



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 ovješnim uz određene uvjete.



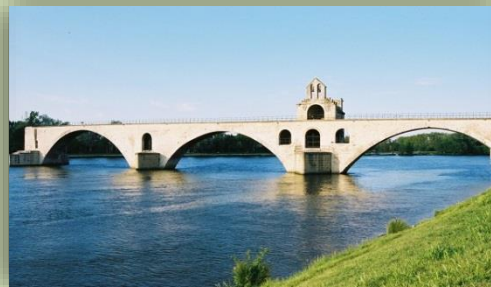
postupci izvedbe

gradiva

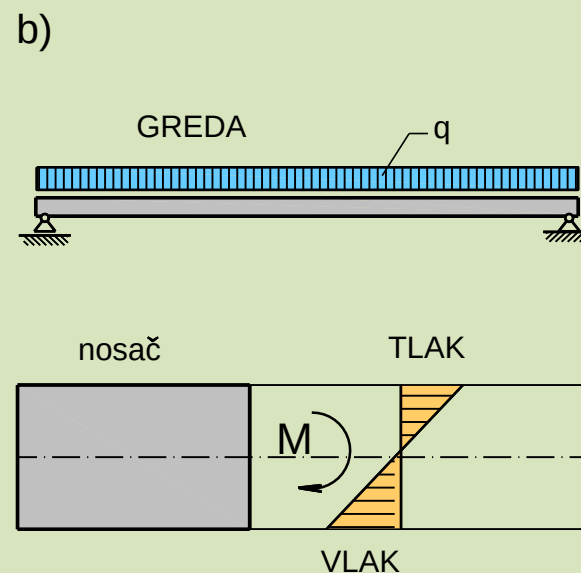
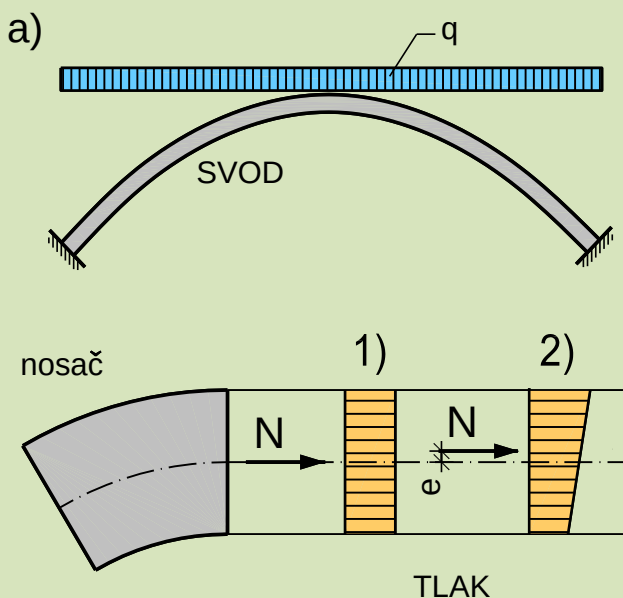
inovativna rješenja



konkurentnost velikih lučnih mostova



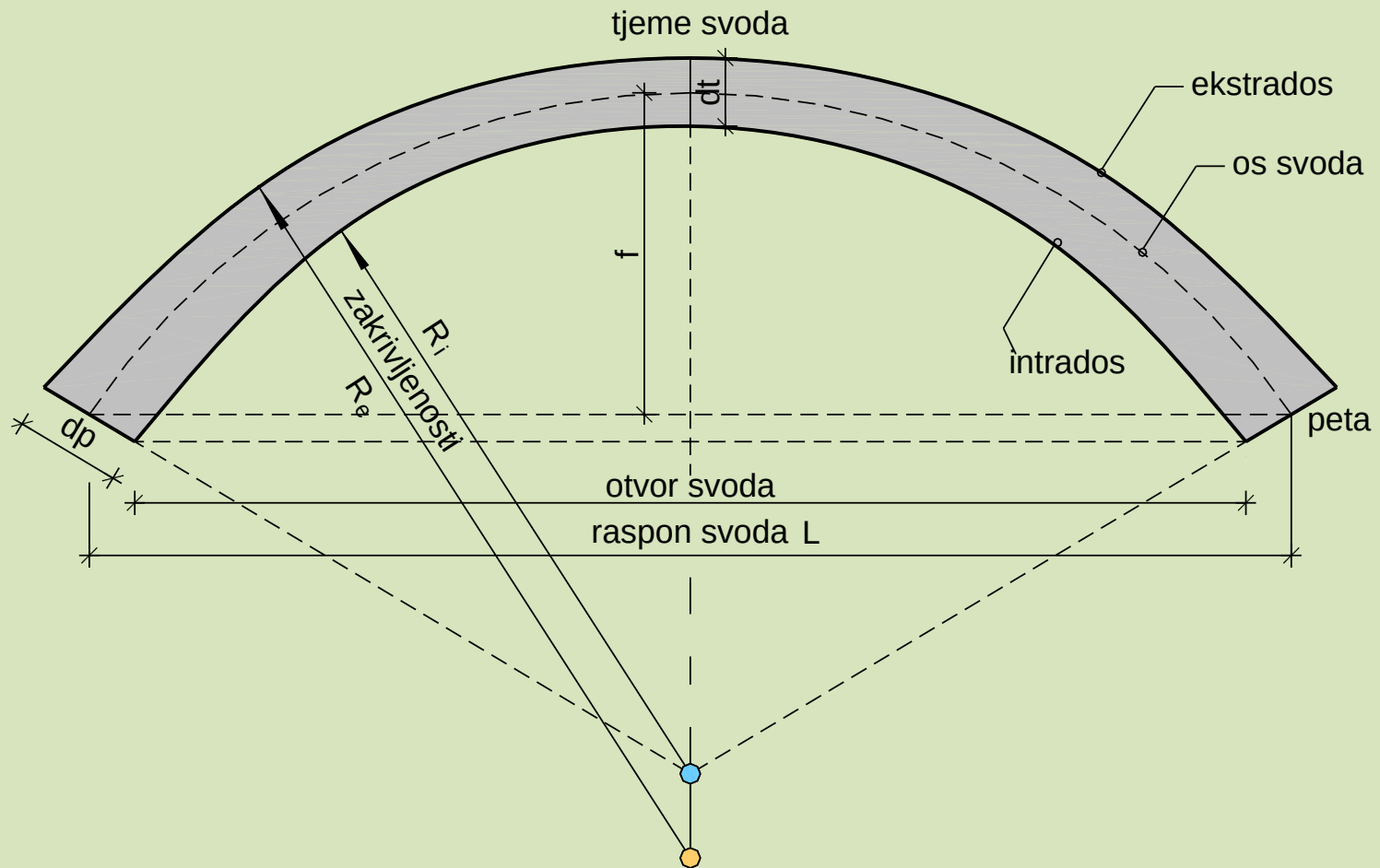
Smatra se da lučni mostovi mogu biti konkurentni ostalima za raspone 40 – 400 m.
(Najčešća primjena za raspone 50 – 250 m)



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



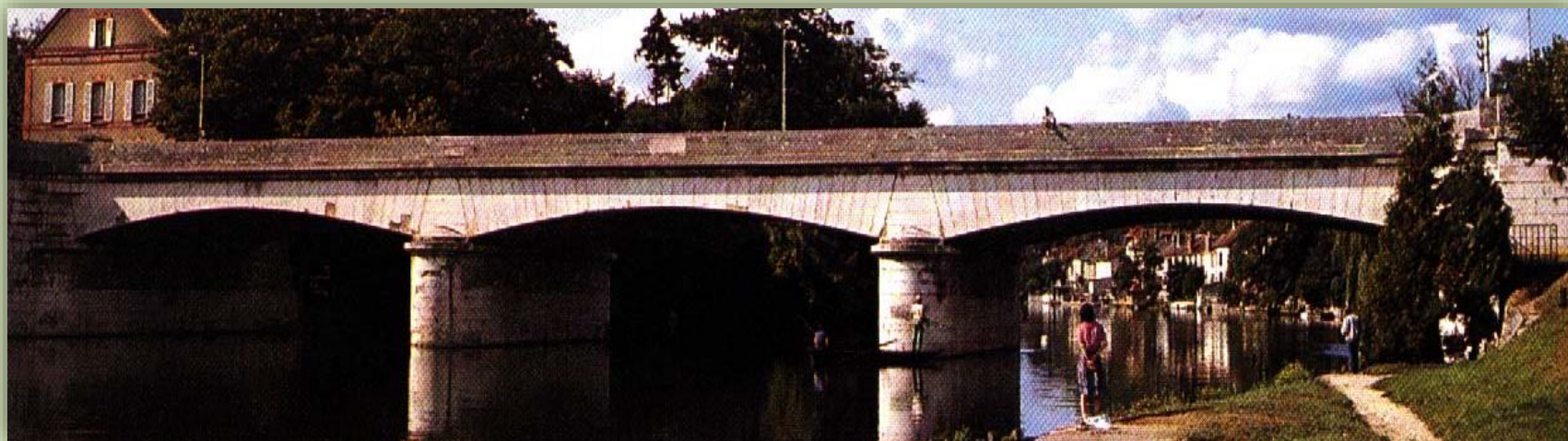
OSNOVNI DIJELOVI SVODA



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



SPLJOŠTENOST LUKA



f/L

Ne manje od 1/10 (1/12)

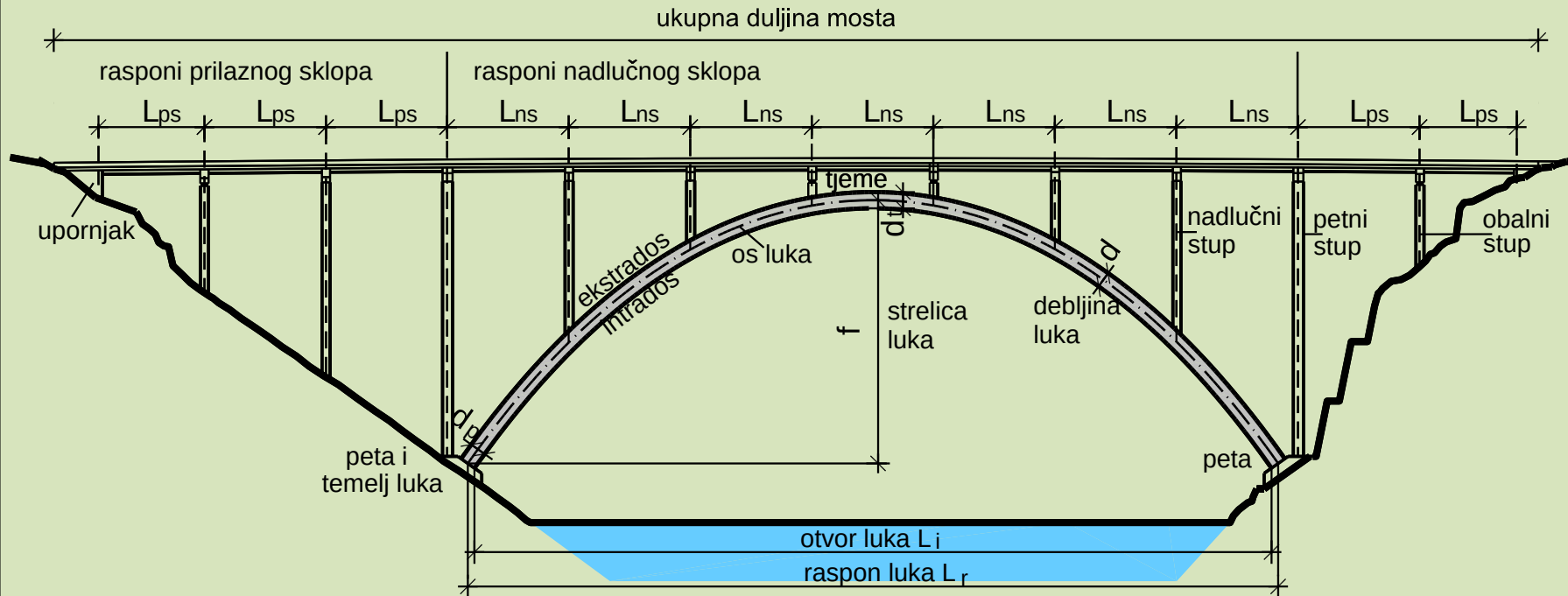
Preporučljivo 1/5

Maslenički most 1/3,1



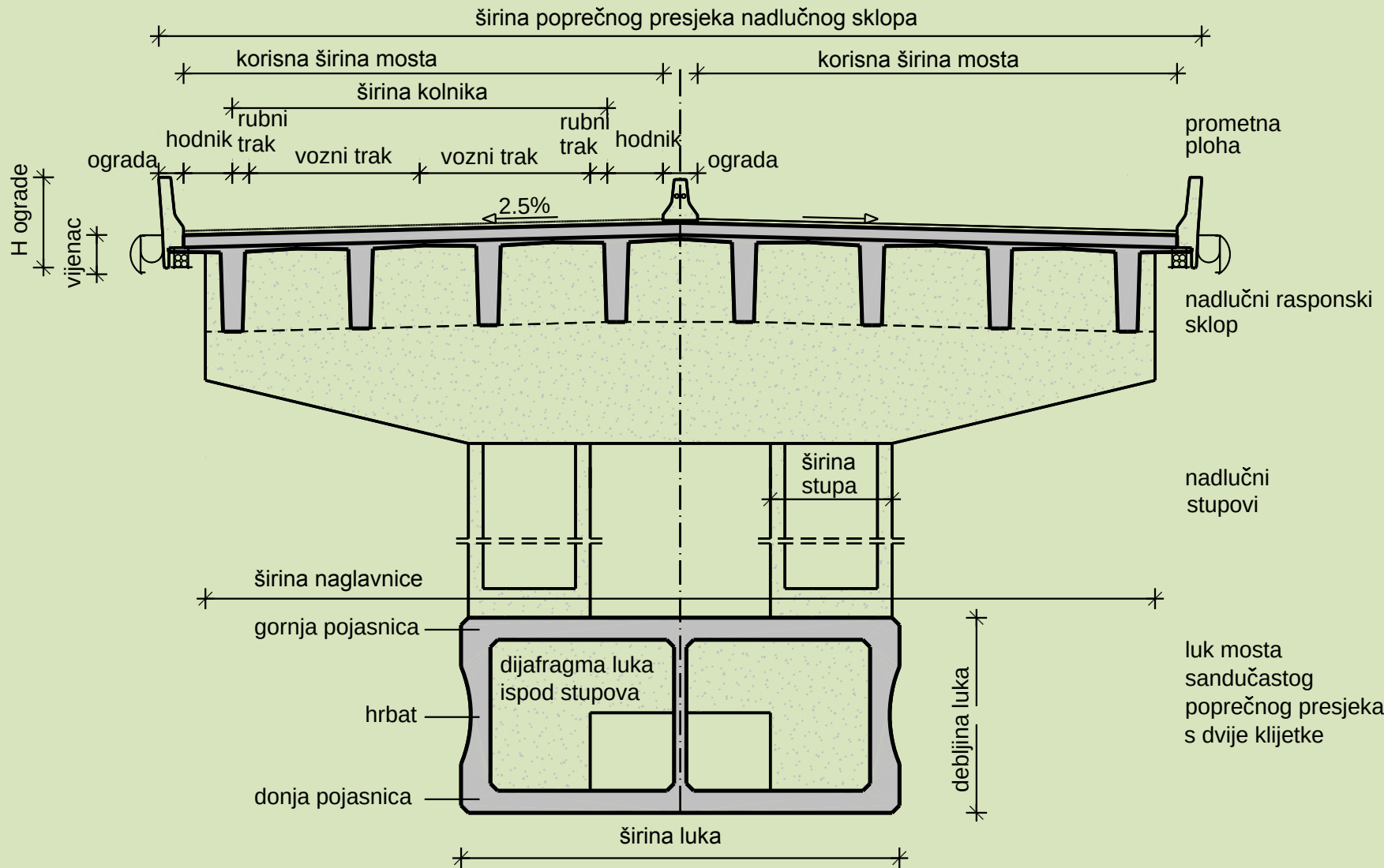


OSNOVNI POJMOVI





OSNOVNI POJMOVI





ANALIZA RAZVITKA LUČNIH MOSTOVA



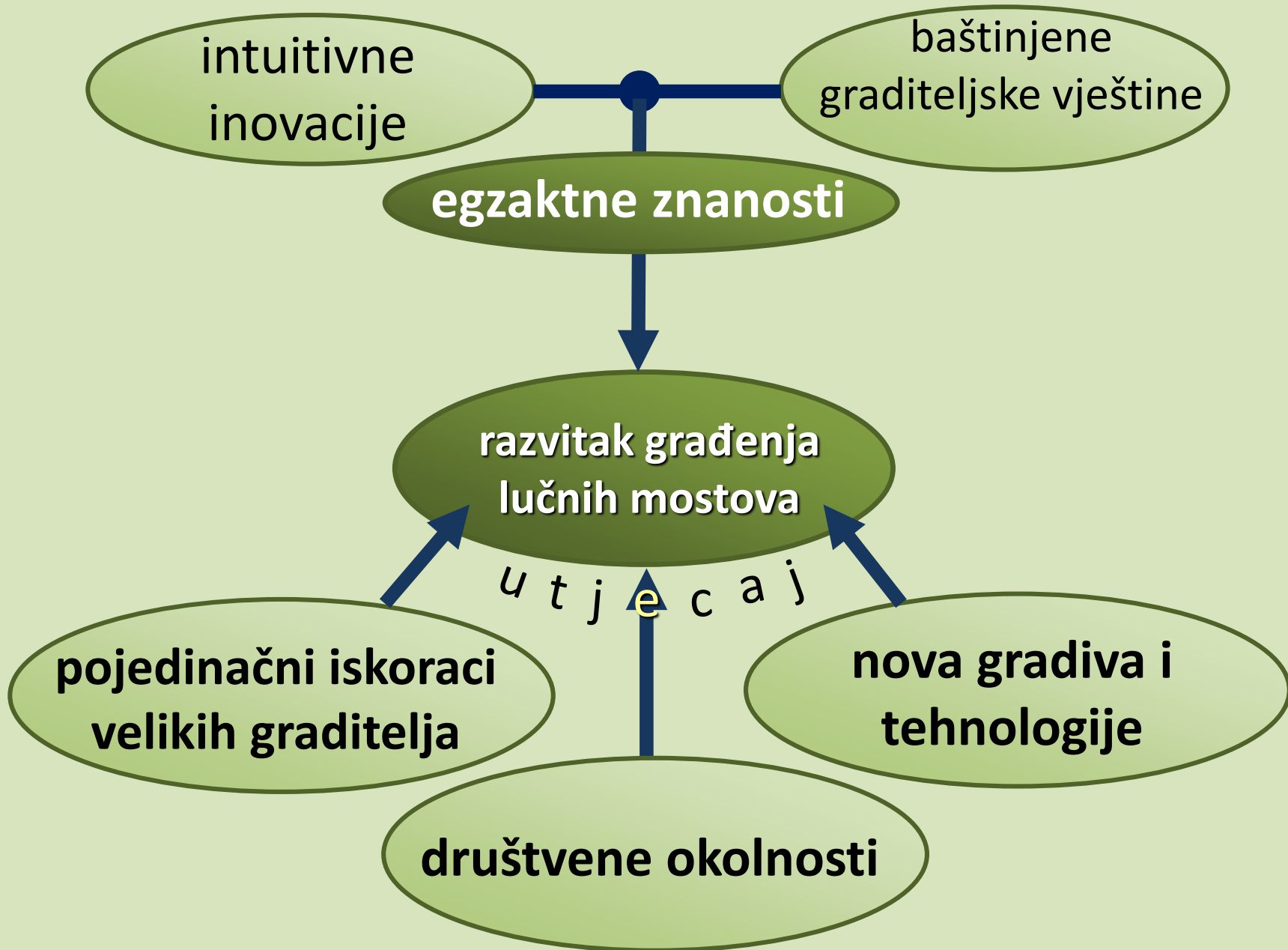


Kroz poglavlja koja govore o povijesti građenja mostova pojašnjava se nastanak i razvitak oblika lučnih mostova.

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

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

prošlost je jedino vrelo koje nam daje oruđe za oblikovanje budućnosti





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.

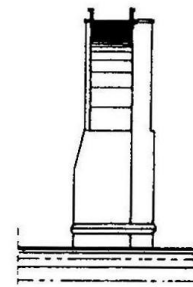
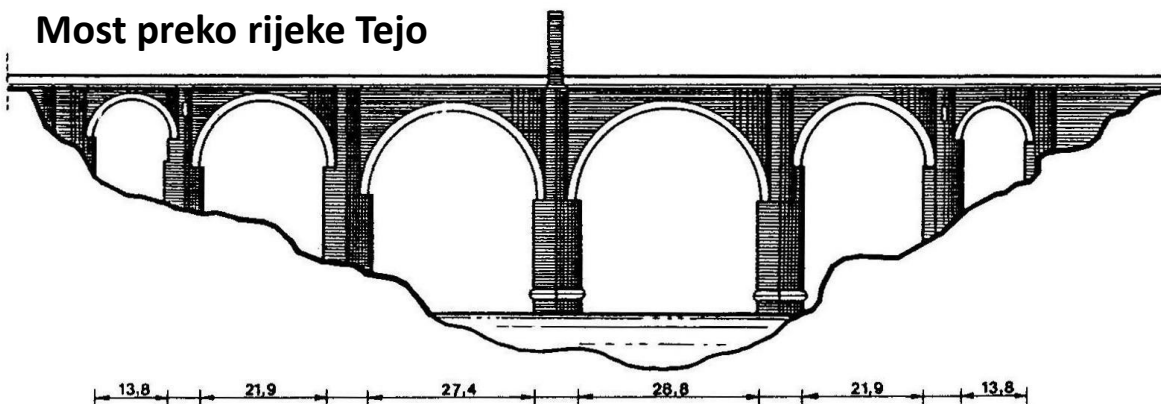
Sustavni pregled građenja mostova može započeti tek s kamenim lukovima iz razdoblja Starog Rima.

danās stoji 330 masivnih
svođenih mostova i 94
akvedukta

St. Martin
L= 35,64 m



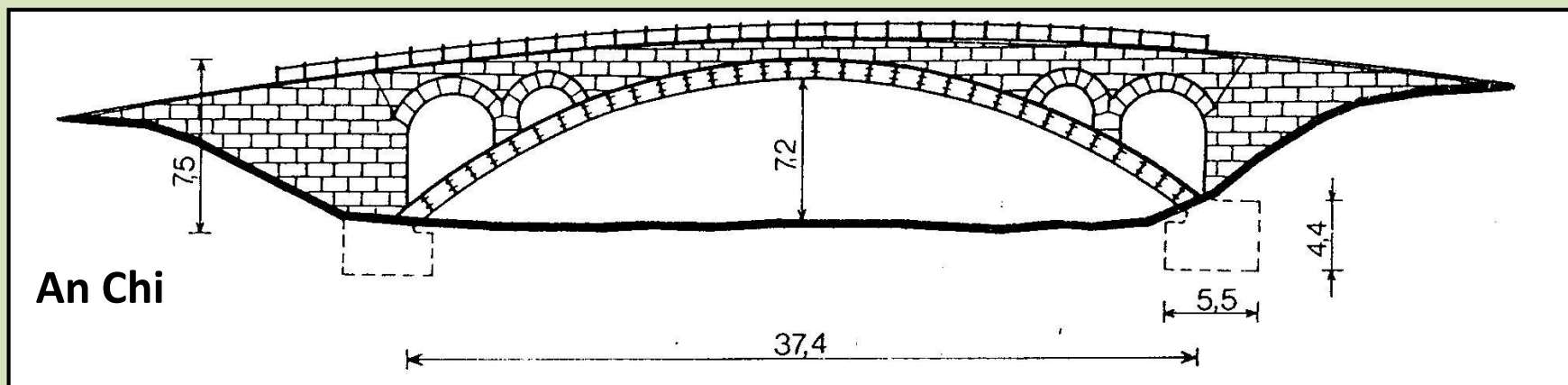
Most preko rijeke Tejo





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





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;





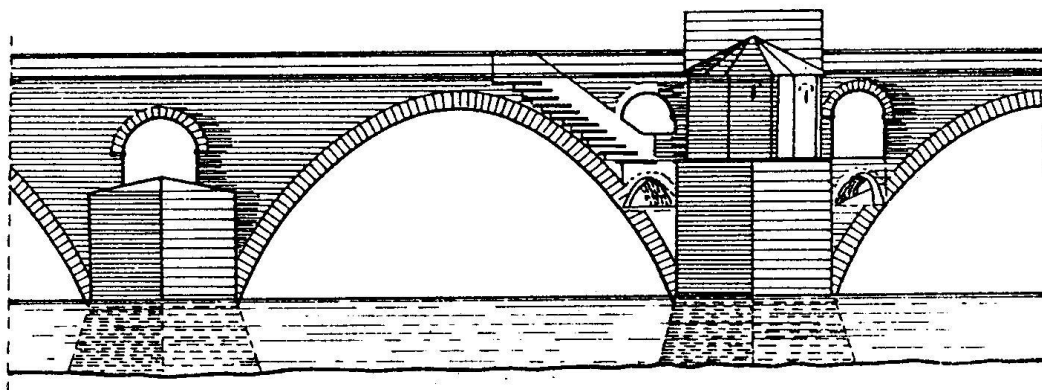
Arapske kulture preuzele su i usavršile starorimsko umijeće gradnje mostova dodavši izvorne elemente.

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

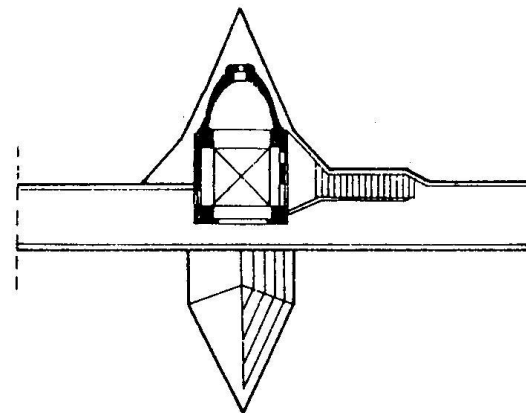
Oba mosta karakterizira šiljati luk, strmi pristupi (rasterećenje nadsloja) i znatna visina nad preprekom.



