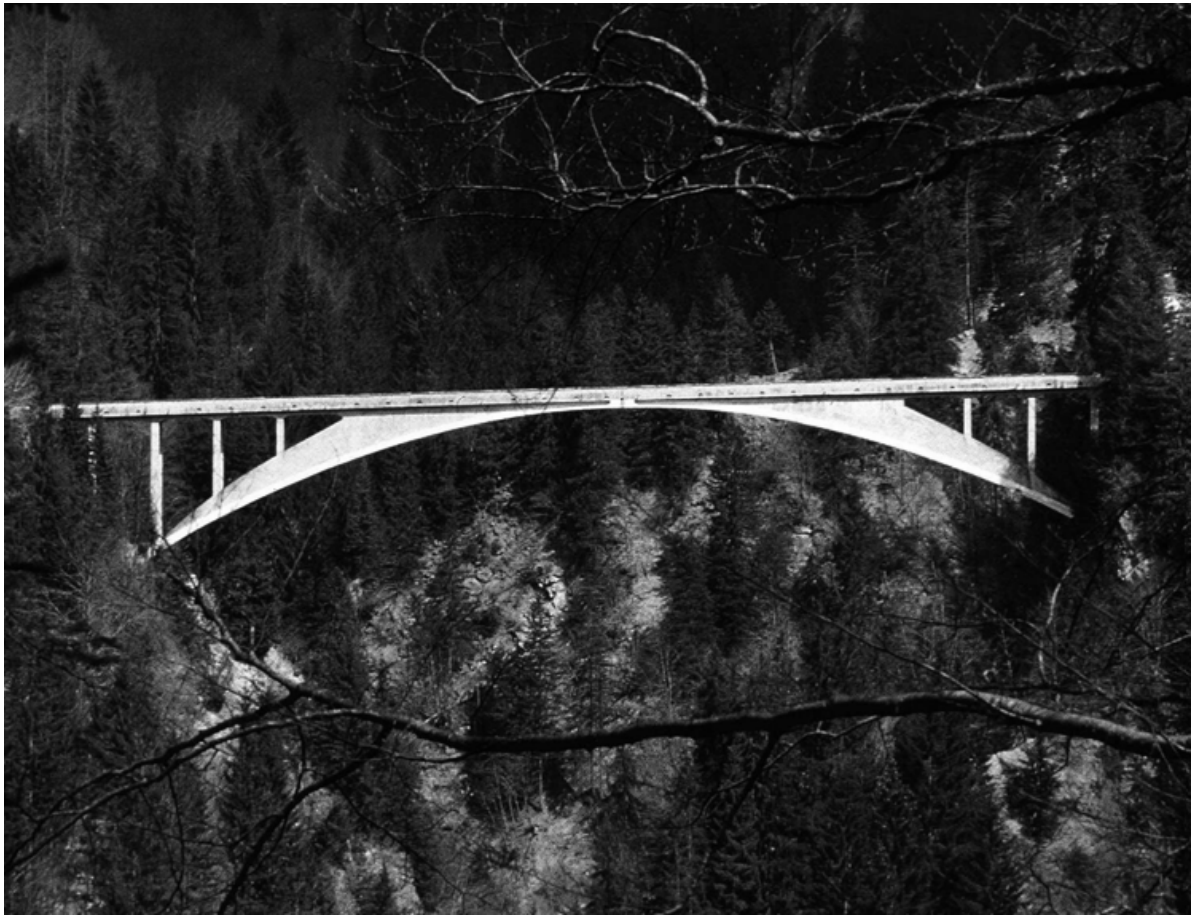


most Albgrün, Njemačka

TROZGLOBNI LUKOVI

Pretvaranjem lučnog nosača u statički određen sustav trozglobnog luka – još znatnije smanjenje unutarnjih sila od parazitnih utjecaja

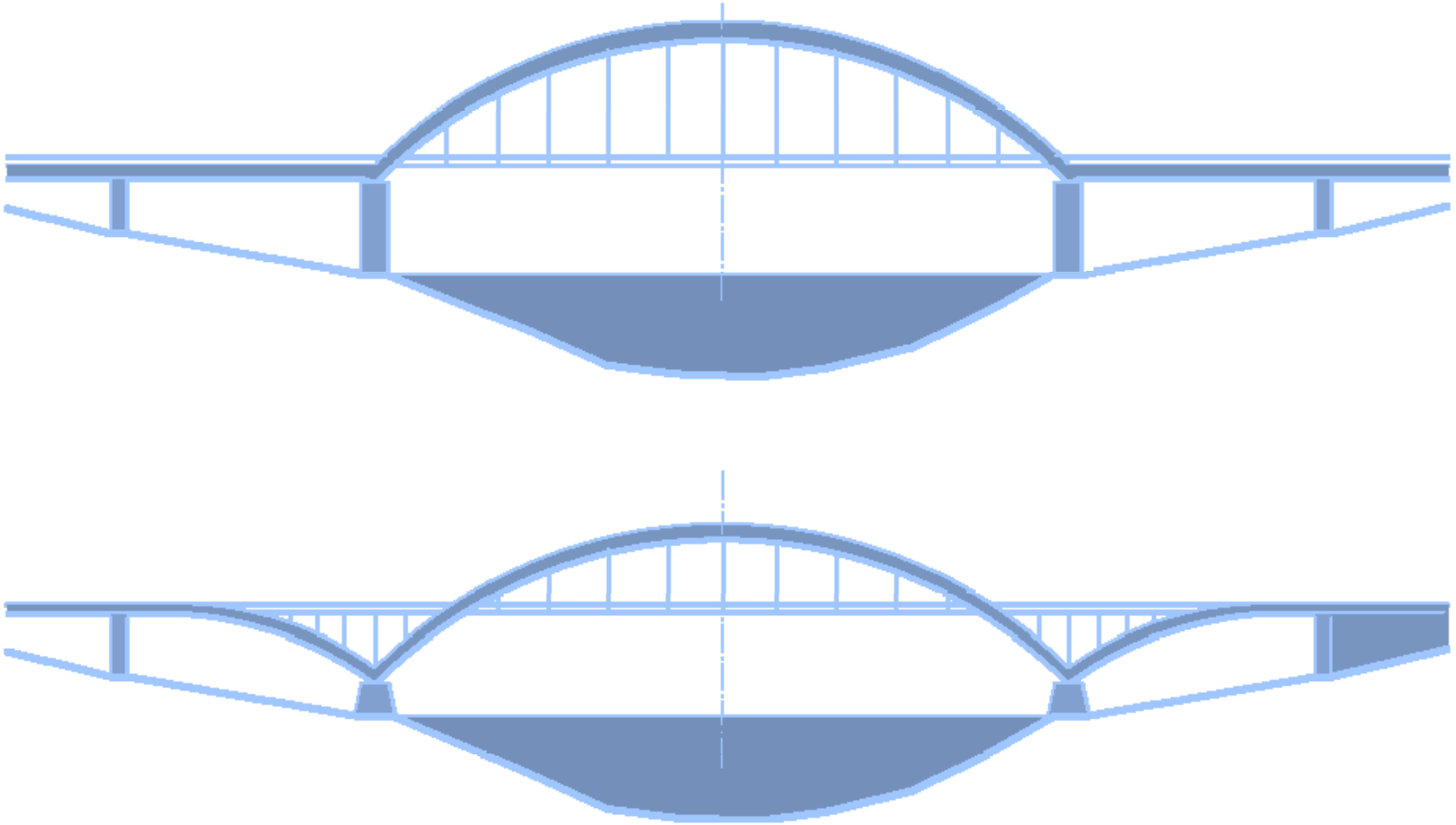
U praksi se pokazalo da zglobovi izazivaju više teškoća no probitaka



Salginatobel, Maillart

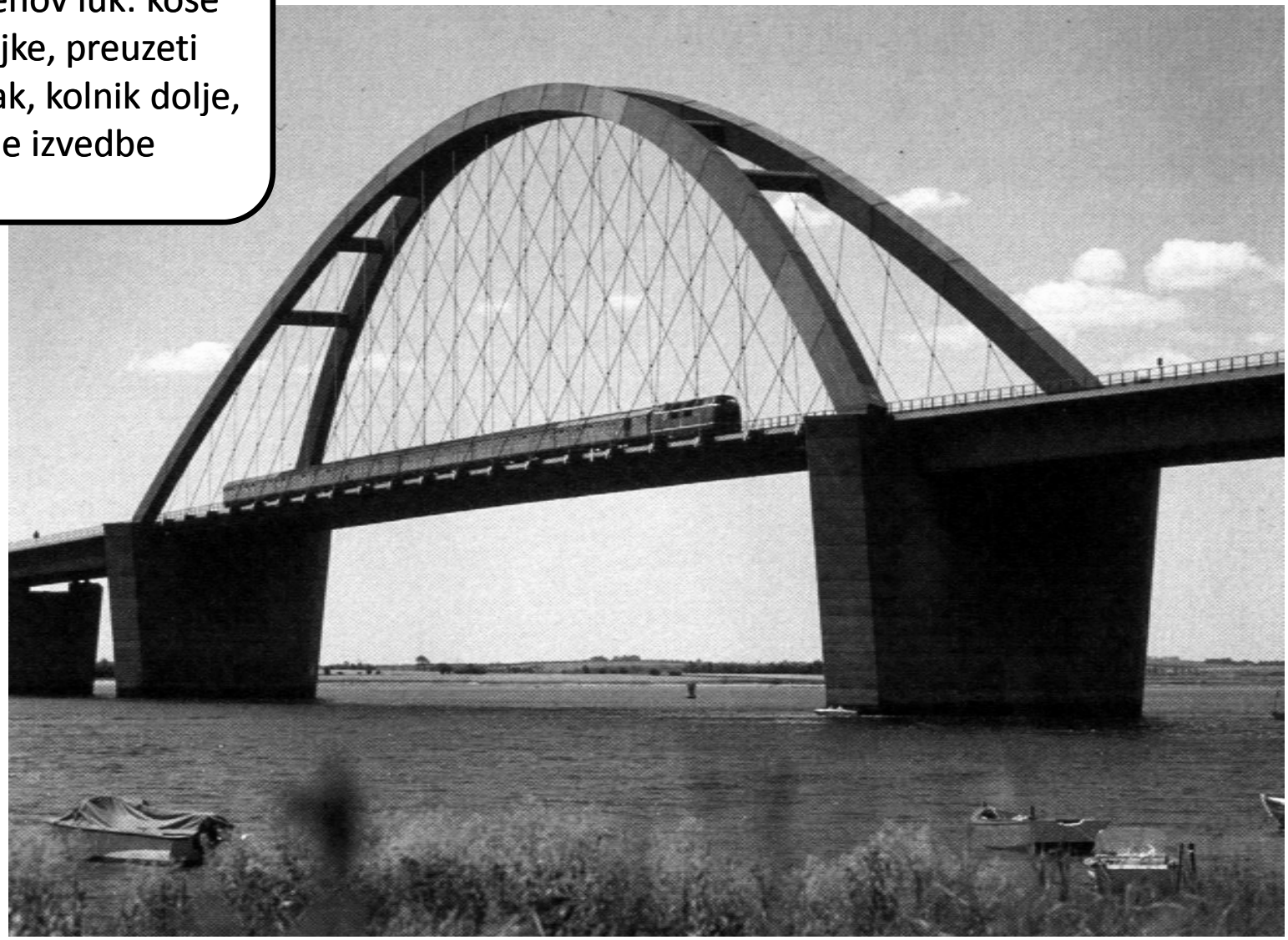
DRUGI LUČNI SUSTAVI

Neuobičajeni sustavi masivnih lučnih mostova s preuzetim potiskom



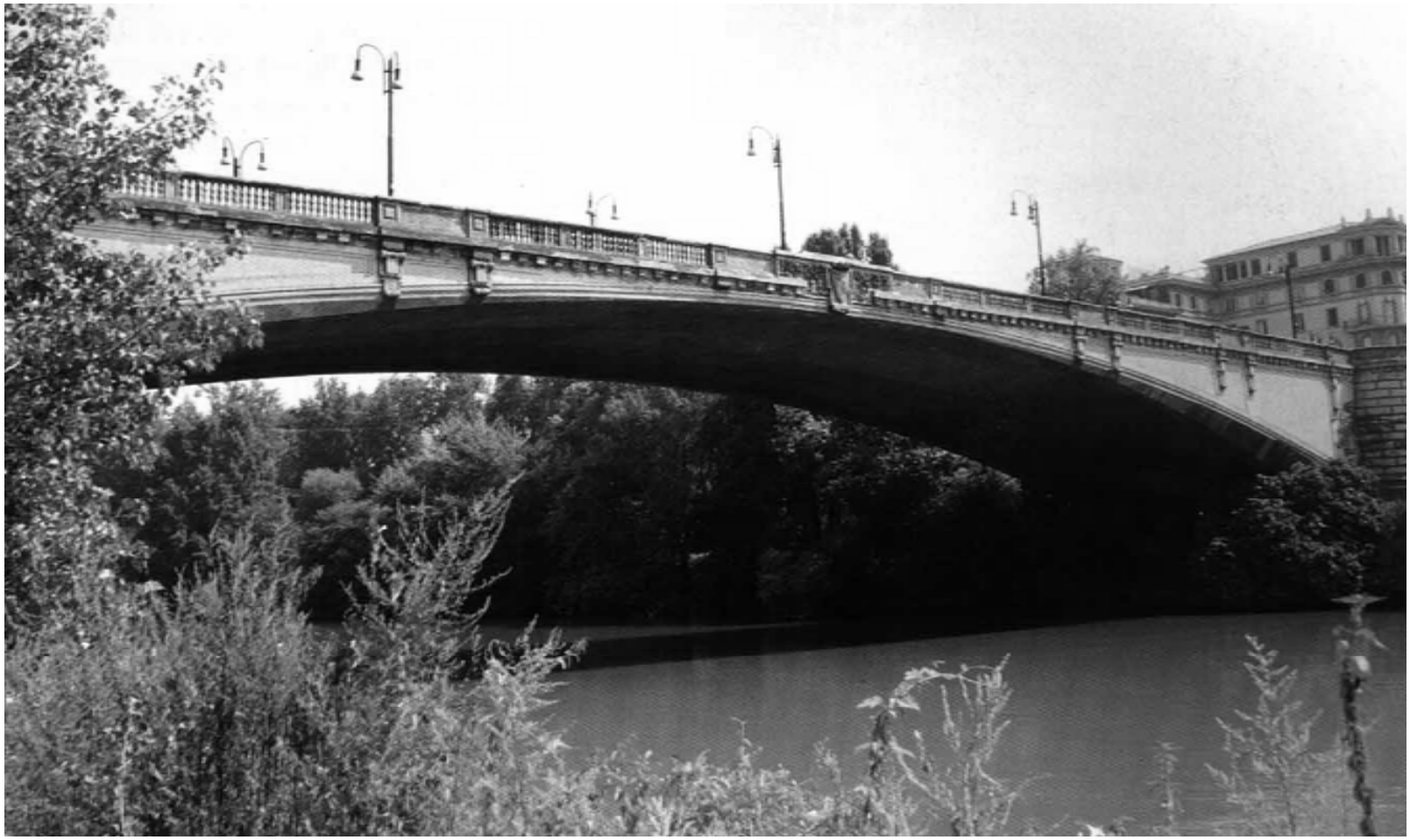
DRUGI LUČNI SUSTAVI

Nielsenov luk: kose vješaljke, preuzeti potisak, kolnik dolje, čelične izvedbe



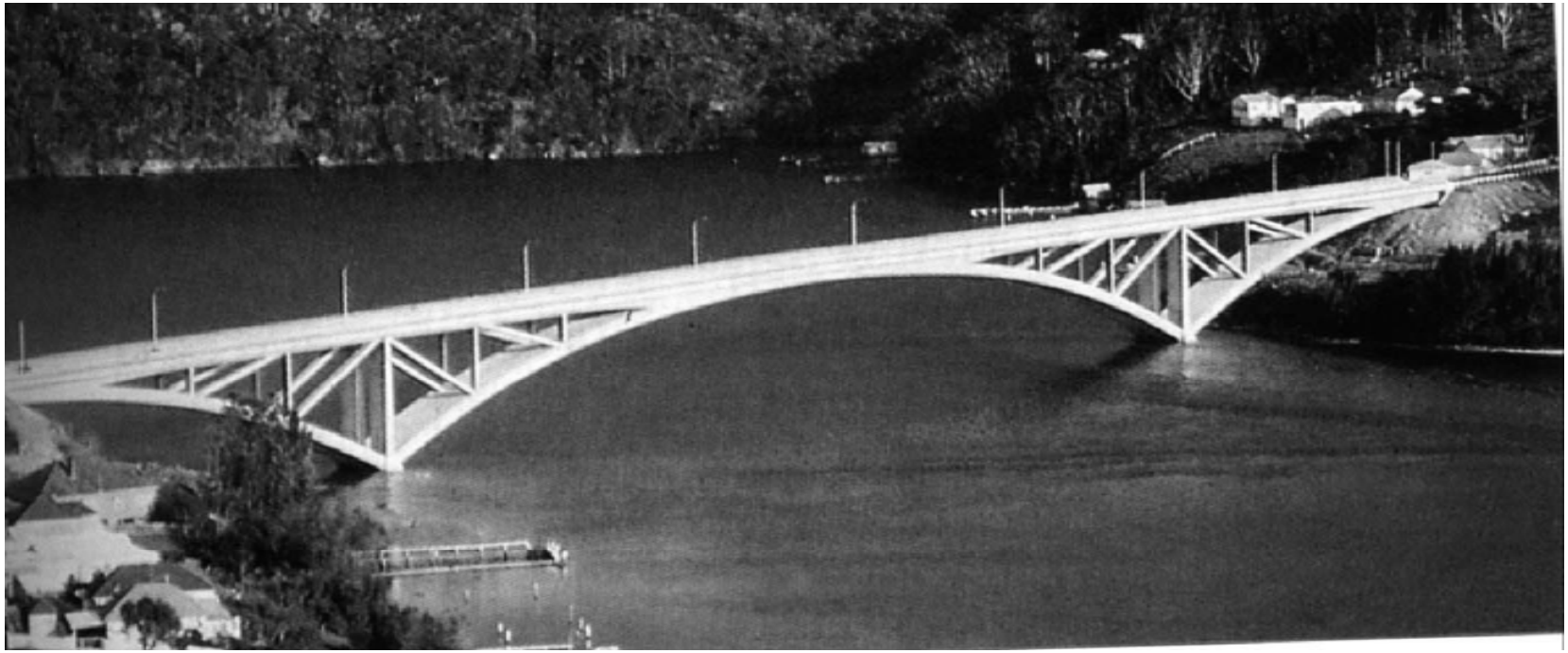
DRUGI LUČNI SUSTAVI

Lučni zidovi - diskovi



DRUGI LUČNI SUSTAVI

Rešetkasti luk



ODREĐIVANJE OPTIMALNOG OBLIKA OSI LUKA

Povoljno oblikovanje osi luka → Najmanji momenti savijanja → Optimalno iskorištenje gradiva nosača

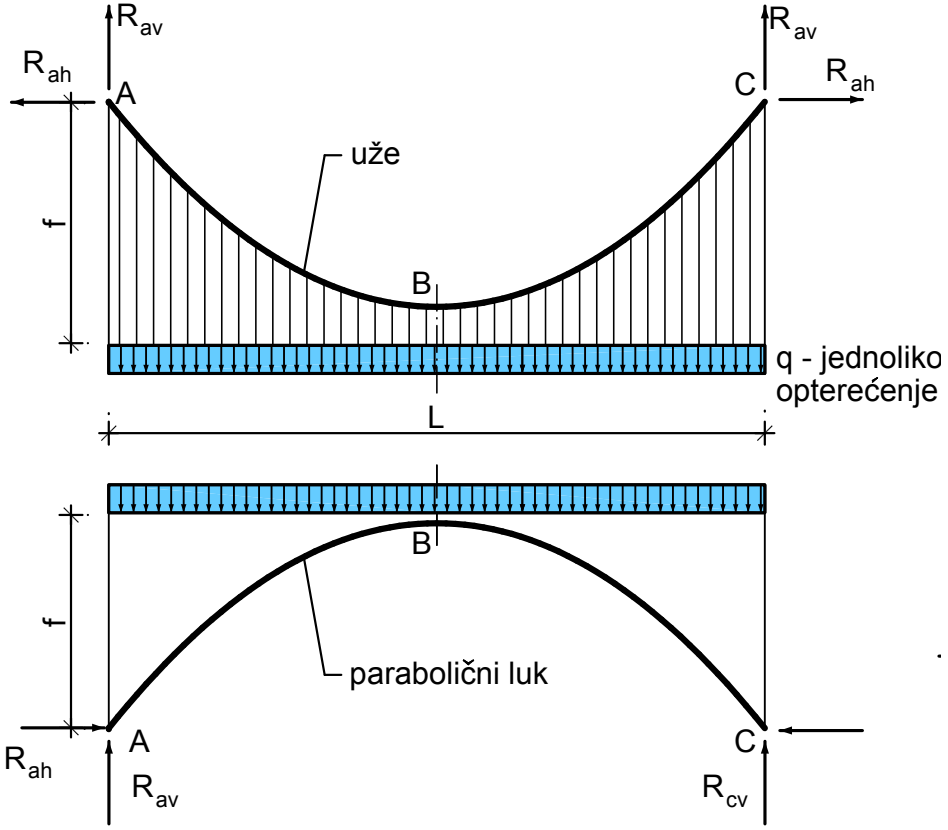


ANALOGIJA LUKA I LANČANICE

Predpostavka: vješaljke su na malom razmaku – noseći kabel je jednoliko opterećen, a vlastita težina kabela zanemariva u odnosu na dominantno opterećenje od grede q

Sustav je simetričan pa reakcije iznose:

$$R_{av} = R_{cv} = \frac{q\,L}{2}$$



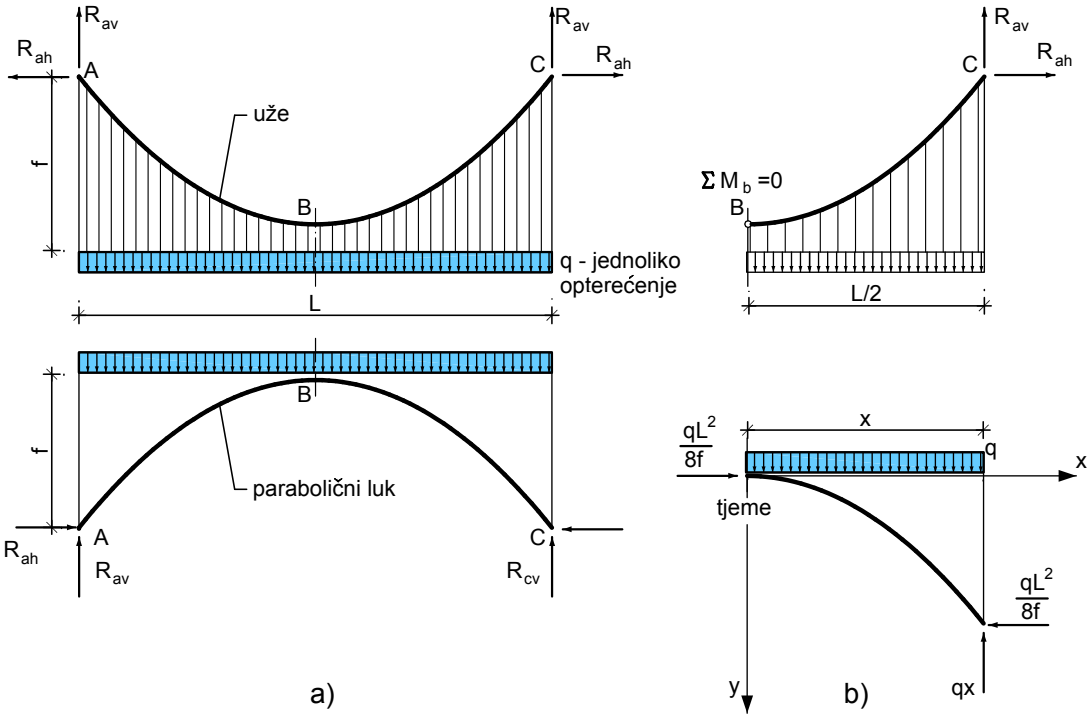
ANALOGIJA LUKA I LANČANICE

Kabel ne može preuzeti moment savijanja, pa suma momenata na bilo koju točku mora biti jednaka nuli.

$$\sum M \quad oko \quad B \quad \rightarrow \quad \left(\frac{q\,L}{2}\,\frac{L}{2}\right)+\left(f\;R_{ch}\right)=R_{cv}\,\frac{L}{2} \quad \Rightarrow \quad R_{ch}=\frac{q\,L^2}{8\,f}$$

Dobivena vrijednost odgovara horizontalnoj sili u kabelu u sredini raspona Fb

Sila u kabelu smanjuje se s povišenjem pilona (povećanjem provjesa f)



LUK OPTEREĆEN JEDNOLIKO

Traži se oblik osi koji minimizira momente savijanja

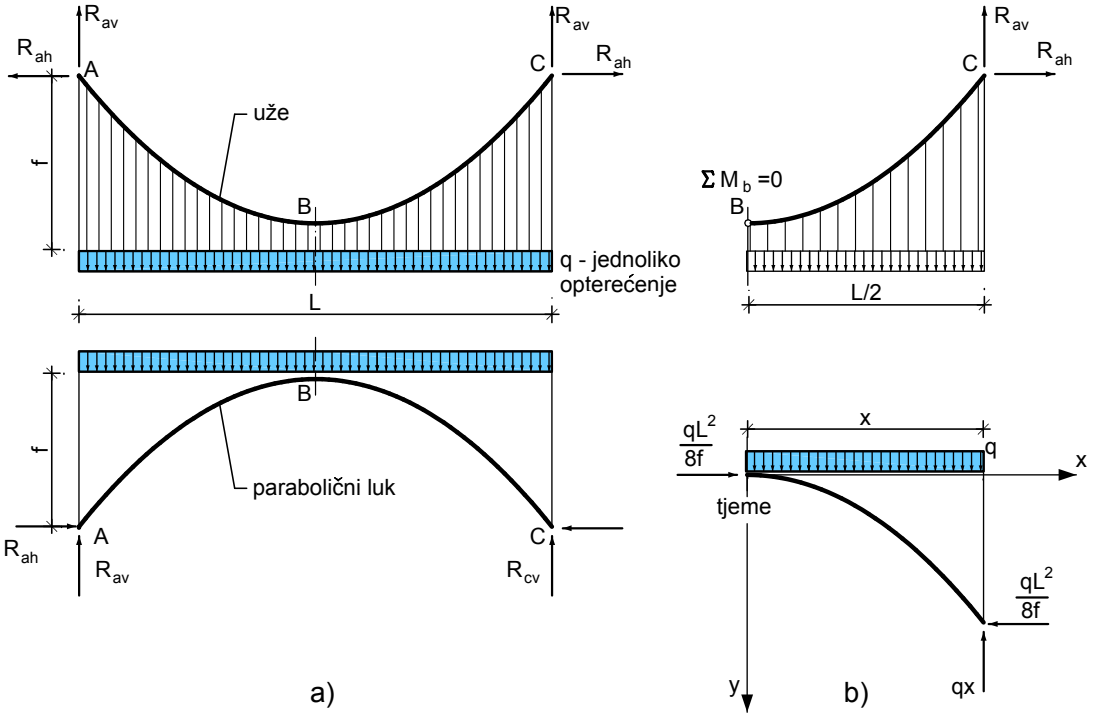
Promotrimo ravnotežu sila na odsječku luka pod kontinuiranim opt.

$$y = A + Bx^2 \qquad x = 0 \quad \Rightarrow \quad y = 0 \quad A = 0$$

$$x = \frac{L}{2} \Rightarrow y = f \qquad f = B\frac{L^2}{4}$$

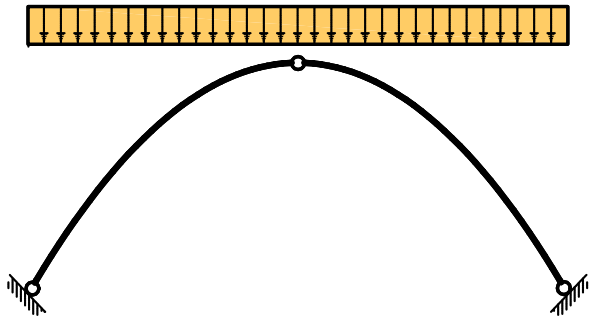
Parabola II stupnja – često se koristi kod preliminarnog oblikovanja osi luka

$$y = \frac{4f}{L^2}x^2$$

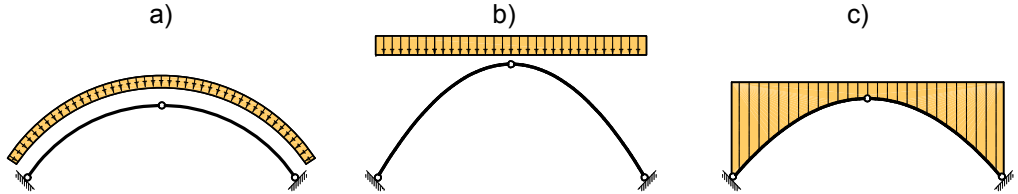


OPTIMALNI OBLIK LUČNIH NOSAČA

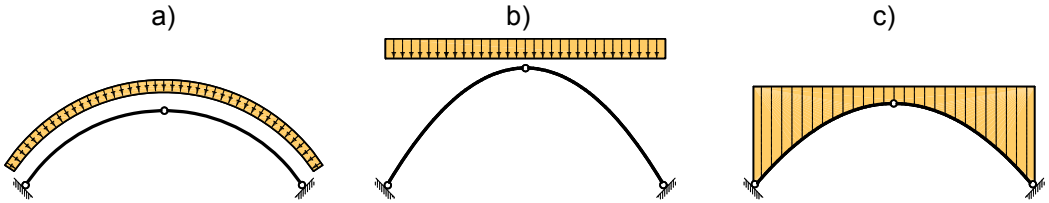
Paraboličan oblik – za jednoliko opterećenje