Nastavak povijesti mostogradnje u Europi: Most u Avignonu, građen od 1177. do 1185. godine (35.8 m)



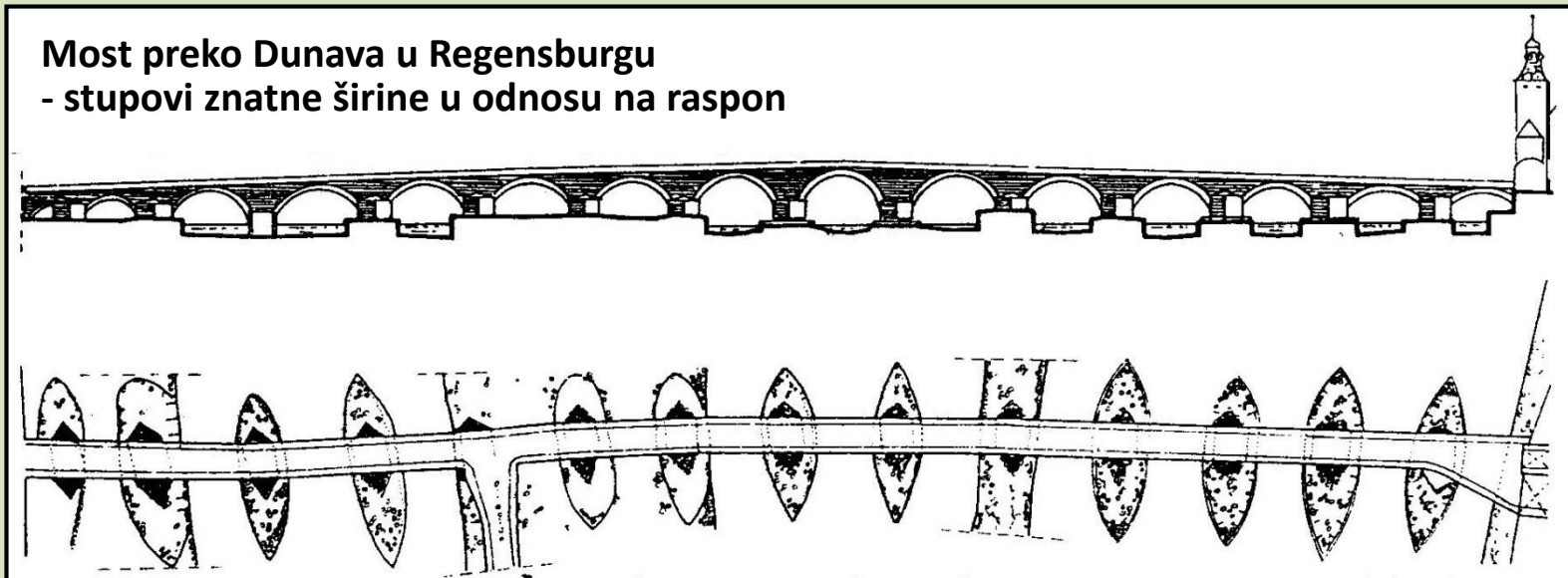
Pont d'Avignon



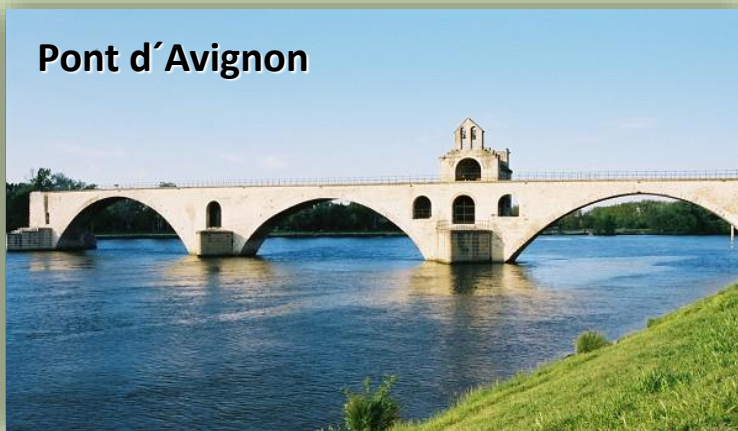
Pont d'Avignon

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

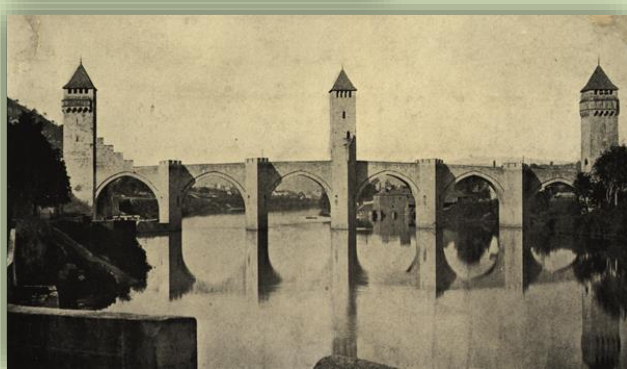


Sličan je bio i stari Londonski most preko Temze (1176.-1209.):
- 19 raspona veličine 4,6–10,4 m koji su premošteni šiljatim lukovima;

Najljepši srednjovekovni most:

Pont Valentre (građen 1308.-1355.), Cahors, Francuska

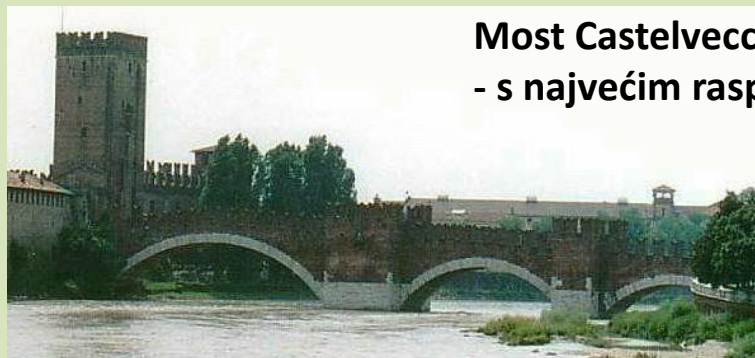
- svodovi raspona oko 14 m lagano su zašiljeni (svod s dva središta)
i oslonjeni na stupove široke oko 6 m;



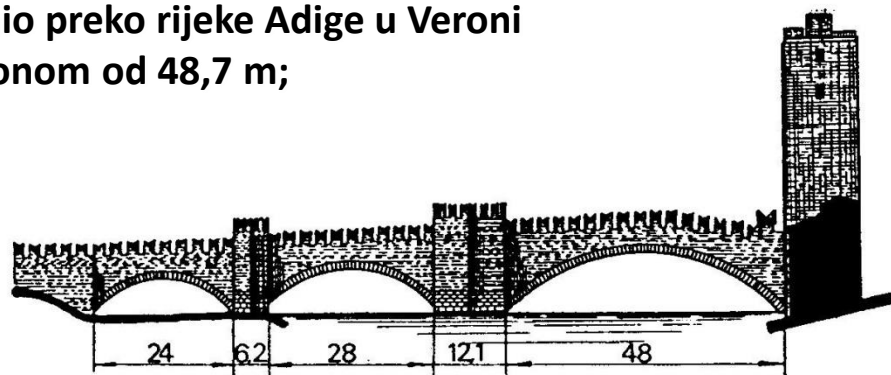


Rasponi srednjevjekovnih mostova varirali su od 12 do 22 m.

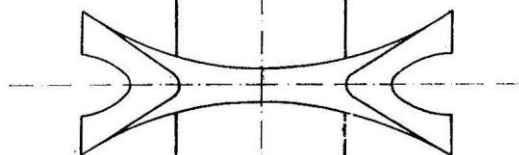
U oblikovnom smislu srednjevjekovni graditelji ne ističu dekorativnu snagu konstruktivnih elemenata, već koriste ukrase poput tornjeva i kipova.



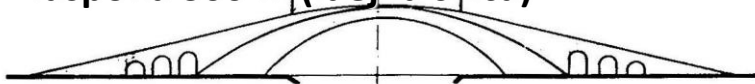
Most Castelvecchio preko rijeke Adige u Veroni
- s najvećim rasponom od 48,7 m;



Leonardo da Vinci

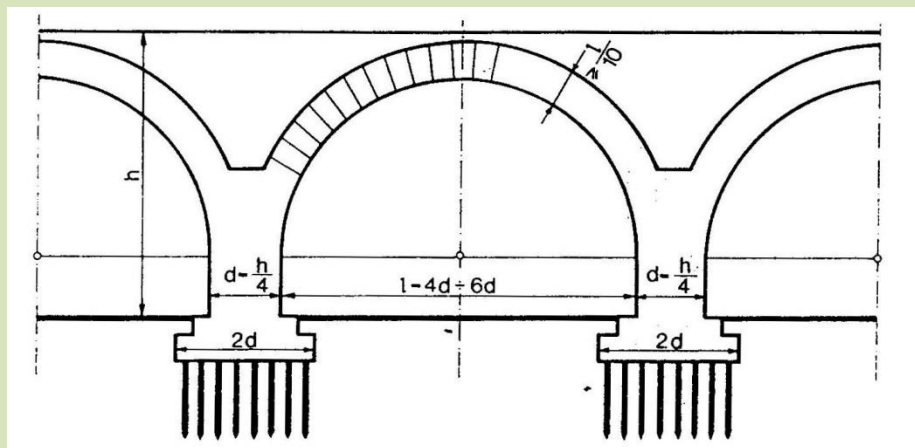


1506.g. - kameni parabolični lučni most
raspona 300 m (idejna skica)

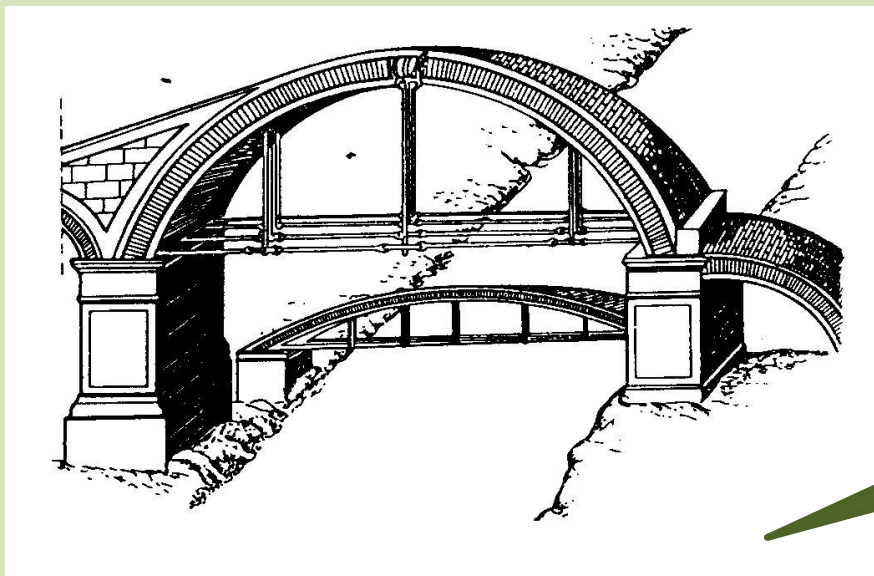


Ako svođene mostove promatramo s motrišta arhitektonskog oblikovanja, a posebno dekorativnih elemenata, renesansna obilježja mogu se razlučiti od srednjevjekovnih.

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;

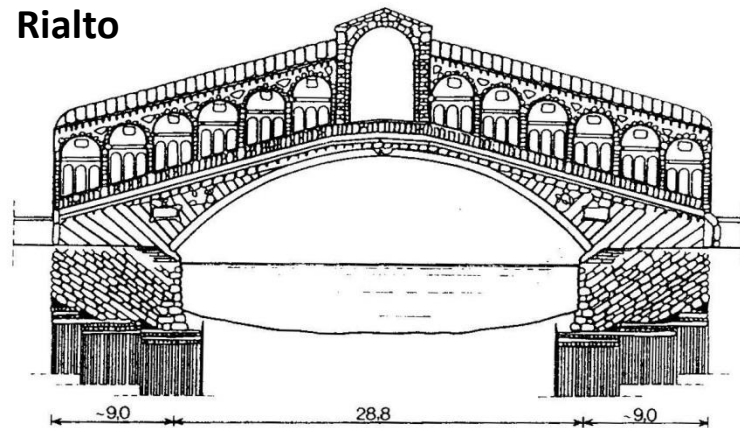
Most Rialto preko kanala Grande, Venecija, 1591.

(segmentni luk unutarnjeg kuta 120° , s jednim rasponom oko 28,8 m)

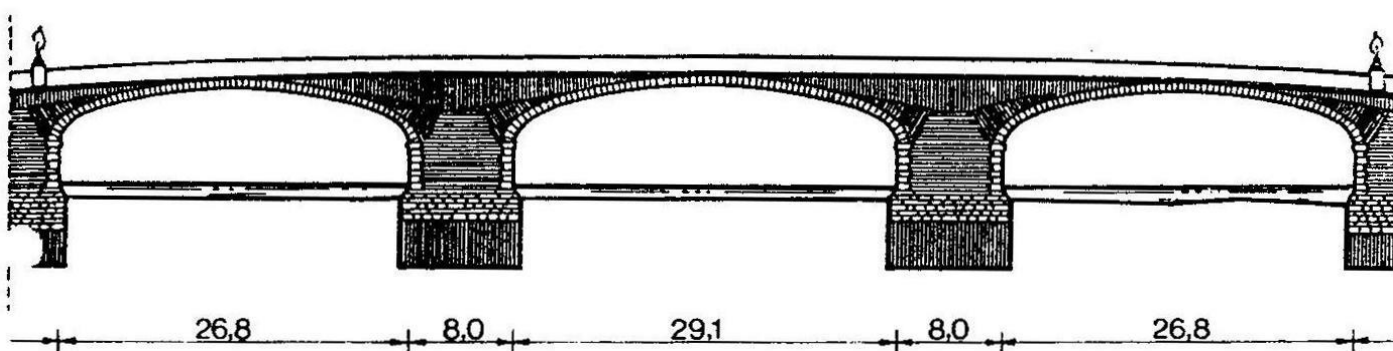
U Nürnbergu je izveden sličan most.

(raspona 34 m, visine luka 4,6 m, spljoštenosti 0,14)

Rialto



Most Santa Trinita preko Arna u Firenci



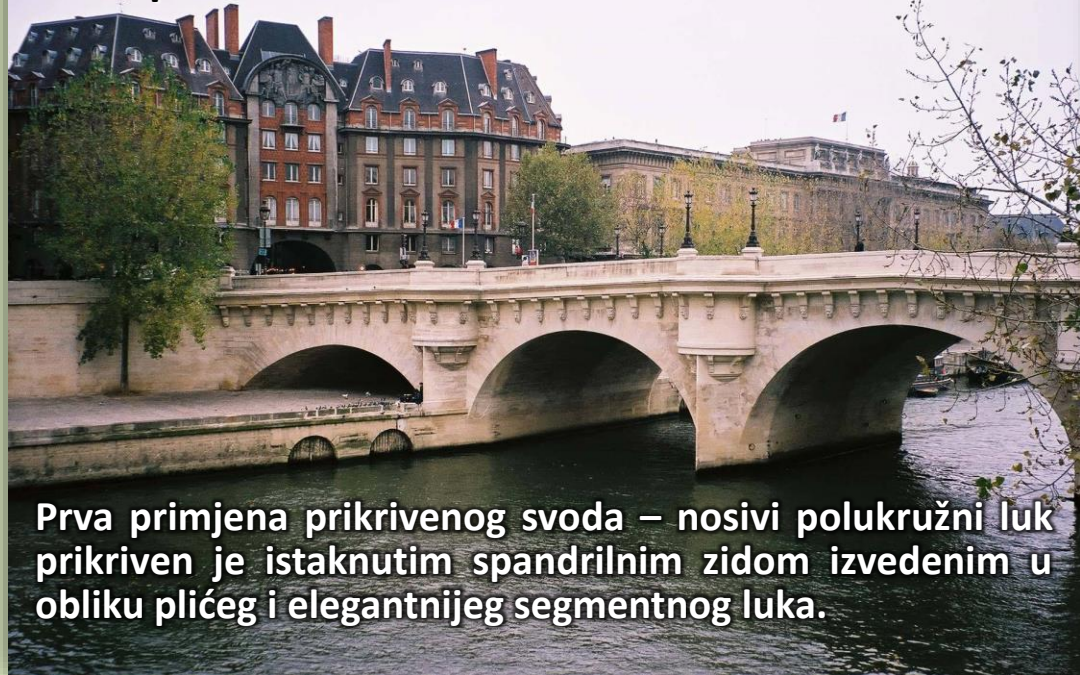
Izvorni oblik krivulje luka – zadivljujući iskorak u odnosu na do tada ostvarene.

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 pličeg i elegantnijeg segmentnog luka.

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 Royal



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;

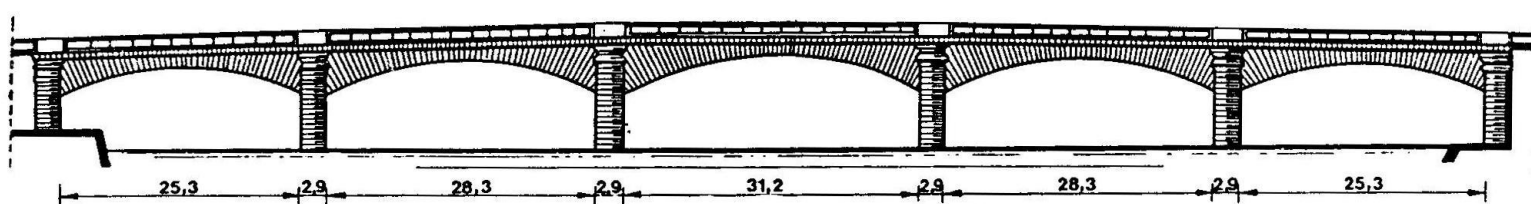
- 1638. Galileo: “Discorsi e di mostrezioni matematiche intorno a due nuove scienze”, osnovna načela proračuna naprezanja;
- kraj 17. st. Robert Hooke – zakon na kojem se temelji teorija elastičnosti;

- 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;

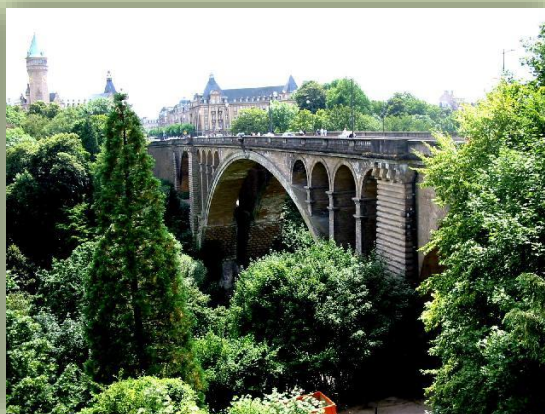
- gradnja mostova postaje samostalna profesija;

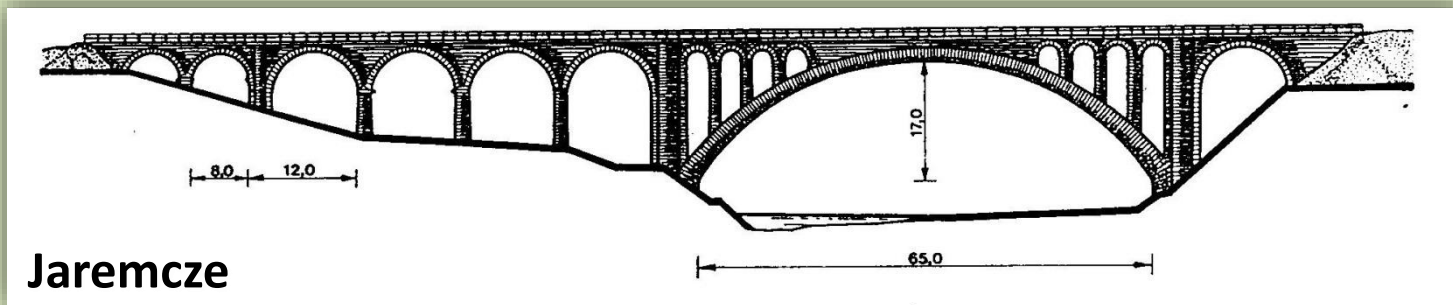
- 1695. De la Hire “Traite de Mechanique”, primjena statike na svodove;
- 1714. H. Gautier, “Traite des Ponts”, knjiga koja se bavi isključivo mostovima;
- 1736.-1806.- Coulomb – u svojim radovima daje sintezu eksperimentalnih i teorijskih saznanja, postavio jednadžbe ravnoteže krutog tijela uključujući trenje;
- (1785. Mascheroni; Couplet; 1846. Snell: stabilnost lukova;)



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

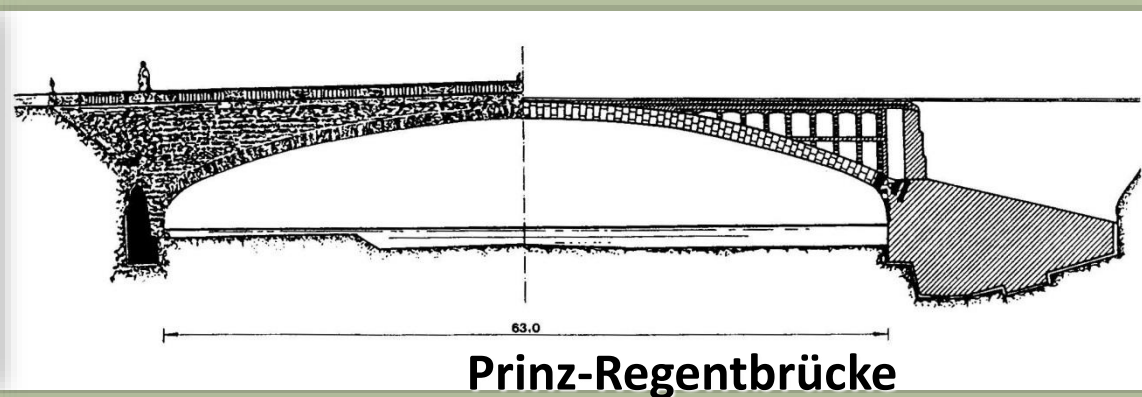
- 19. st. – sigurnost kod izvedbe većih raspona (razvitak znanosti i lakša dostupnost informacija);
- Séjourné, 1913. - “Grandes Voûtes”;
- rasponi 40-60 m od klesanaca, polutesanog kamena, lomljenog kamena, betona i opeke; gdje nije bilo šire prepreke: rasponi 15-25 m;





Važniji mostovi toga razdoblja:

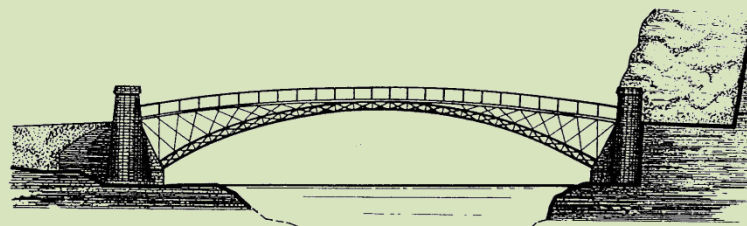
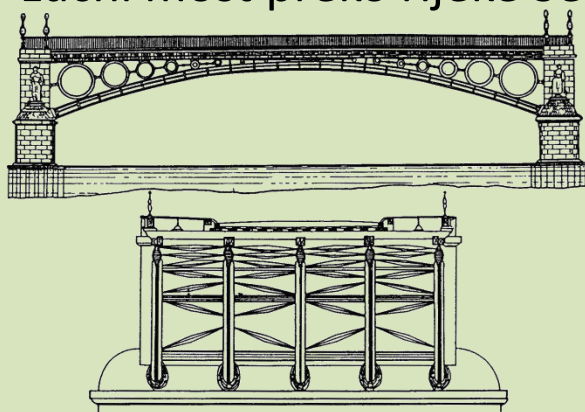
- Grosvenor, dovršen 1832. g., kružni segmentni luk otvora 61 m;
- Most Alma, Pariz, 1854. g., tri elipsasta luka raspona 43 m, strelice 8,2 m;
- Göltzschtal, 1846. g., četverokatni željeznički vijadukt od opeke sa središnjim lukom raspona 30,3 m;
- Jaremcze, Ukrajina, Austro-Ugarska monarhija, 1894.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



Željezni i čelični mostovi

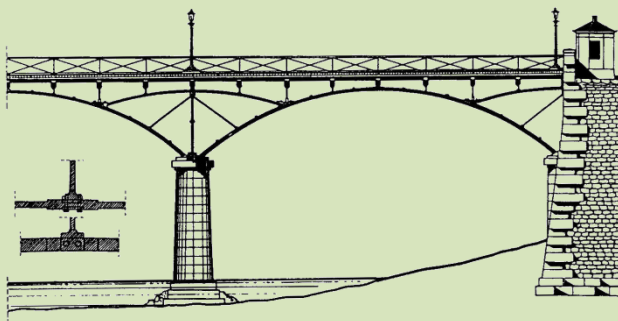
- prvi most od lijevanog željeza raspona 30 m:

Lučni most preko rijeke Severn u Coalbrookdalu, 1779.

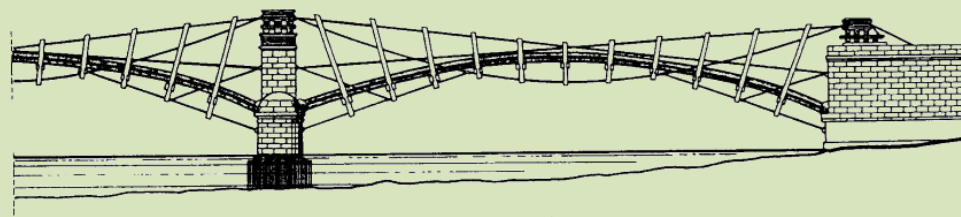


Most preko rijeke Spey kraj Craigellachiea, Škotska, 1813. g.

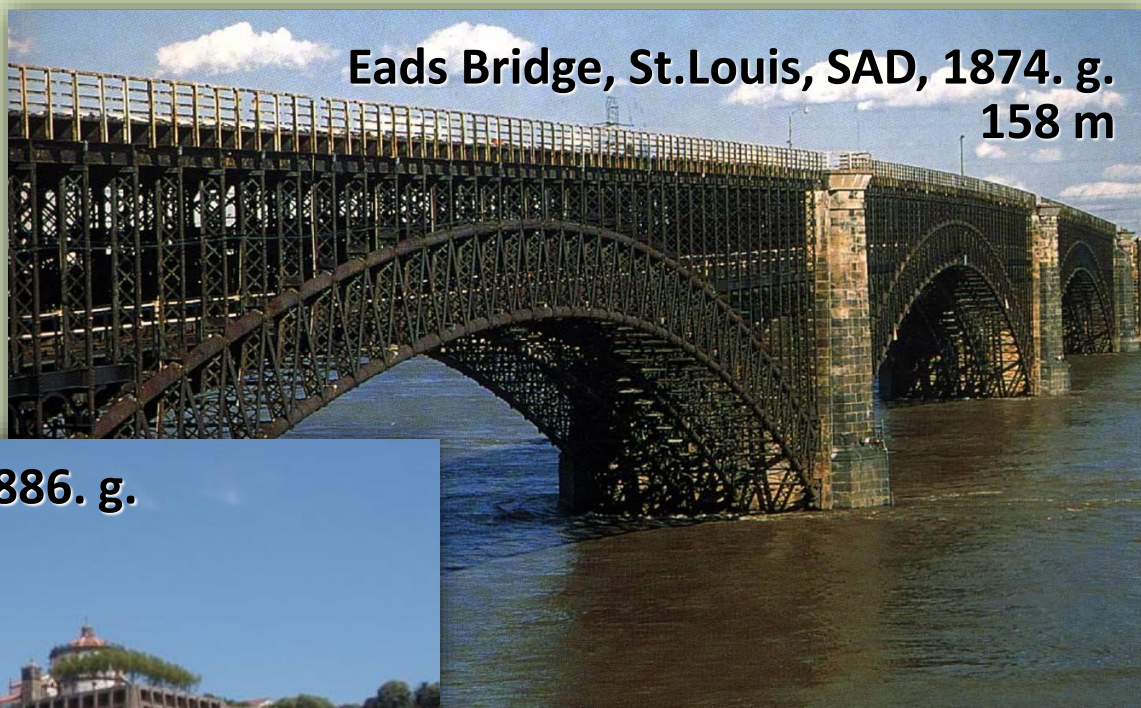
- raspon 50 m; otvoreni spandrilni zid ojačan spregom – prvi moderni metalni most; graditelj Thomas Telford



Pont des Arts, Pariz, 1804. g.



Most Carrousel i viseća skela, Pariz



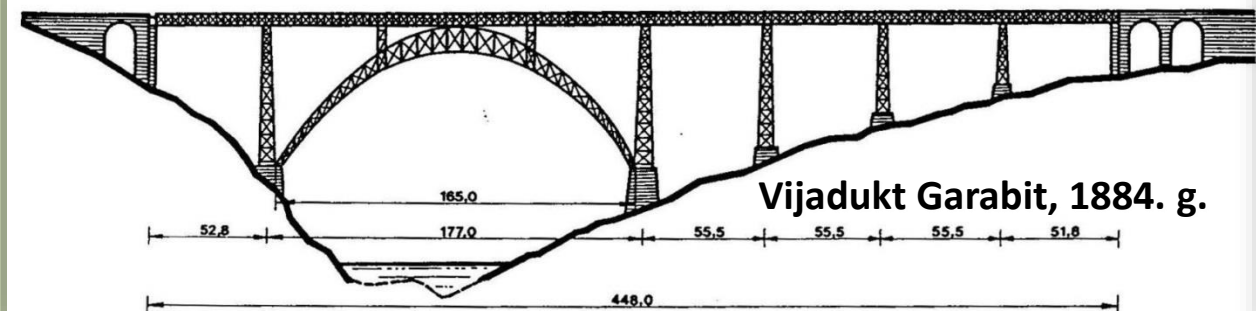
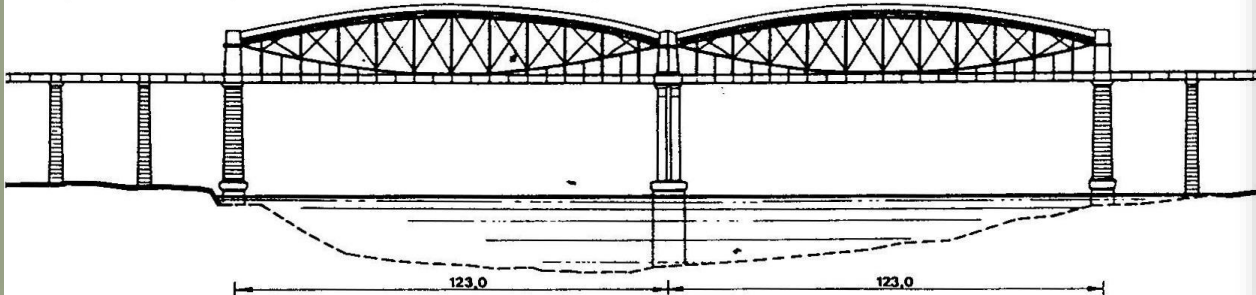
**Eads Bridge, St.Louis, SAD, 1874. g.
158 m**



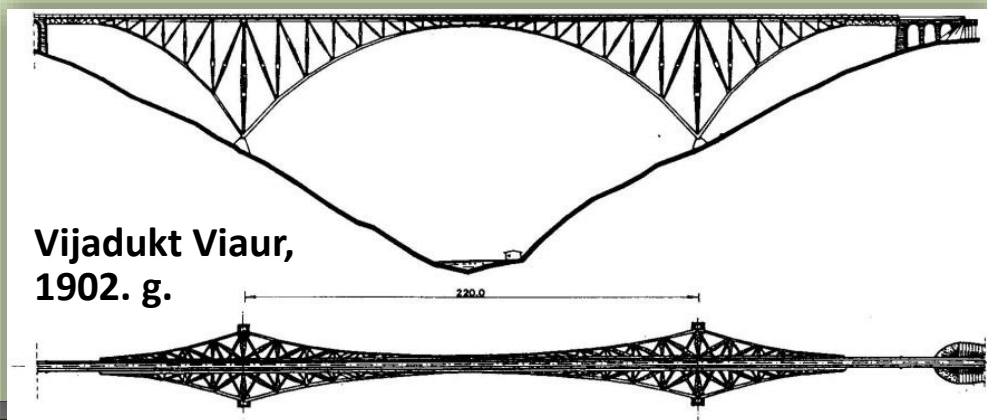
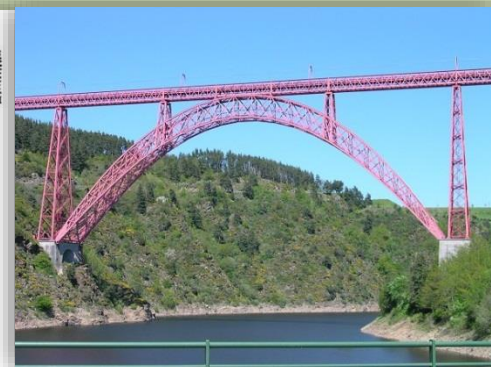
**Luis I, Porto, Portugal, 1886. g.
172 m**



Royal Albert, Velika Britanija, rasponi 123 m;



Vijadukt Garabit, 1884. g.



Vijadukt Vaur,
1902. g.



Početak 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: dvozglojni 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



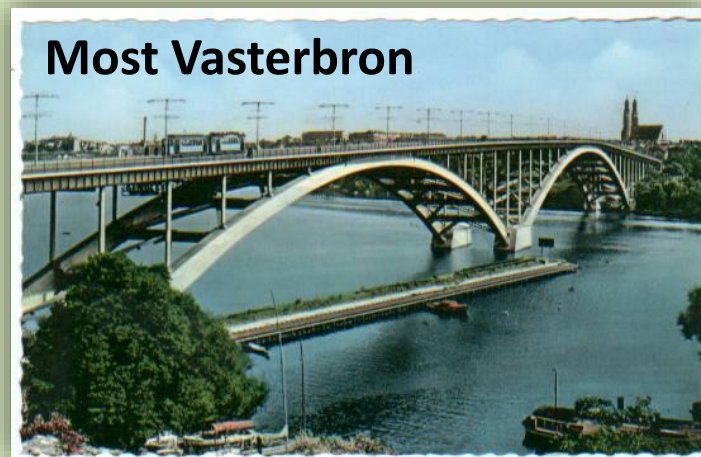
Bayonne



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

Bayonne preko zaljeva Kill van Kull; raspona 511 m;

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 Veudre, Saint-Pierre du Vauvray, Albert Louppe



Most Tavanasa



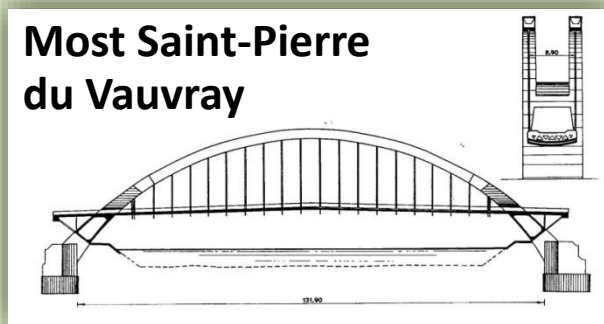
Most Schwandbach



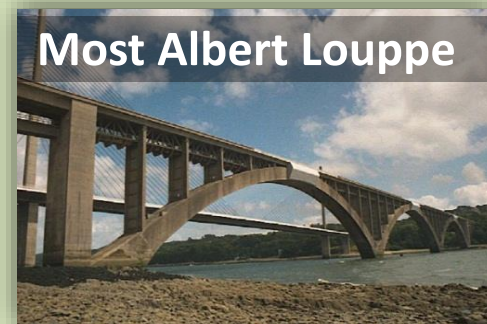
Most Salginatobel



Most Risorgimento



**Most Saint-Pierre
du Vauvray**



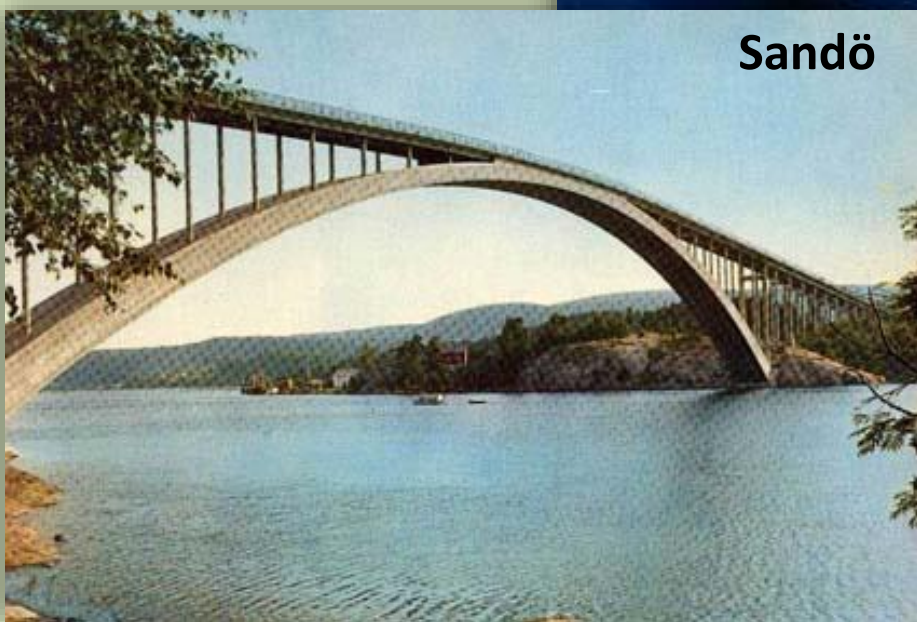
Most Albert Louppe



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

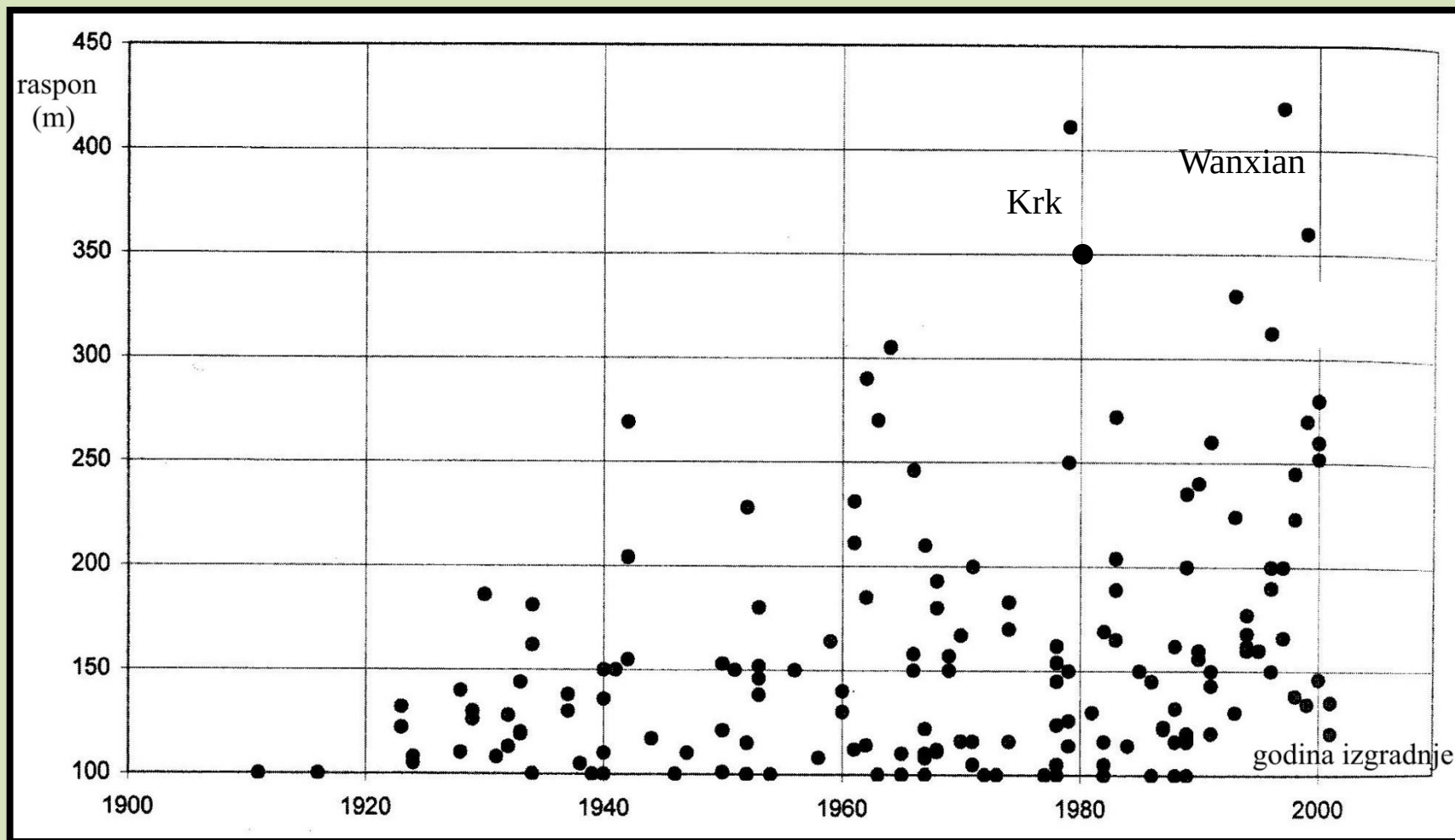
kruta armatura

konzolna gradnja
(zatege i pomoćni pilon)

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

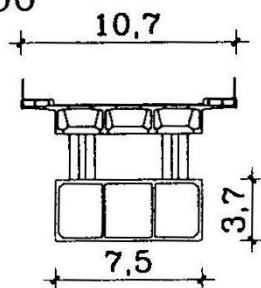




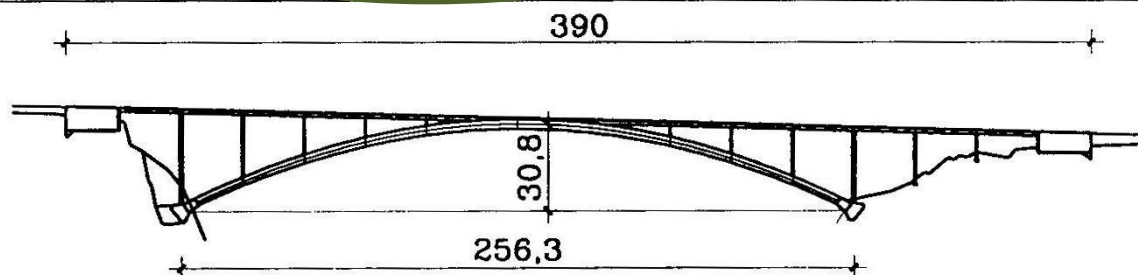
podaci o izvedbi lukova dani su samo pregledno
uz zaključak da tehničke mogućnosti izvedbe nisu
ograničavajući faktor raspona luka, već samo
cijena izvedbe

konzolna gradnja
(zatege i pomoćni pilon)

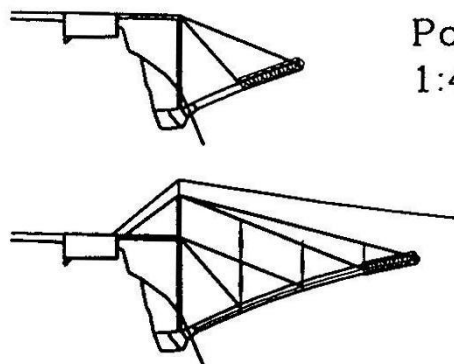
Poprečni presjek
1:500



Šibenski most
Hrvatska
1966.
 $f/l=1/8$

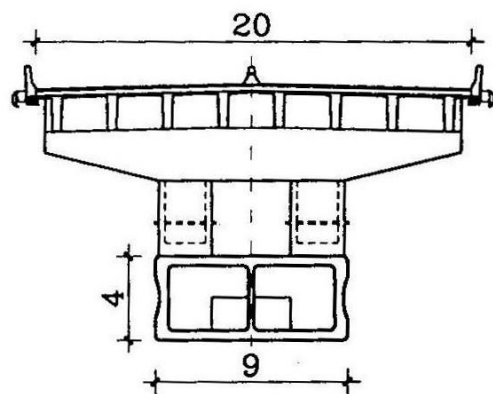


Pogled, skica izvedbe
1:4000



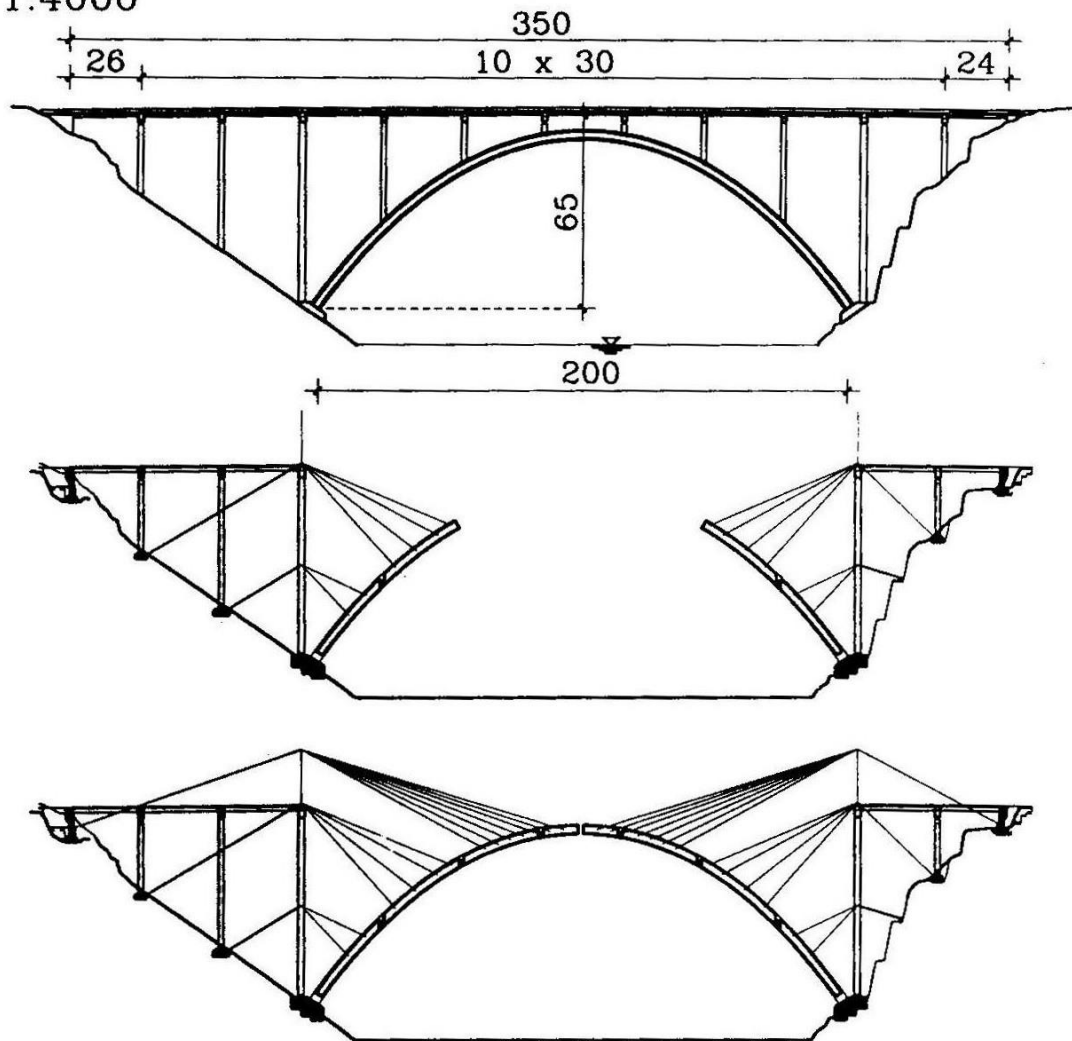


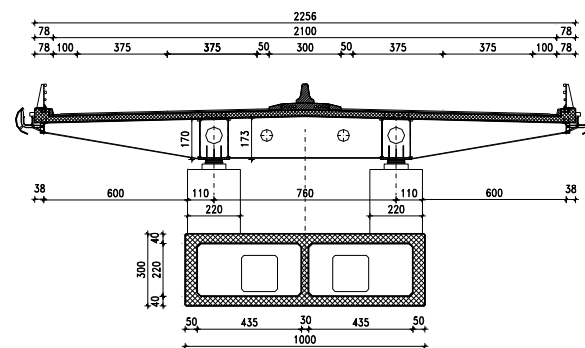
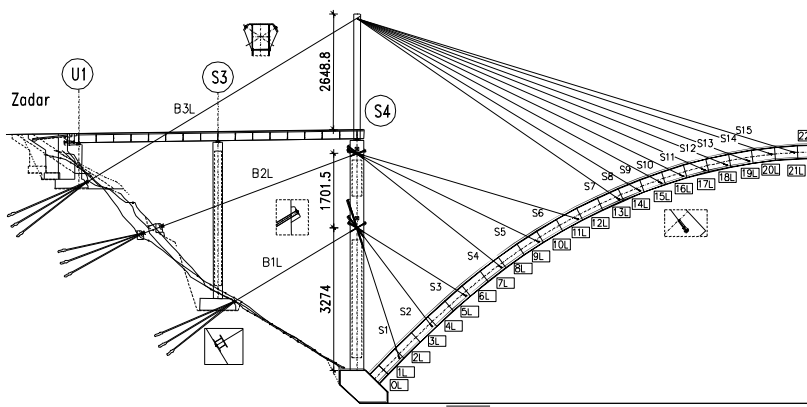
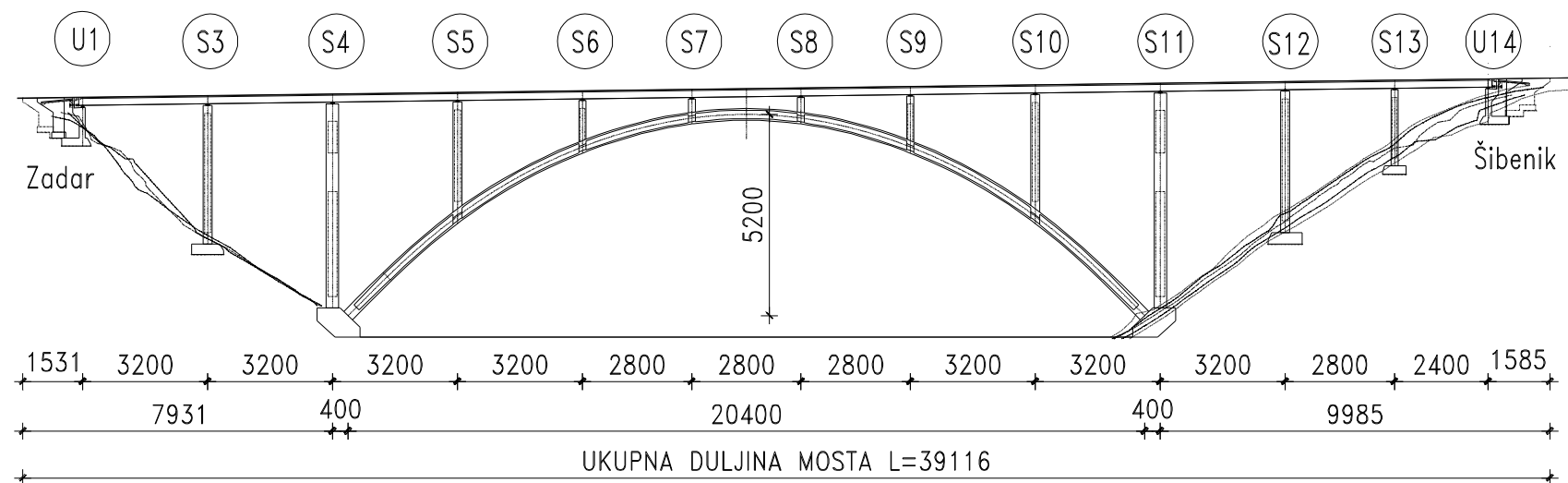
Poprečni presjek
1:500



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

Pogled, skica izvedbe
1:4000

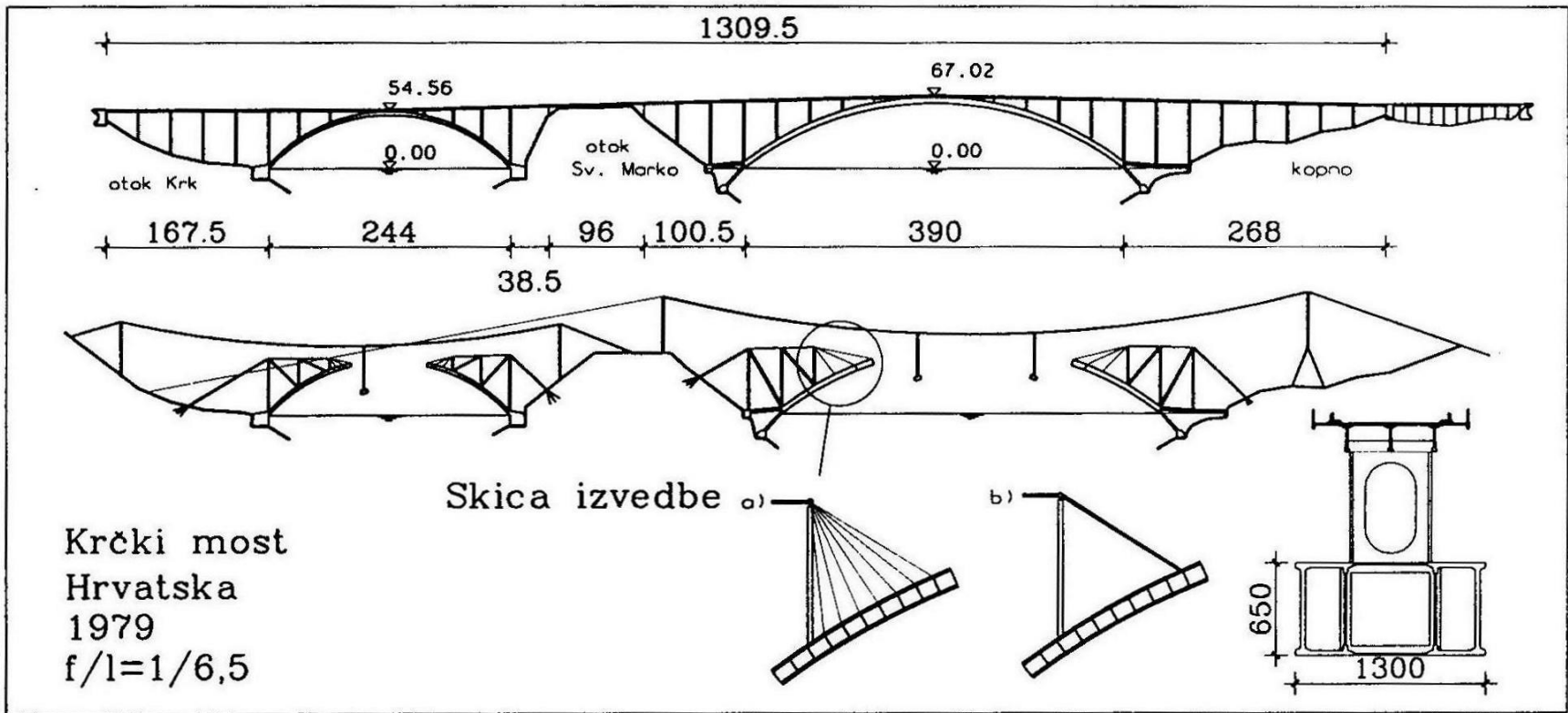




Most preko rijeke Krke



konzolna gradnja (privremene zatege-Pratt)





zaokretanje luka

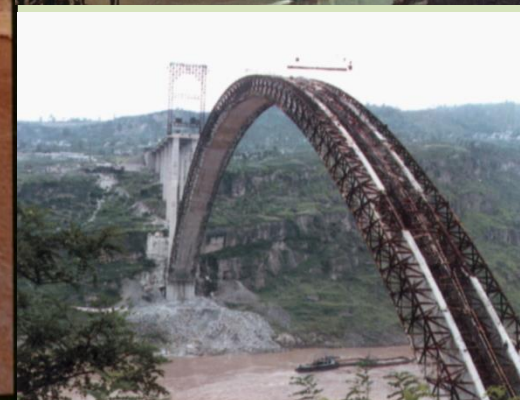
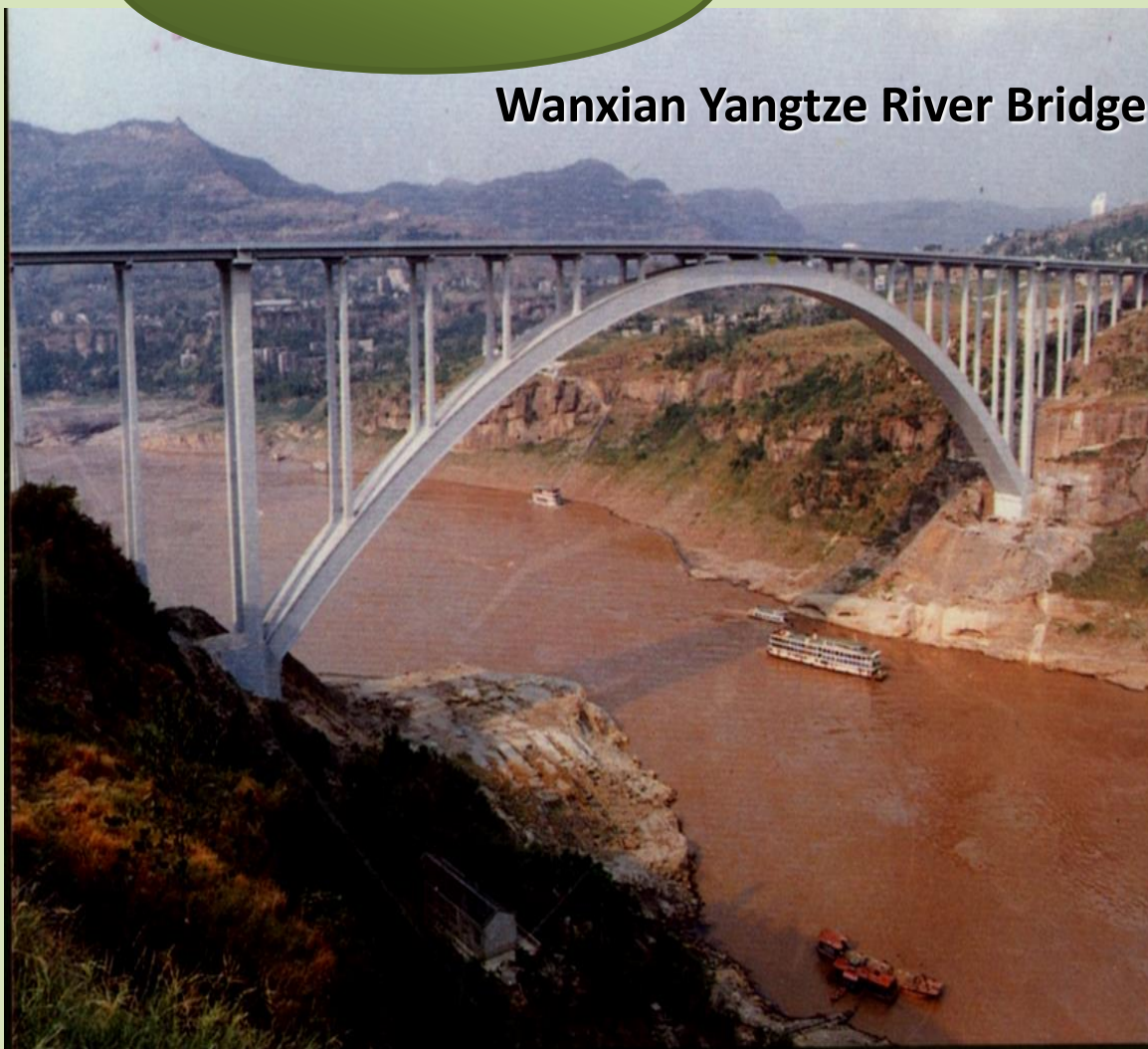
Argentobelbrücke