Kružni oblik – za jednoliko raspo-dijeljeno opterećenje



Realno promjenjivo opterećenje

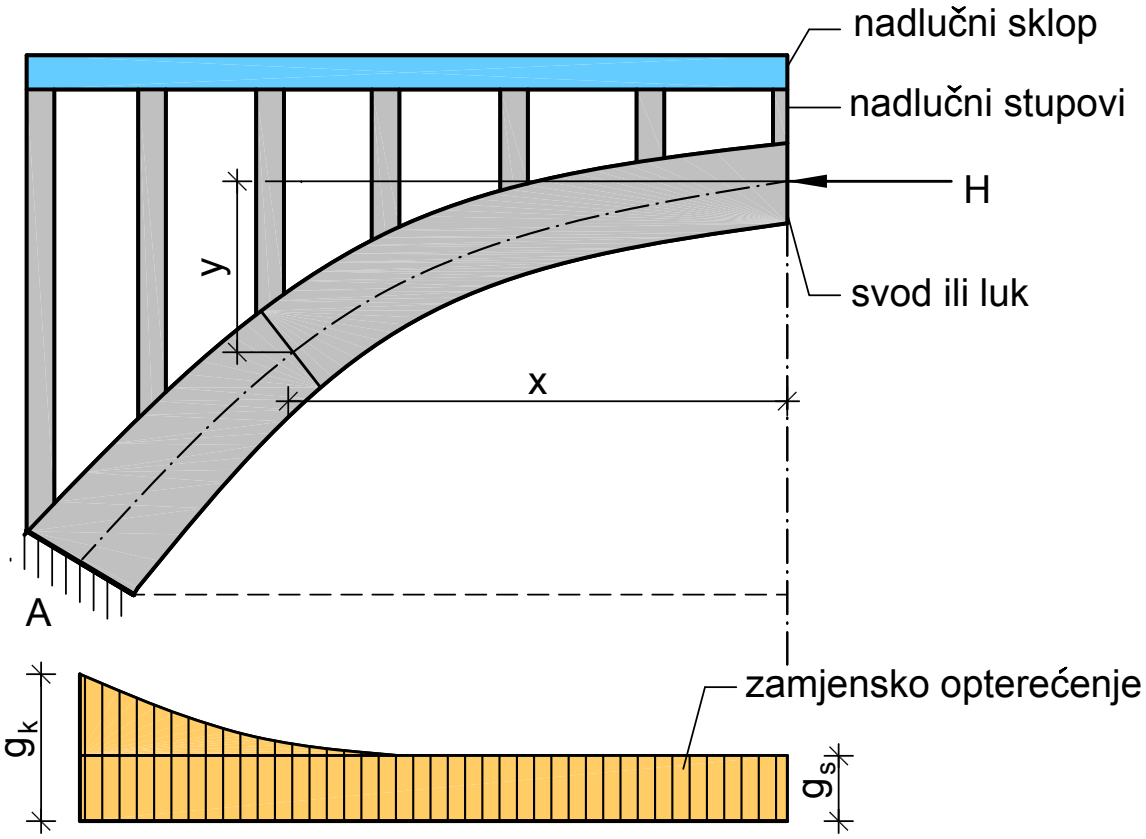


REALNI RASPORED OPTEREĆENJA NA LUK-OPTIMALNA OS ?

$$m = \frac{g_k}{g_s}$$

$$\xi = \frac{x}{\frac{l}{2}}$$

$$k = Ar\,ch\,m$$

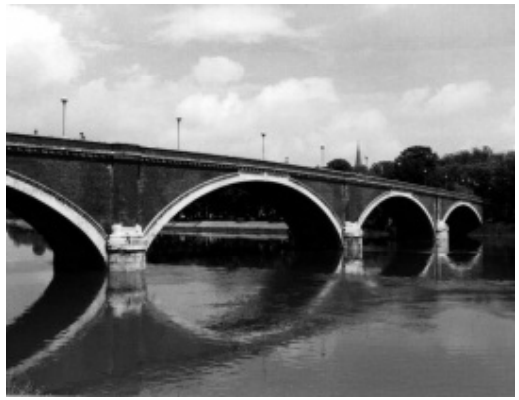


$$y = \frac{f}{m-1}(ch\,\xi\,k - 1)$$ LANČANICA - LEGAY-EVA KATENOIDA

REALNI RASPORED OPTEREĆENJA NA LUK-OPTIMALNA OS ?

STARIJI MOSTOVI
– puni nadsloj,
– stupovi na manjem rasponu

→ Lančanica dobro aproksimira optimalan oblik osi



NOVI MOSTOVI
– nadlučni stupovi jače razmaknuti

→ Koncentrirani unos sile – lom osi luka



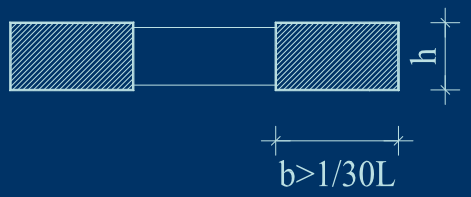
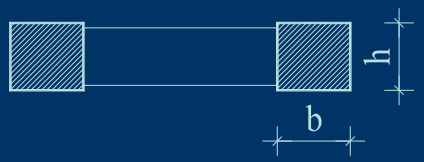
POPREČNI PRESJECI STUPOVA

JEDNAK POPREČNI PRESJEK DUŽ LUKA → Najjednostavnije rješenje, optimalno i u pogledu izvedbe ako se koristi skela na kojoj se betoniraju uzastopni odsječci

PROMJENJIVI PRESJEK LUKA → Ako želimo uskladiti presjeke luka sa silama i momentima u tim presjecima

POPREČNI PRESJECI STUPOVA

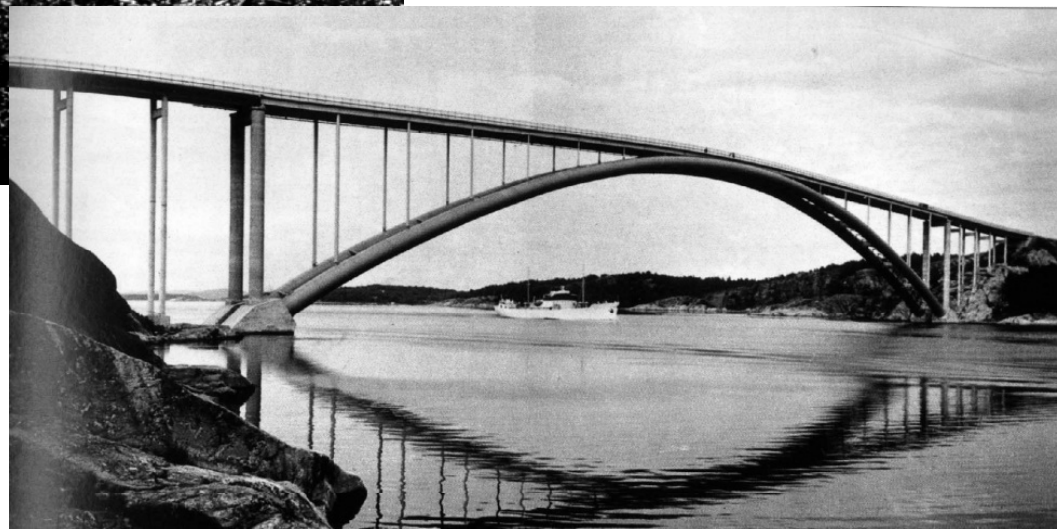
UOBIČAJENI PRESJECI I PRIKLADNI RASPONI

	SKICA POPREČNOG PRESJEKA	Raspon luka u m Visina presjeka
PUNI SVOD		L = 40 do 100 m visina h u tjemenu luka: h = (1/40 do 1/60) L (manji rasponi) h = (1/60 do 1/100) L (veći rasponi)
DVOSTRUKI SVOD		L = 40 do 100 m h = (1/60 do 1/100) L (u tjemenu)
RAZDVOJENI PUNI LUKOVI		L = 40 do 100 m h = (1/40 do 1/60) L h/b=1 do 2



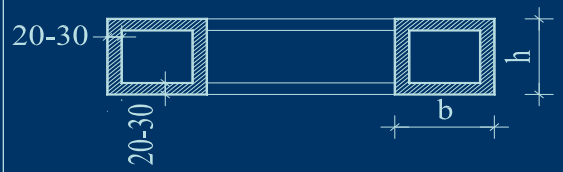
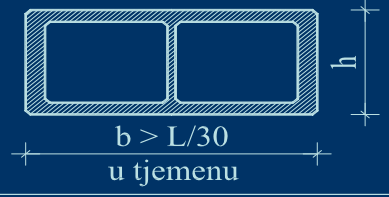
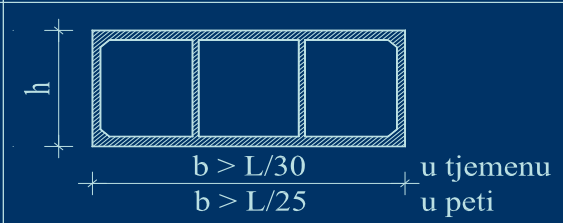
POPREČNI PRESJECI STUPOVA





POPREČNI PRESJECI LUKOVA

UOBIČAJENI PRESJECI I PRIKLADNI RASPONI

	SKICA POPREČNOG PRESJEKA	Raspon luka u m Visina presjeka
RAZDVOJENI LUKOVI "I" PRESJEKA		L = 70 do 150 m h = (1/40 do 1/60) L h/b=2 do 2.5
RAZDVOJENI SANDUČASTI LUKOVI		L = 100 do 200 m h = (1/50 do 1/70) L h/b = 1 do 1,5
SANDUČASTI S DVIJE KOMORE		L = 150 do 250 m h = (1/50 do 1/100) L
SANDUČASTI S TRI KOMORE		L = 200 do 400 m h = (1/50 do 1/100) L



POPREČNI PRESJECI LUKOVA

DVIJE KRAJNOSTI

Načela oblikovanja

VITKI LUK

- Prenosi samo uzdužne sile
- Za manje i srednje raspne

KRUTI LUK

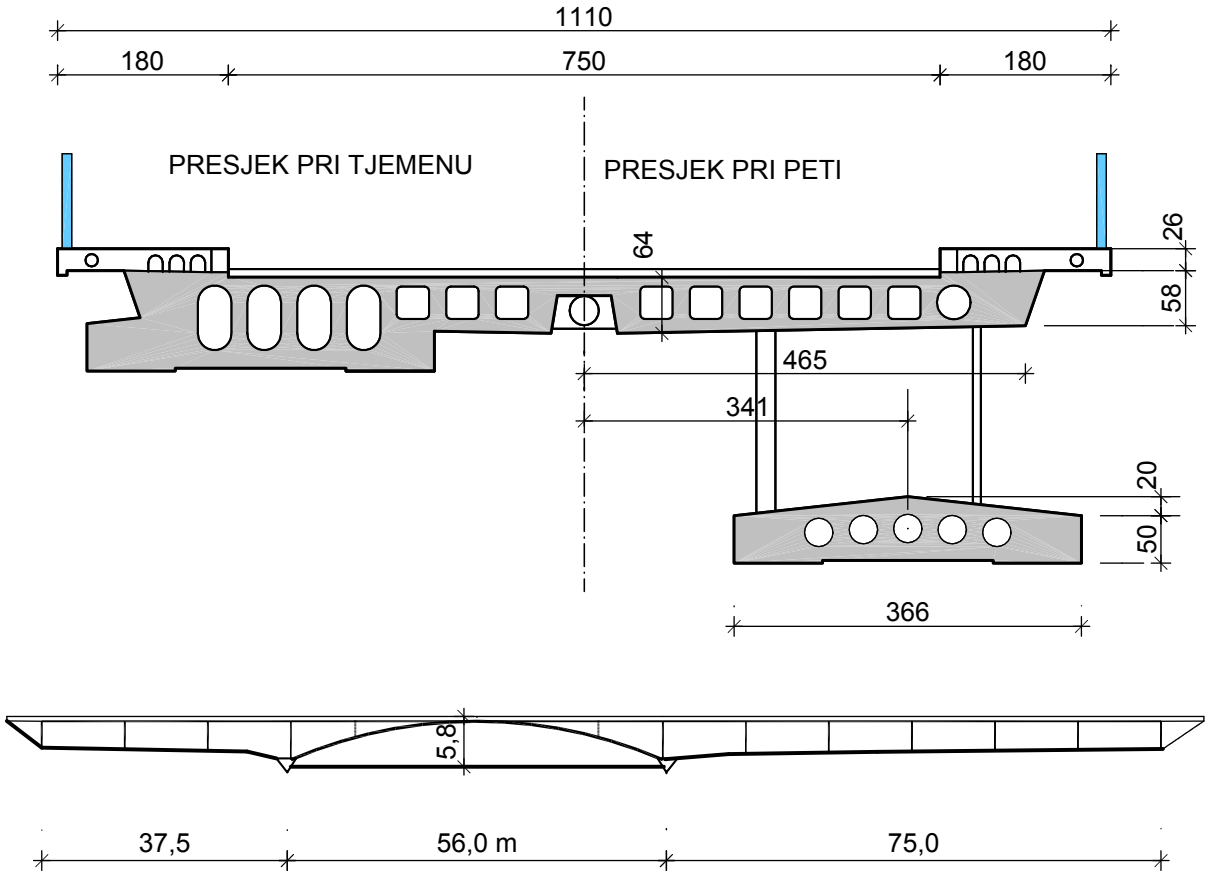
- Značajniji momenti savijanja
- Veliki rasponi

KRITERIJ: odnos krutosti luka i nadlučne grede

POPREČNI PRESJECI LUKOVA

PUNOSTIJENI LUK

- Jednodjelni
- višedjelni – prednost kod izvedbe na skeli

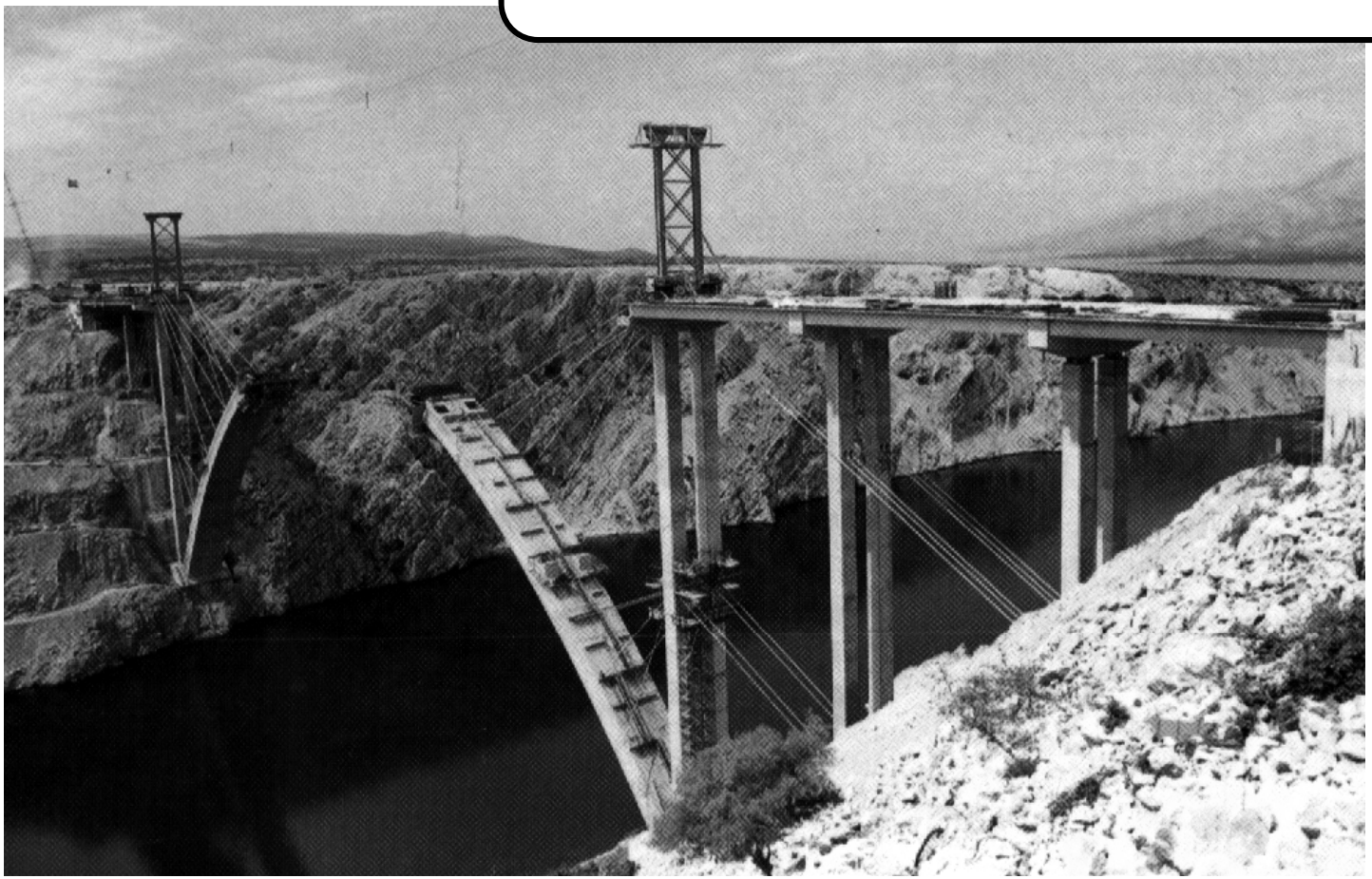


Most Rakovac, Korana, Karlovac

POPREČNI PRESJECI LUKOVA

SANDUČASTI LUKOVI

- jedna ili više komora (klijetki)
- kod većih raspona javlja se problem stabilnosti





ZAKON PROMJENE POPREČNIH PRESJEKA DUŽ LUKA

Vezan uz momente inercije
U praksi se najčešće koristio Ritterov izraz – slijedi
iz dijagrama maksimalnih momenata u luku
Ovisan o oblikovanju osi svoda (cos)

$$\frac{I_s}{I_z \cos\phi} = 1-(1-n)\,\xi$$

$$\xi = \frac{2x}{l}$$

Is – moment inercije u tjemenu

Iz – moment inercije proizvoljnog presjeka

n – koeficijent koji ovisi o odnosu stalnog i pokretnog opterećenja:

za cestovne mostove 0,3
za željezničke 0,2 – 0,25



ZAKON PROMJENE POPREČNIH PRESJEKA DUŽ LUKA

ovisan i o površini poprečnog presjeka luka

Nepromjenjiv poprečni presjek

$$A_s = A_z$$

Nije racionalan jer gradivo u tjemenu nije iskorišteno

Zakon promjene po kosinusu usklađen s promjenom uzdužne sile

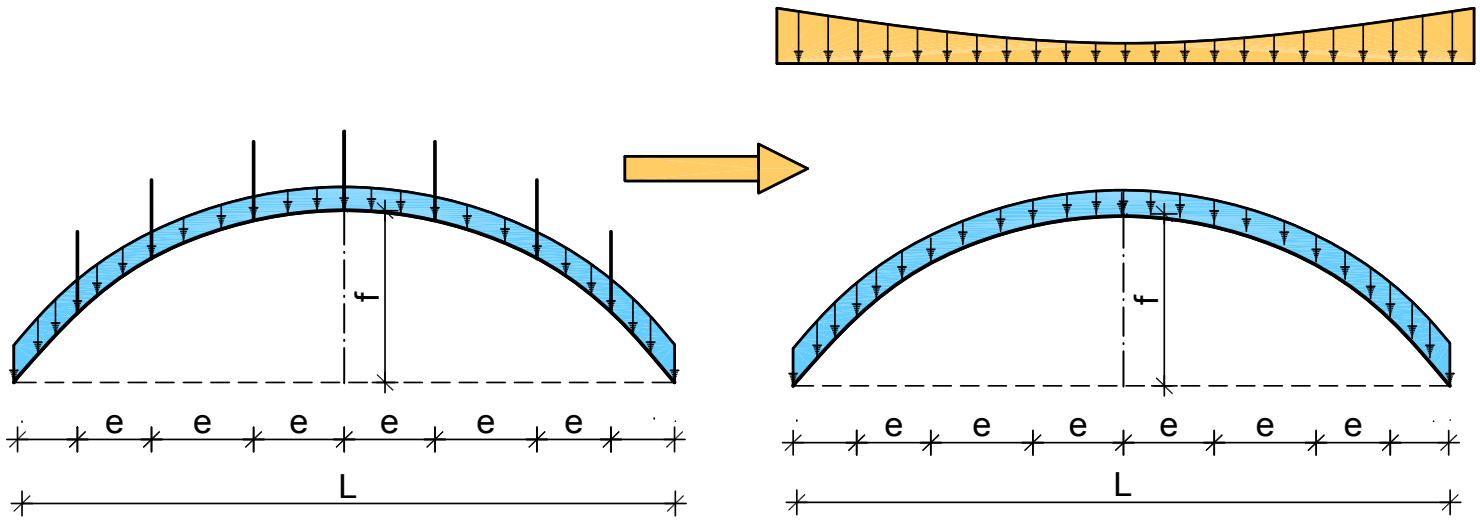
$$\frac{A_s}{A_z \cos \phi_z} = 1$$

Pri većim rasponima daje neprihvatljivo velike presjeke pri peti

METODA OBRNUTOG OPTEREĆENJA

metoda za pronalaženje optimalne tlačne linije luka
(poželjno je da svi presjeci budu u tlaku ili barem da
vlačna naprezanja ne premaše čvrstoću betona)

- većina analitičkih metoda koncentrirano opterećenje zamjenjuje jednolikim



- rasponi nadlučnih sklopova postaju sve veći – prijenos opterećenja preko stupova na luk u diskretnim točkama



METODA OBRNUTOG OPTEREĆENJA

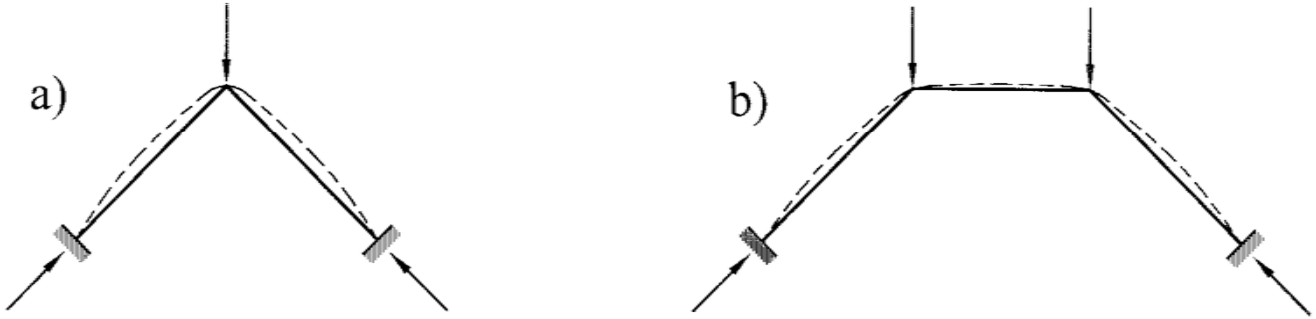
Problem određivanja optimalnog oblika osi za poznati raspon i strelicu luka sastoji se od:

- određivanja koordinata točaka položaja stupova
- određivanja skupa jednadžbi krivulja koje spajaju te točke

METODA OBRNUTOG OPTEREĆENJA

Osnovna ideja metode obrnutog opterećenja

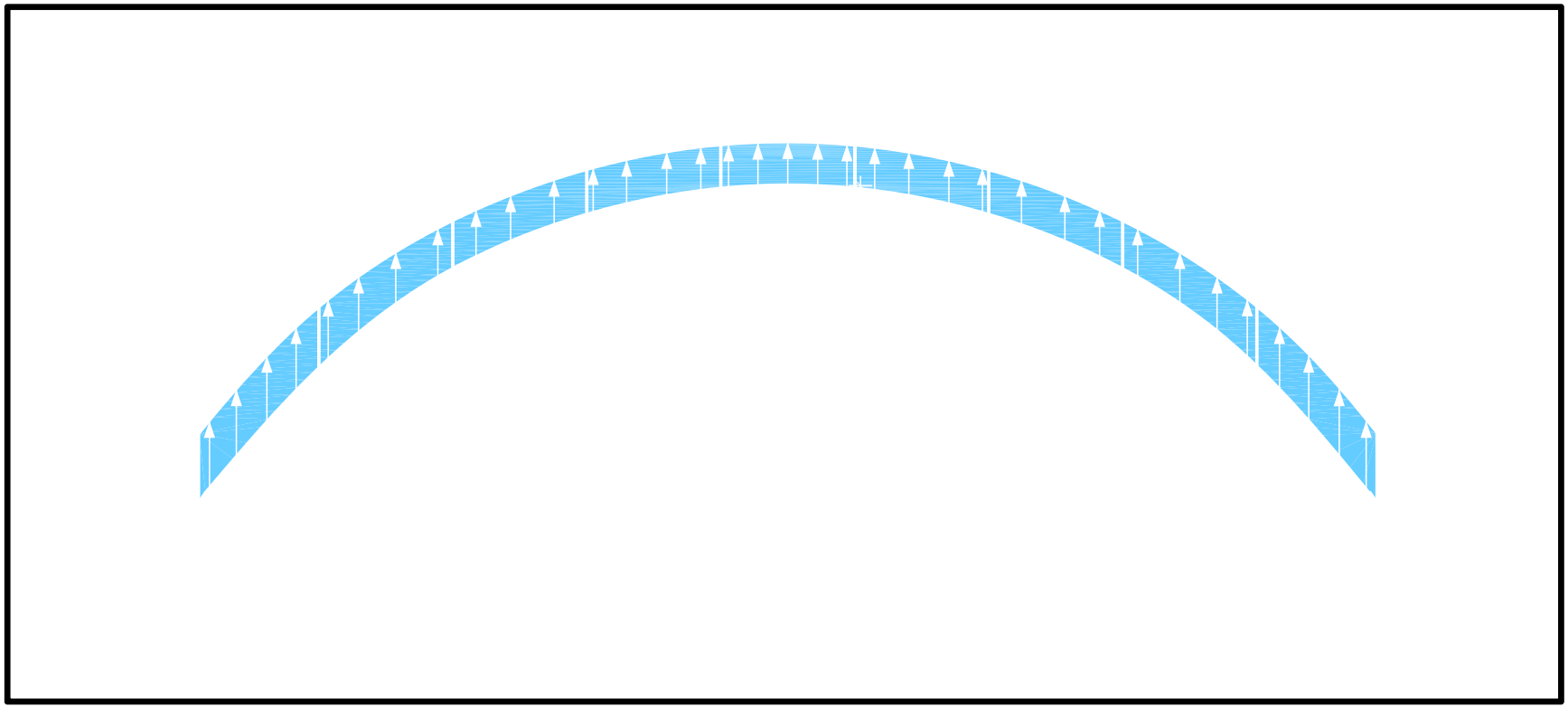
postaviti krivulju da što manje odstupa od rješenja u kojem nema momenata savijanja (oblik trokuta odnosno trapeza)



ravnotežni položaji lančanice

METODA OBRNUTOG OPTEREĆENJA

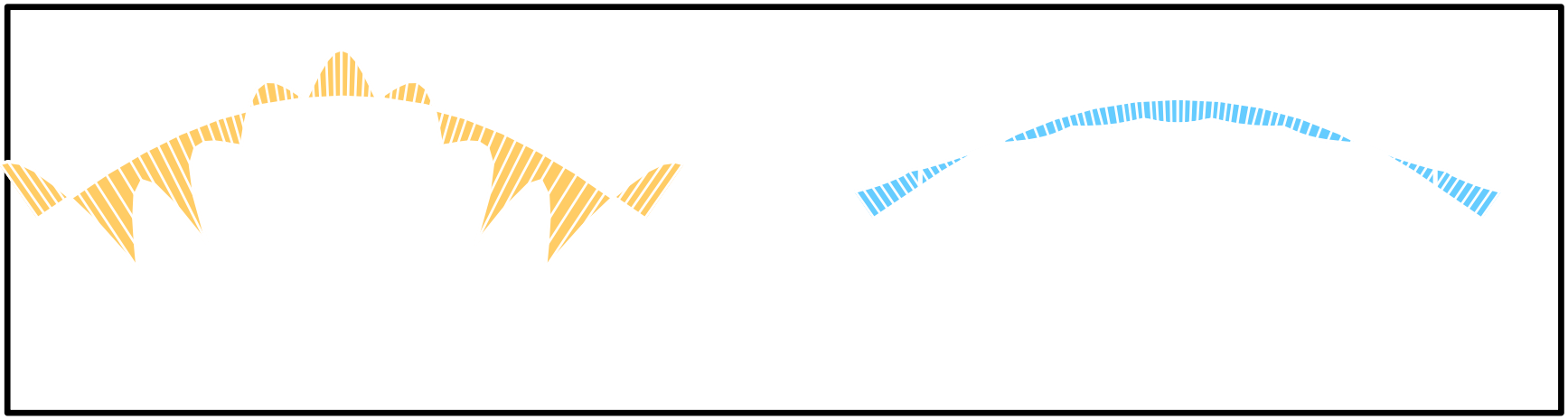
Problem pronalaženja tlačne linije luka je analogan problemu traženja ravnotežnog položaja lančanice opterećene istim silama ali suprotnog smjera