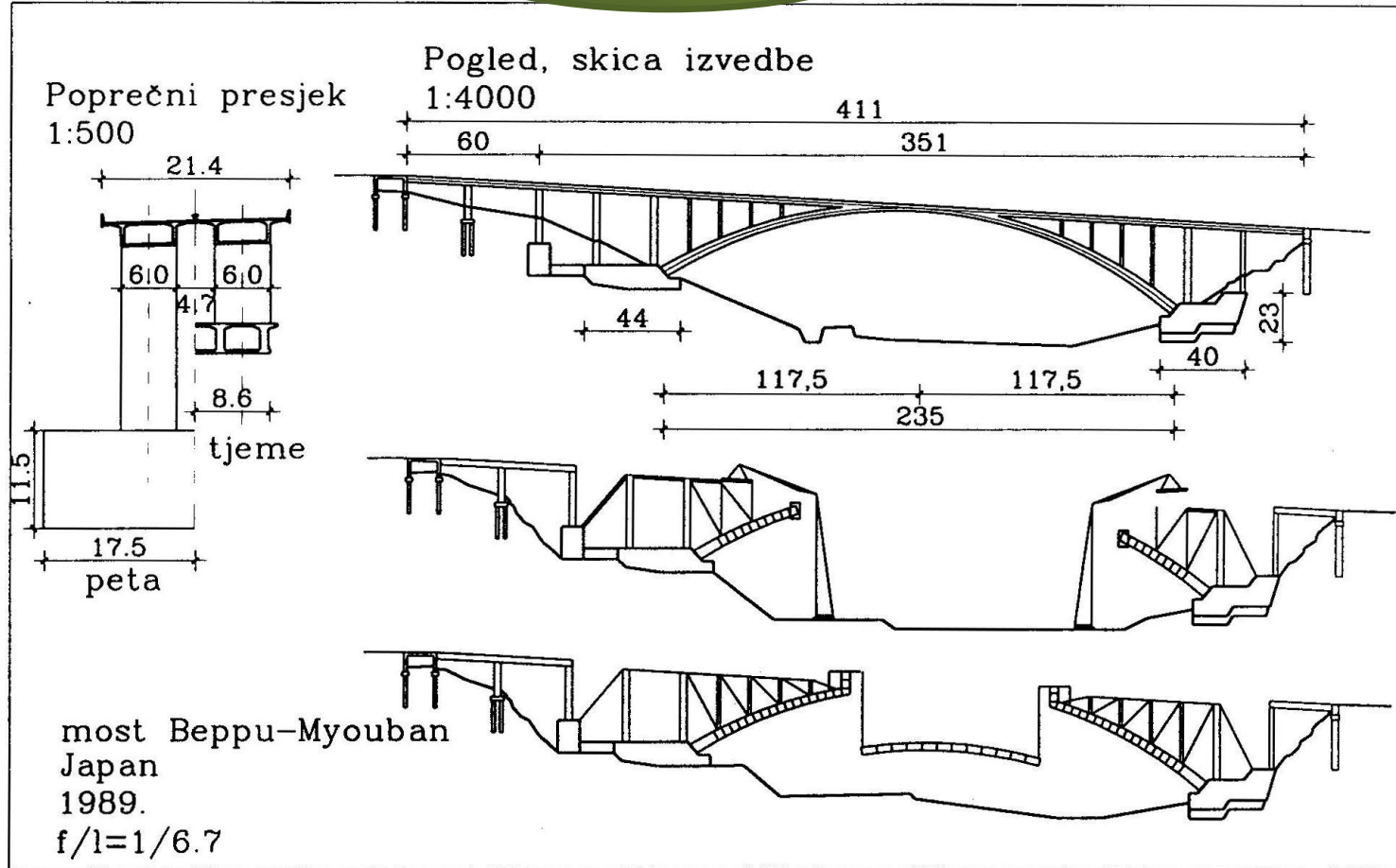


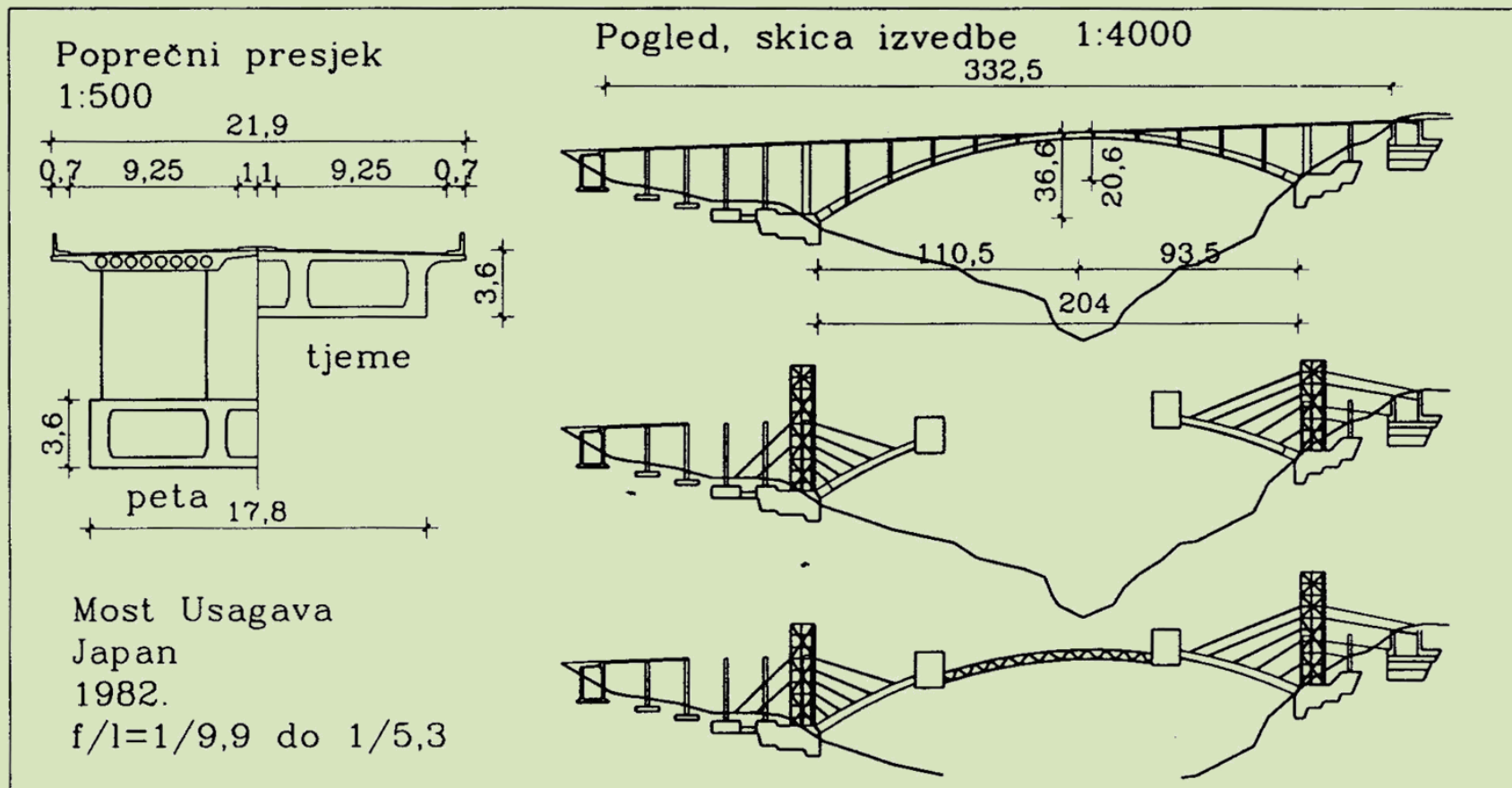
kruta armatura

Wanxian Yangtze River Bridge



kombinirani postupci





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



suvremeni čelični lučni mostovi

SAD

s t a g n a c i j a

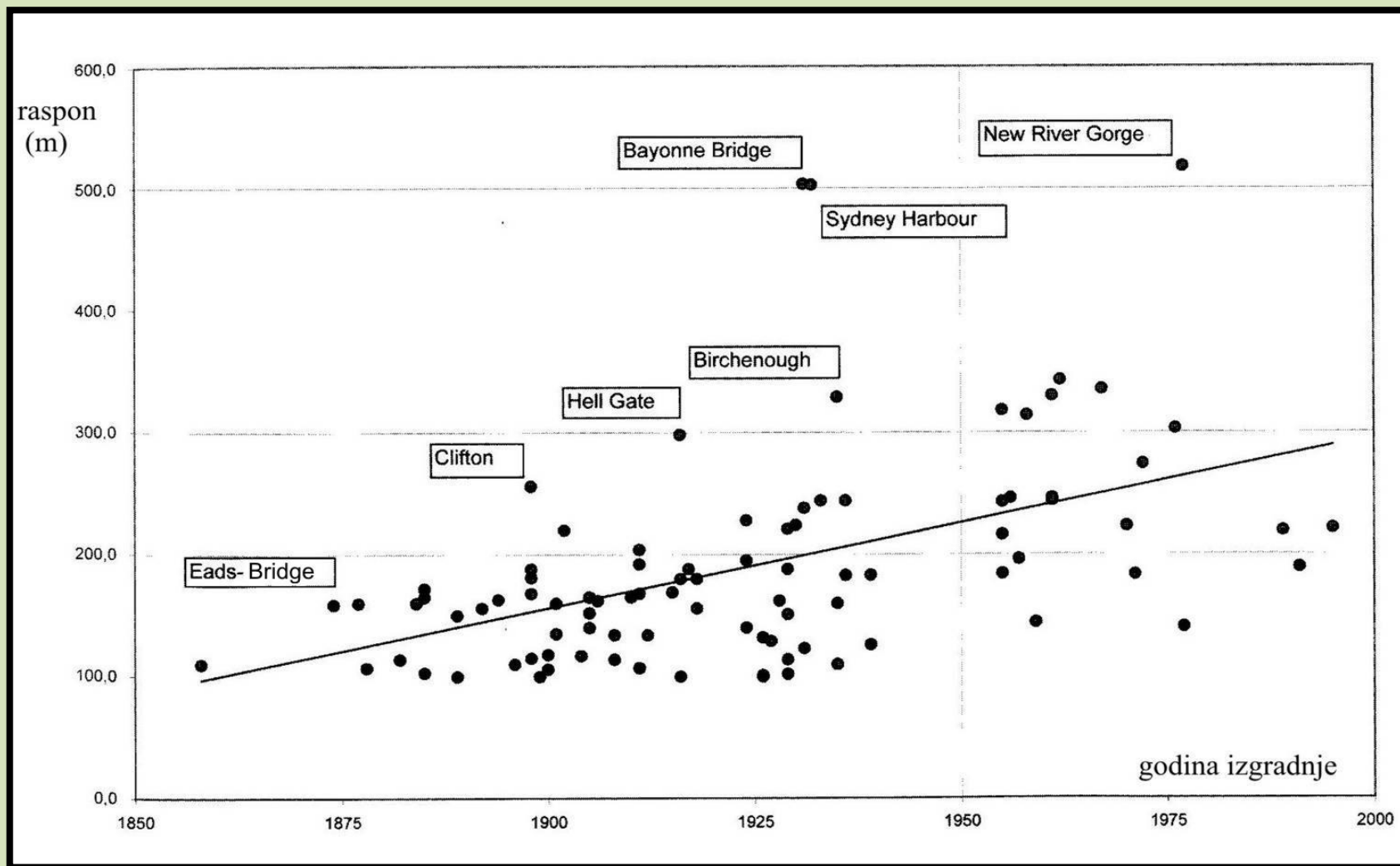
Japan

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

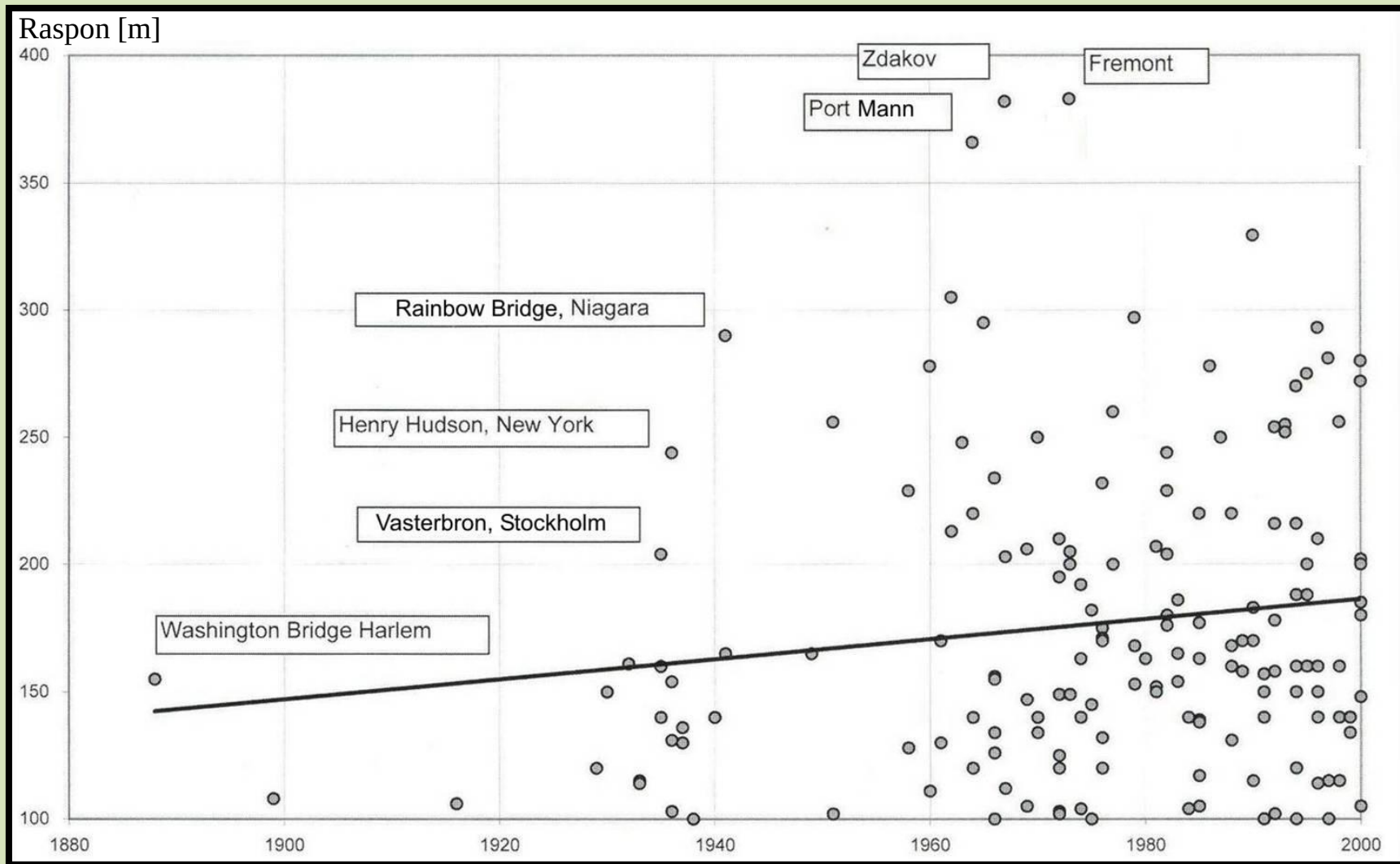
postupci izvedbe

sve metode gradnje masivnih mostova prvo su primjenjene kod čeličnih mostova

Izvedeni čelični rešetkasti lukovi



Izvedeni čelični rešetkasti lukovi





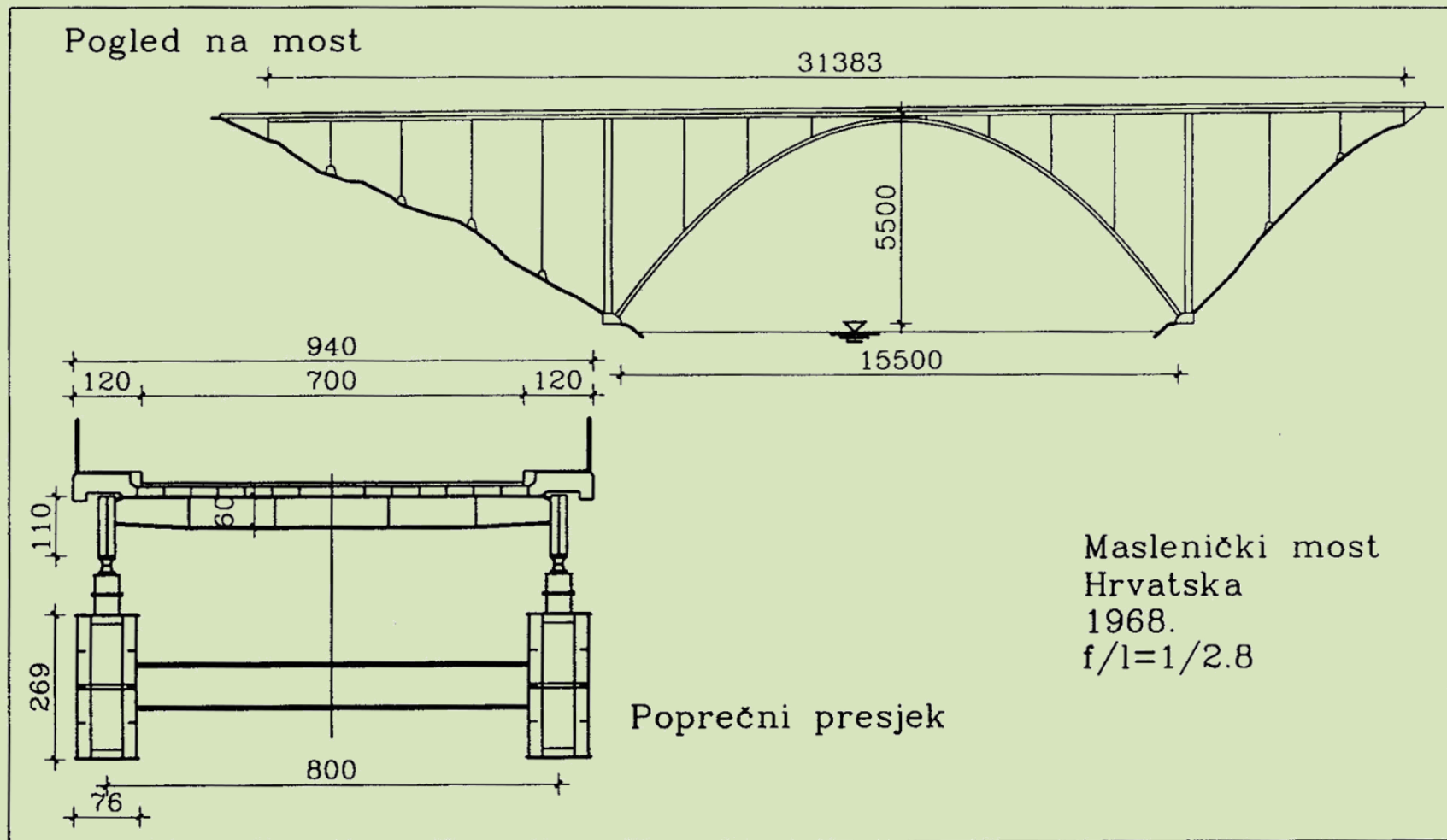
Izvedeni punostijeni čelični lukovi $L > 150$ m

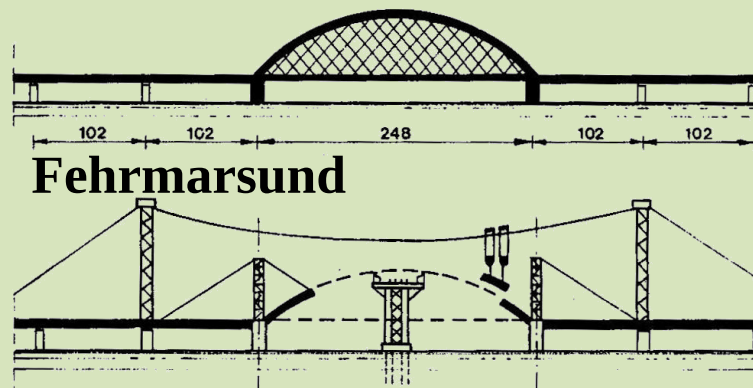
Godina Zemlja	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	Σ
Japan								1	8	7	8	24
SAD	1				1	3	1	2	4	6	2	20
Njemačka					1		1	2	2	2	5	13
Kina										1	8	9
Nizozemska					1			3		1	3	8
Hrvatska							1					1
ostale				1	2			3	1	4	4	16
Σ	1	0	0	1	5	3	3	11	15	21	30	90



Most preko Vltave kod Ždakova

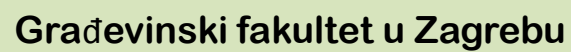




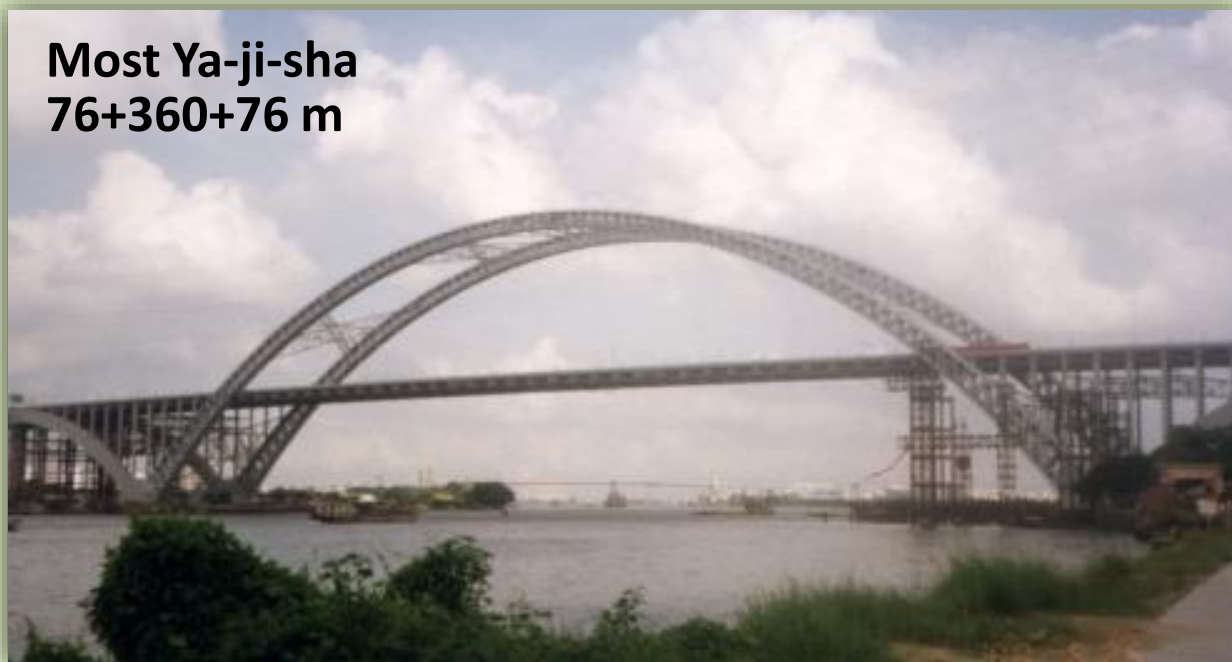




New River Gorge



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 staviti zglobove (ili elastična upetost)

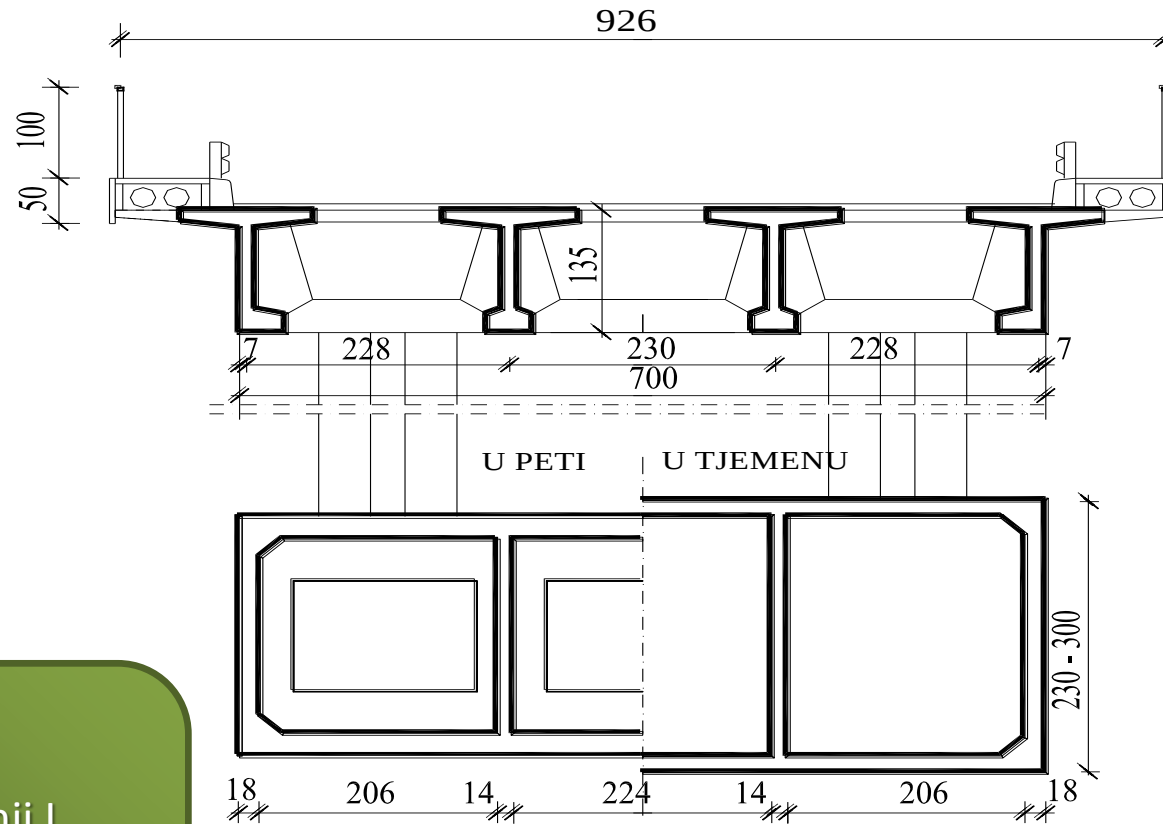
Ujednačeni momenti duž nosača – racionalan presjek



Paški most



ELASTIČNO UPETI LUKOVI



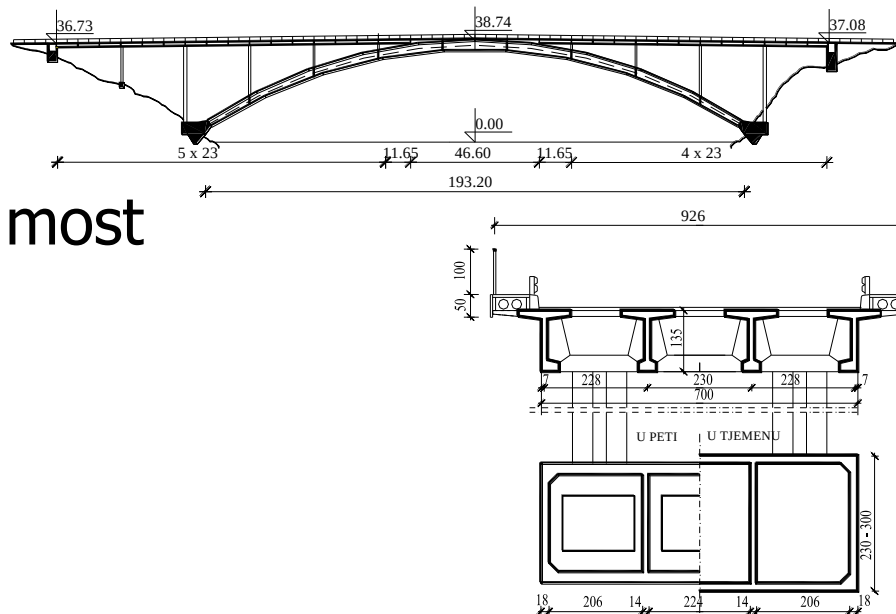
PETA:
veći A, manji I

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 nego boljitaka

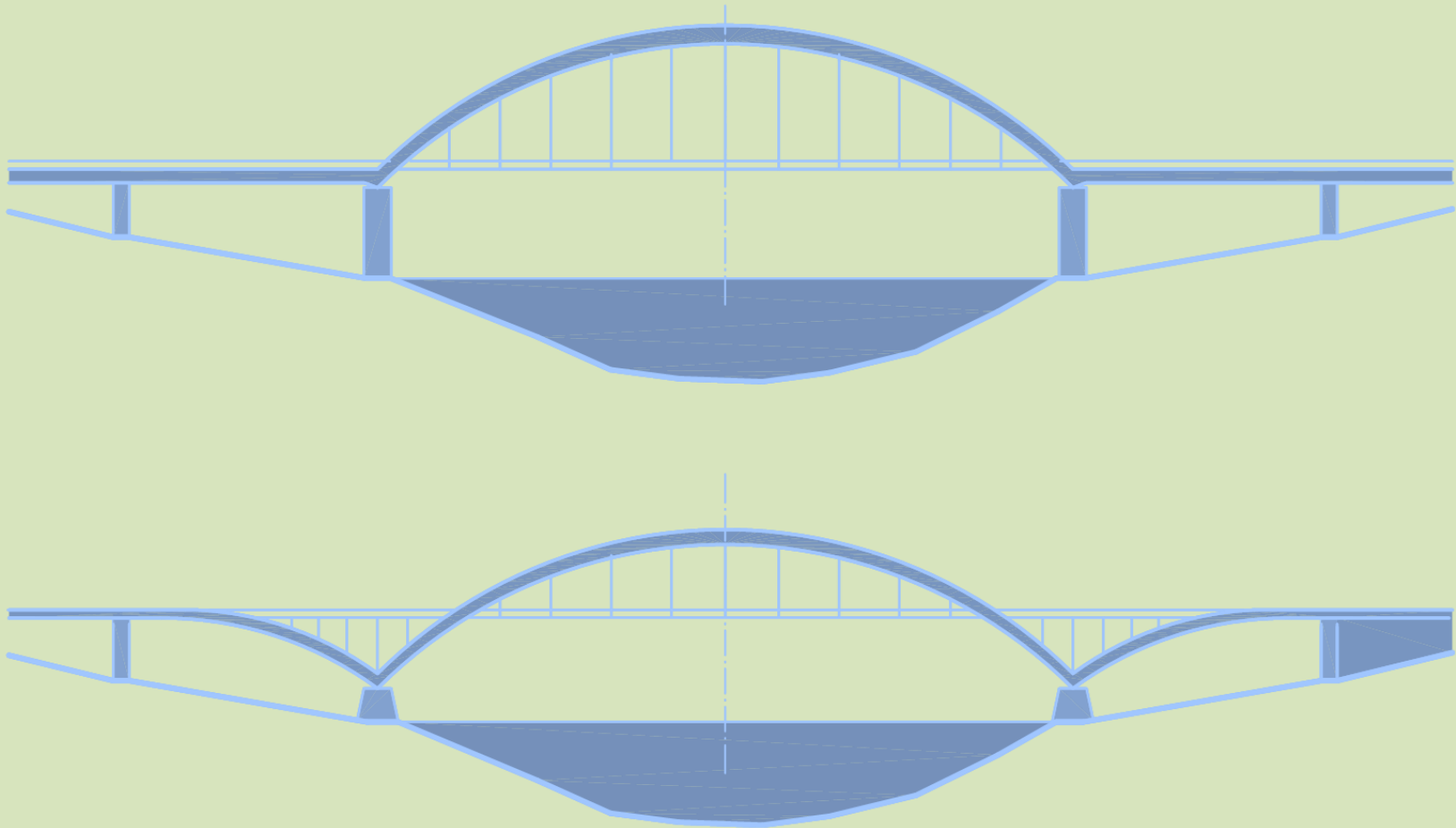


Salginatobel, Maillart



DRUGI LUČNI SUSTAVI

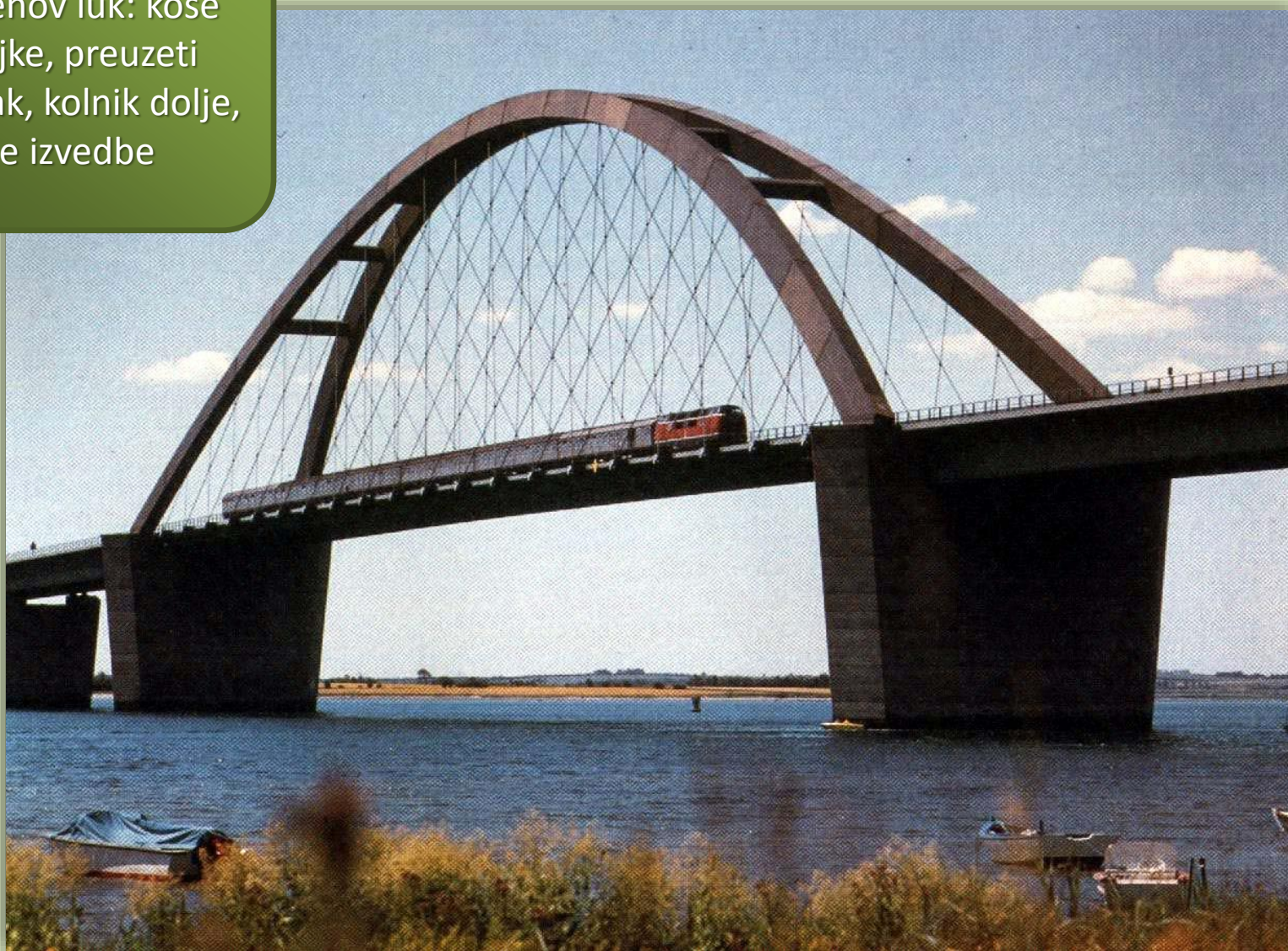
Sustavi masivnih lučnih mostova s preuzetim potiskom





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



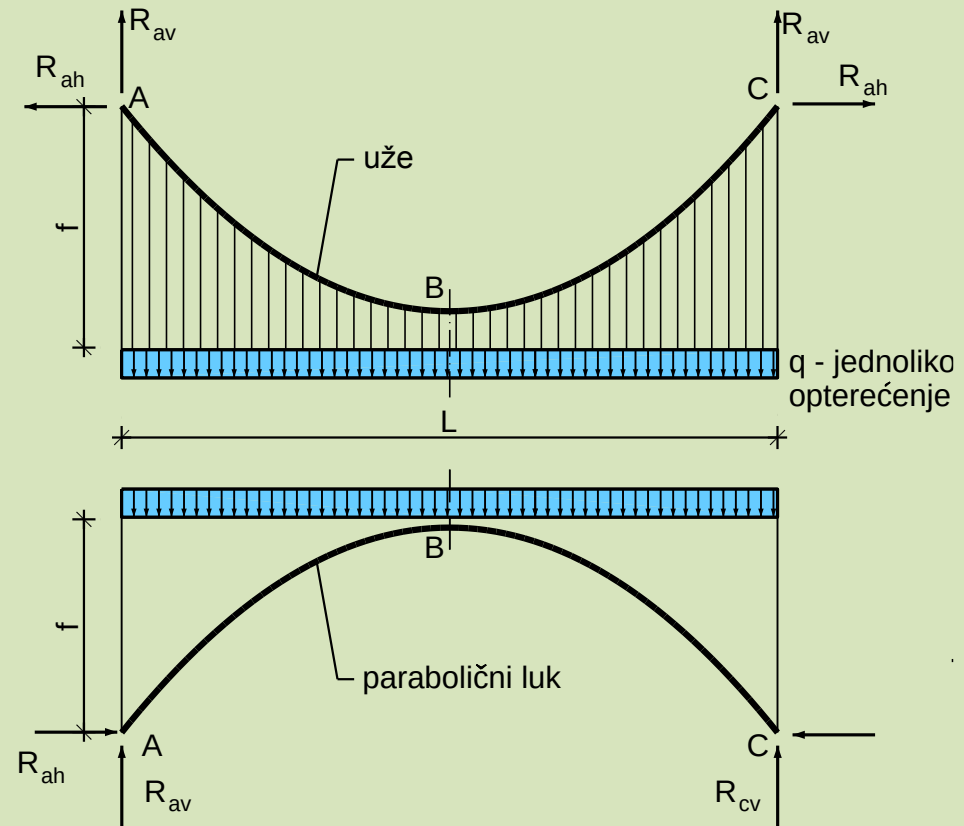


ANALOGIJA LUKA I LANČANICE

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:

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





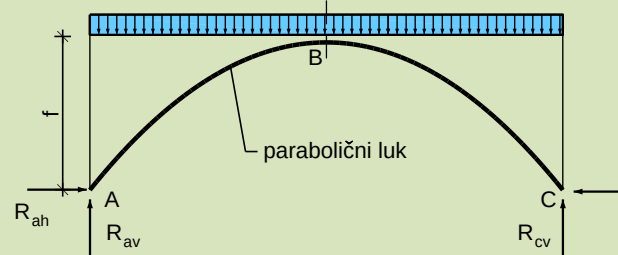
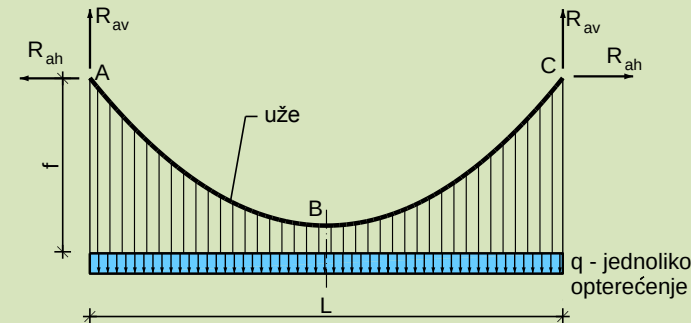
ANALOGIJA LUKA I LANČANICE

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

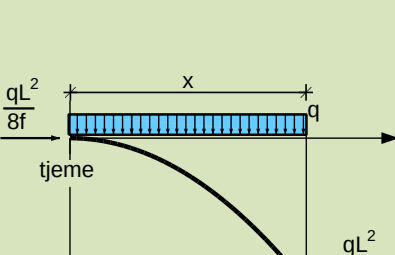
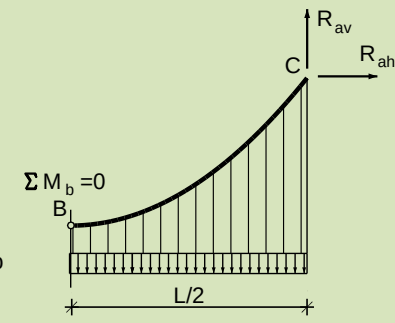
$$\sum M \text{ oko } B \rightarrow \left(\frac{q \times L}{2} \times \frac{L}{4} \right) + (f \times R_{ah}) = R_{av} \times \frac{L}{2} \rightarrow R_{ah} = \frac{q L^2}{8 f}$$

Dobivena vrijednost odgovara horizontalnoj sili u kabelu u sredini raspona F_b

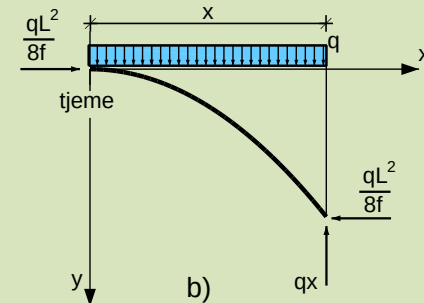
Sila u kabelu smanjuje se s povišenjem pilona (povećanjem provjesa f)



a)



b)





LUK OPTEREĆEN JEDNOLIKO

Traži se oblik osi koji minimizira momente savijanja

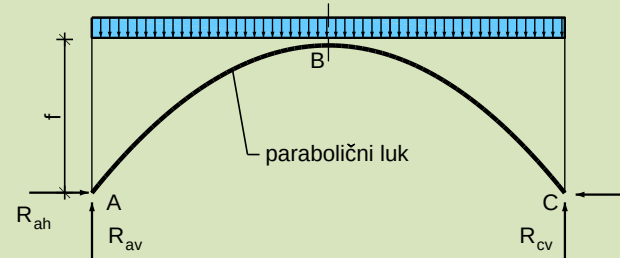
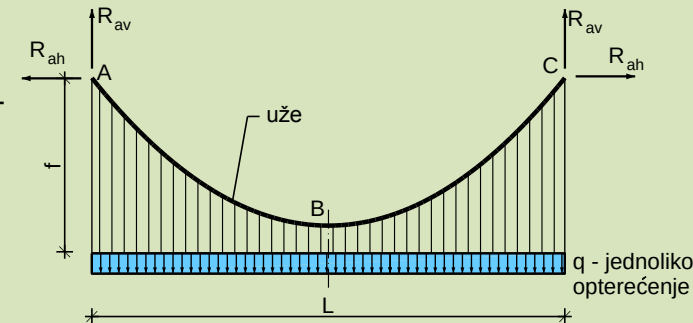
Promotrimo ravnotežu sila na odsječku luka pod kontinuiranim opt.

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

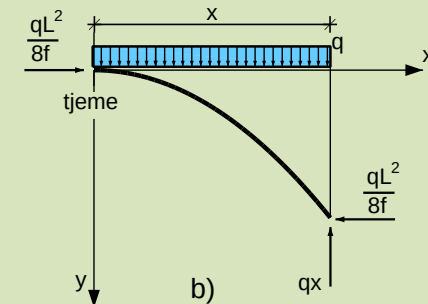
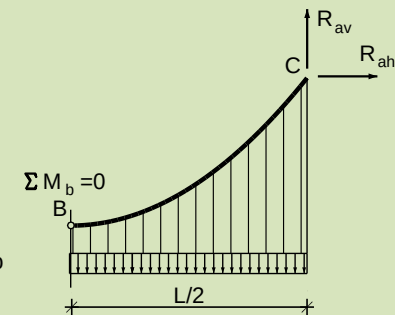
$$x = \frac{L}{2} \Rightarrow y = f \quad f = B \frac{L^2}{4}$$

Parabola II. stupnja – često se koristi kod preliminaranog oblikovanja osi luka

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



a)

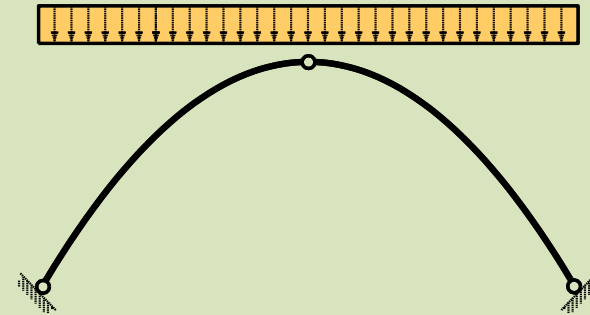


b)

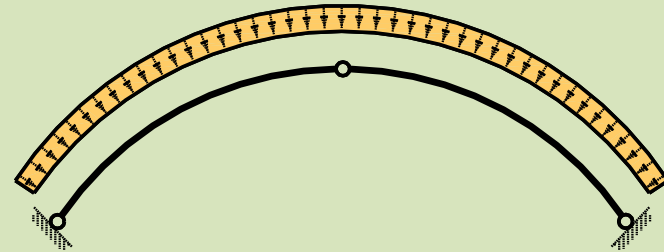


OPTIMALNI OBLIK LUČNIH NOSAČA

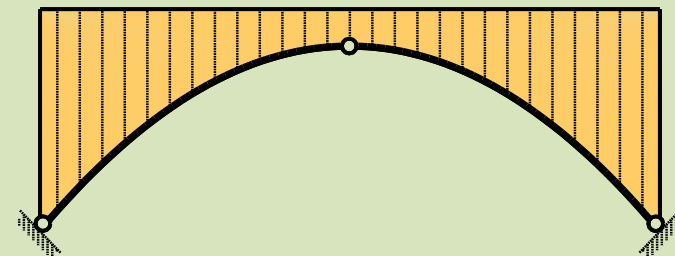
Paraboličan oblik – za jednoliko opterećenje



Kružni oblik – za jednoliko raspo-dijeljeno opterećenje



Realno promjenjivo opterećenje





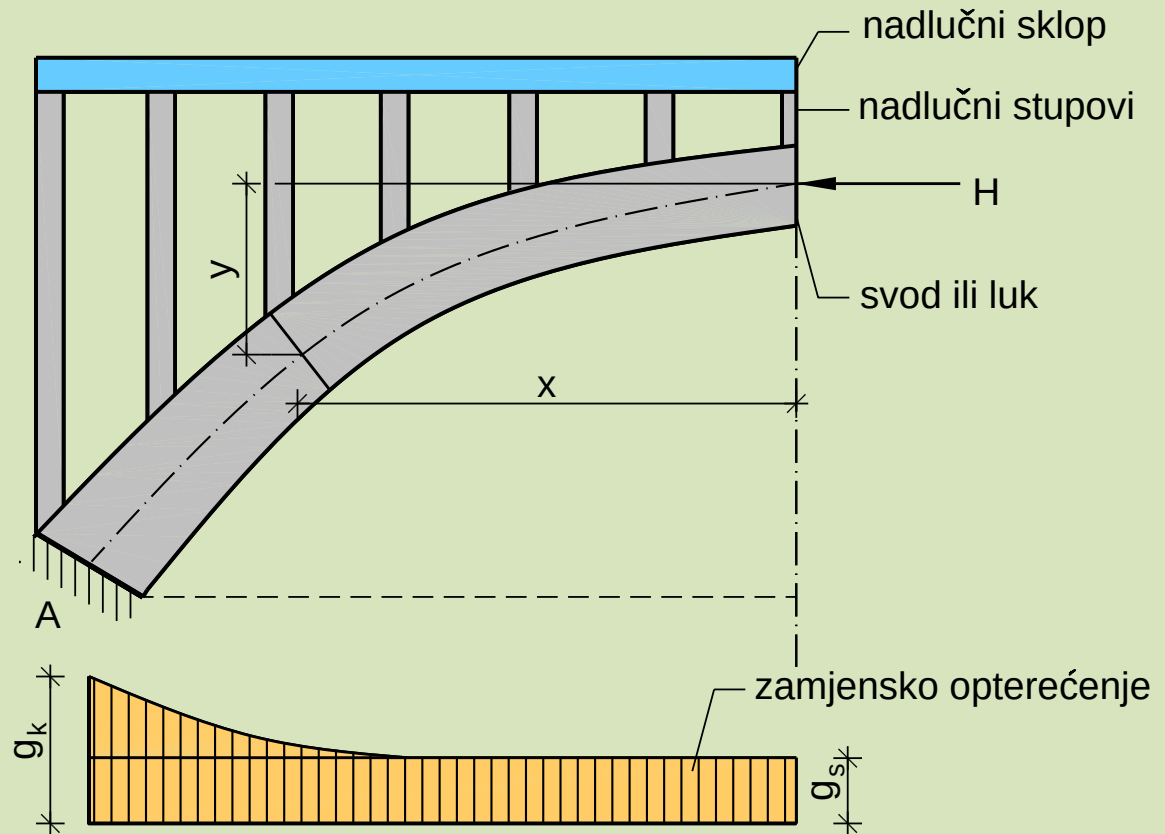
REALNI RASPORED OPTEREĆENJA NA LUK- OPTIMALNA OS ?

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

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

$$k = \text{arch} \quad m = \ln(m + \sqrt{m^2 - 1})$$

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





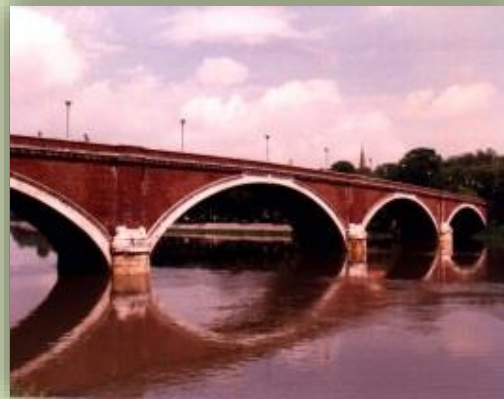
REALNI RASPORED OPTEREĆENJA NA LUK- OPTIMALNA OS ?