METODA OBRNUTOG OPTEREĆENJA

a) Momentni dijagram za luk oblika parabole

b) Momentni dijagram za luk određen metodom obrnutog opterećenja

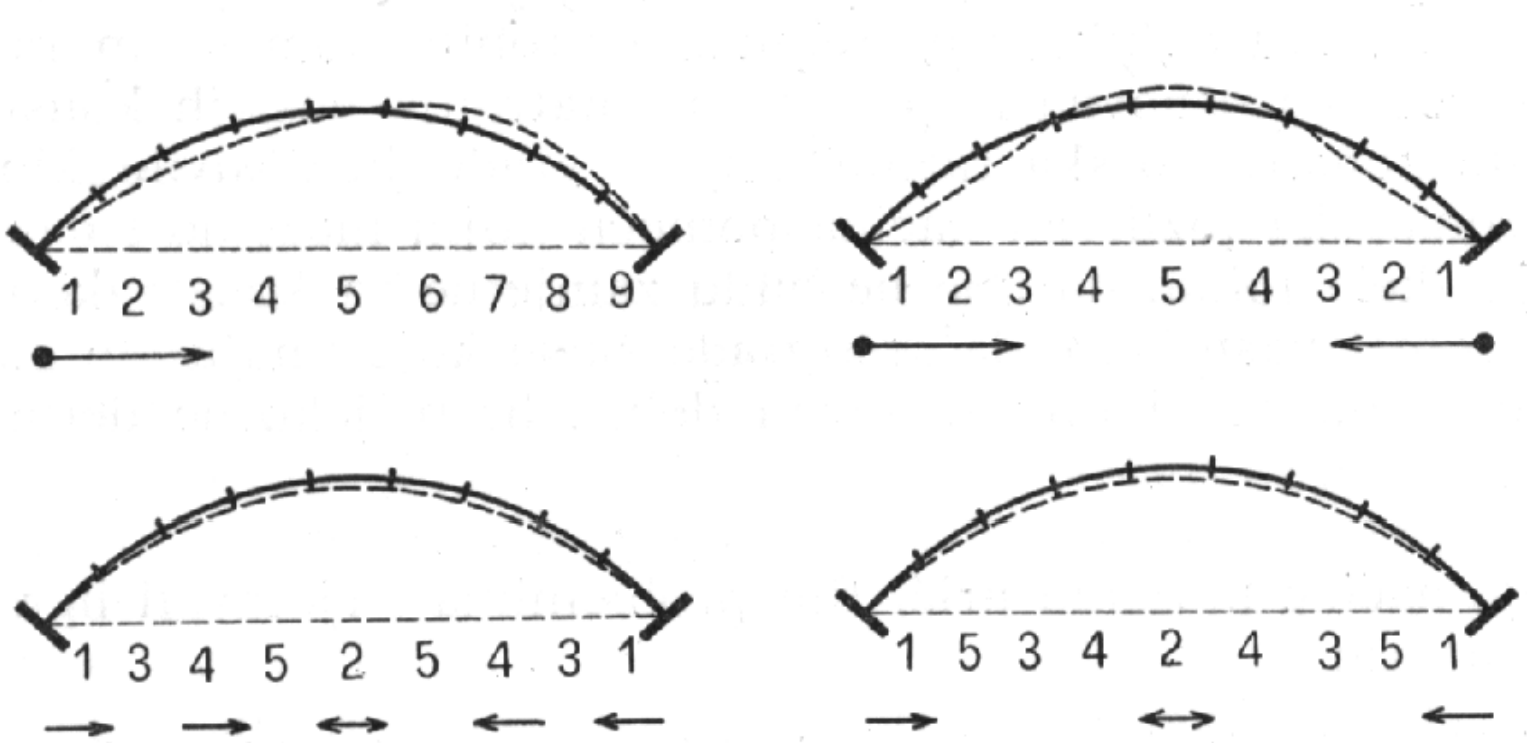




IZVEDBA LUČNIH MOSTOVA

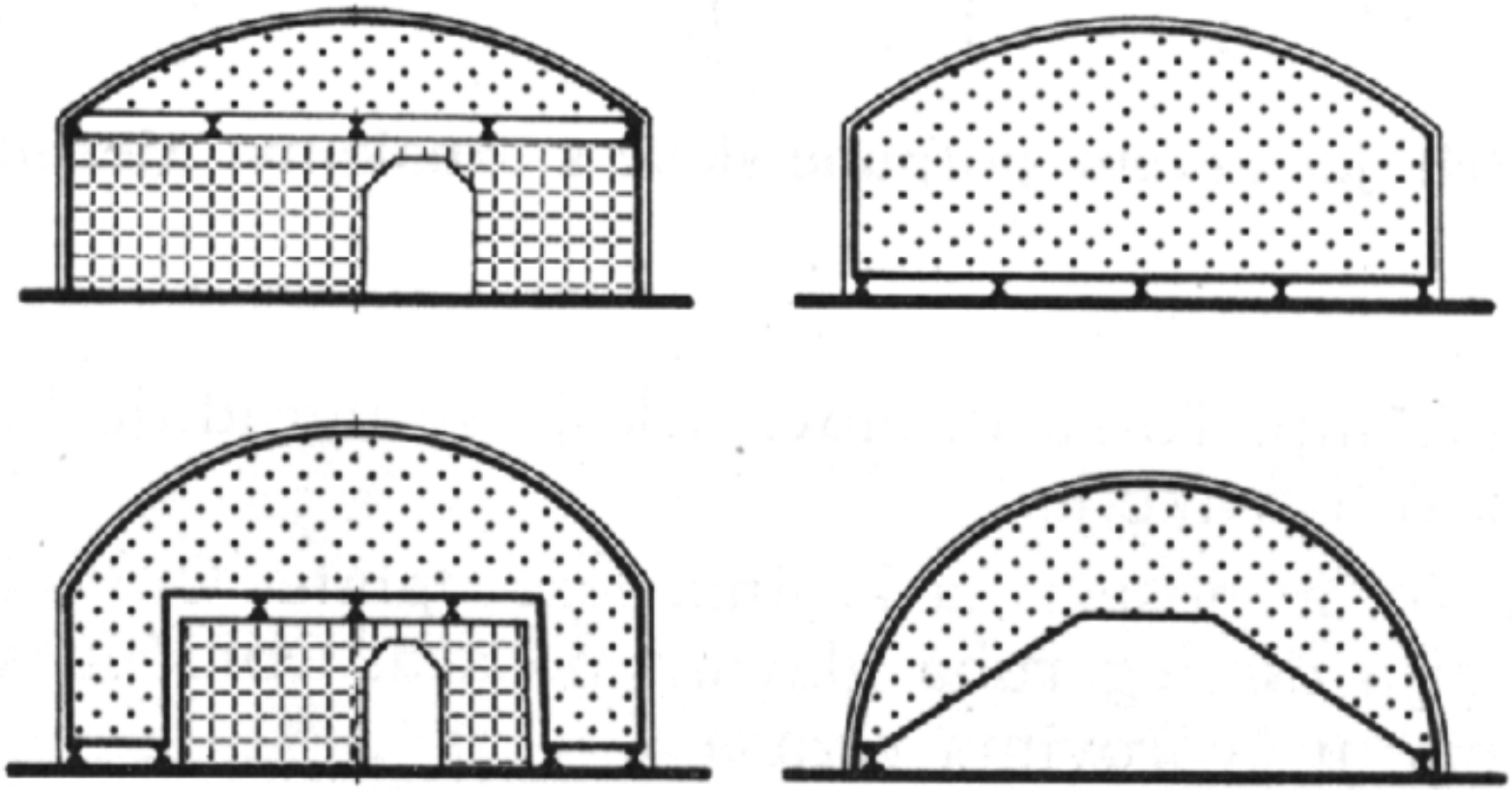
IZVEDBE NA SKELI

Građenje lukova na klasičnoj skeli – redoslijed izvedbe određuje deformacije



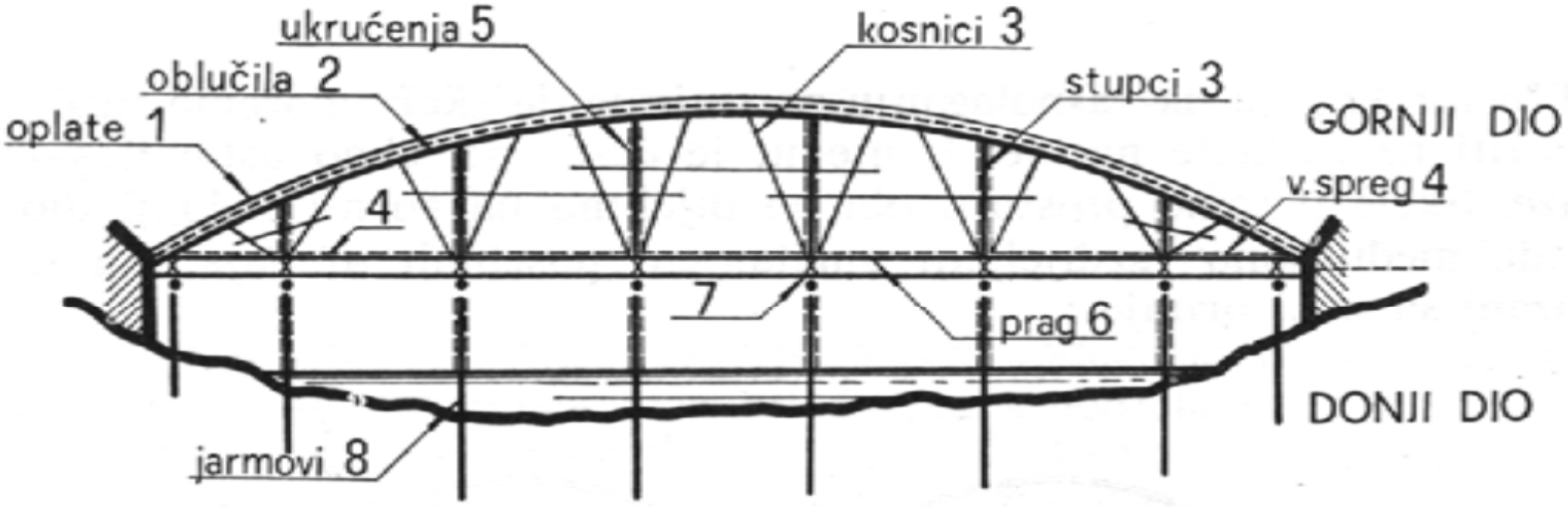
IZVEDBE NA SKELI

Građenje lukova na klasičnoj skeli – slobodni profil određuje tip skele



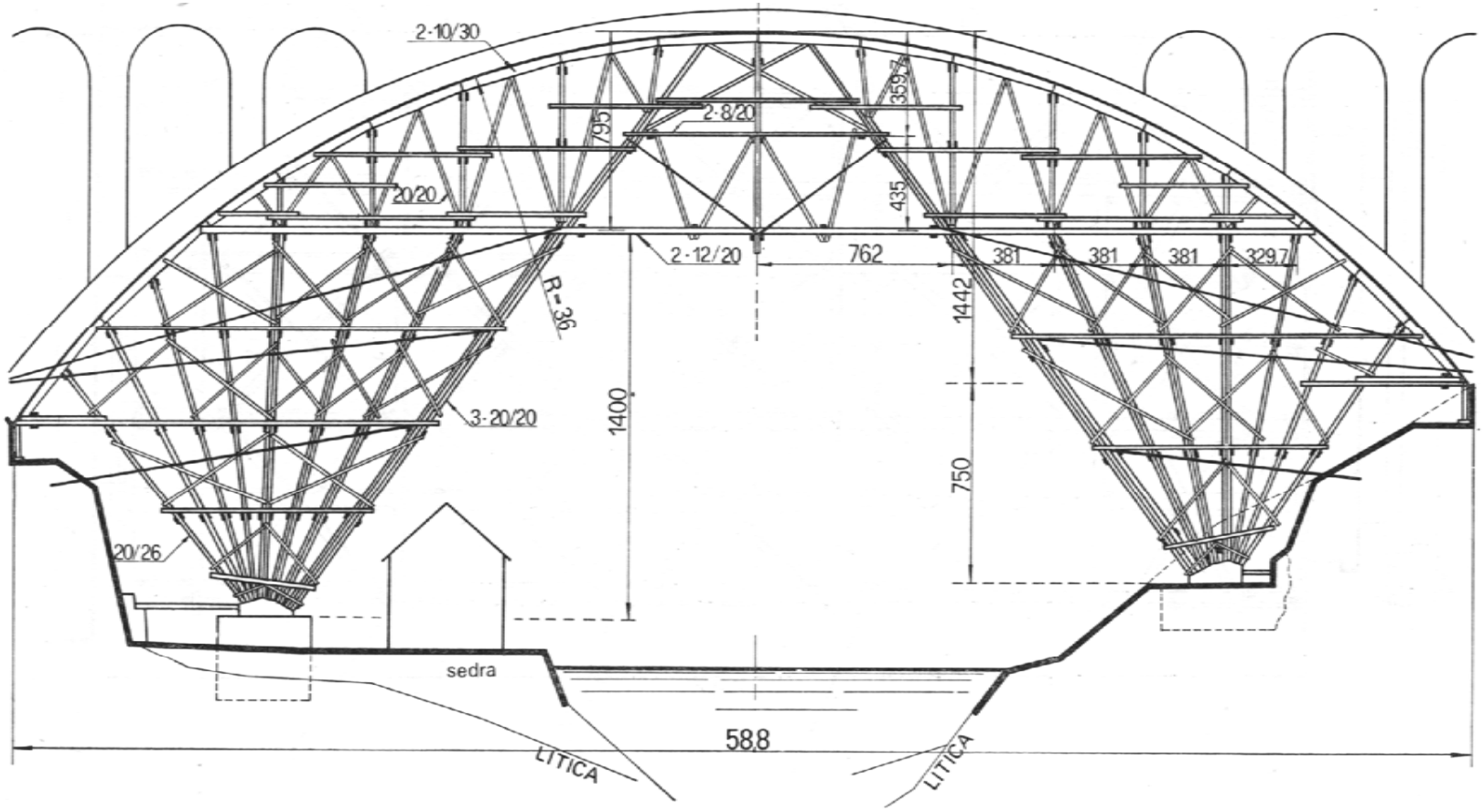
IZVEDBE NA SKELI

Dijelovi klasične drvene skele



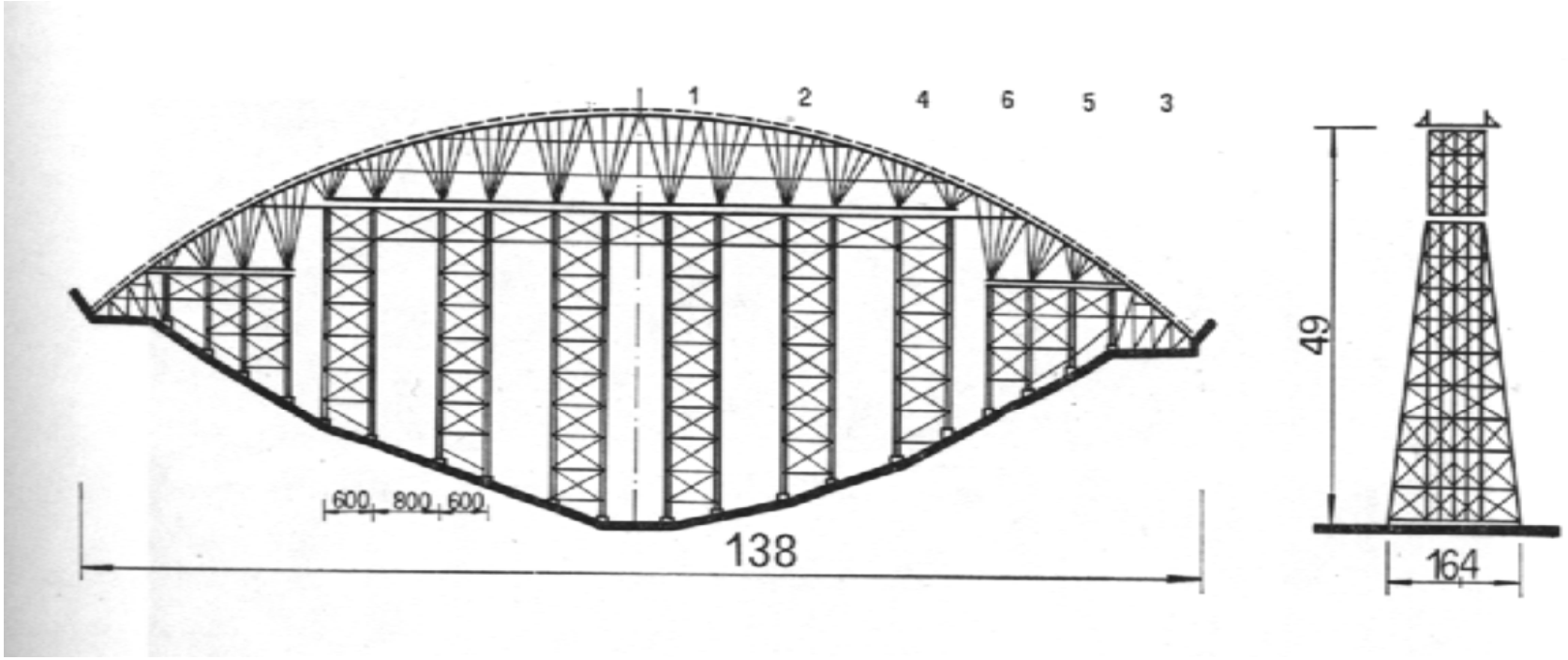
IZVEDBE NA SKELI

Klasična drvena lepezasta skela



IZVEDBE NA SKELI

Čelična skela sa stupcima



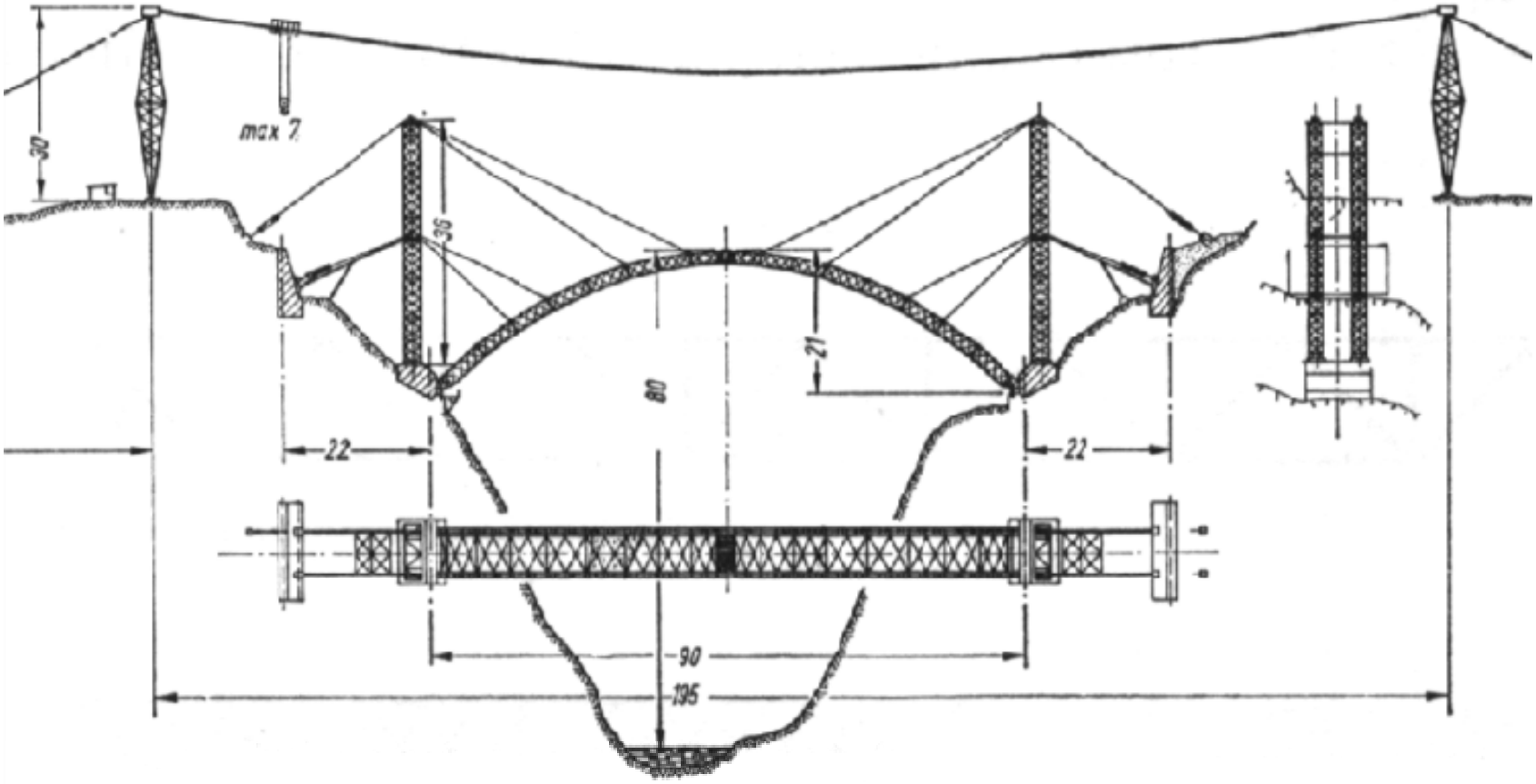
IZVEDBE NA SKELI

Skela bez međuoslonaca



IZVEDBE NA SKELI

Skela bez međuoslonaca

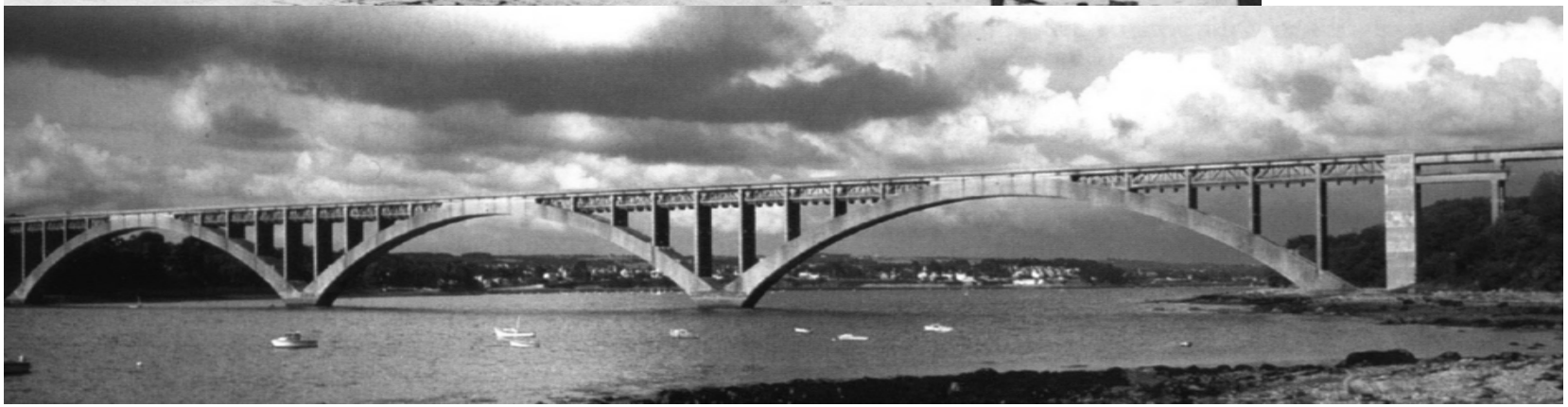


IZVEDBE NA SKELI

Skela bez međuoslonaca



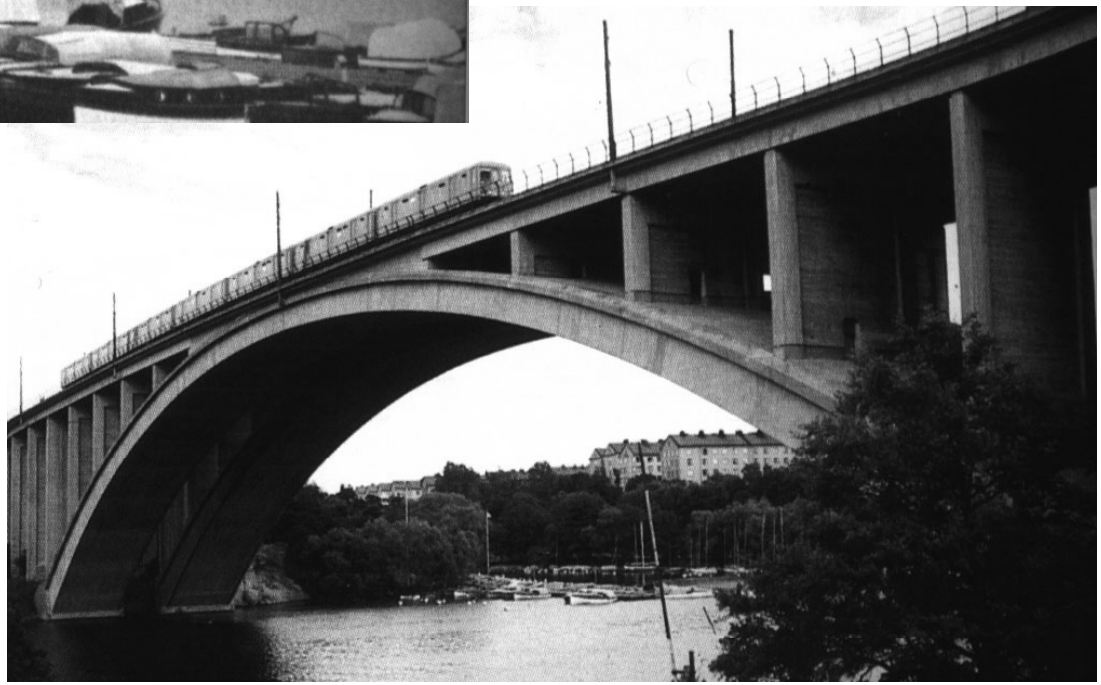
Most Albert Louppe (Francuska)