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 LUKOVA

JEDNAK POPREČNI
PRESJEK DUŽ LUKA



Najjednostavnije rješenje,
optimalno i u pogledu izvedbe ako se koristi
pomična ili klizna skela na kojoj se betoniraju
uzastopni odsjecci

PROMJENJIVI PRESJEK
LUKA

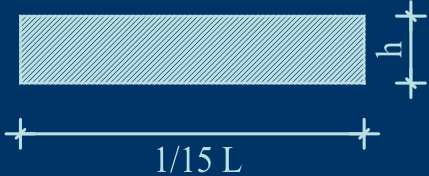
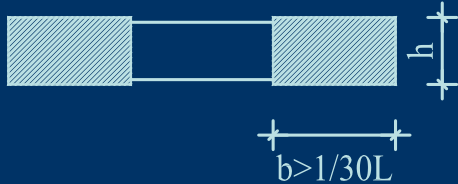


Ako želimo uskladiti presjeke luka sa silama i
momentima u tim presjecima



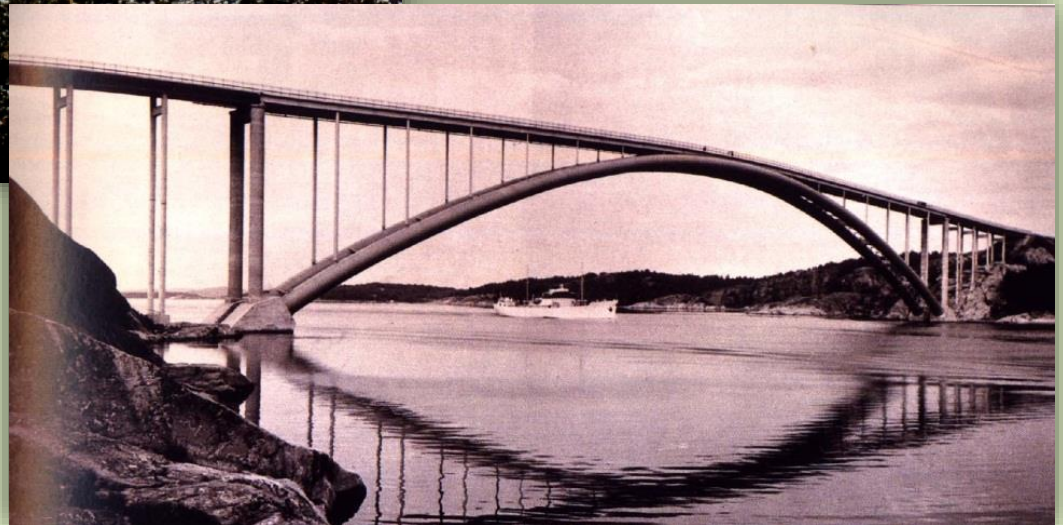
POPREČNI PRESJECI LUKOVA

UOBIČAJENI
PRESJECI I
PRIKLADNI
RASPONI

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



POPREČNI PRESJECI LUKOVA



POPREČNI PRESJECI LUKOVA

UOBIČAJENI PRESJECI I
PRIKLADNI RASPONI

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



POPREČNI PRESJECI LUKOVA

DVIJE KRAJNOSTI

VITKI LUK

- Prenosi samo uzdužne sile
- Za manje i srednje raspane

KRUTI LUK

- Značajniji momenti savijanja
- Veliki rasponi

KRITERIJ: odnos krutosti luka i nadlučne grede

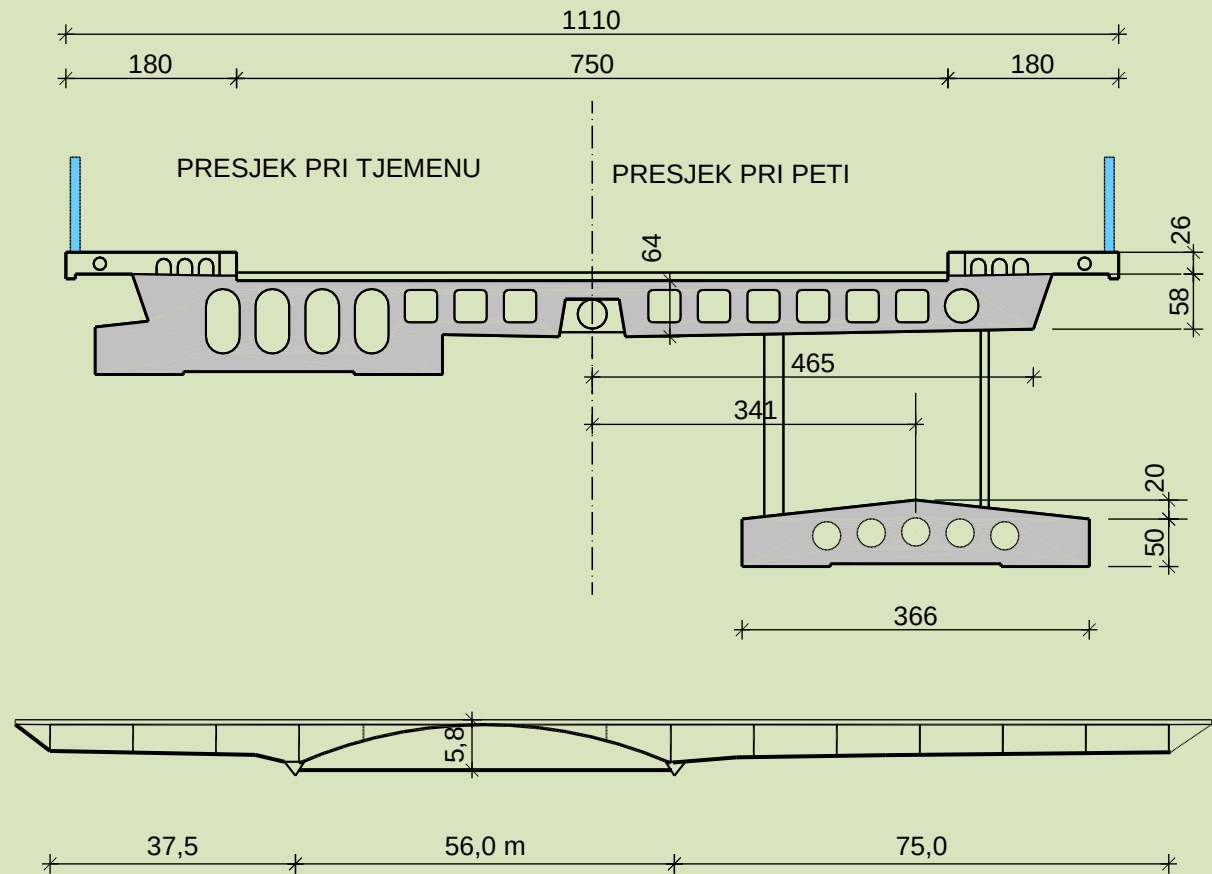


POPREČNI PRESJECI LUKOVA

PUNOSTIJIENI LUK



- jednodjelni
- višedjelni – prednost kod izvedbe na skeli, skela se pomiče u poprečnom smjeru



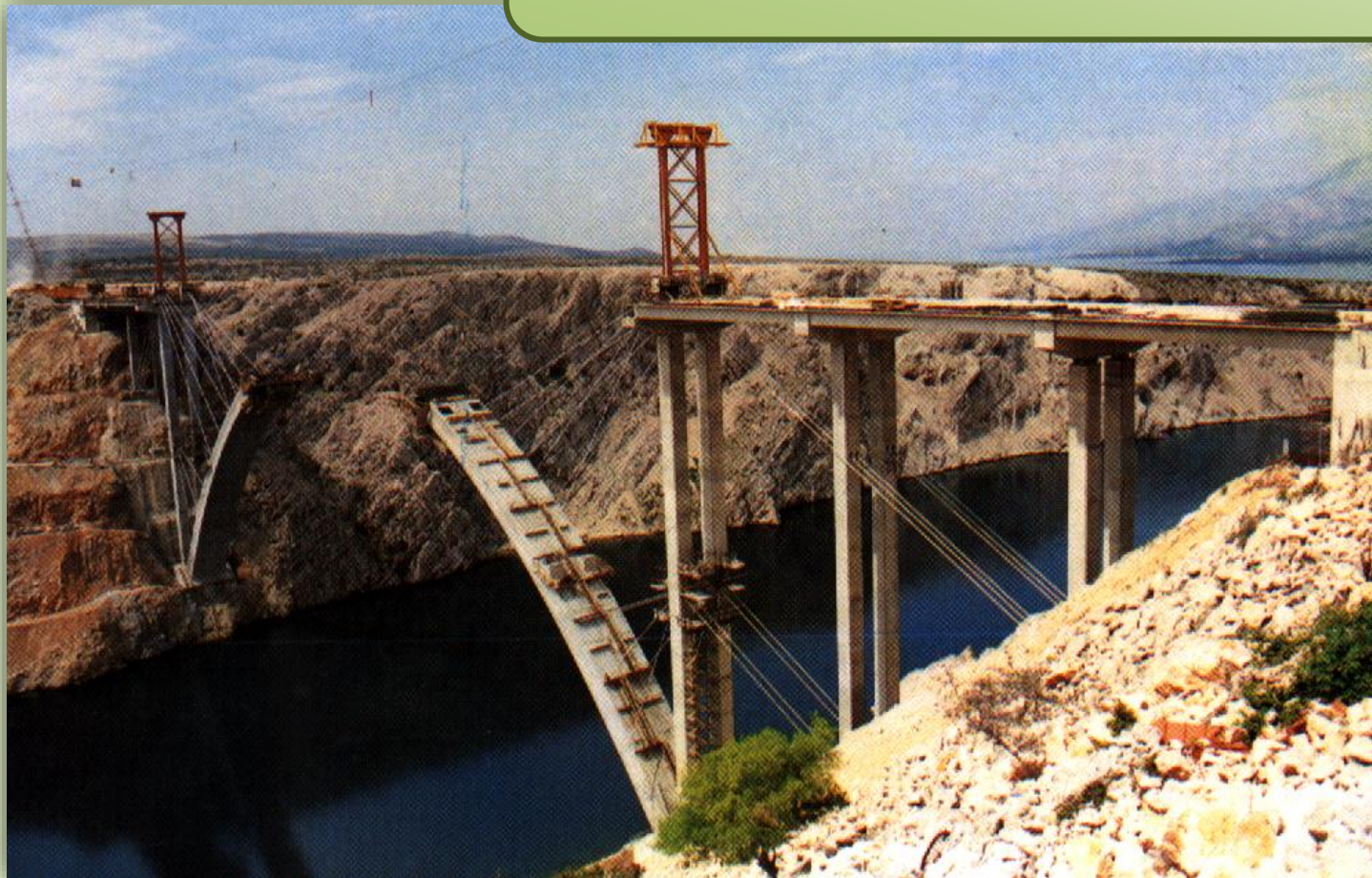
Most Rakovac,
Korana,
Karlovac



POPREČNI PRESJECI LUKOVA

SANDUČASTI LUKOVI

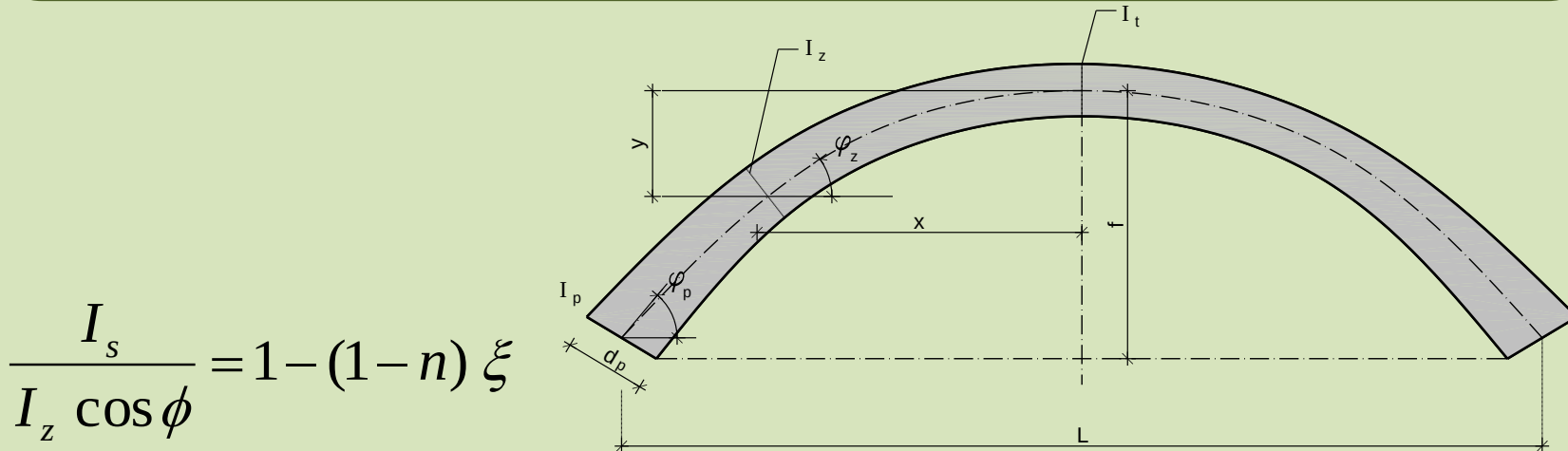
- jedna ili više komora (klijetki)
- kod većih raspona javlja se problem stabilnosti





ZAKON PROMJENE POPREČNIH PRESJEKA DUŽ LUKA

- Vezan uz momente inercije
- U praksi se najčešće koristio Ritterov izraz – slijedi iz dijagrama maksimalnih momenata u luku – u srednje dvije trećine presjek se ne mijenja, uz oslonce se naglo povećava njegova visina
- Ovisan o oblikovanju osi svoda (ϕ – kut nagiba tangente na os luka)



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

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

I_s – moment inercije u tjemenu
 I_z – 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

$$A_t = A_z$$

Nije racionalan jer gradivo u
tjemenu nije iskorišteno

Zakon promjene po
kosinusu usklađen s
promjenom uzdužne
sile

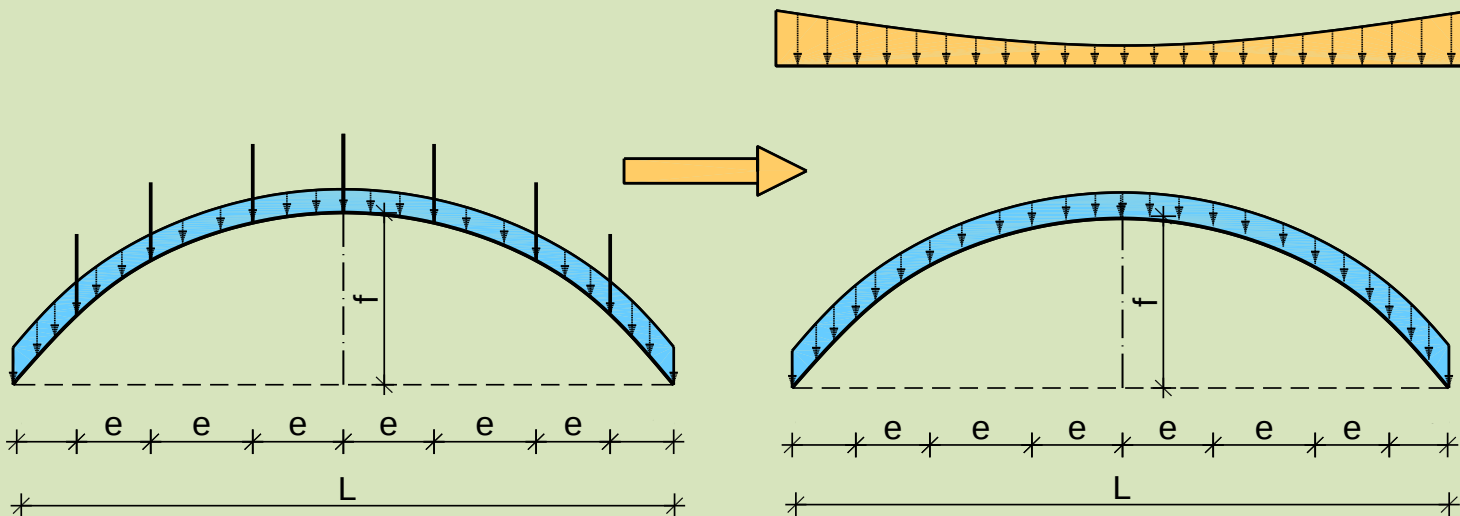
$$\frac{A_t}{A_z \cos \varphi_z} = 1$$

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:

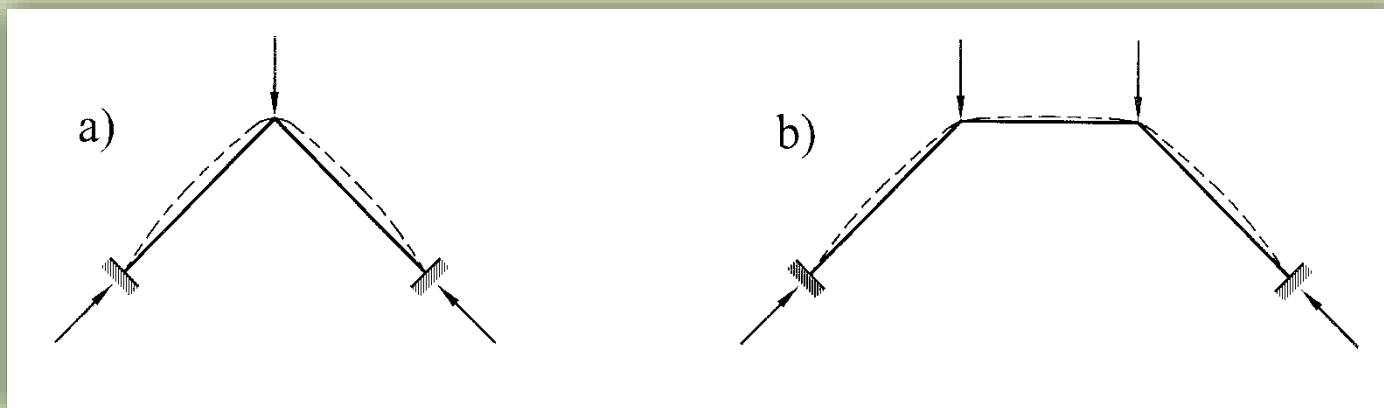
- određivanja koordinata točaka položaja stupova
- određivanja skupa jednadžbi krivulja koje spajaju te točke

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)

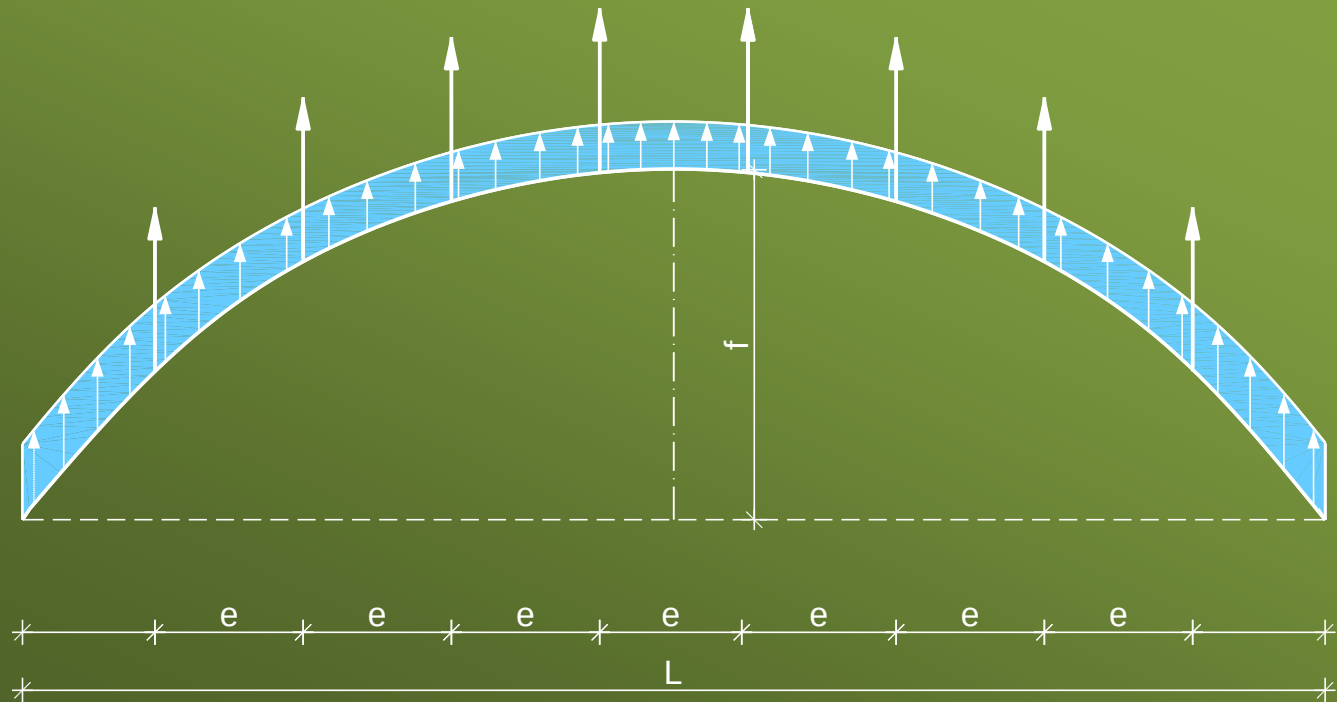


ravnotežni položaji lančanice



METODA OBRNUTOG OPTEREĆENJA

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

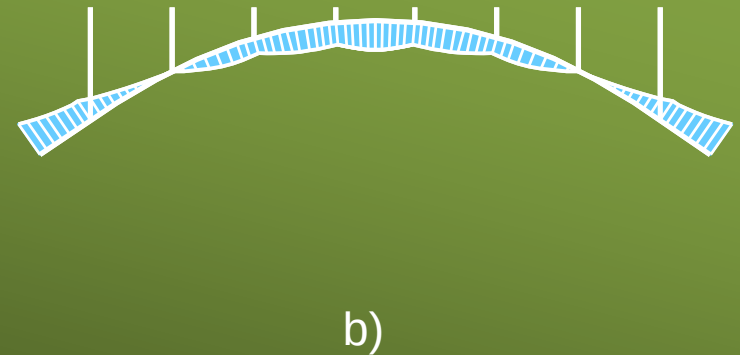
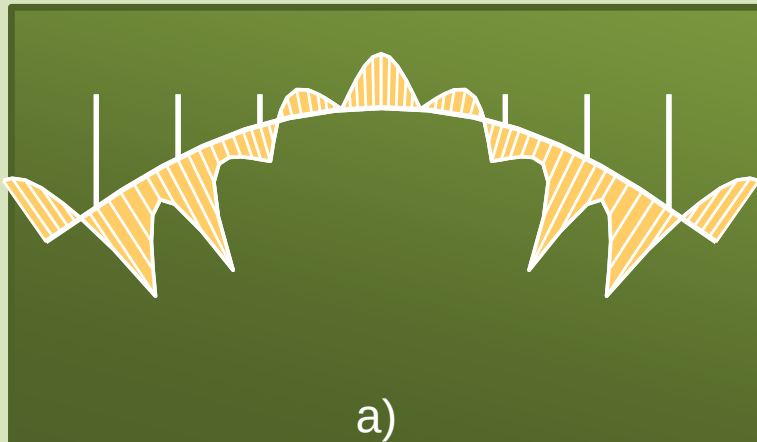




METODA OBRNUTOG OPTEREĆENJA

a) Momentni dijagram za luk oblika parabole

b) Momentni dijagram za luk određen metodom obrnutog opterećenja





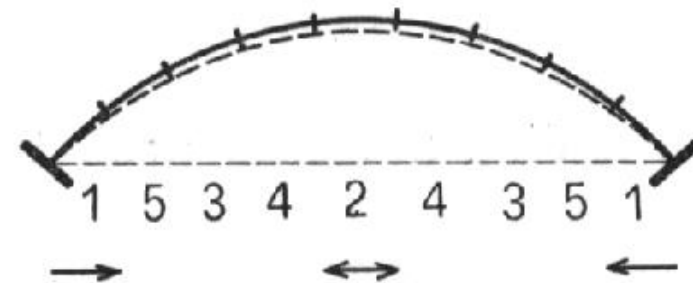
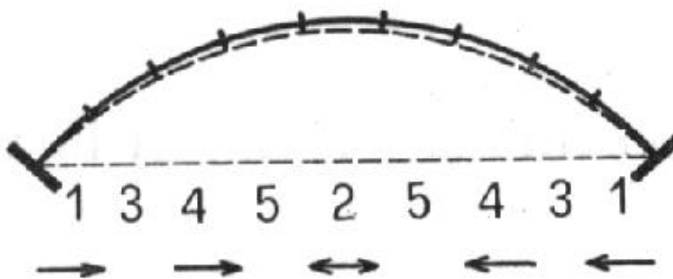
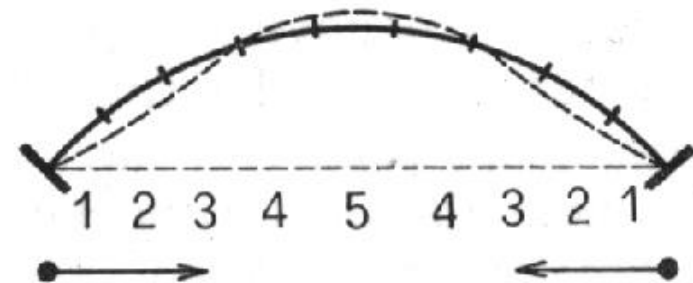
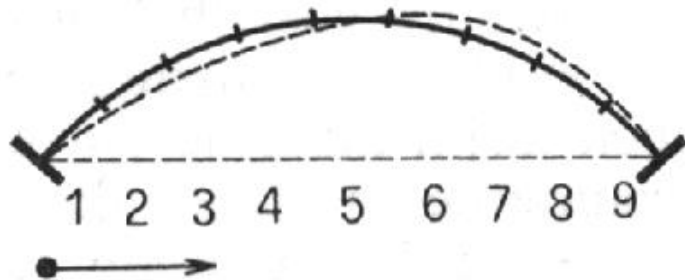
IZVEDBA LUČNIH MOSTOVA





IZVEDBE NA SKELI

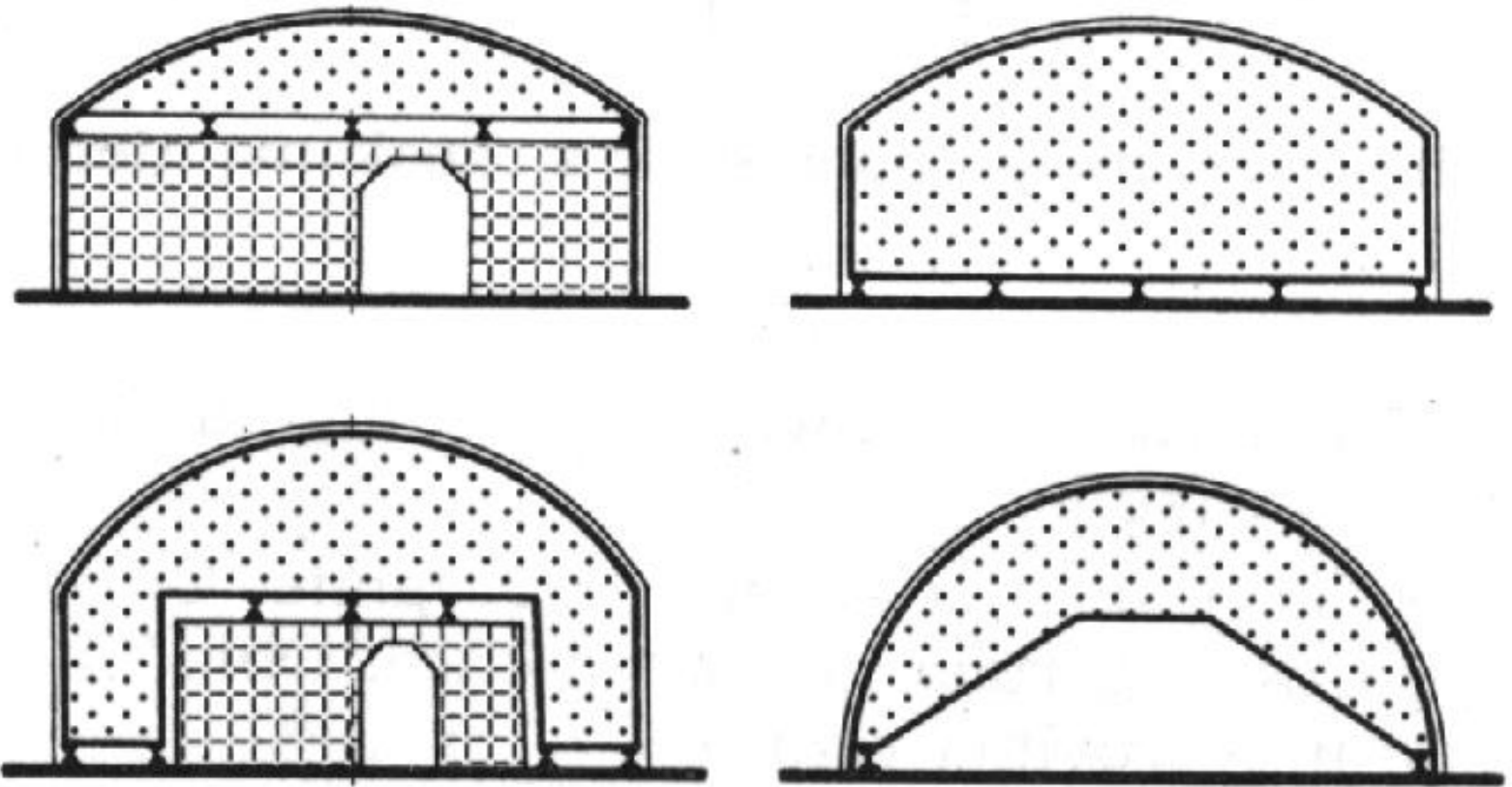
Građenje lukova na klasičnoj skeli – redoslijed izvedbe određuje deformacije





IZVEDBE NA SKELI

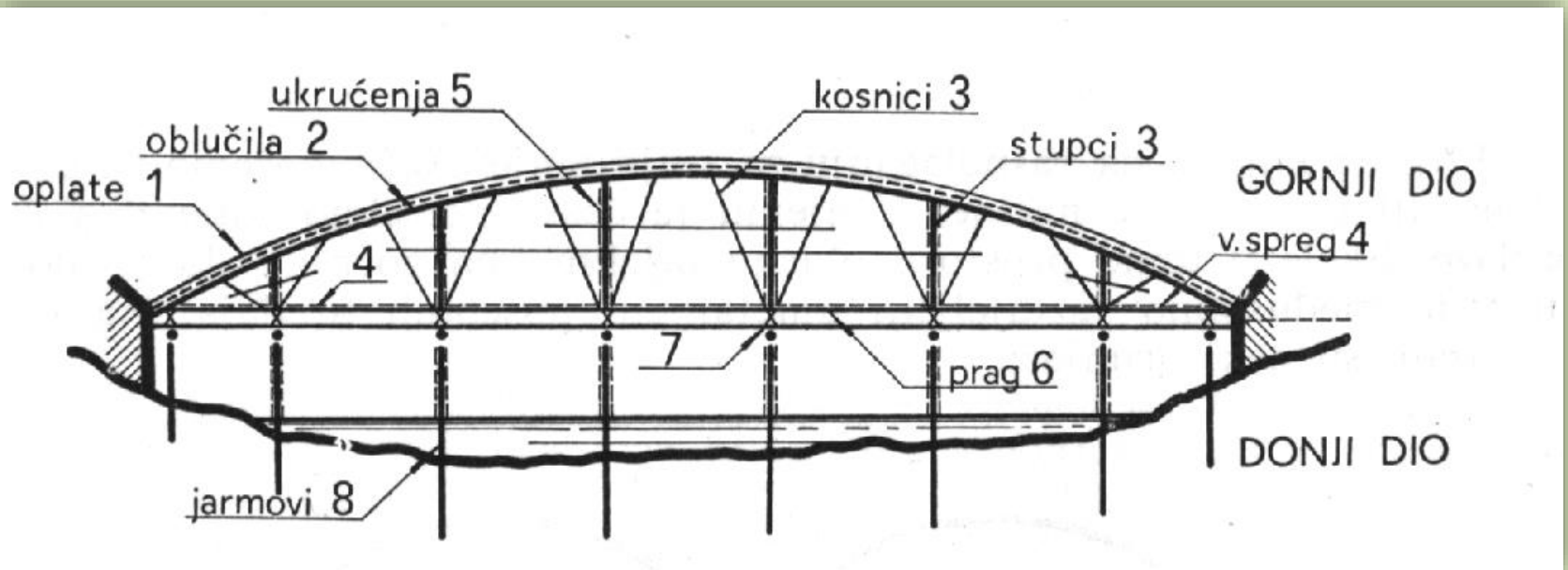
Građenje lukova na klasičnoj skeli – slobodni profil određuje tip skele