IZVEDBE NA SKELI

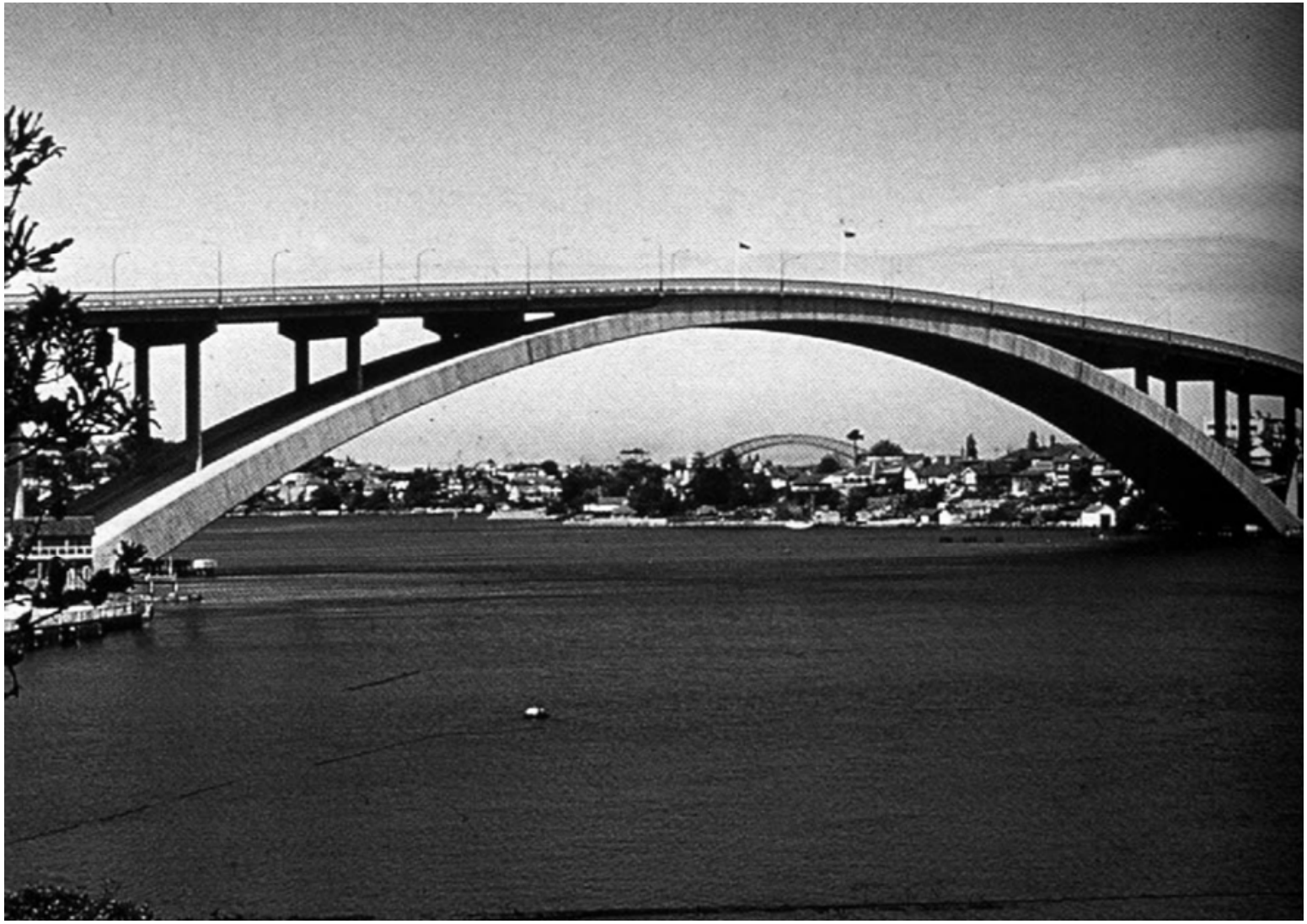


Skela bez međuoslonaca

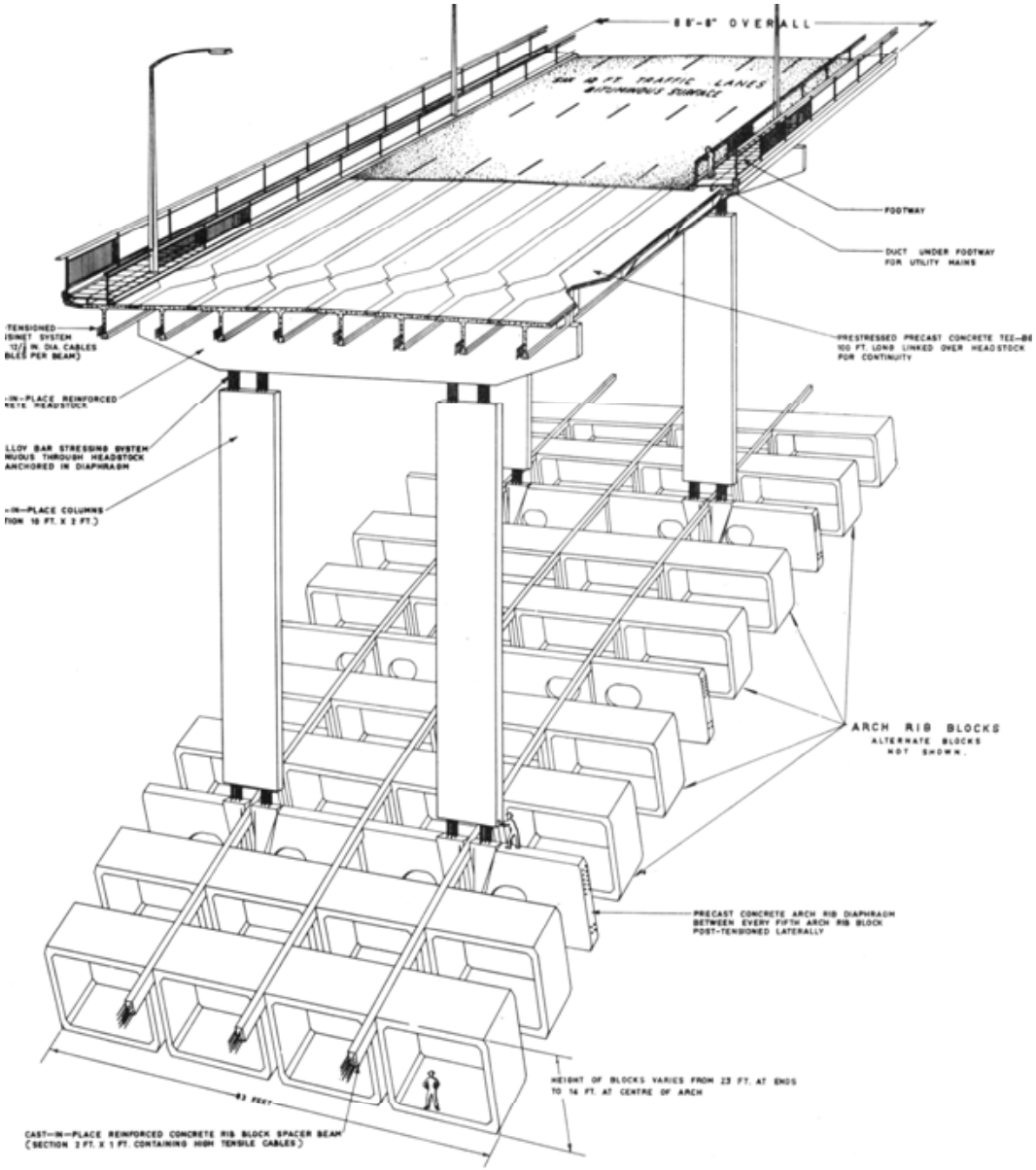


Most Traneberg (Švedska)

Most Gladesville, Sydney, 1964 g., L=305 m



Izvedba mosta Gladesville



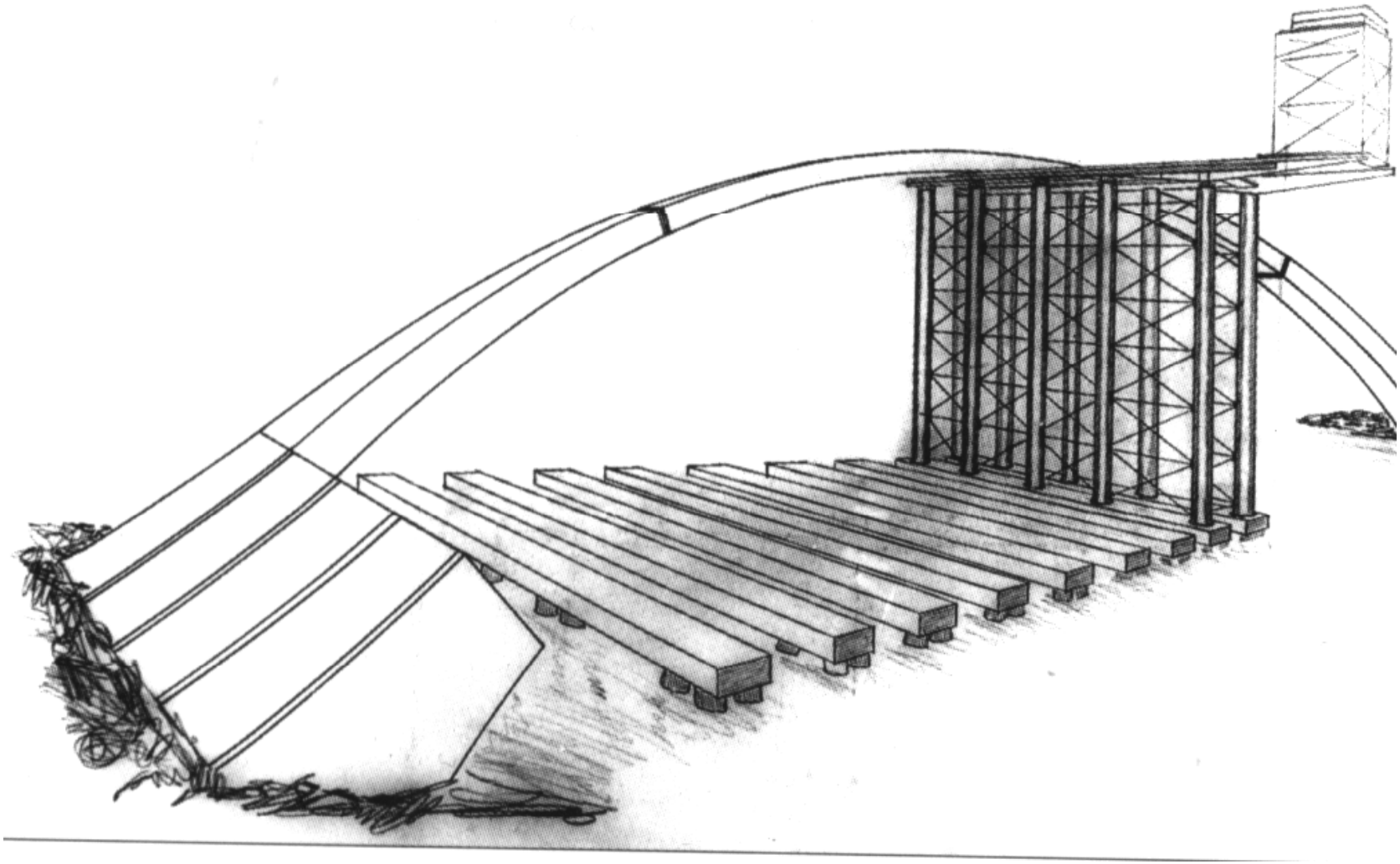
4 šuplja usporedna luka od montažnih odsječaka

Izvođeni jedan po jedan na istoj skeli

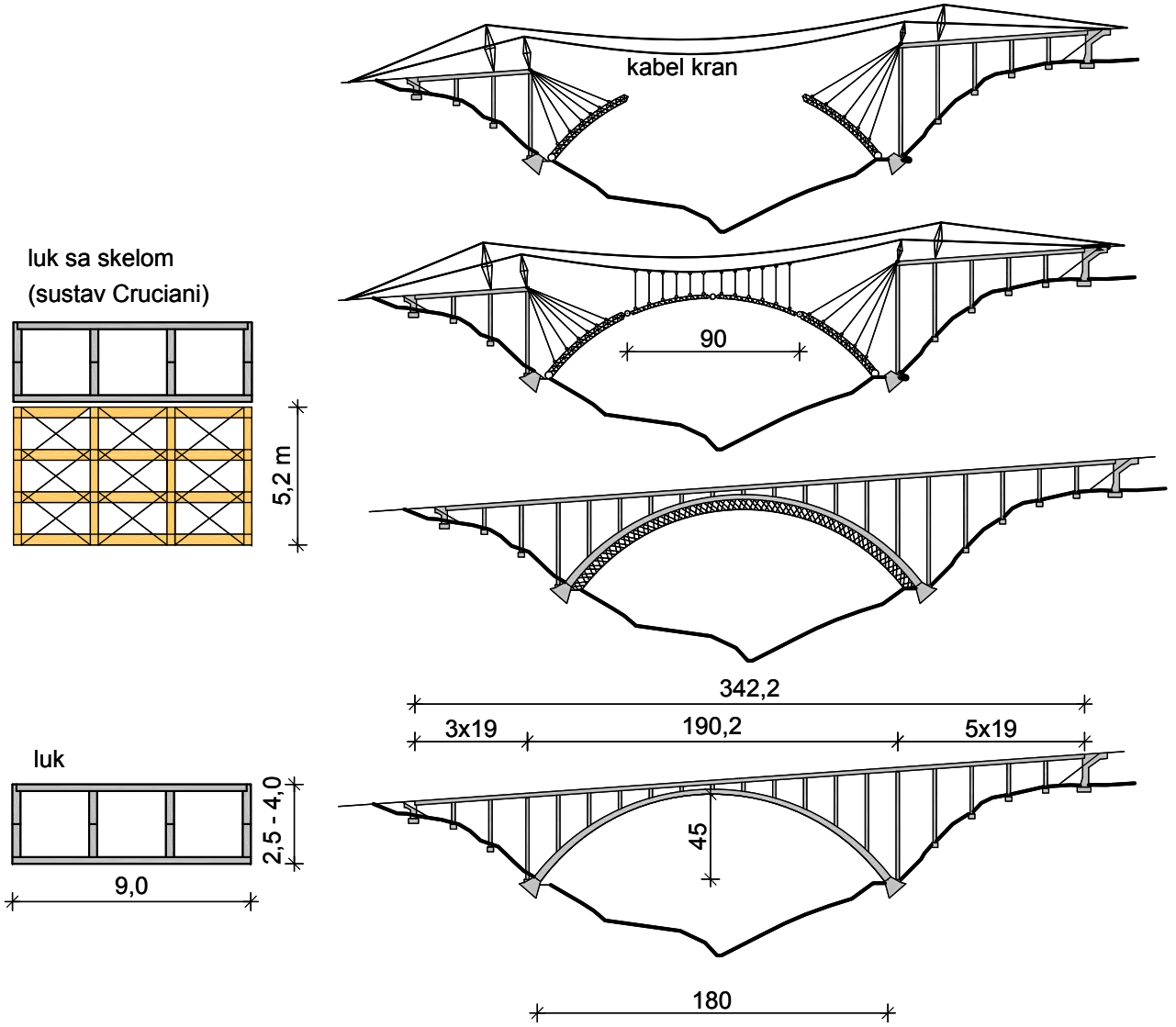
Izvedba mosta Gladesville



Izvedba mosta Gladesville



Izvedba mosta Nosslachbrücke, Austrija, 1967 g., L=180 m



IZVEDBE NA SKELI

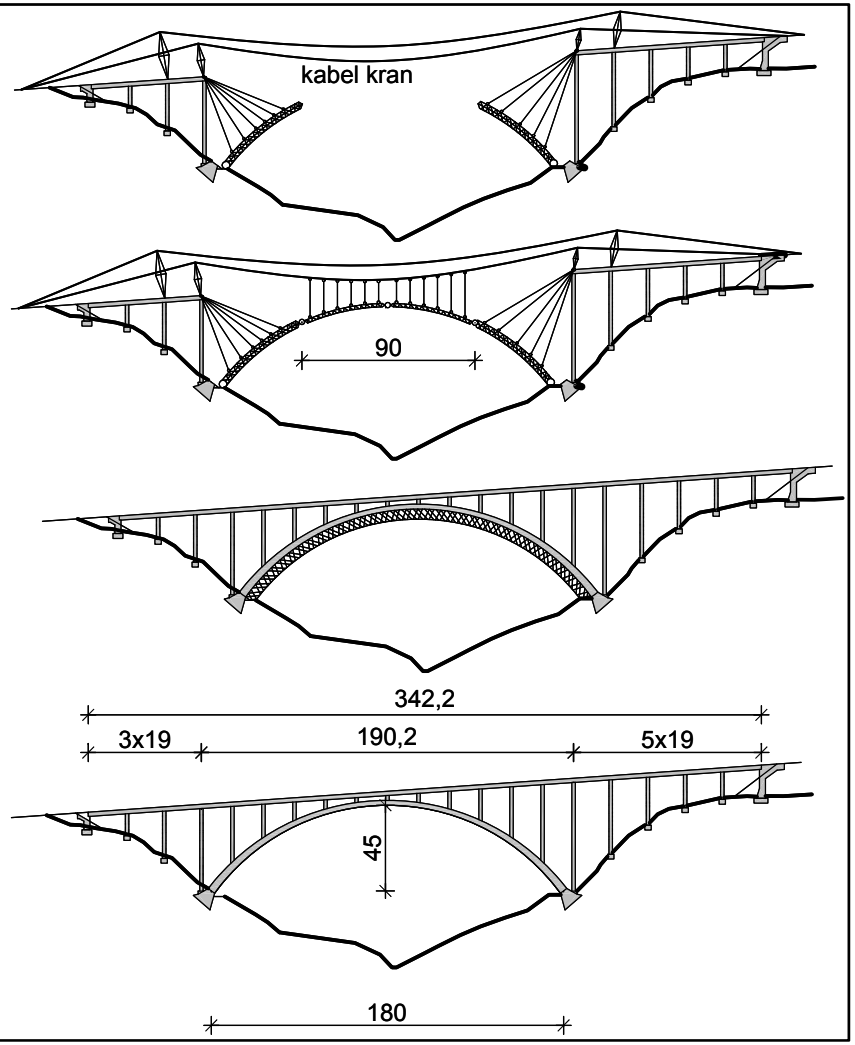
1.dvokatni petni dio skele

2.priključene jednokatne rešetke, pridržane privremenim vješaljkama

3.središnjim rešetkama dodan je kat da postanu samonoseće

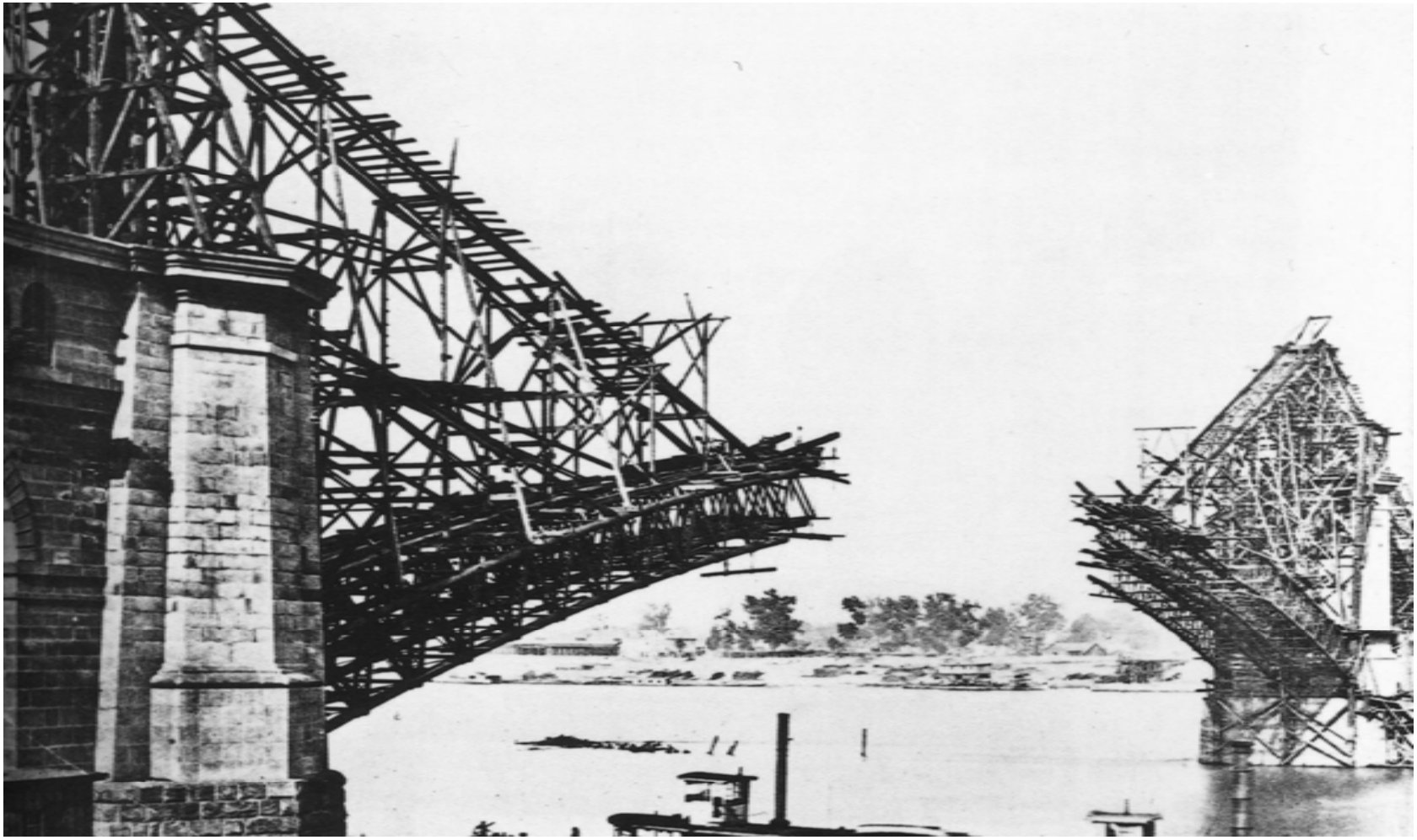
4.po zatvaranju privremenih zglobova dodan je treći kat kompletnoj rešetci

5.po polaganju oplate moglo se pristupiti postupnom simetričnom betoniranju donje ploče luka



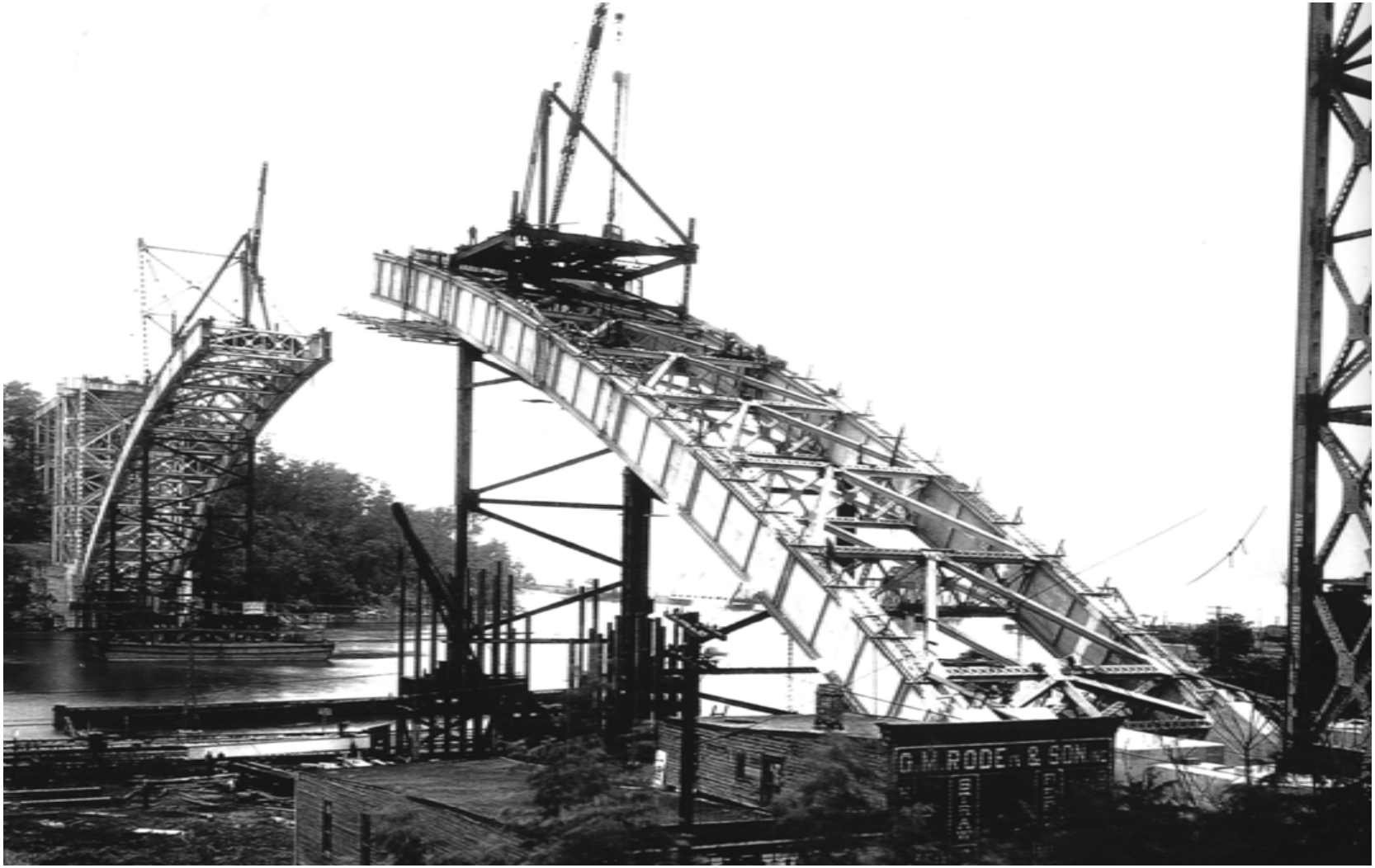
KONZOLNA IZVEDBA

Prvenstveno primjenjivana kod čeličnih lukova



KONZOLNA IZVEDBA

Prvenstveno primjenjivana kod čeličnih lukova

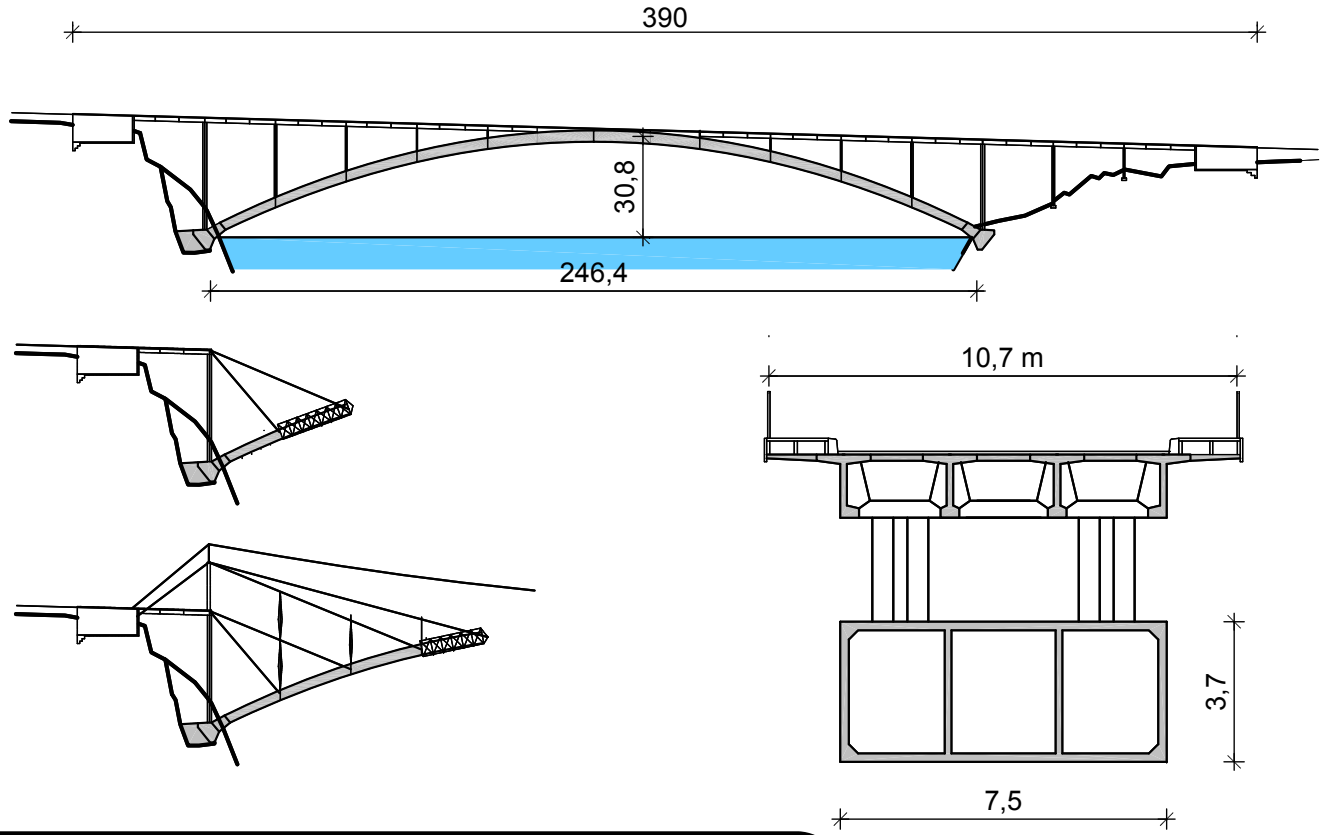


KONZOLNA IZVEDBA

Začetci konzolnih izvedbi masivnih lukova - Freyssinet, Caracas, 1952. g.