IZVEDBE NA SKELI

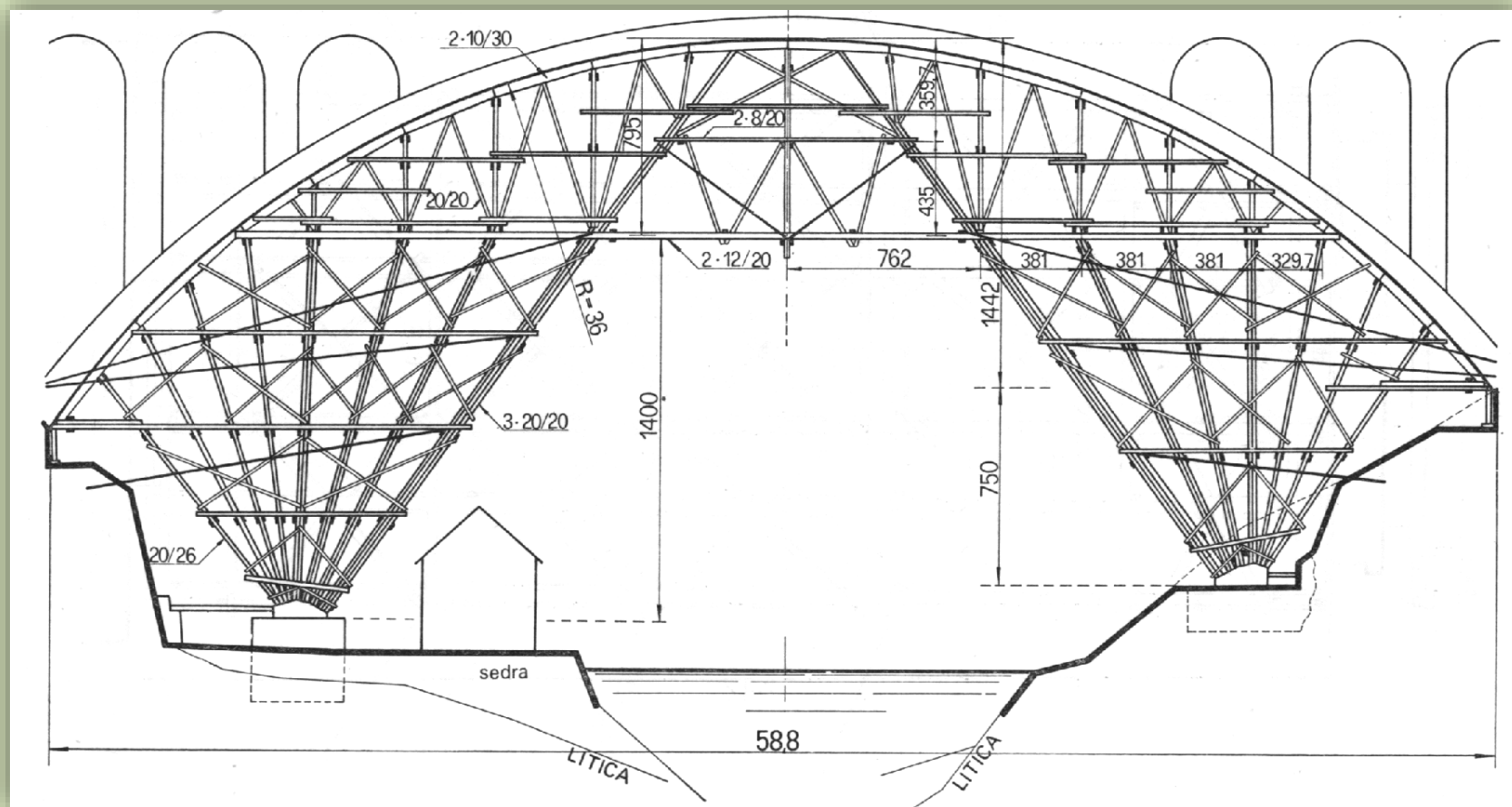
Dijelovi klasične drvene skele





IZVEDBE NA SKELI

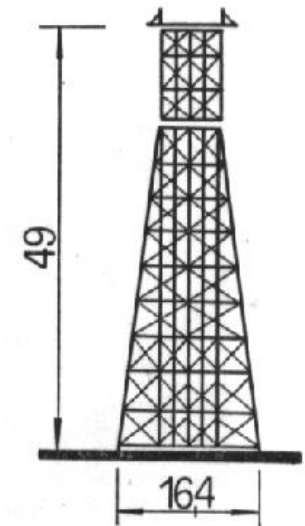
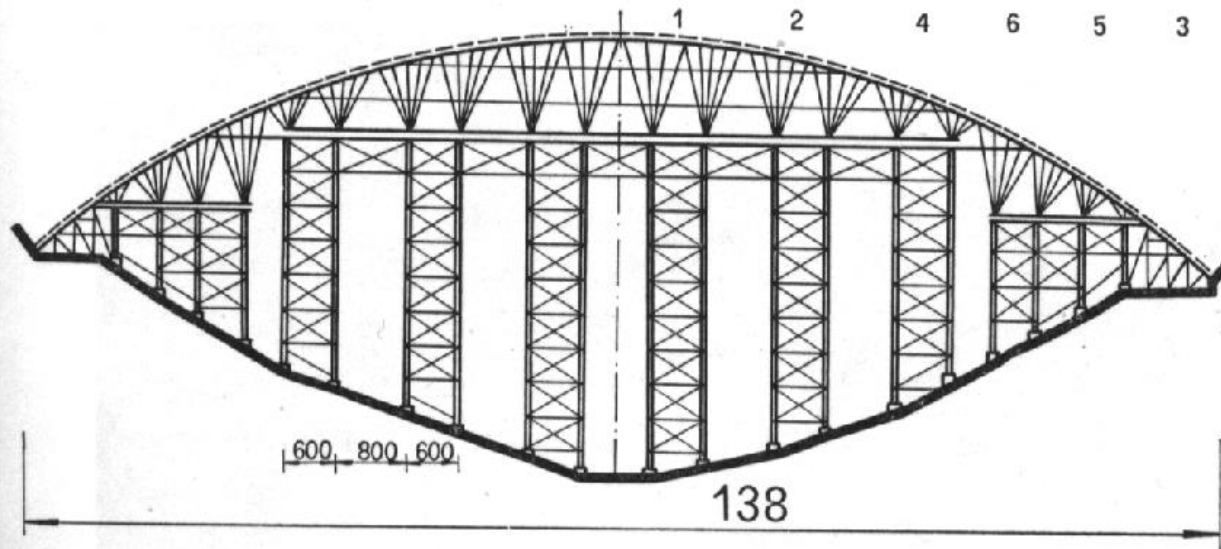
Klasična drvena lepezasta skela





IZVEDBE NA SKELI

Čelična skela sa stupcima





IZVEDBE NA SKELI

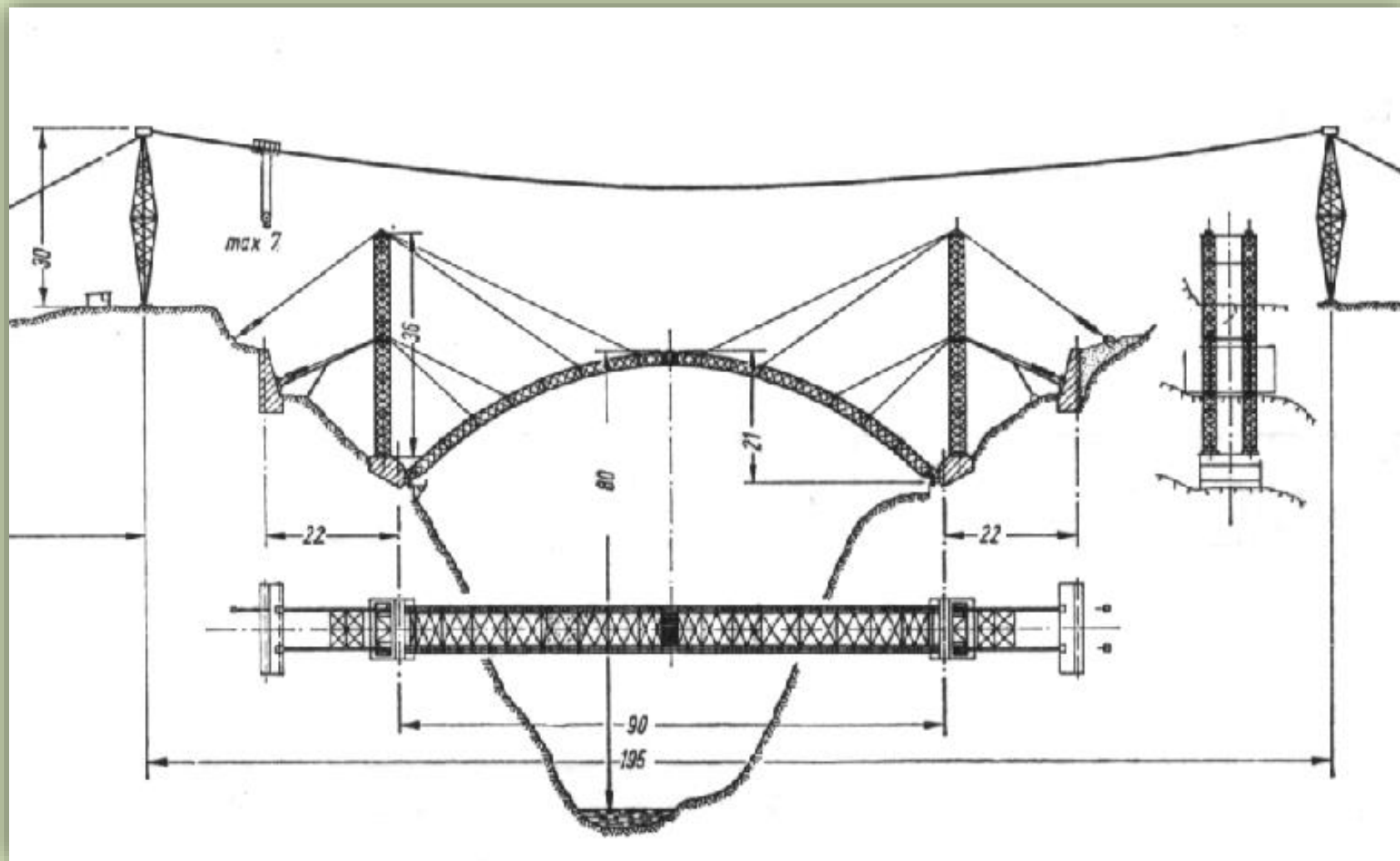
Skela bez međuoslonaca





IZVEDBE NA SKELI

Skela bez međuoslonaca



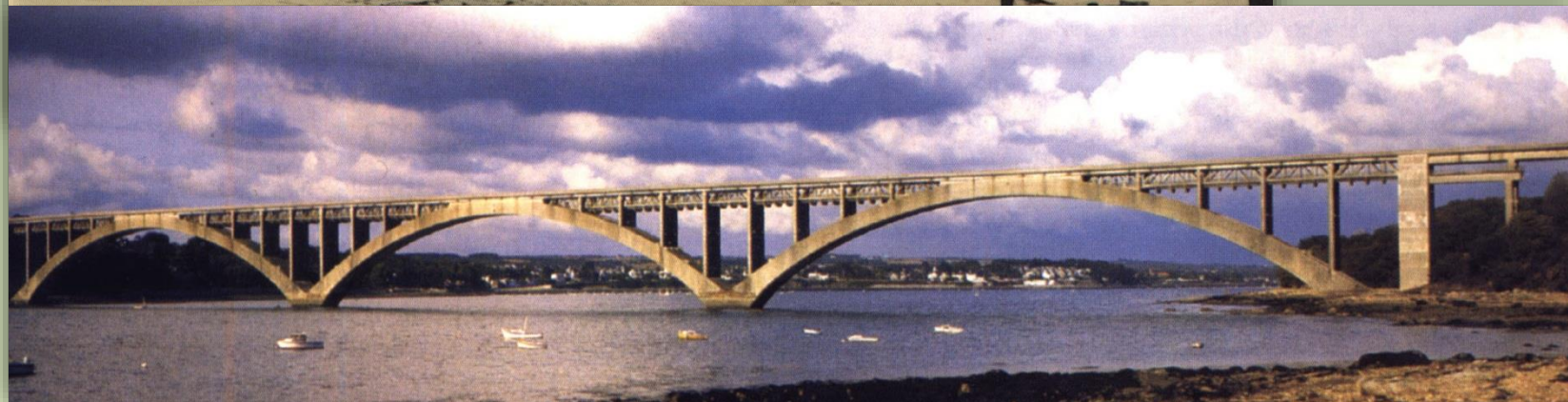


IZVEDBE NA SKELI

Skela bez međuoslonaca



Most Albert
Louppe
(Francuska)



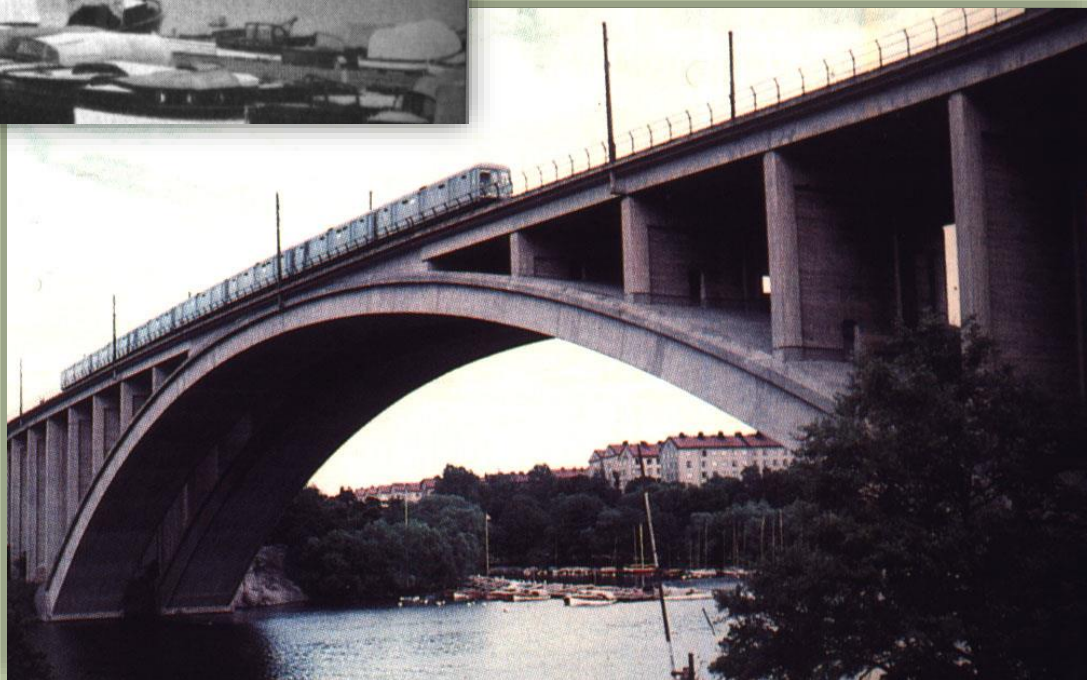


IZVEDBE NA SKELI

Skela bez
međuoslonaca



Most Traneberg
(Švedska)



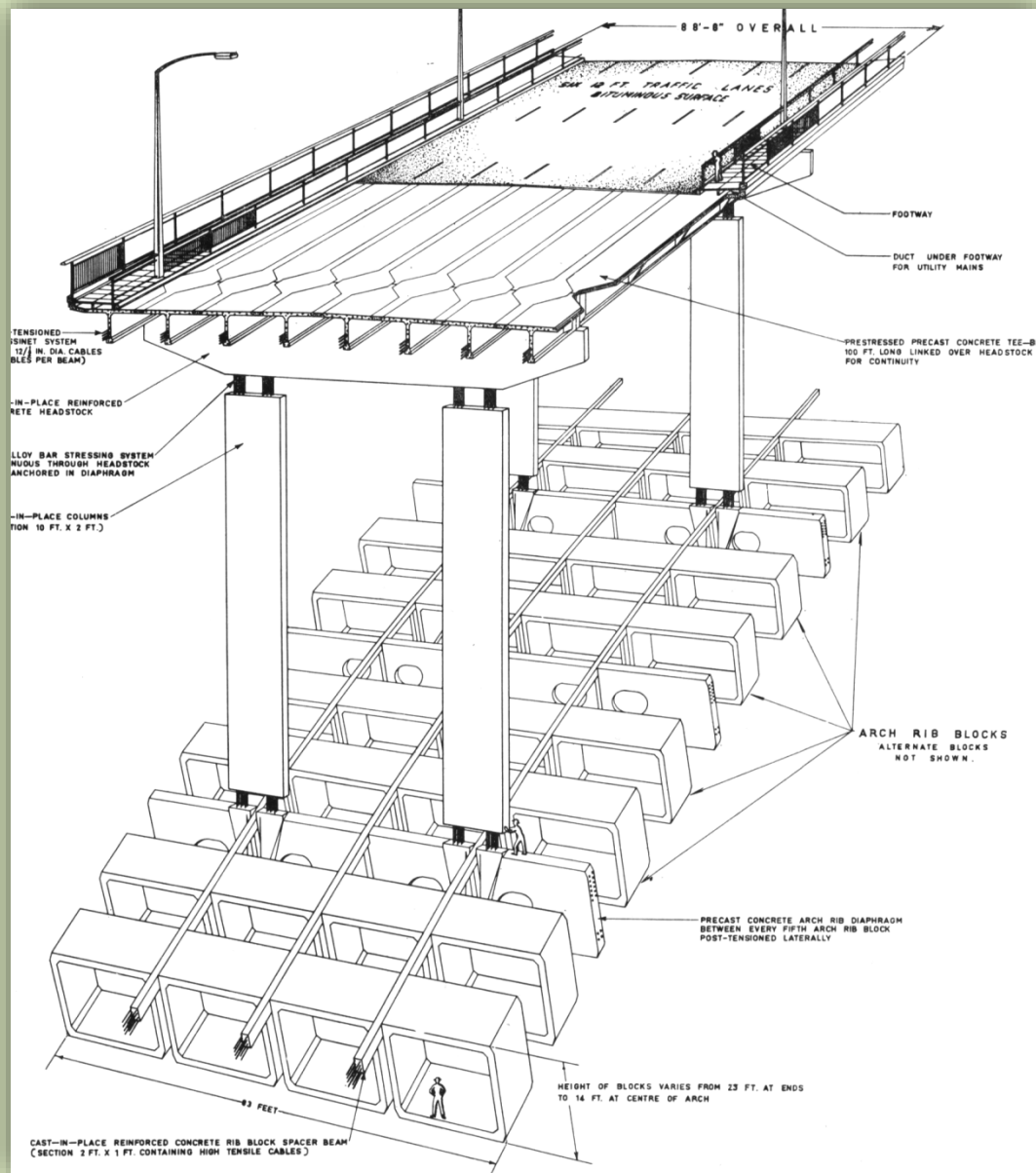


Most Gladesville, Sydney, 1964 g., $L=305$ m



Izvedba mosta Gladesville

4 šuplja usporedna luka
od montažnih odsječaka
izvođeni jedan po jedan
na istoj skeli



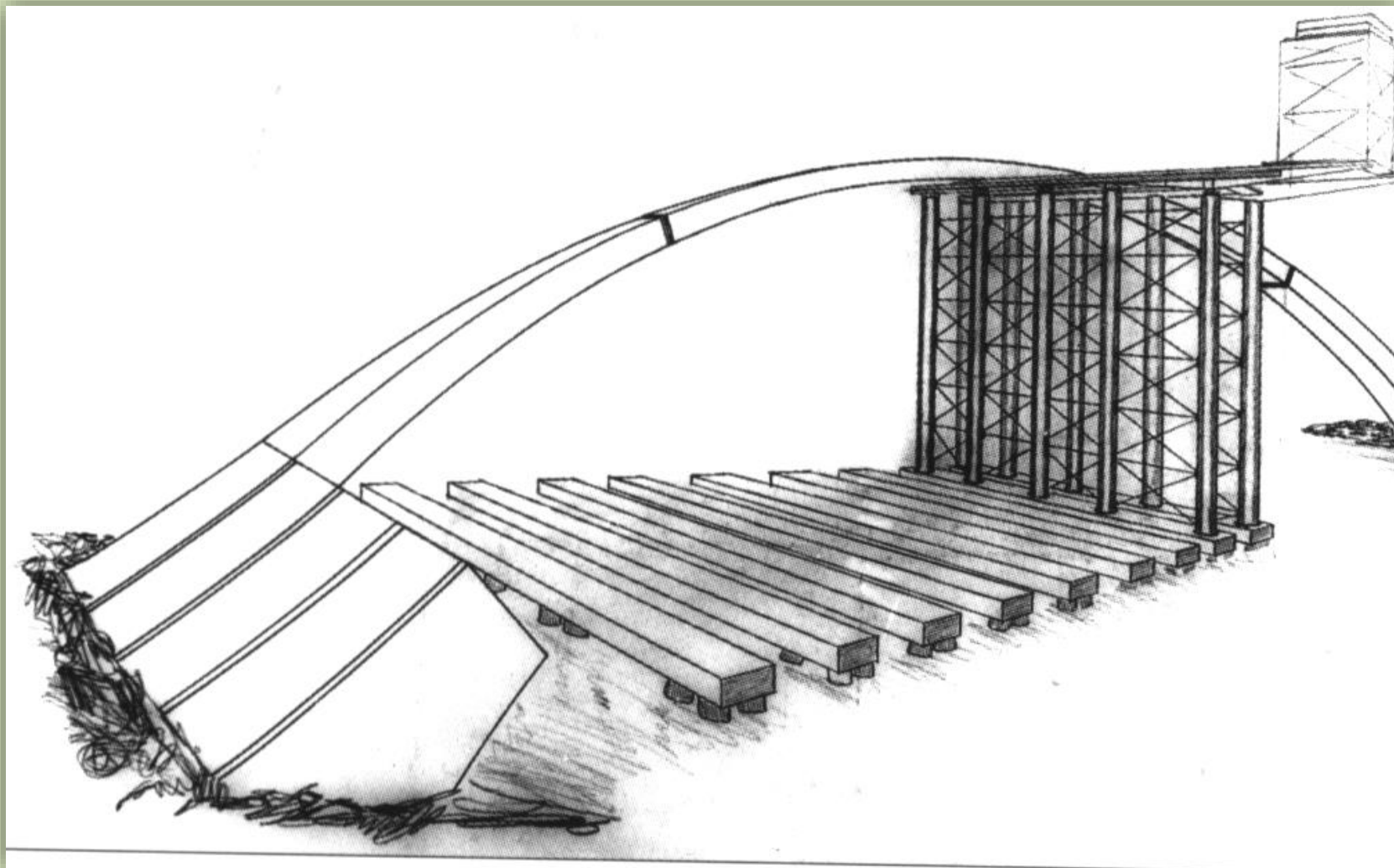


Izvedba mosta Gladesville





Izvedba mosta Gladesville



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

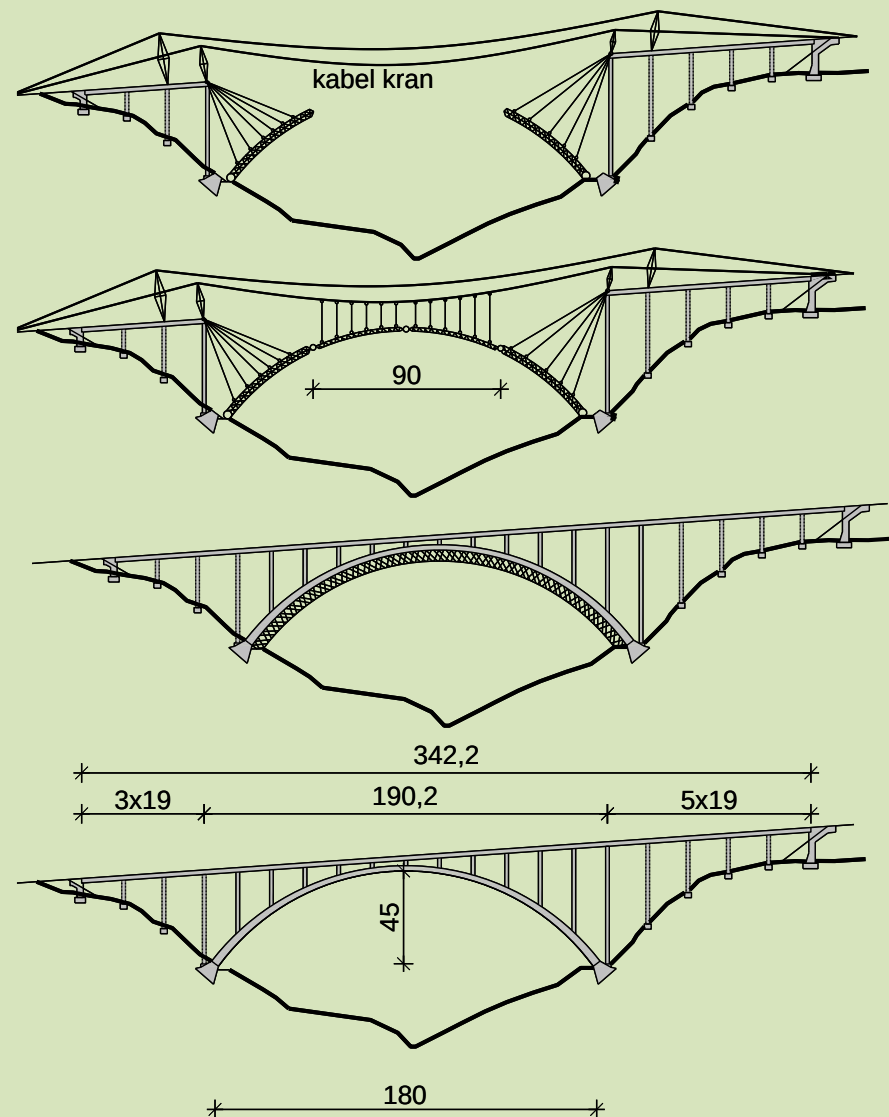
1. dvokatni petni dio skele

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

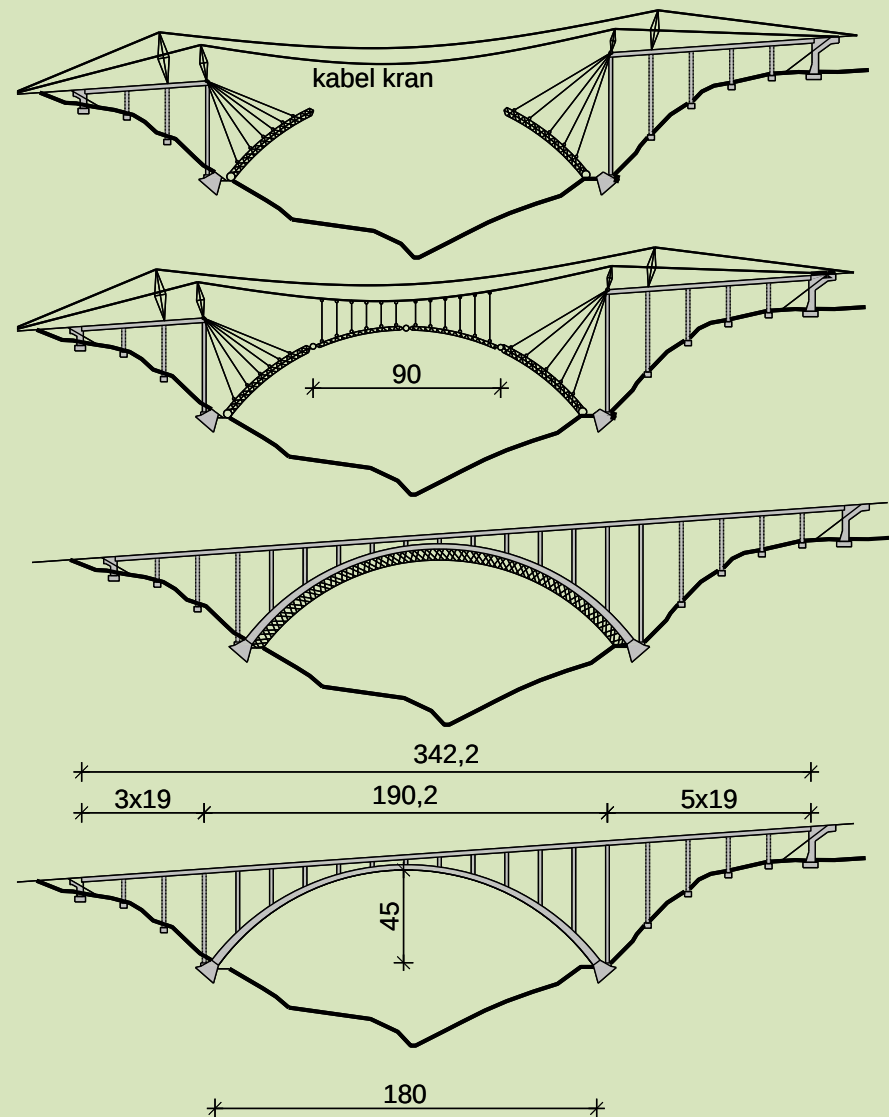
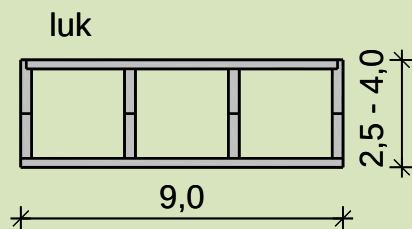
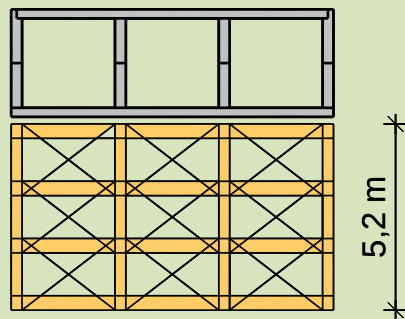
5. po polaganju oplate moglo se pristupiti postupnom simetričnom betoniranju donje ploče luka