PRVE KONZOLNE IZVEDBE BETONSKIH LUKOVA



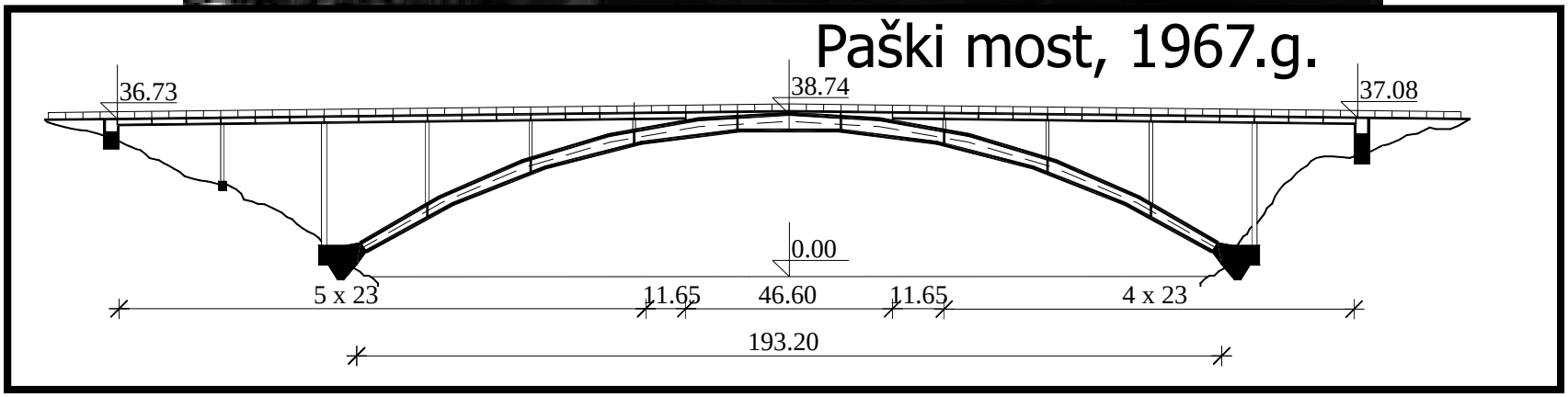
- Lukovi betonirani na mjestu,
- odsječci jednake duljine,
- čelična skela premještana plovnim dizalicama,
- zatege od krutih čeličnih profila

Šibenski most,
1964.g.

PRVE KONZOLNE IZVEDBE BETONSKIH LUKOVA



Paški most, 1967.g.



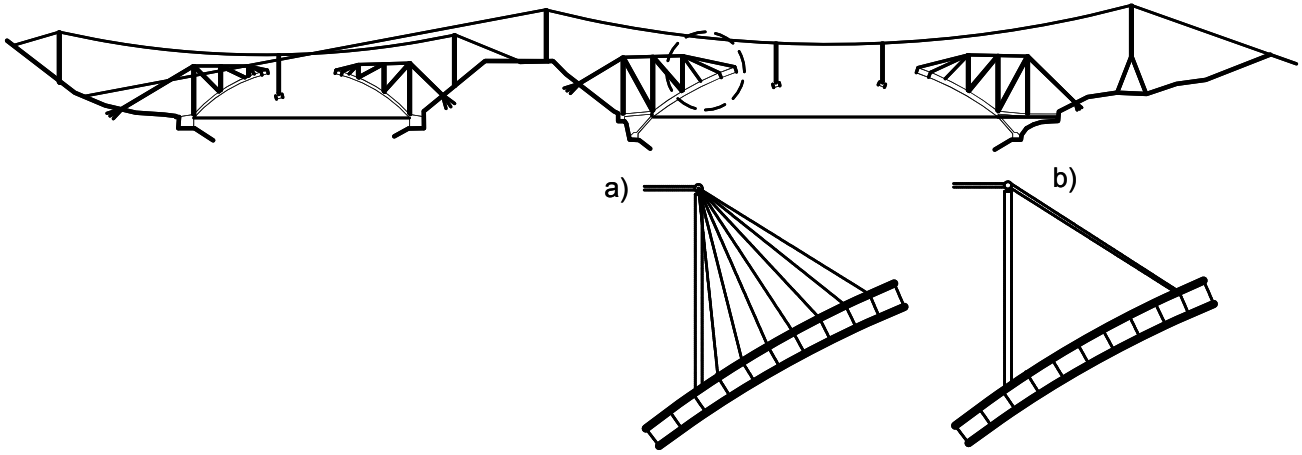
KONZOLNA IZVEDBA FORMIRANJEM REŠETKE

Istodobno građenje luka i nadlučnog sklopa

- uključivanje djelova u zajedničko nošenje već tijekom gradnje
- skraćenje trajanja građenja

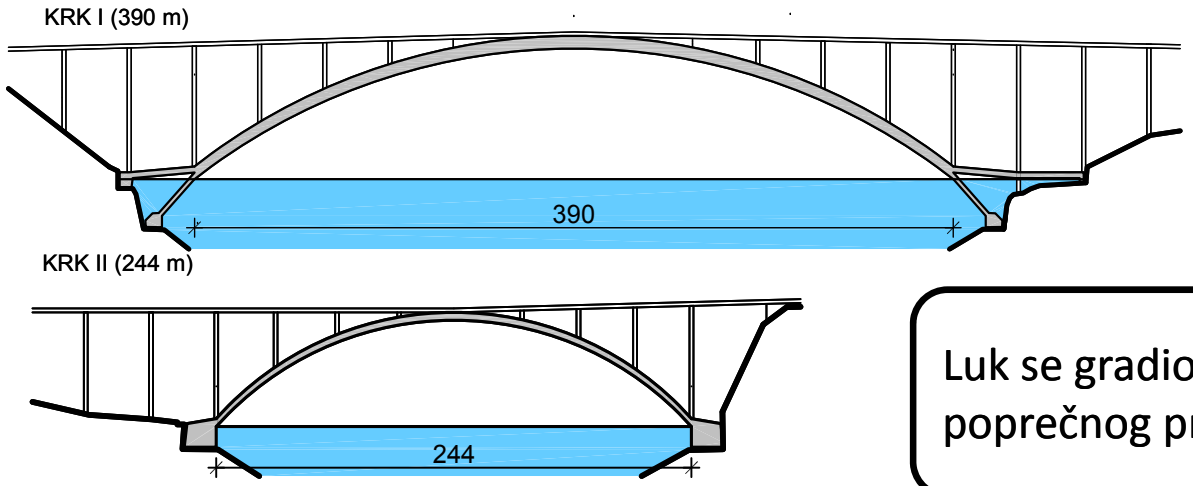
Postupna izvedba rešetkaste konzole:

- vlačni pojas – nadlučni sklop
- tlačni pojas – luk
- privremene vlačne dijagonale između stupova

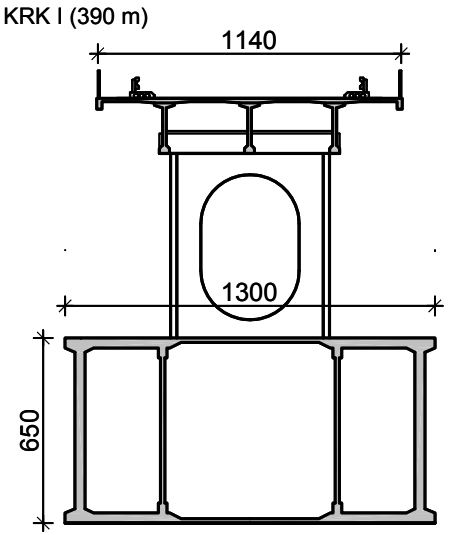


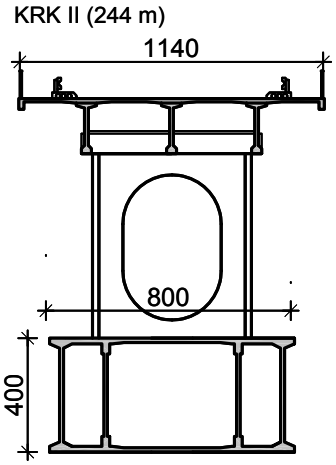
Krčki most, 1981.g.

KONZOLNA IZVEDBA FORMIRANJEM REŠETKE



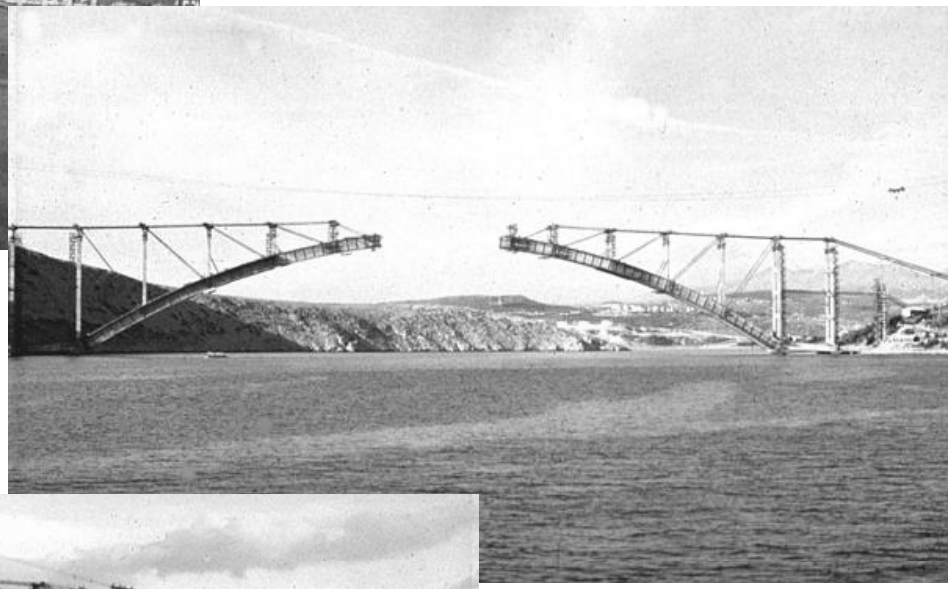
Luk se gradio postupnim formiranjem poprečnog presjeka





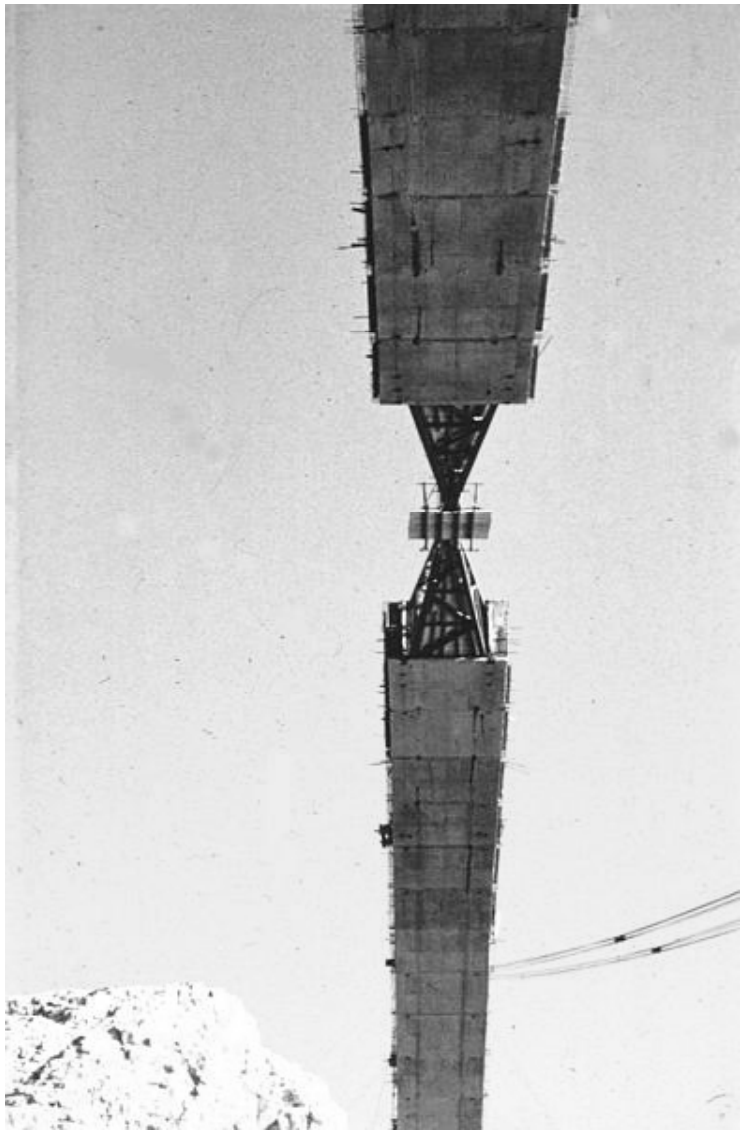
KONZOLNA IZVEDBA FORMIRANJEM REŠETKE

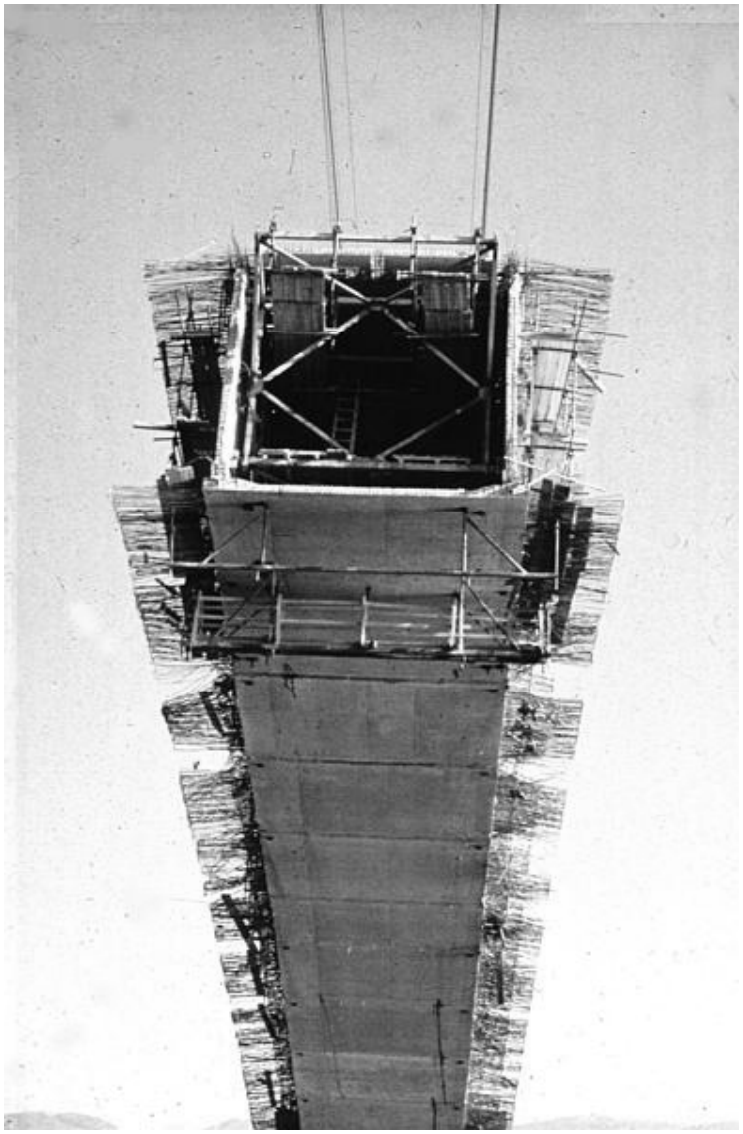




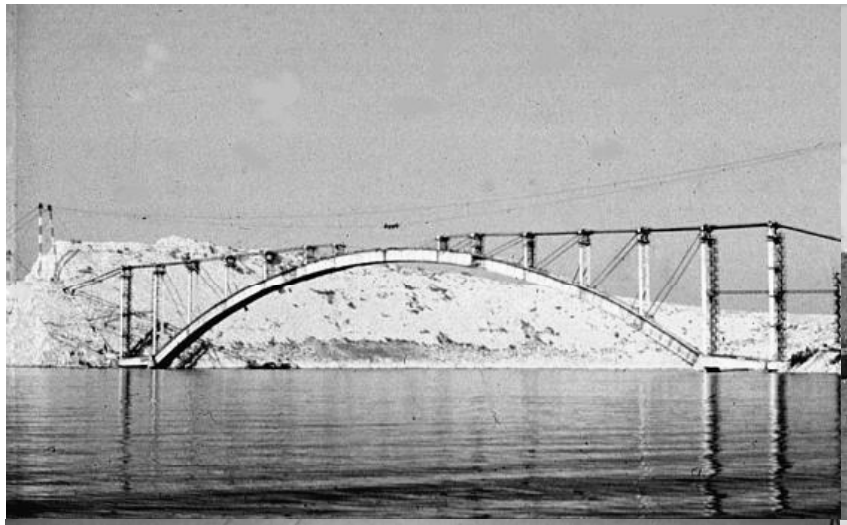


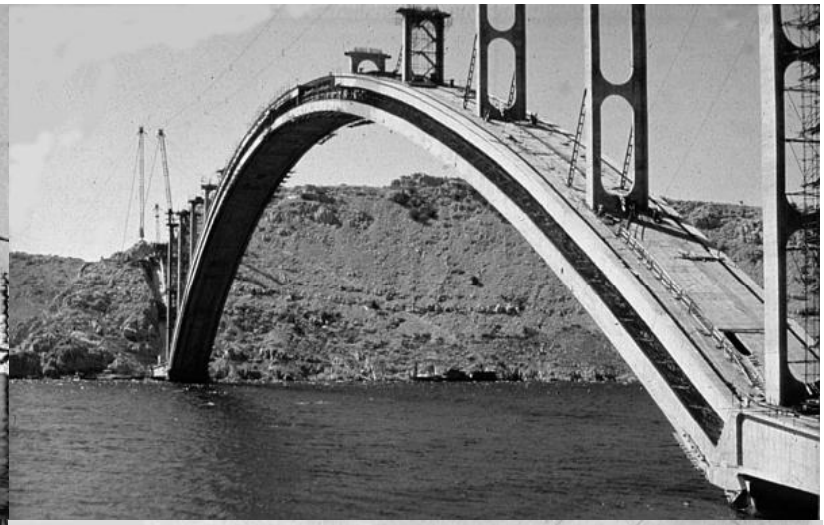
KONZOLNA IZVEDBA FORMIRANJEM REŠETKE



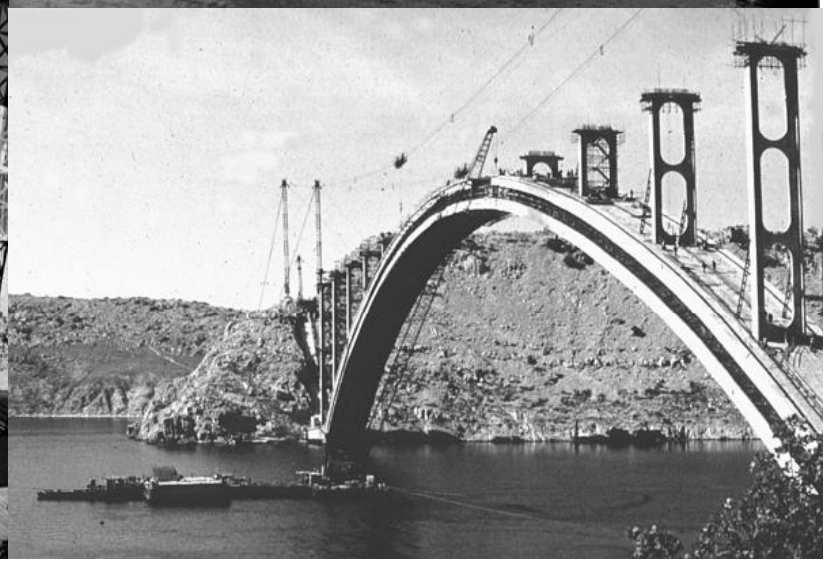


KONZOLNA IZVEDBA FORMIRANJEM REŠETKE



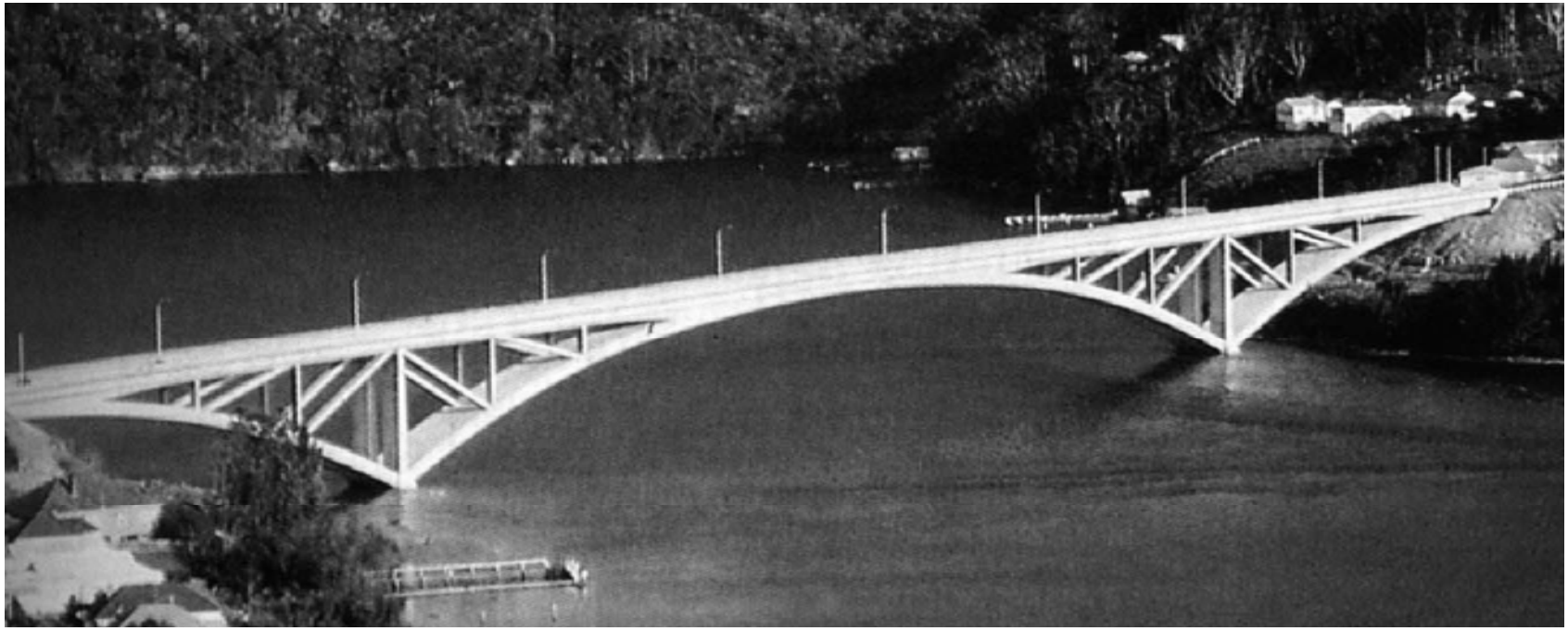






KONZOLNA IZVEDBA FORMIRANJEM REŠETKE

Konzolnom gradnjom može se formirati i konačni sustav (vlačne dijagonale nisu samo privremene)



Most Rip, Australija, 70-ih g., L=183 m

KINESKI MOSTOVI S KRUTOM ARMATUROM

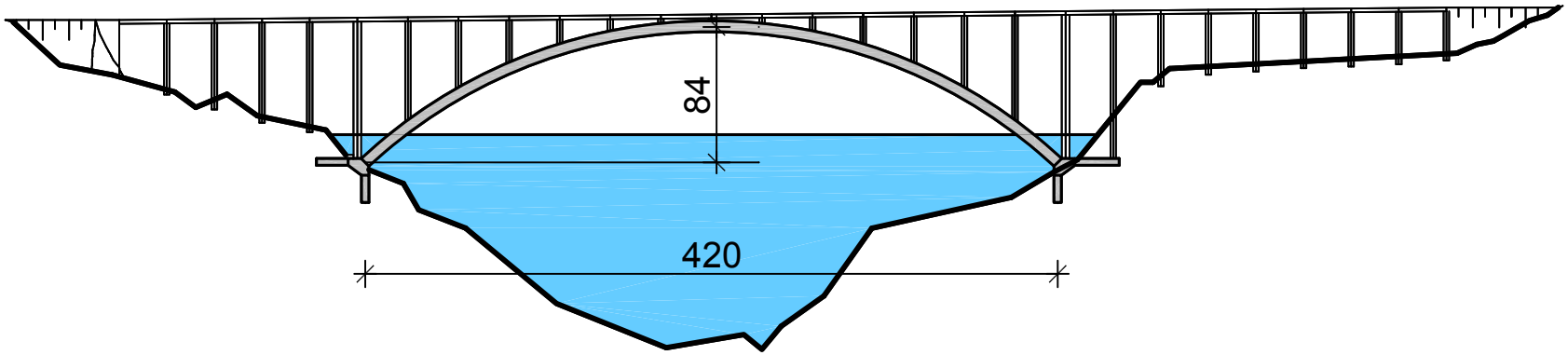
1. Konzolnom montažom sa zategama izvodi se rešetkasti luk od šupljih čeličnih cijev.

2. Cijevi samonosivog luka ispunjavaju se betonom, na takav način da se postigne dobra prionjivost između betona i stjenke cijevi. Koristi se beton s minimalnim skupljanjem.

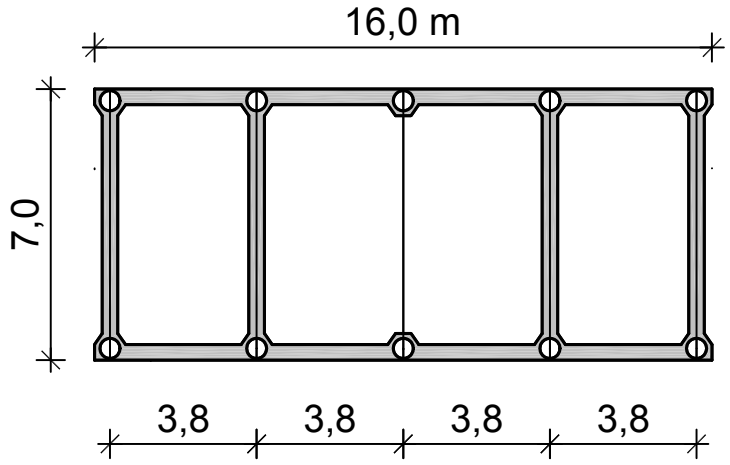
3. Na ispunjenu rešetku povećane nosivosti vješa se skela na kojoj se betonira luk. Rešetkasti sklop ostaje ubetoniran, kao kruta armatura.

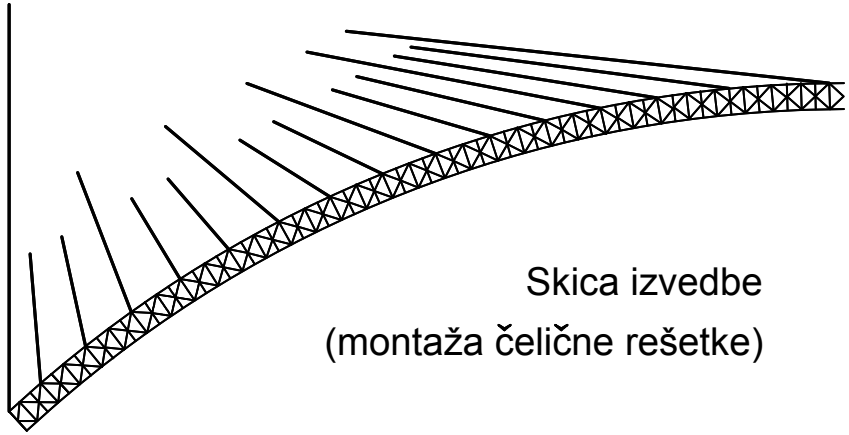
4. Po dovršenju luka nad njim se izvodi rasponski sklop.

KINESKI MOSTOVI S KRUTOM ARMATUROM



Presjek luka

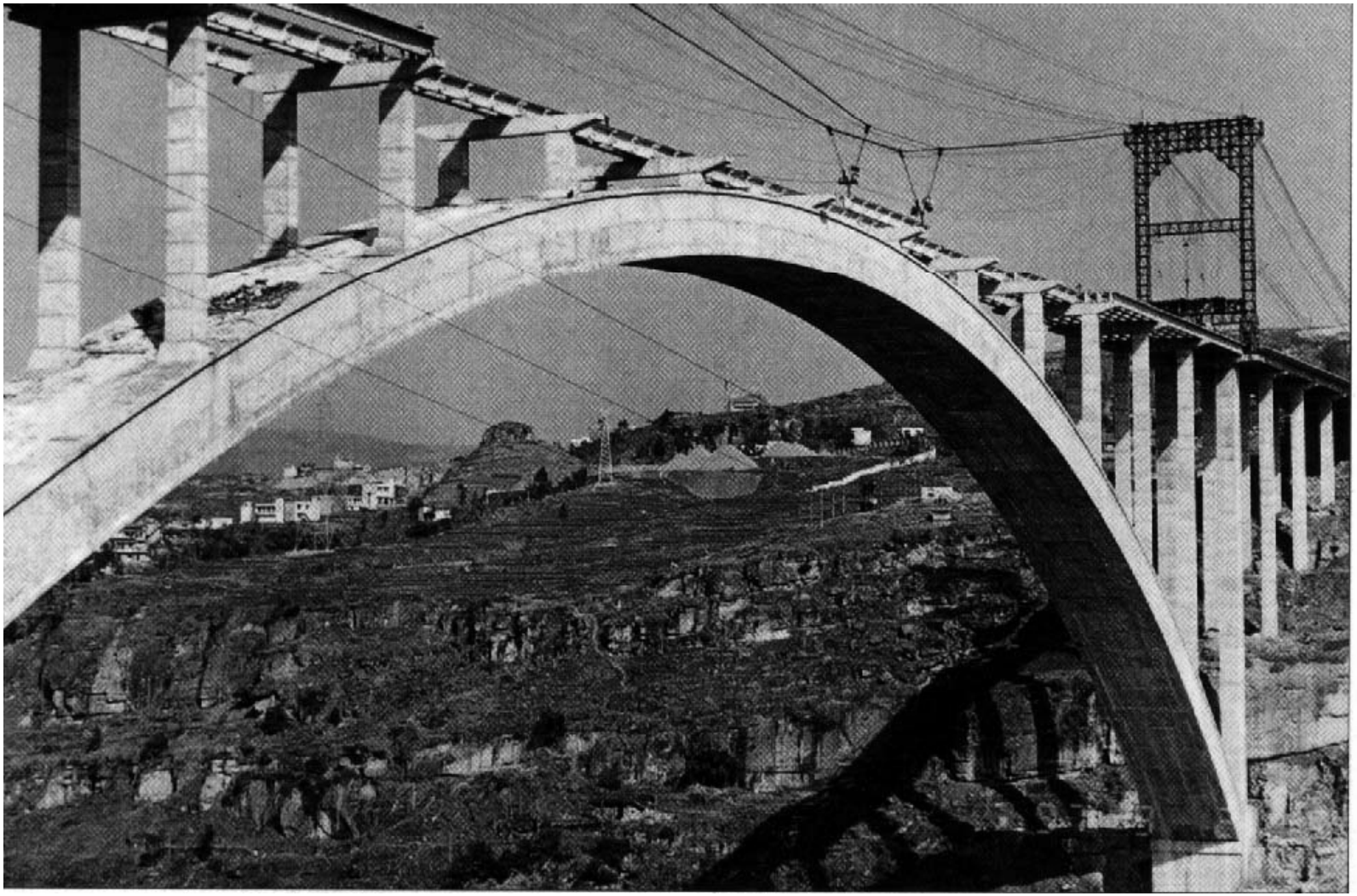




Skica izvedbe
(montaža čelične rešetke)

Most Wanxian, 1998. g., L= 420 m,
čelične cijevi ispunjene betonom

KINESKI MOSTOVI S KRUTOM ARMATUROM

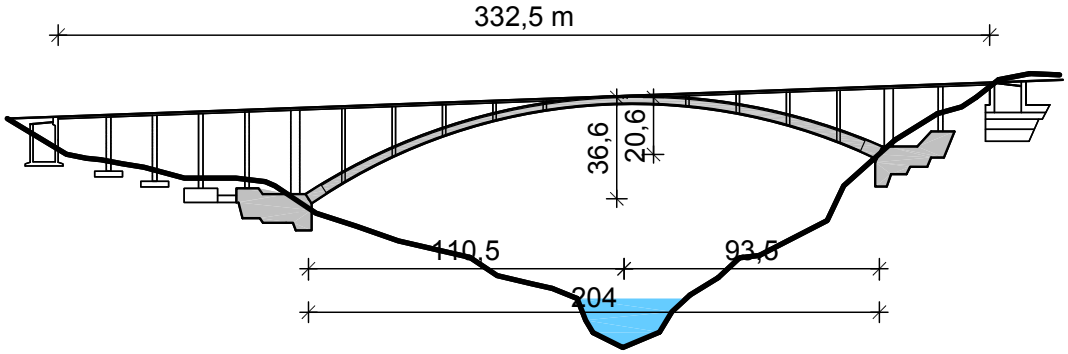


Most Wanxian, 1998. g., L= 420 m, betoniran luk

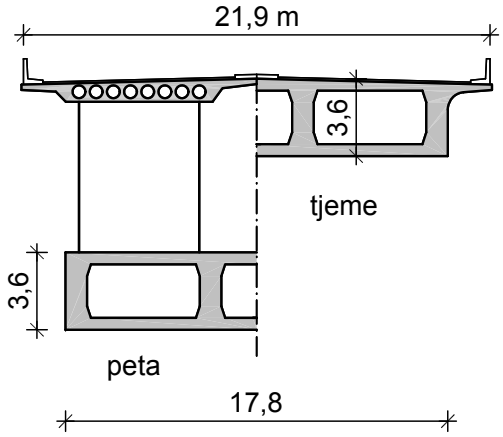
JAPANSKI POSTUPCI IZVEDBE

Konzolna izvedba s privremenim zavješenjem luka o pomoćni pilon

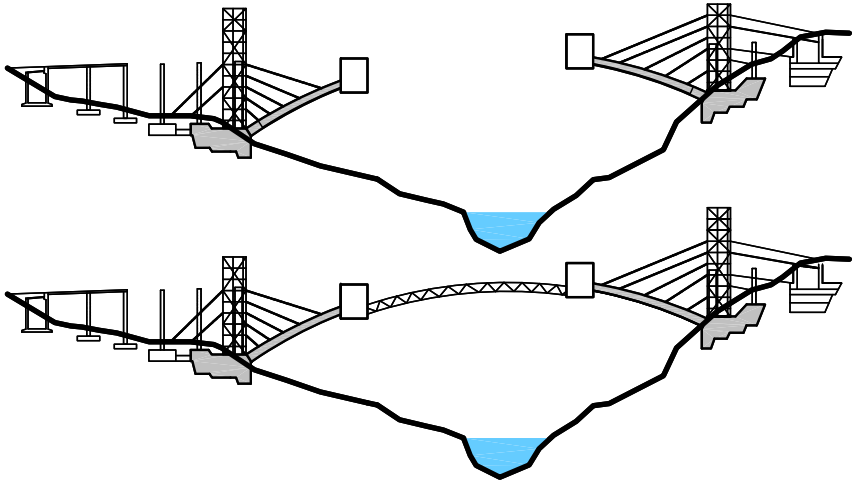
Montaža samonosive krute armature od čeličnih profila uz naknadno presvlačenje betonom (Melanov postupak)



Presjek



Skica izvedbe

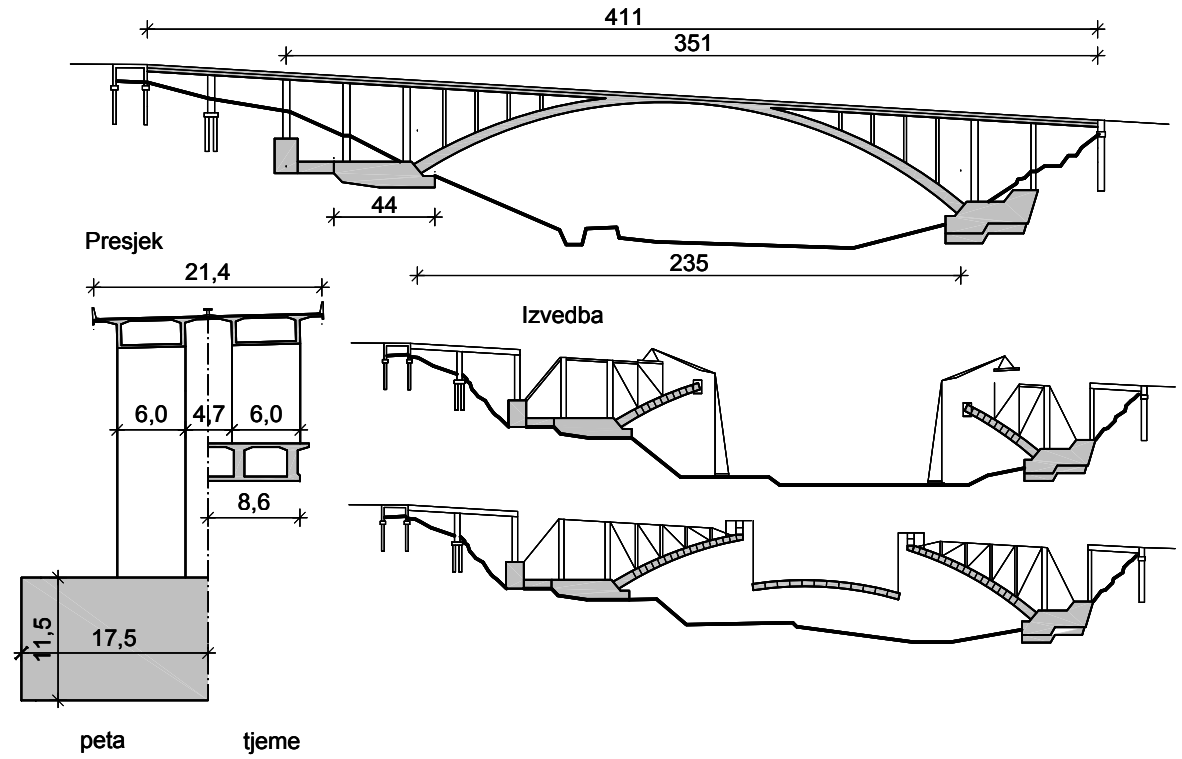


Most Usugawa, 1982. g., L= 204 m

JAPANSKI POSTUPCI IZVEDBE

Konzolna izvedba s formiranjem rešetke koju čine luk, stupovi, grede za ukrućenje i dijagonale

Montaža samonosive krute armature od čeličnih profila uz naknadno presvlačenje betonom (Melanov postupak)



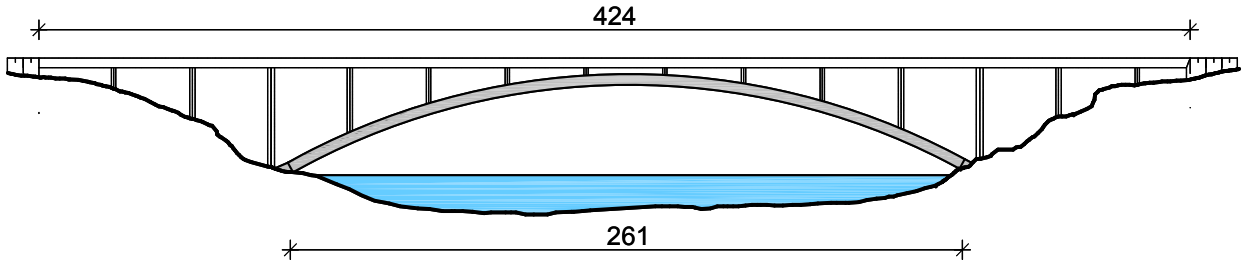
Most Beppu Myouban, 1989. g., L= 235 m

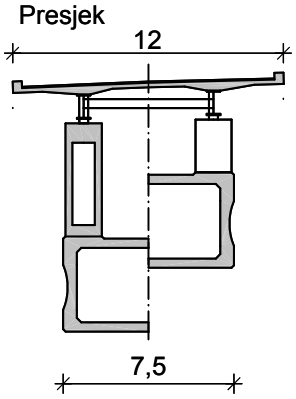
FRANCUSKI MOSTOVI SA SPREGNUTIM

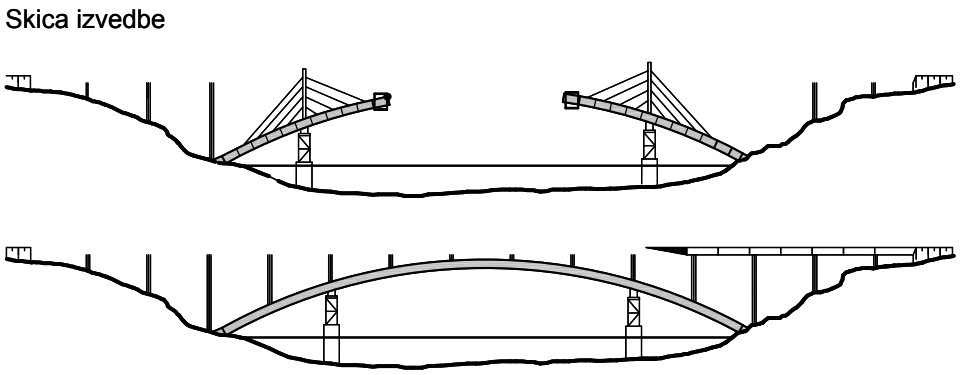
Peta luka – konzolnim postupkom uz podupiranje do drugog nadlučnog stupa (privremeni stupovi na 2x29 m od pete luka).

Središnji dijelovi lukova – konzolnim postupkom, s privremenim pilonom nad pomoćnim stupom i s pomoćnim zategama.

Nadlučni sklop – potiskivanjem s jedne obale.





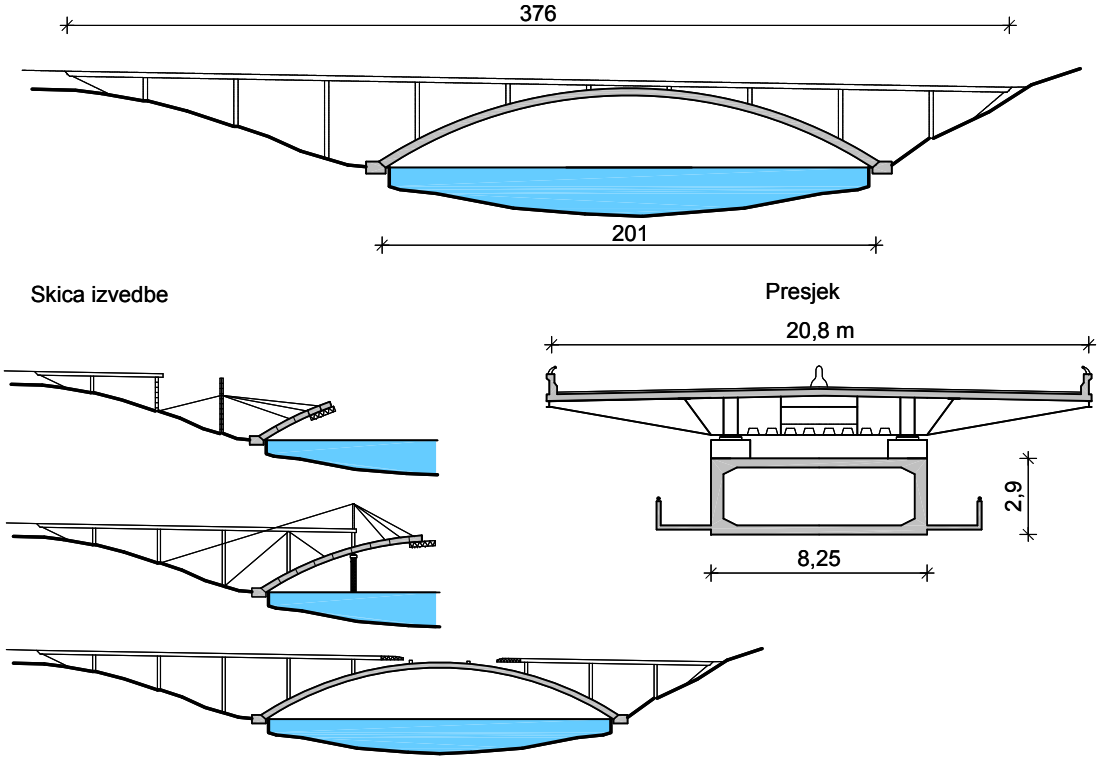


Most Chateaubriand, 1994. g., L= 261 m

FRANCUSKI MOSTOVI SA SPREGNUTIM

Peta luka – konzolnim postupkom uz podupiranje do drugog nadlučnog stupa (privremeni stupovi na 46 m od pete luka).

Središnji dijelovi lukova – konzolnim postupkom, s privremenim pilonom nad pomoćnim stupom i s pomoćnim zategama.



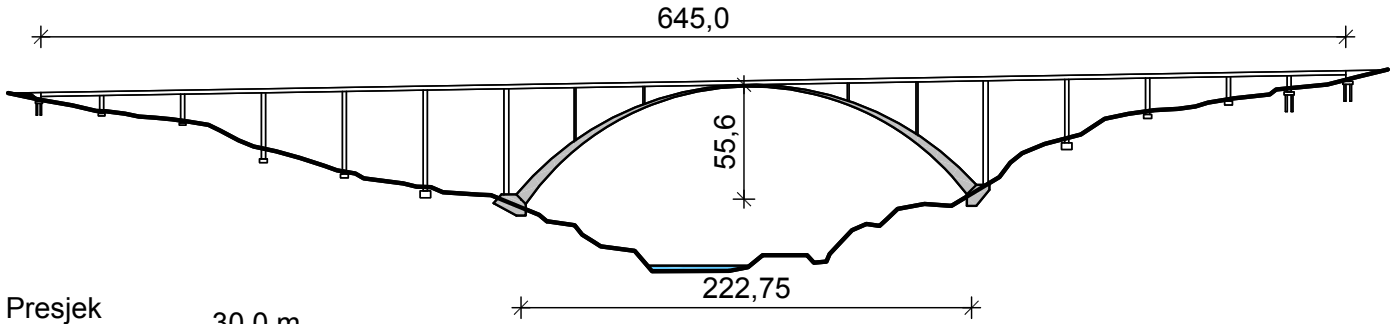
Nadlučni sklop – potiskivanjem s obje obale.

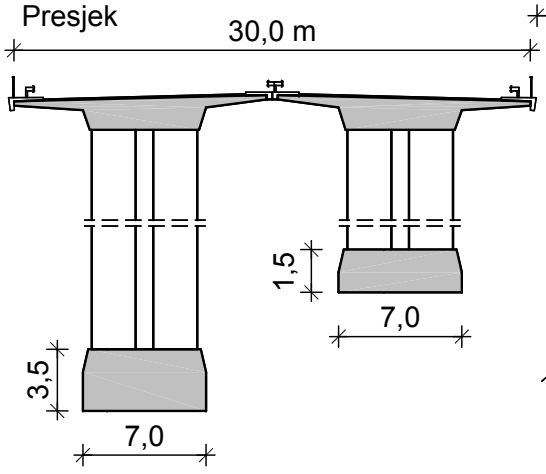
Most Morbihan, 1994. g.,L= 201 m

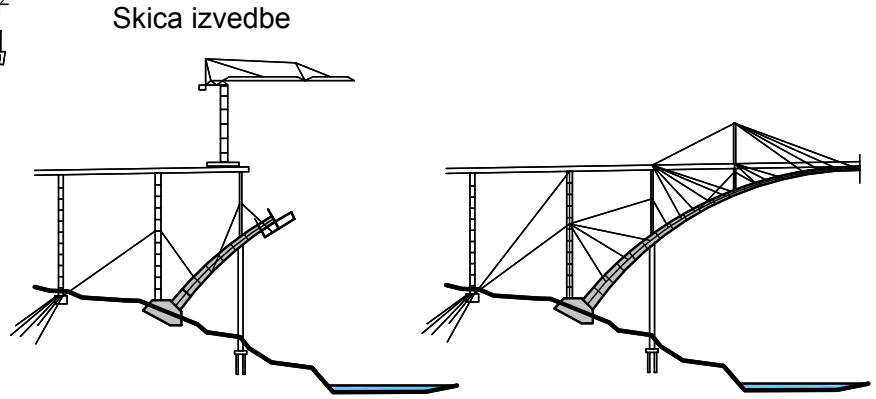
SUVREMENI LUČNI MOSTOVI IZVEDENI

Puni nadlučni stupovi i pločasti nadlučni sklop sudjeluju u prijenosu opterećenja s upetim punim lukom i osiguravaju njegovu stabilnost.

Konzolni postupak s privremenim kosim zategama. Konzole su dodatno poduprte pomoćnim stupovima.





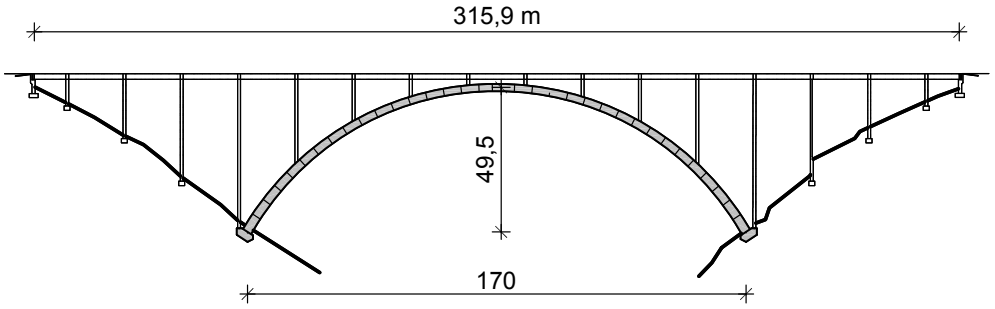


Most Kyll,
1997. g.,
L= 223 m

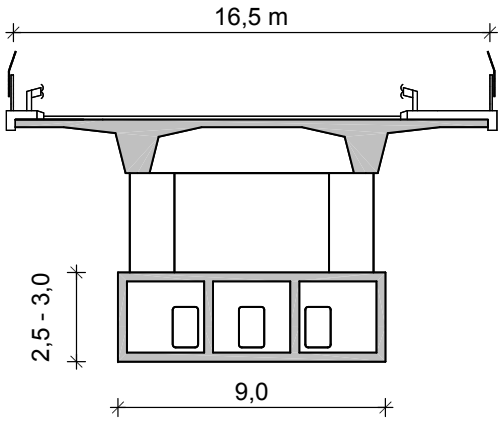
SUVREMENI LUČNI MOSTOVI IZVEDENI

LUK - konzolni postupak s pomoćnim pilonima nad petnim stupovima.

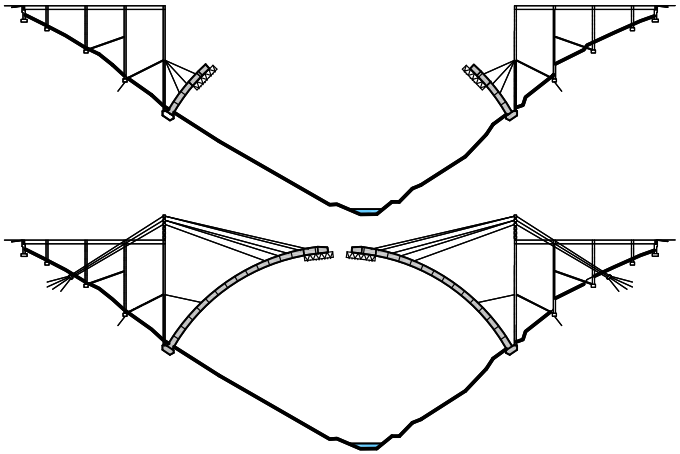
NADLUČNI SKLOP – betoniranjem na mjestu, polje po polje.



Presjek



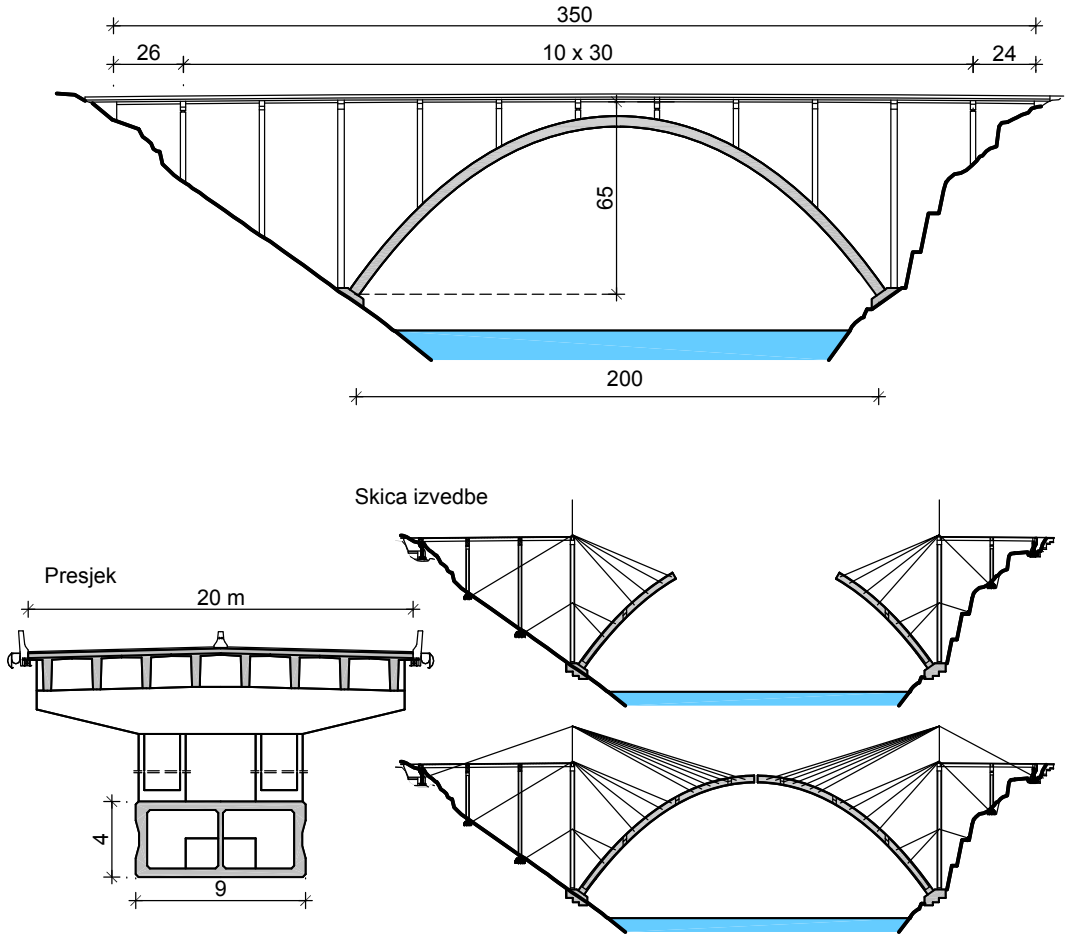
Skica izvedbe



Most Grosse Mühl, 1991. g., L= 170 m

SUVREMENI LUČNI MOSTOVI IZVEDENI

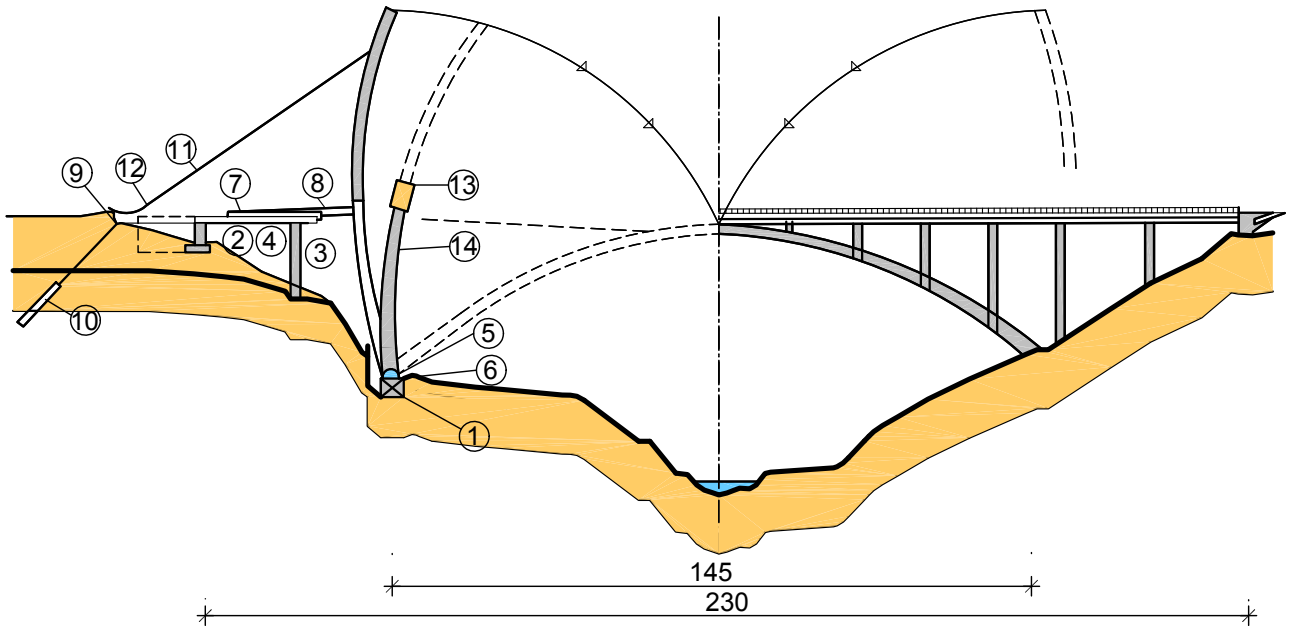
Konzolni postupak s pomoćnim pilonima nad petnim stupovima visine 23 m. Izvedba luka u pomičnoj oplati, u odsječcima duljine 5,26 m.



Most Maslenica,
1997. g., L= 200 m

LUKOVI IZVEDENI ZAOKRETANJEM POLOVICA

Lučne polovice, predgotovljene ili betonirane na mjestu, zaokretanjem odnosno postupnim spuštanjem dovedu se u konačni položaj i potom povežu u tjemenu.



① TEMELJ LUKA
② UPORNJAK MOSTA
③ STUP
④ KOLNIČKA KONSTR.
⑤ ZGLOBNI LEŽAJ
⑥ PRIVREMENA UPETOST
⑦ HIDRULIČNA PREŠA
⑧ CIJEVNI DRŽAČI
⑨ SIDRENI BLOK
⑩ STJENSKA SIDRA
⑪ KABELI
⑫ PREŠE ZA SPUŠTANJE LUKA
⑬ PENJAJUĆA OPLATA
⑭ LUK U GRADNJI (1. faza)

Privremeni zakretni zglob nakon izvedbe se može ubetonirati.

Most Argentobel, 1985. g., L= 145 m



PRORAČUN I ARMIRANJE



Prije uvođenja računala

- Pojednostavnjeni postupci ograničeni na sustav i raspon
- Pomagala u vidu tablica
- Projektant bi se odlučio za neki sustav i njemu prilagodio koncepciju sklopa

Danas uvođenjem računala i MKE

- Pri koncipiranju sklopa pojednostavnjene provjere su nezamjenljive
- Modeliranje štapnim elementima: ravninski ili prostorno
- Geometrijska i materijalna nelinearnost, utjecajne linije
- Detalji: pločastim ili prostornim konačnim elementima

MODELIRANJE ZA PRORAČUN

Nosivi sklop lučnog mosta čine

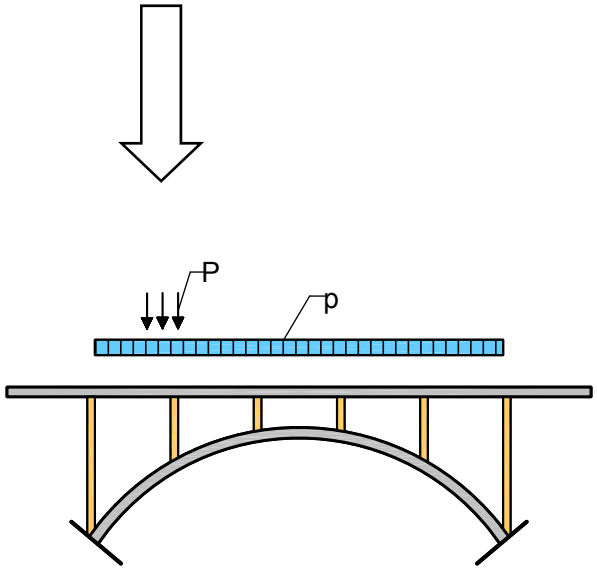
Osnovni lučni ili svođeni nosač

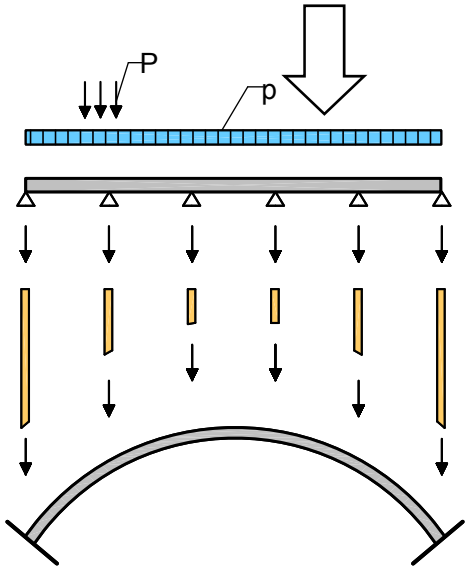
Sekundarni nadlučni sklop (stupovi ili vješaljke+greda)

Osnovna podjela – prema stupnju uključenosti sekundarnog sklopa u nosivi sustav

Uz glavni nosač i pomost je uključen u prijenos opterećenja

Čitavo opterećenje prenosi samo glavni nosač – krutost pomosta je zanemariva



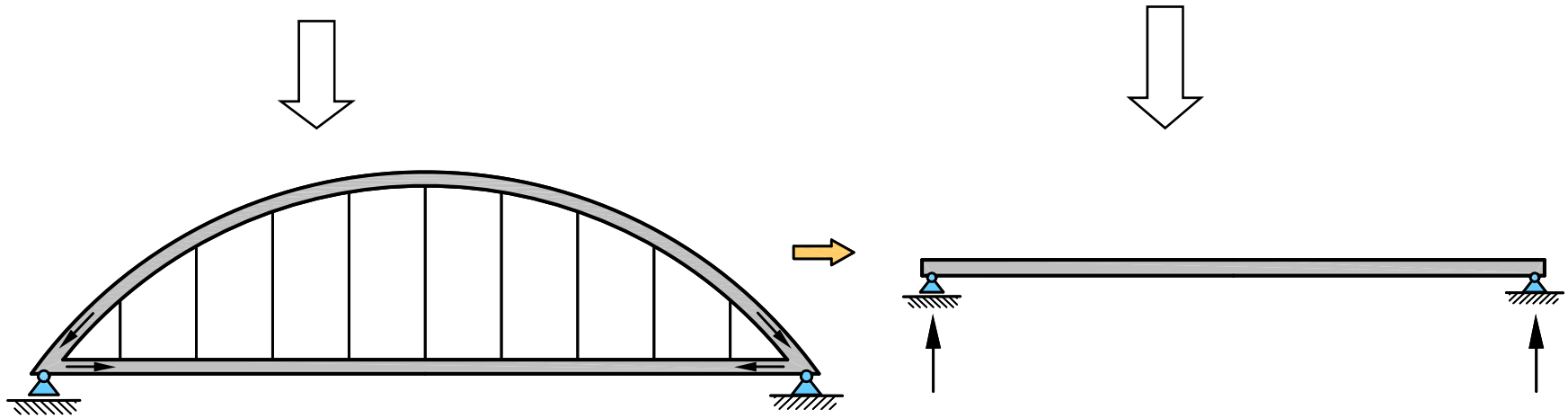


MODELIRANJE ZA PRORAČUN

Luk s preuzetim potiskom:
horizontalna sila na krajevima preuzeta je zategom unutar samog nosača

Iznutra sklop djeluje kao luk – opterećenje se prenosi dominantno uzdužnom silom

Po reakcijama prema van sklop djeluje kao greda – vertikalno opterećenje uzrokuje samo vertikalne reakcije



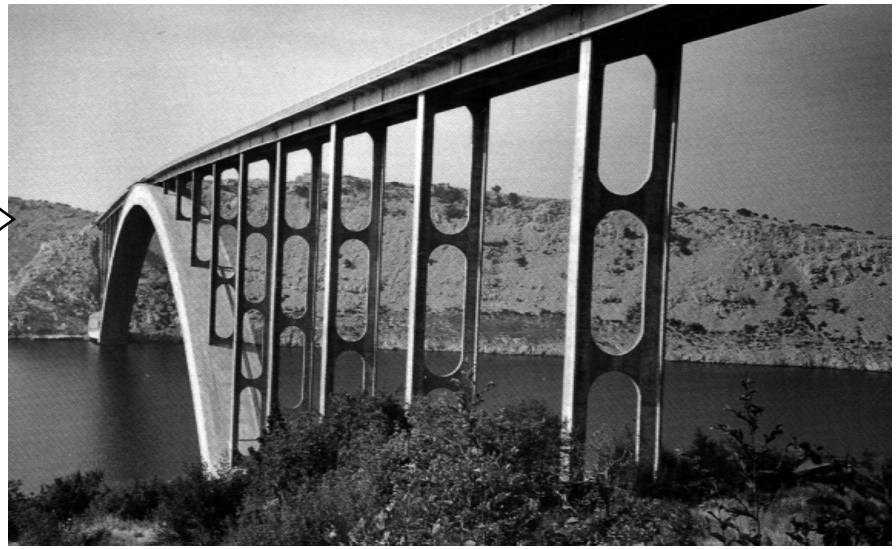
MODELIRANJE ZA PRORAČUN

Tri skupine upetih lukova prema odnosu krutosti luka i krutosti grede

Upeti kruti luk s gipkom

konstrukcijom pomosta Iluka/Igrede ≥20

Lukovi velikih raspona



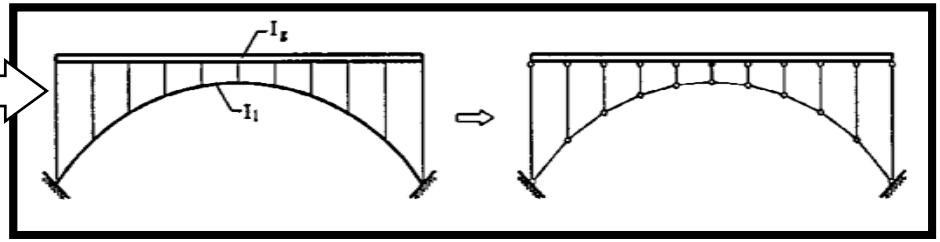
Gipki luk s krutom gredom

Iluka/Igrede ≤ 1

Krutost spojeva takva da ne mogu prenijeti momente

Sustav pogodan za manje lukove

Gipki lukovi podložni izvijanju



Upeti kruti luk s krutom gredom 1 ≤ Iluka/Igrede ≤ 20

Kod proračuna modelirati cjeloviti složeni sustav s realnim krutostima

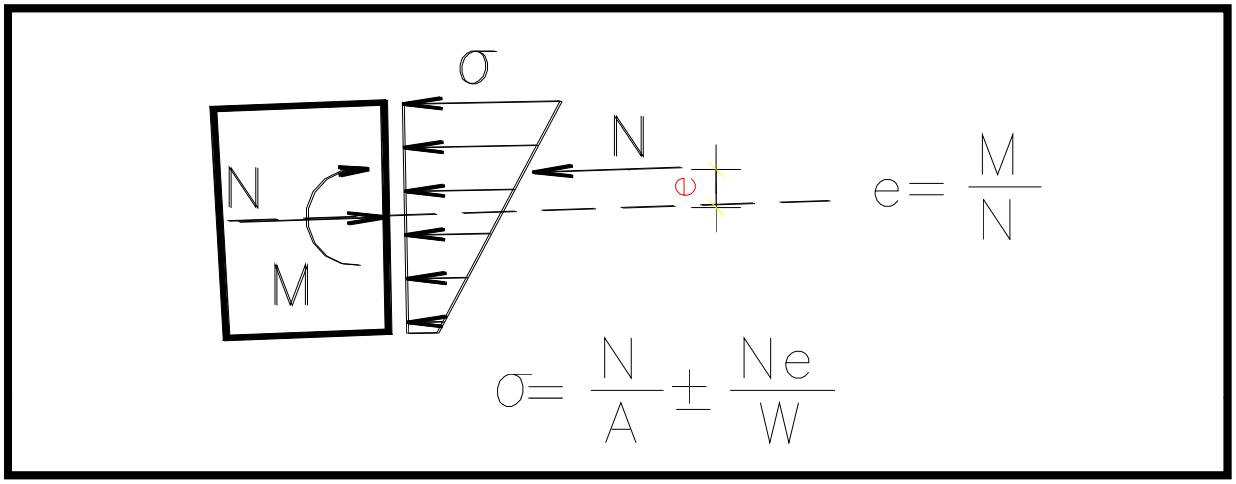
TLAČNA LINIJA

Rezultantna krivulja hvatišta tlačne sile u presjecima luka

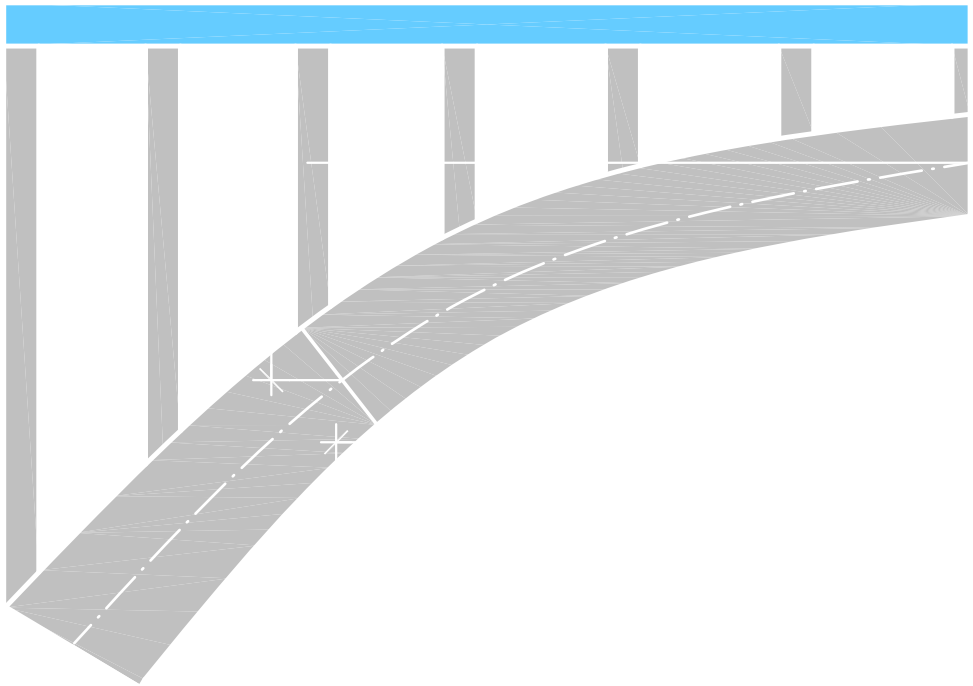
Njome je određen ekscentricitet tlačne sile u svakom presjeku luka

Tlačnom linijom može se odrediti veličina momenata u svim presjecima

Idealan slučaj: tlačna linija podudara se s linijom osi luka – idealan oblik luka – minimalna vlačna naprezanja



TLAČNA LINIJA - analitički



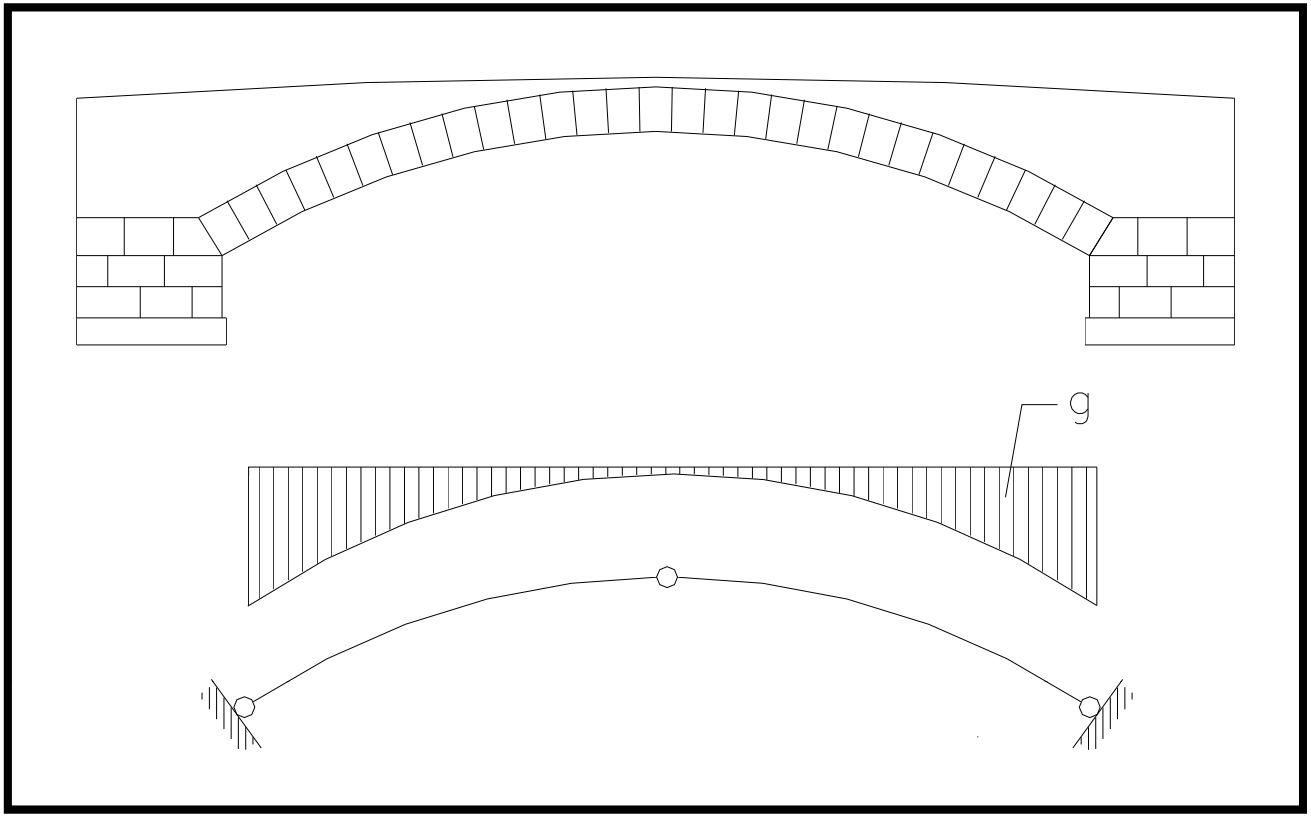
Uvjet poklapanja tlačne linije s osi luka

$$M_x - H\,y = 0$$

M_x - moment sila desno od presjeka x

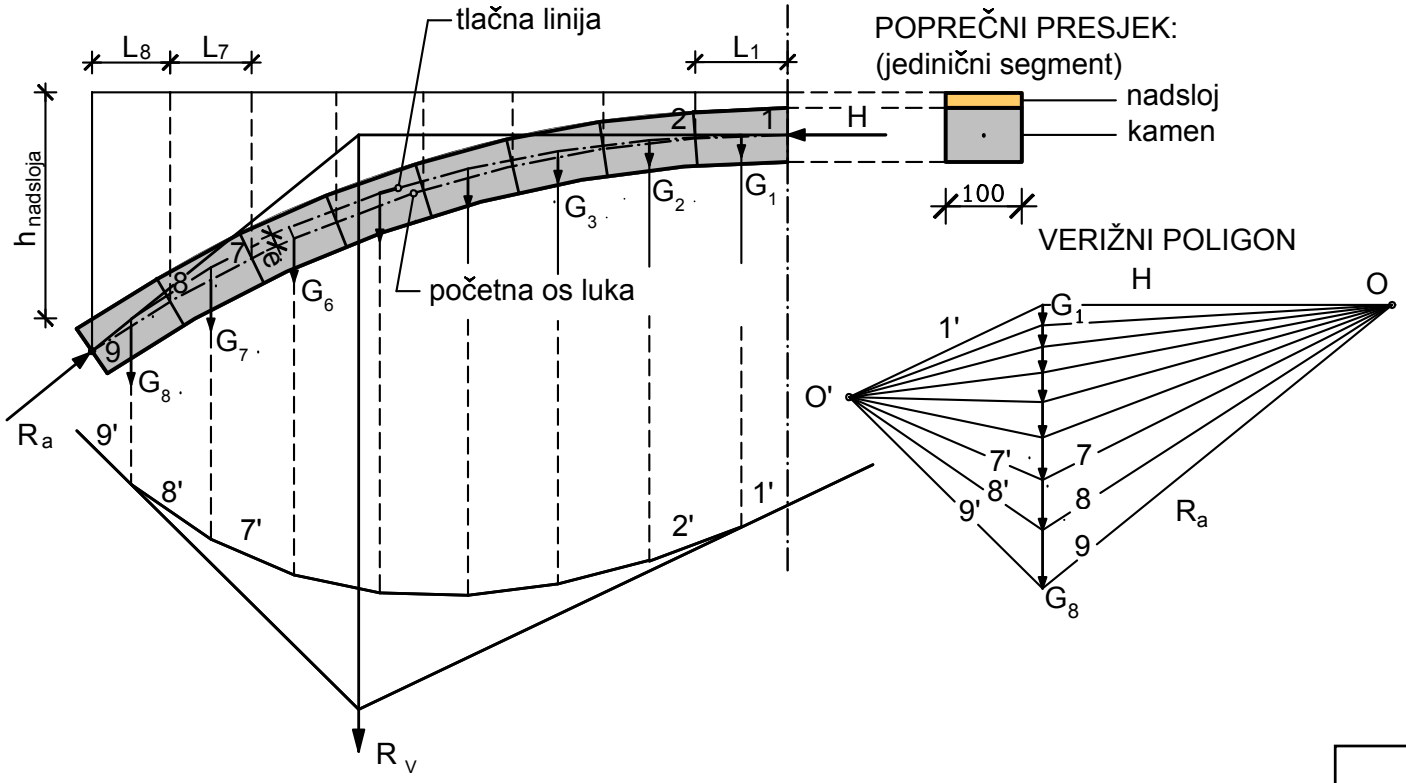
H - horizontalni potisak

TLAČNA LINIJA - grafički



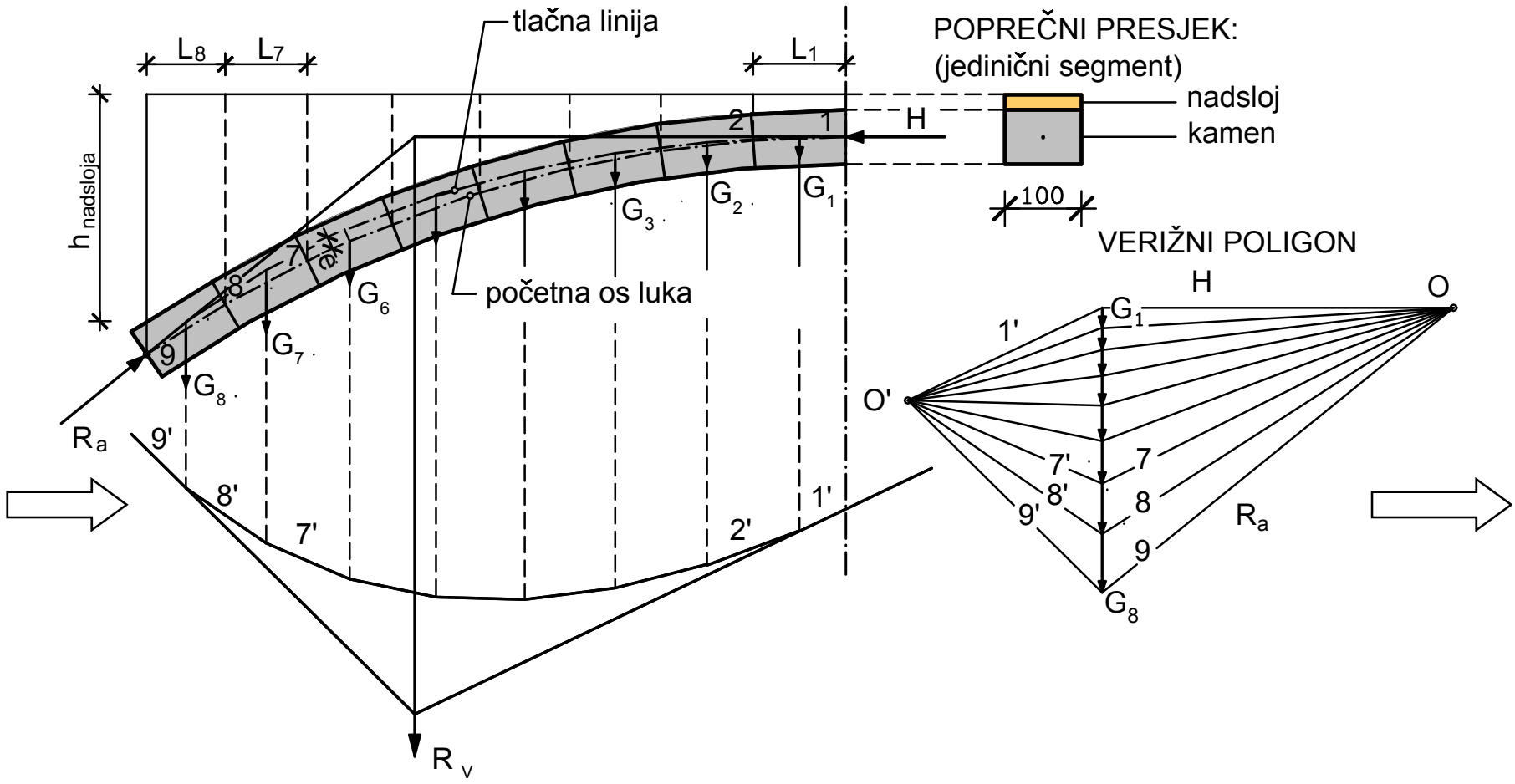
Masivni svod s nadslojem modelira se simetričnim trozglobnim lukom. Zglobovi luka nalaze se u osi svoda (tlačna linija za stalni teret).

TLAČNA LINIJA - grafički



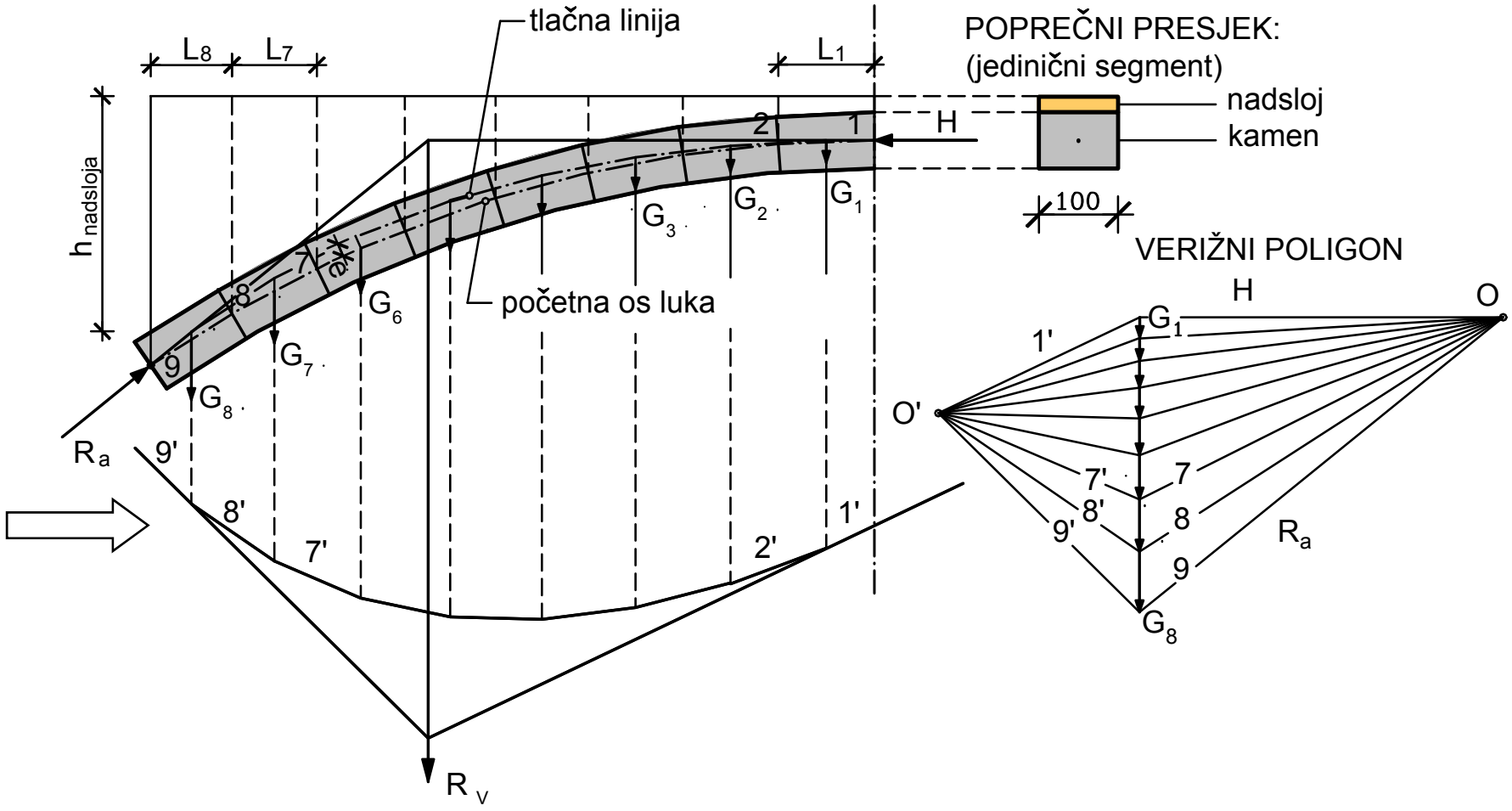
- Opterećenje vlastitom težinom i nadslojem rastavlja se na segmente proizvoljne širine.
- Pretpostavlja se da je luk opterećen nizom koncentriranih sila u osi.
- Započinje se s crtanjem verižnog poligona s obzirom na proizvoljno odabrani pol (O').

TLAČNA LINIJA - grafički



- Nanošenje zraka poligona u duljinama odsječaka luka – pravac Rv
- H i Ra sjeku se s Rv u istoj točci

TLAČNA LINIJA - grafički



- Poznatim pravcima H i Ra određen je novi pol kao i veličina
- S novim zrakama 1-n crta se novi poligon koji mora prolaziti kroz zglobove



TLAČNA LINIJA - grafički

Usporedba osi i tlačne linije pokazuje ispravnost oblikovanja.

Kontrola naprezanja: prema poznatim izrazima pomoću uzdužne sile u svodu i veličine odstupanja tlačne linije od osi e

Os usklađena sa stalnim teretom - prelazimo na ispitivanje svoda na prometno opterećenje (simetrično i antimetrično).

Svakom slučaju opterećenja odgovara jedna tlačna linija – ispitivanjem većeg broja tlačnih linija, konstruktor stječe sliku o naprezanjima u svodu.

Grafoanalitičke metode zamjenjuju računalni postupci.

Ipak za svaki sklop treba znati osnovne računske provjere obaviti ručno.

Nezamjenjive kod koncipiranja i preliminarnog projektiranja.



PROVJERE STABILNOSTI LUKA

AB LUK JE TLAČNI ELEMENT → PROVJERA STABILNOSTI NOSAČA

- U RAVNINI OSI NOSAČA
- U OKOMITOJ RAVNINI

Preporuka za debljine lukova: 1/60 do 1/70 raspona
(iznimno do 1/100)

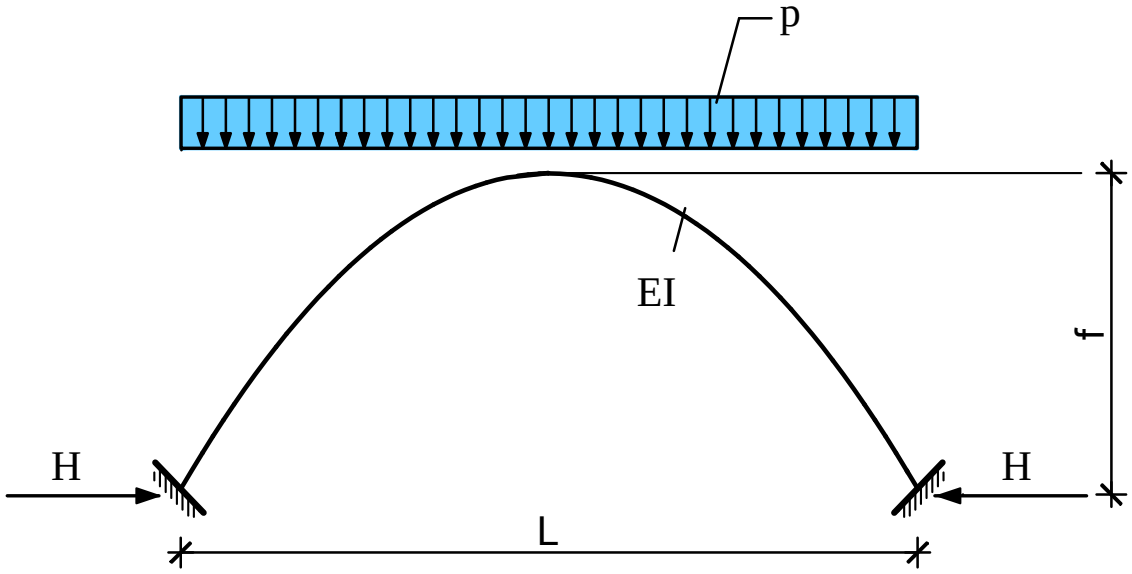
U osi luka: provjera stabilnosti zamjenskog ravnog štapa, prema zakonitostima poznatim iz TM

Okomito na os luka: složen problem, ali nije mjerodavan za pravilno oblikovane lukove

PROVJERE STABILNOSTI LUKA

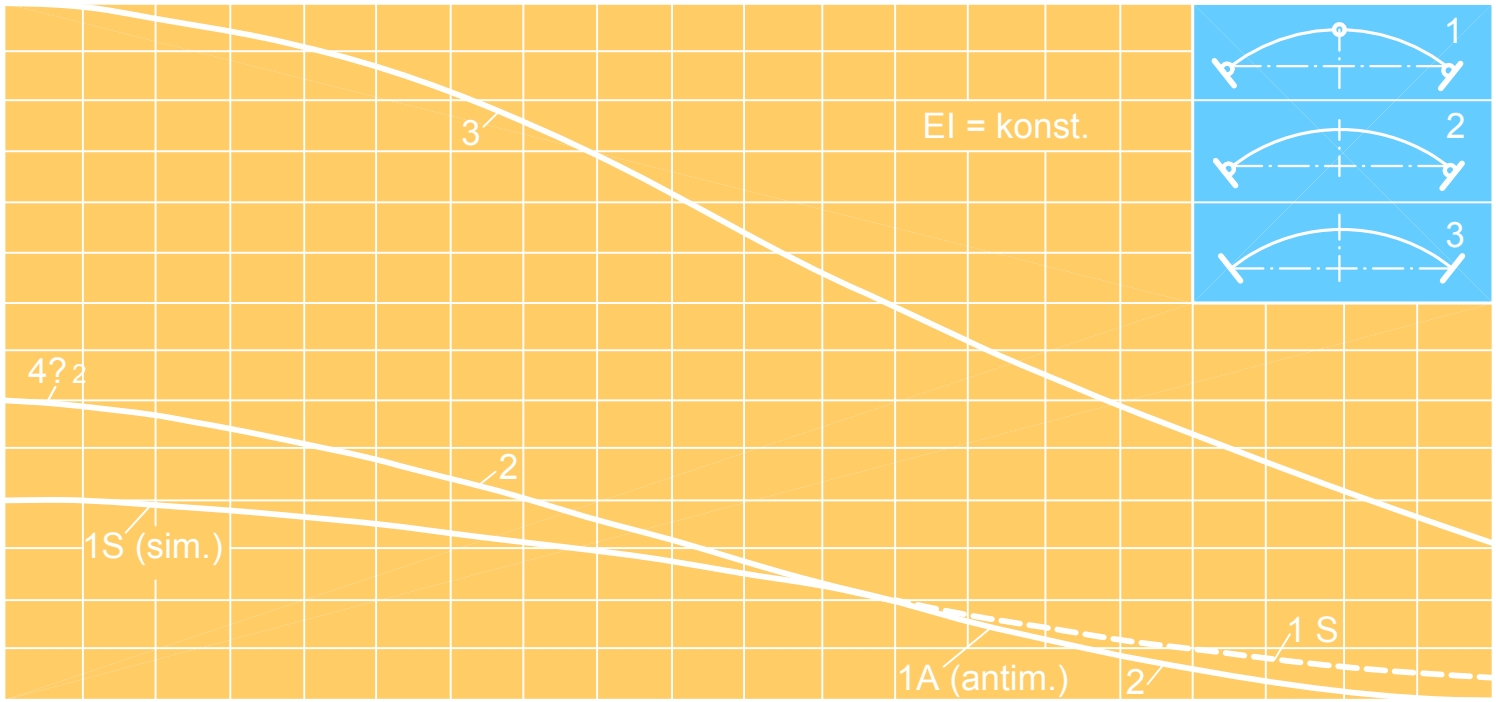
kritična veličina potiska od jednolikog opterećenja za parabolični luk

$$H_{kr} = K \frac{E\, I_s}{L^2}$$



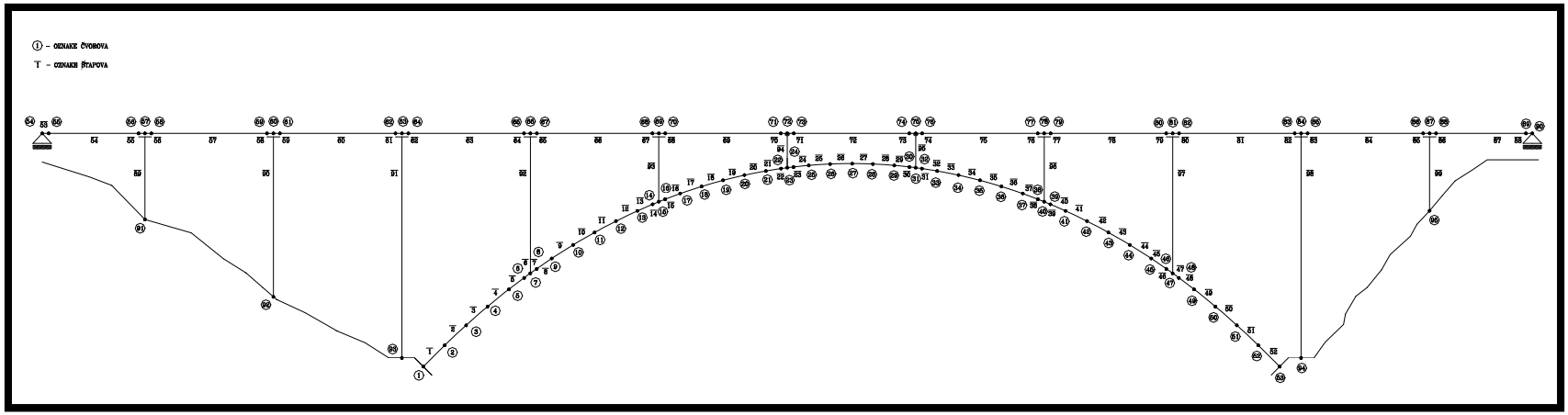
E - modul elastičnosti
Is - moment inercije u tjemenu
L - raspon
K - koeficijent

PROVJERE STABILNOSTI LUKA



Koeficijent K ovisan o:
statičkom sustavu (upeti, dvozglobni ili trozglobni luk),
odnosu strelice i raspona
zakonu promjene poprečnog presjeka

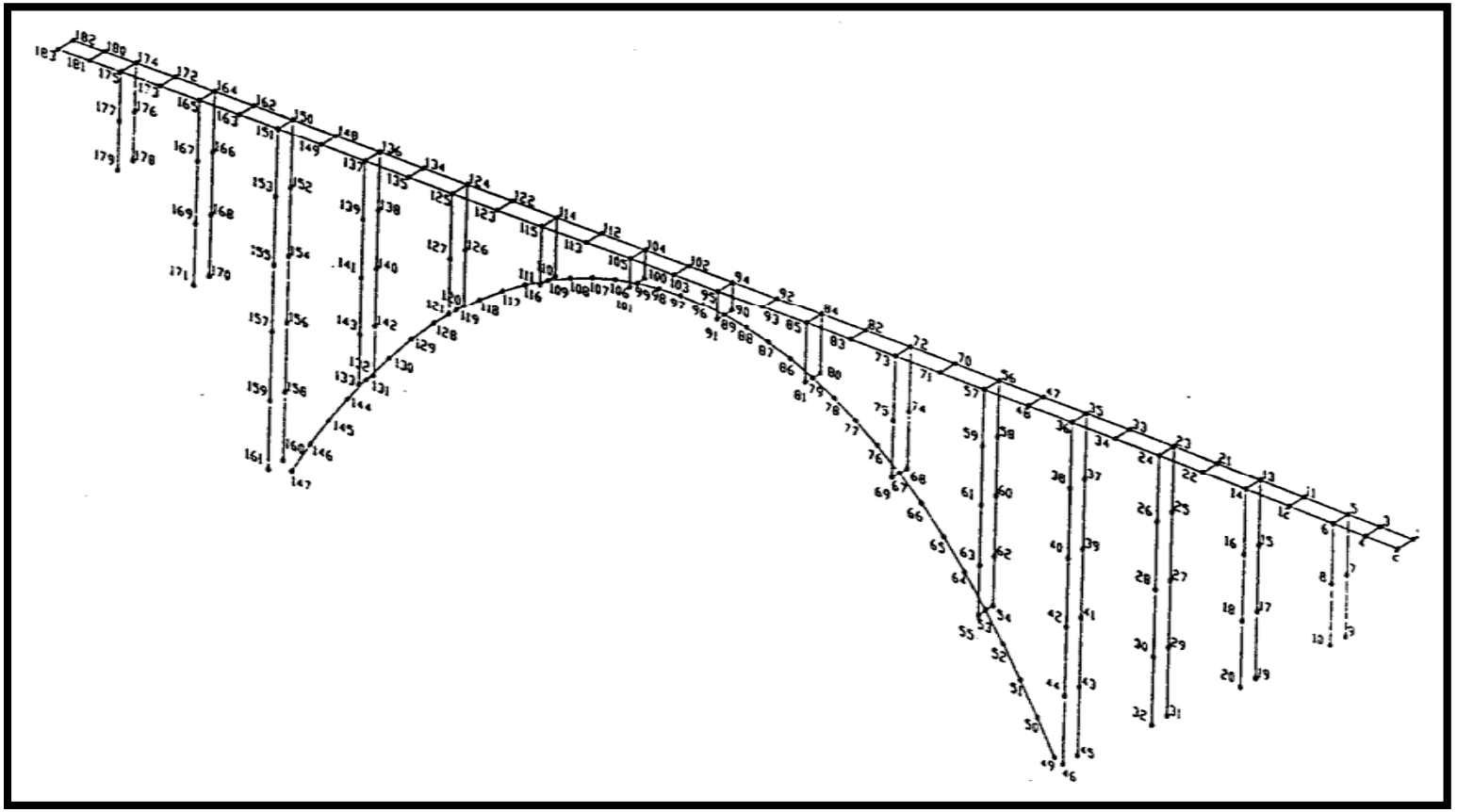
MODELIRANJE ZA MKE



Štapni modeli – ravninski u fazi idejnog projekta
– prostorni u fazi detaljnije razrade

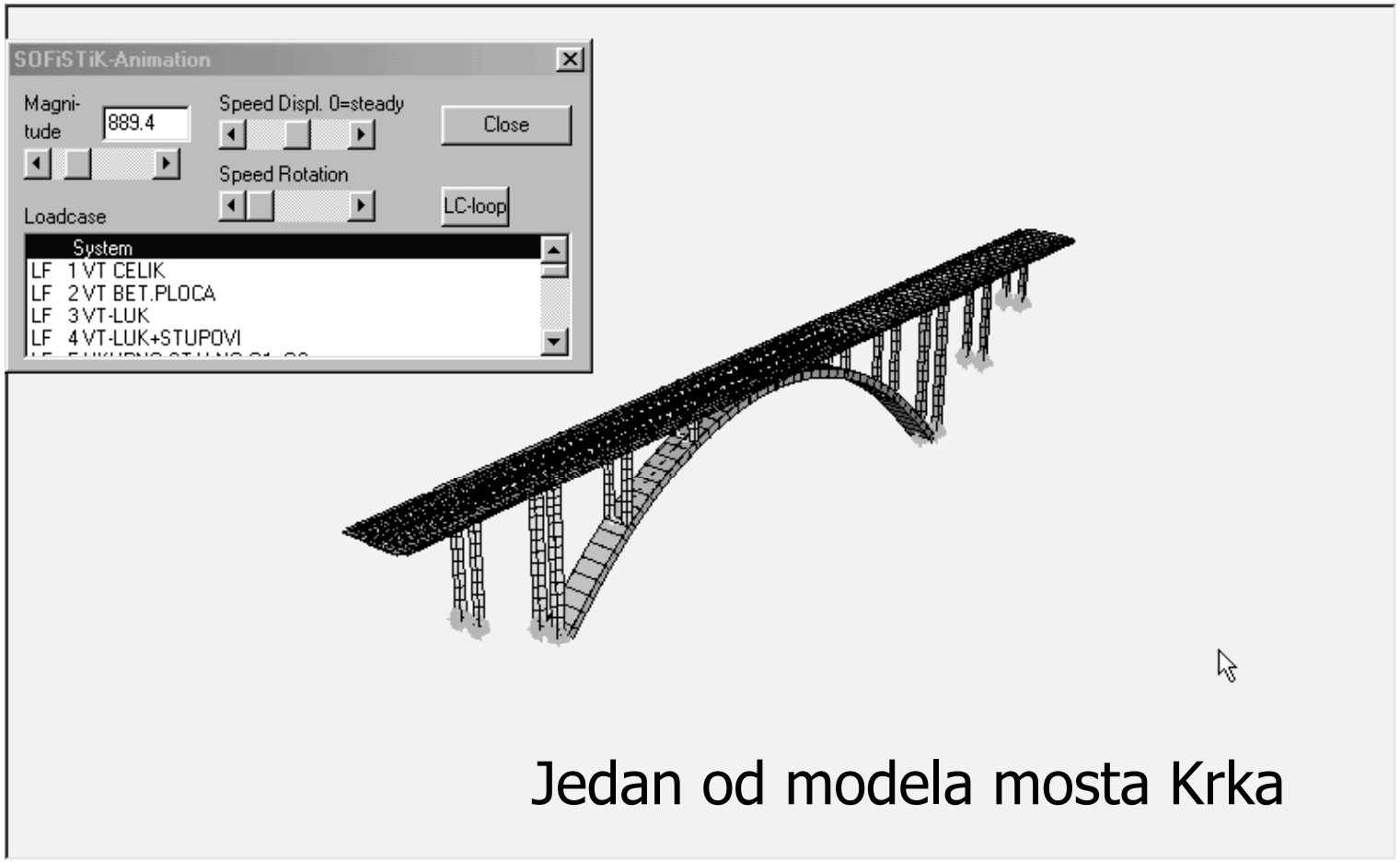
Prostorni konačni elementi
– kada je razdioba unutarnjih sila već poznata
– za razradu detalja sklopa

MODELIRANJE ZA MKE



Jedan od modela Masleničkog mosta, luk modeliran jednim nizom štapova, stupišta i nadlučni sklop zamijenjen s dva niza štapova

MODELIRANJE ZA MKE

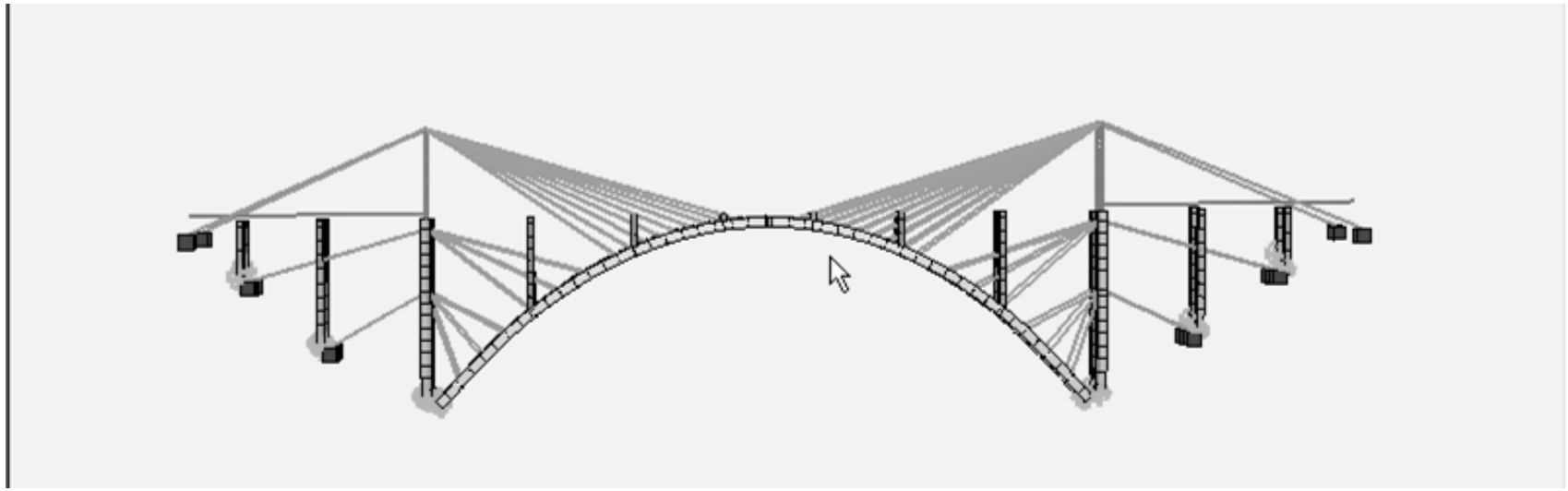


Jedan od modela mosta Krka

Proračun se prvo vrši za granična stanja dovršenog mosta i to po teoriji elastičnosti (teorija I reda)

MODELIRANJE ZA MKE

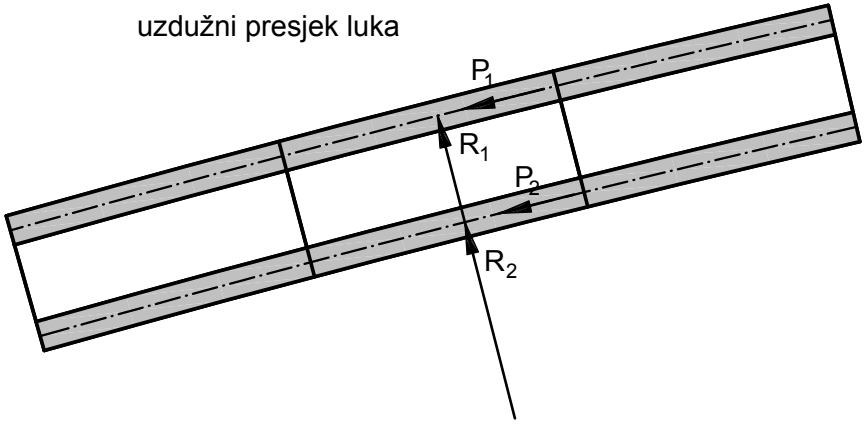
U kasnijoj fazi provode se provjere po teoriji II reda – detaljnija razrada stanja kroz koja most prolazi tijekom gradnje

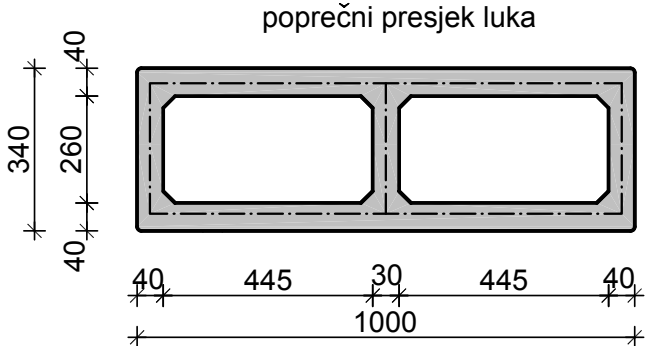


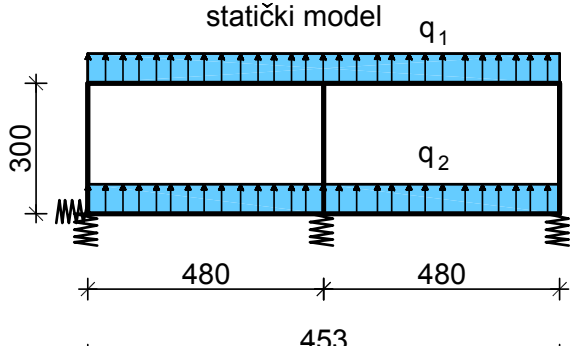
Jedan od modela mosta Krka

PRORAČUN LUKA U POPREČNOM SMJERU

Unutrašnje rebro ne pridonosi torzijskoj krutosti luka i otežava izvedbu.
Postavlja se zbog smanjenja popr. momenata savijanja koji se pojavljuju od djelovanja vlastite težine, skretnih sila i korisnog tereta.



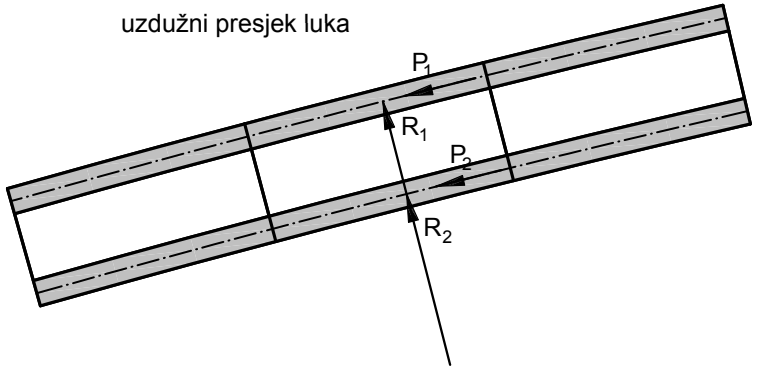


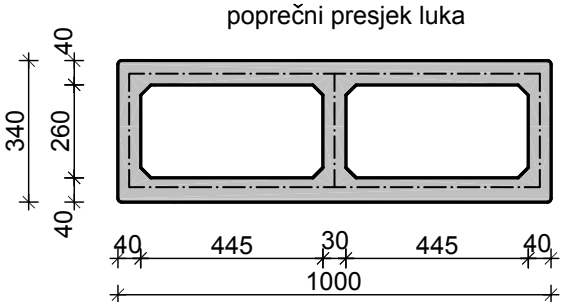


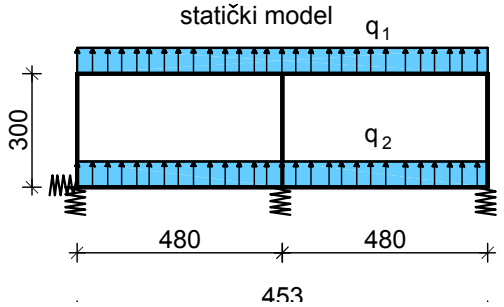
PRORAČUN LUKA U POPREČNOM SMJERU

Skretne sile : $q_1 = \frac{P_1}{R_1}$ $q_2 = \frac{P_2}{R_2}$ $q_1 = \frac{P_1}{R_1} = \frac{\sigma_{m1} \cdot h_{gpl}}{R_1}$

P1 - uzdužna sila u gornjoj ploči (kN/m),
R1- radijus zakrivljenosti osi gornje ploče (m),
σm1- napon u sredini gornje ploče (kN/m2),
hpl - debljina gornje ploče (m).

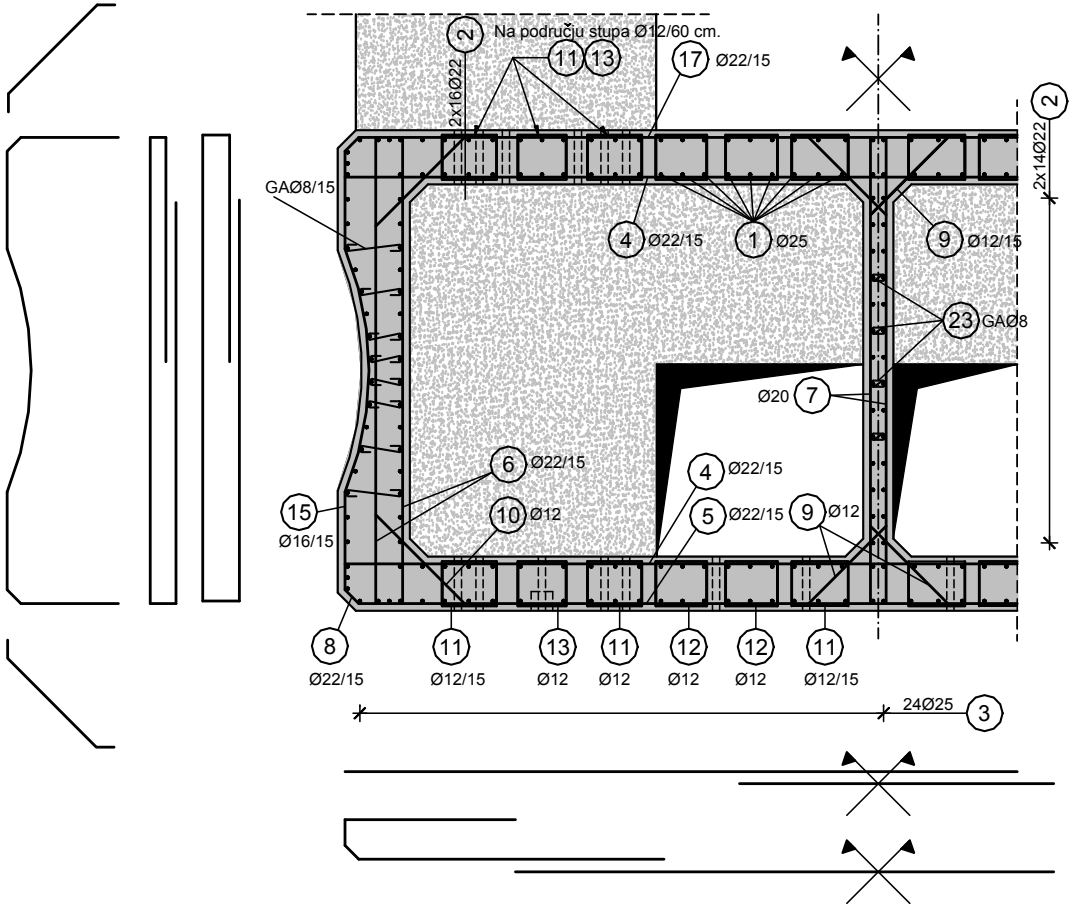






ARMIRANJE LUKA

Uzdužna armatura: ϕ 20 do ϕ 28 na razmacima od 15 do 20 cm.
Vilice: ϕ 16 do ϕ 22 na istim razmacima od 15 do 20 cm.
Zbog bolje ugradnje i vibriranja betona poželjno je koristiti što veće razmake armature.



Armatura luka Masleničkog mosta



KRAJ