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

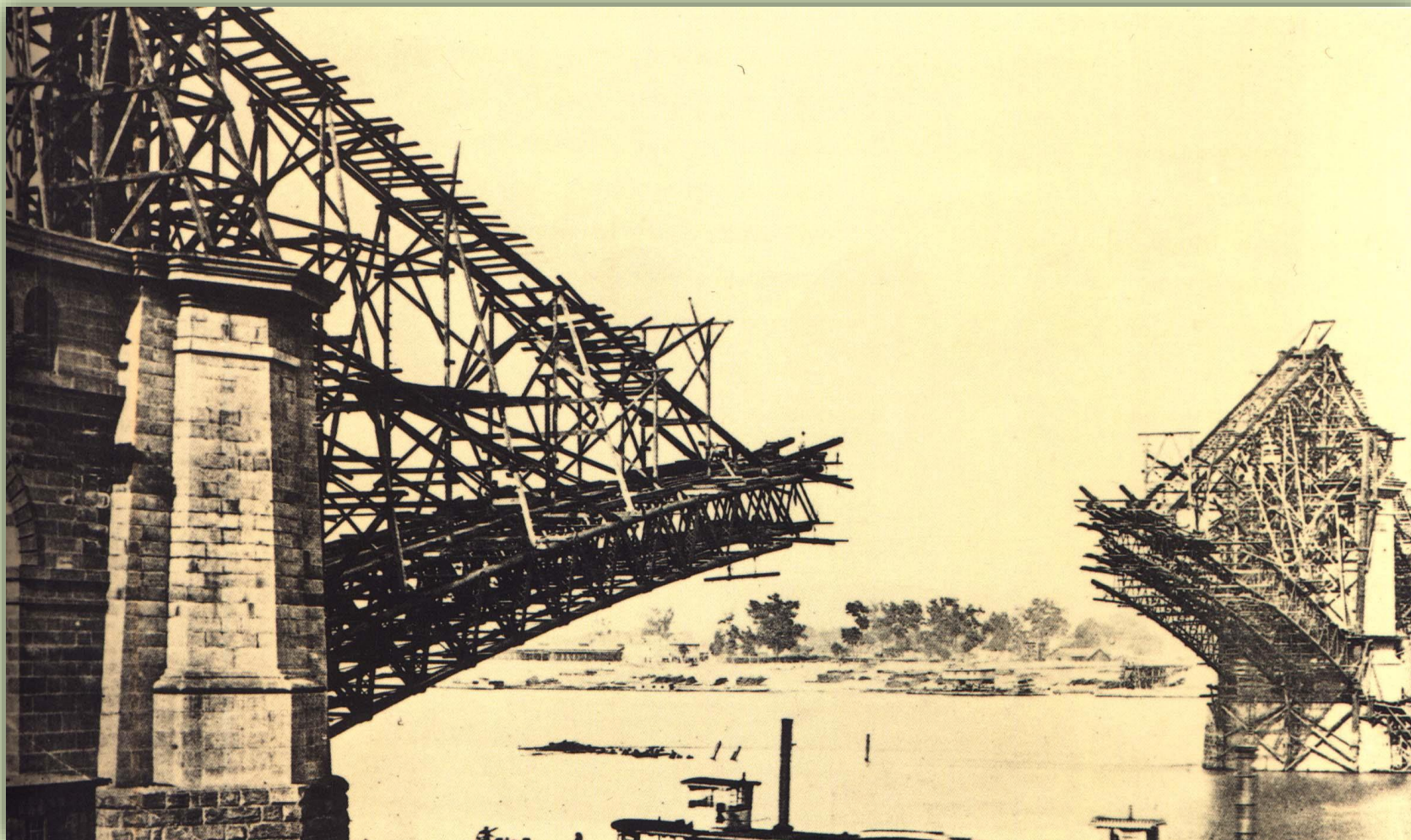
luk sa skelom
(sustav Cruciani)





KONZOLNA IZVEDBA

Prvotno primjenjivana kod čeličnih lukova





KONZOLNA IZVEDBA

Prvotno primjenjivana kod čeličnih lukova



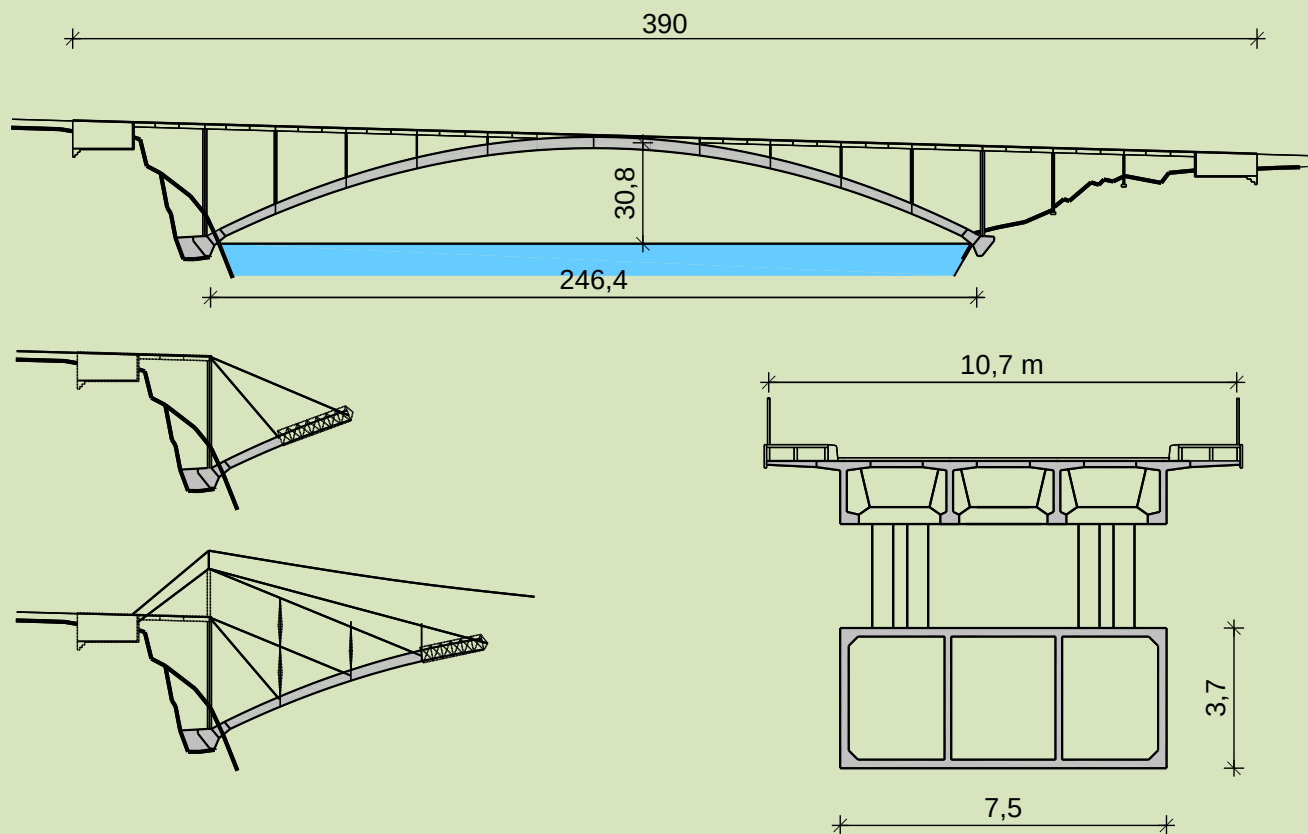


KONZOLNA IZVEDBA

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



PRVE KONZOLNE IZVEDBE BETONSKIH LUKOVA



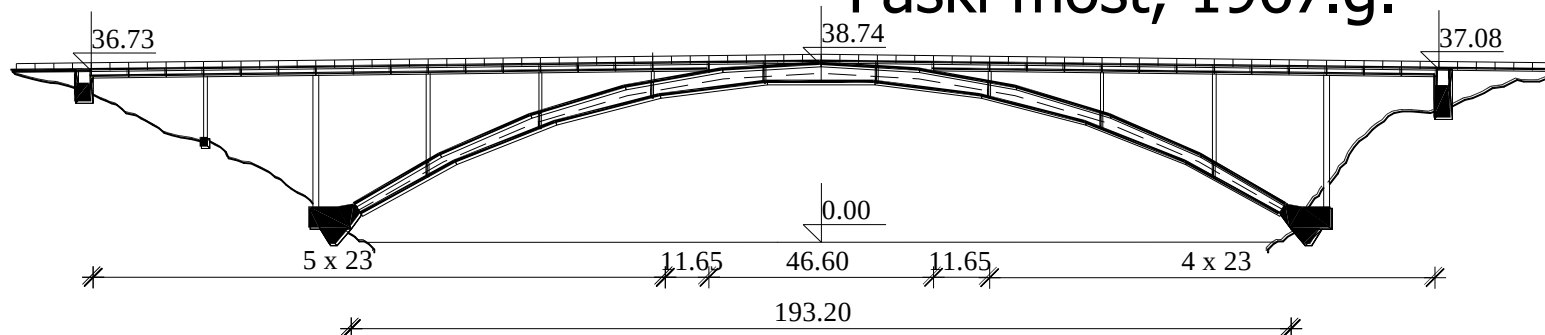
- Lukovi betonirani na mjestu,
- odsječci jednake duljine,
- čelična skela premješšana plovnim dizalicama,
- zatege od krutih čeličnih profila

Šibenski most,
1964.g.

PRVE KONZOLNE IZVEDBE BETONSKIH LUKOVA



Paški most, 1967.g.



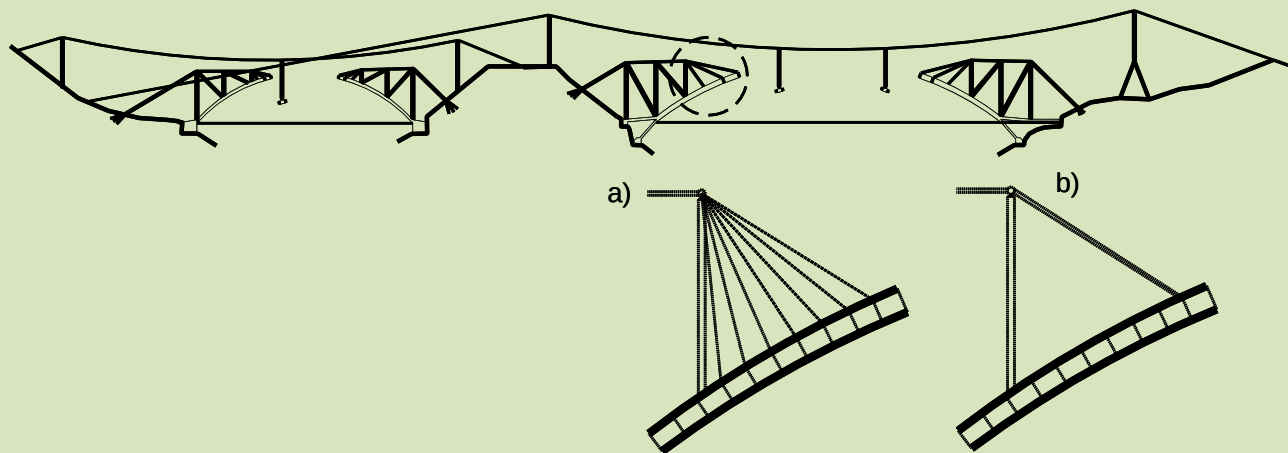
KONZOLNA IZVEDBA FORMIRANJEM REŠETKE

Istodobno građenje luka i nadlučnog sklopa

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

Postupna izvedba rešetkaste konzole:

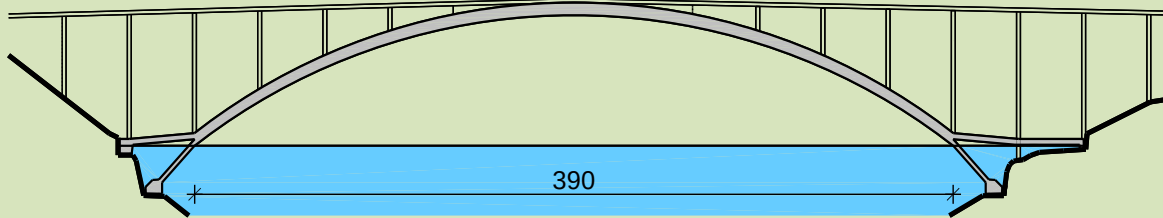
- vlačni pojas – nadlučni sklop
- tlačni pojas – luk
- privremene vlačne dijagonale između stupova



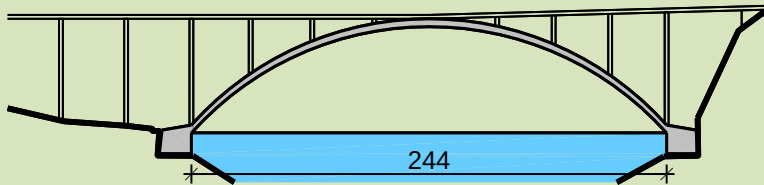
Krčki most, 1981.g.

KONZOLNA IZVEDBA FORMIRANJEM REŠETKE

KRK I (390 m)

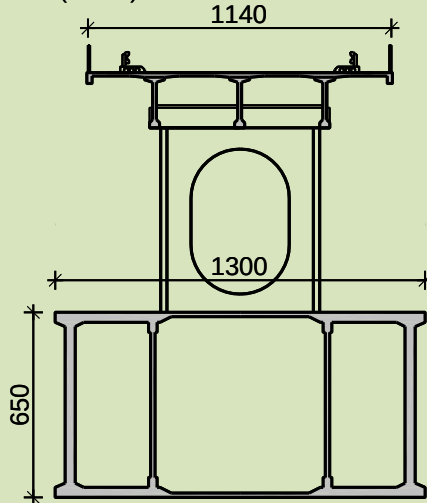


KRK II (244 m)

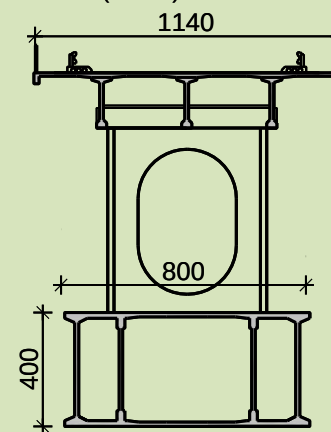


Luk se gradio postupnim formiranjem poprečnog presjeka

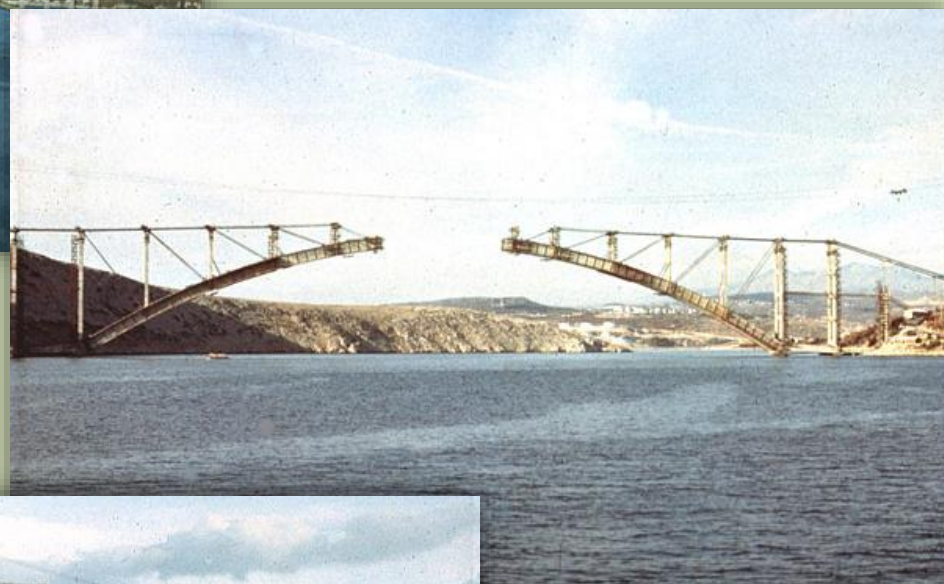
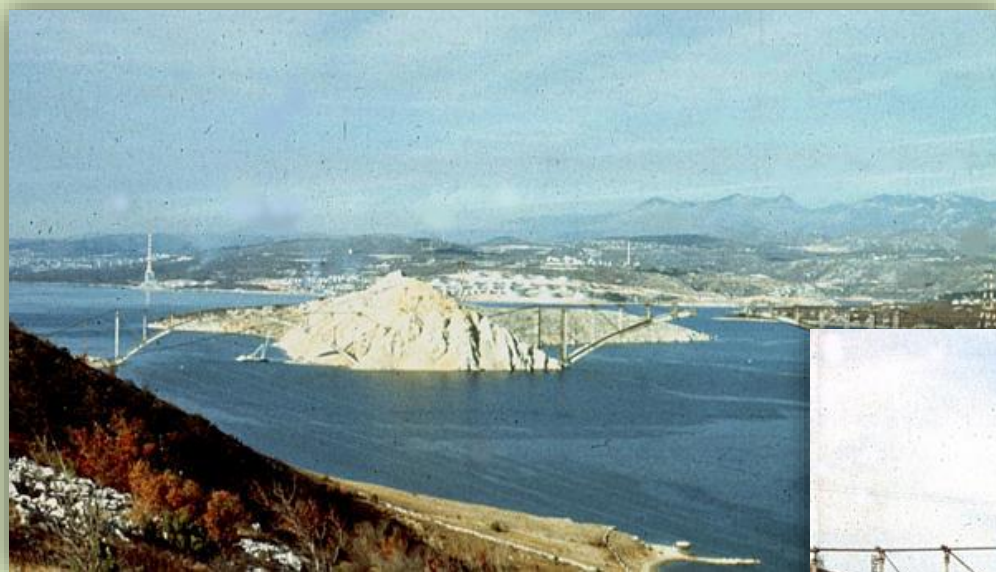
KRK I (390 m)



KRK II (244 m)

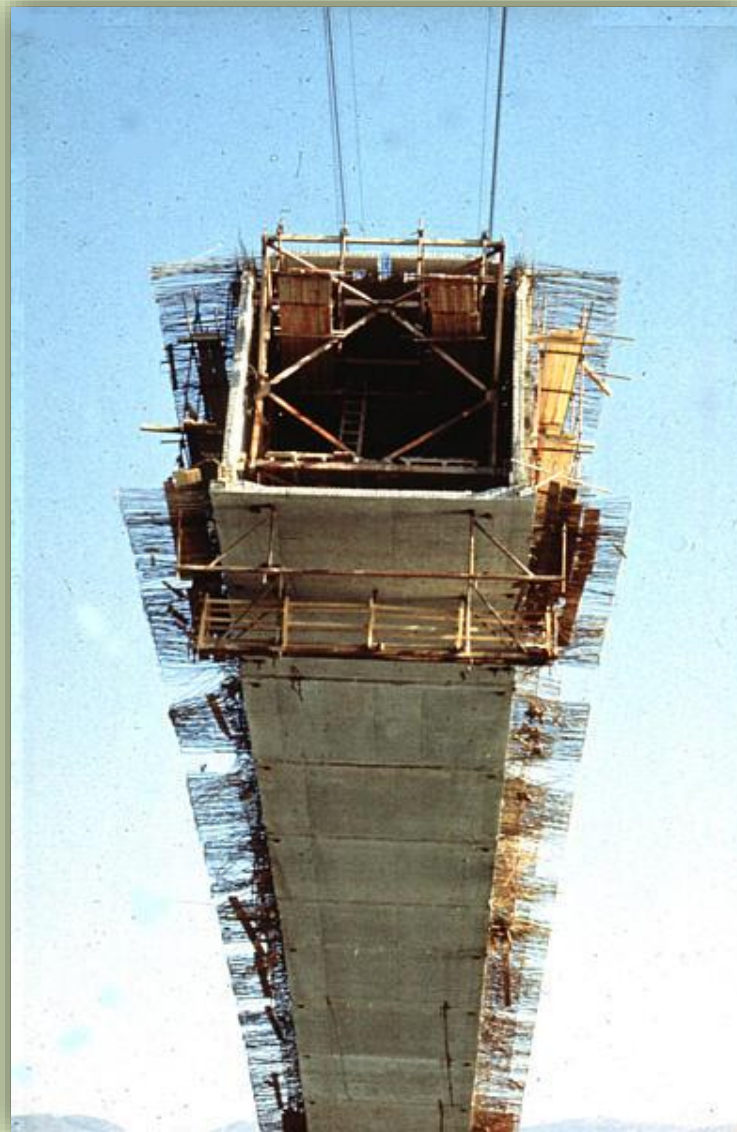
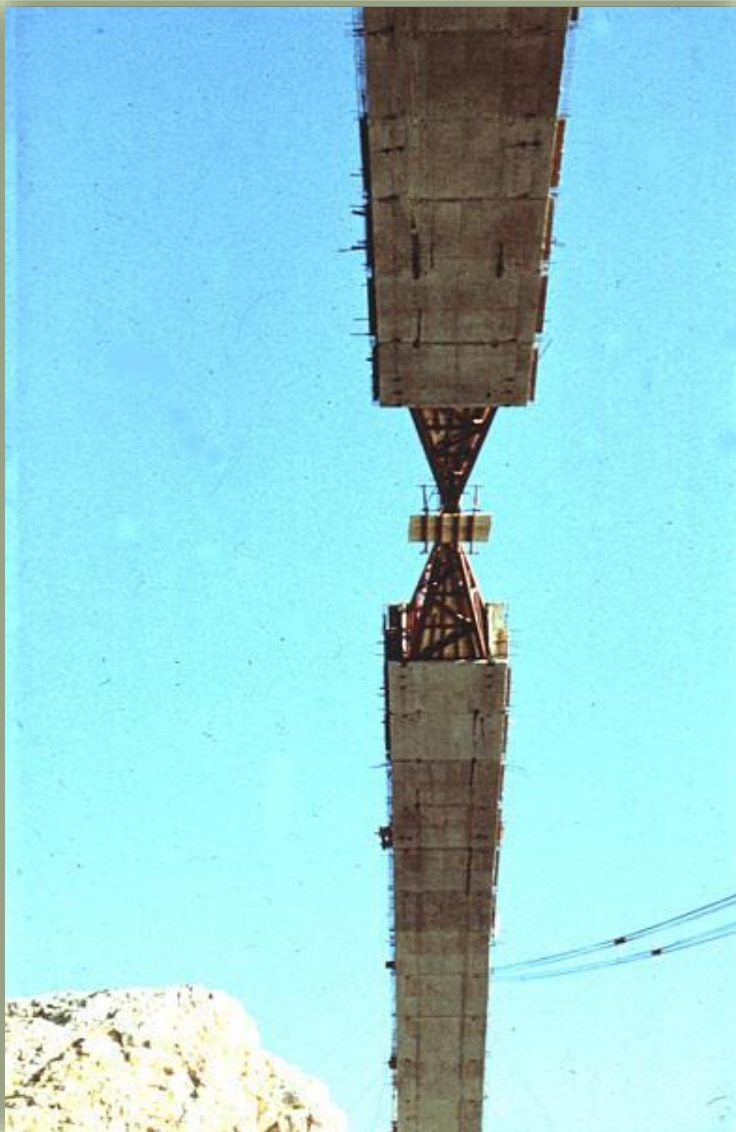


KONZOLNA IZVEDBA FORMIRANJEM REŠETKE

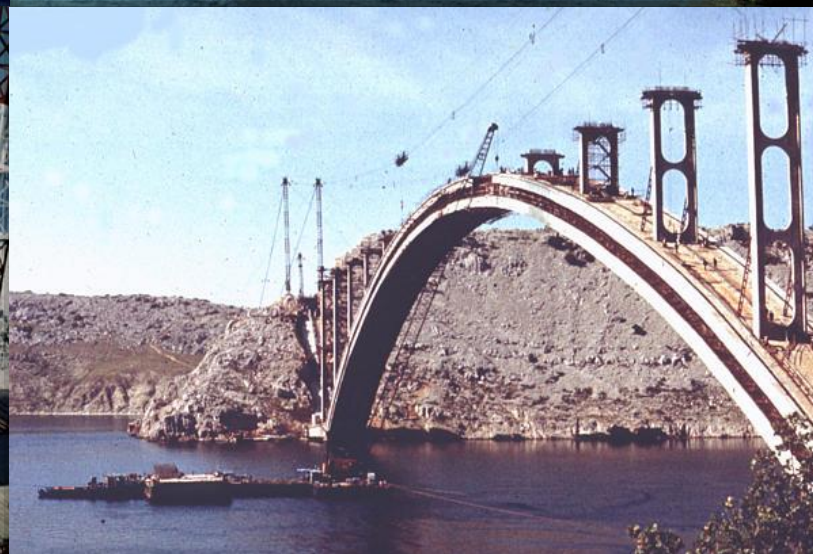




KONZOLNA IZVEDBA FORMIRANJEM REŠETKE

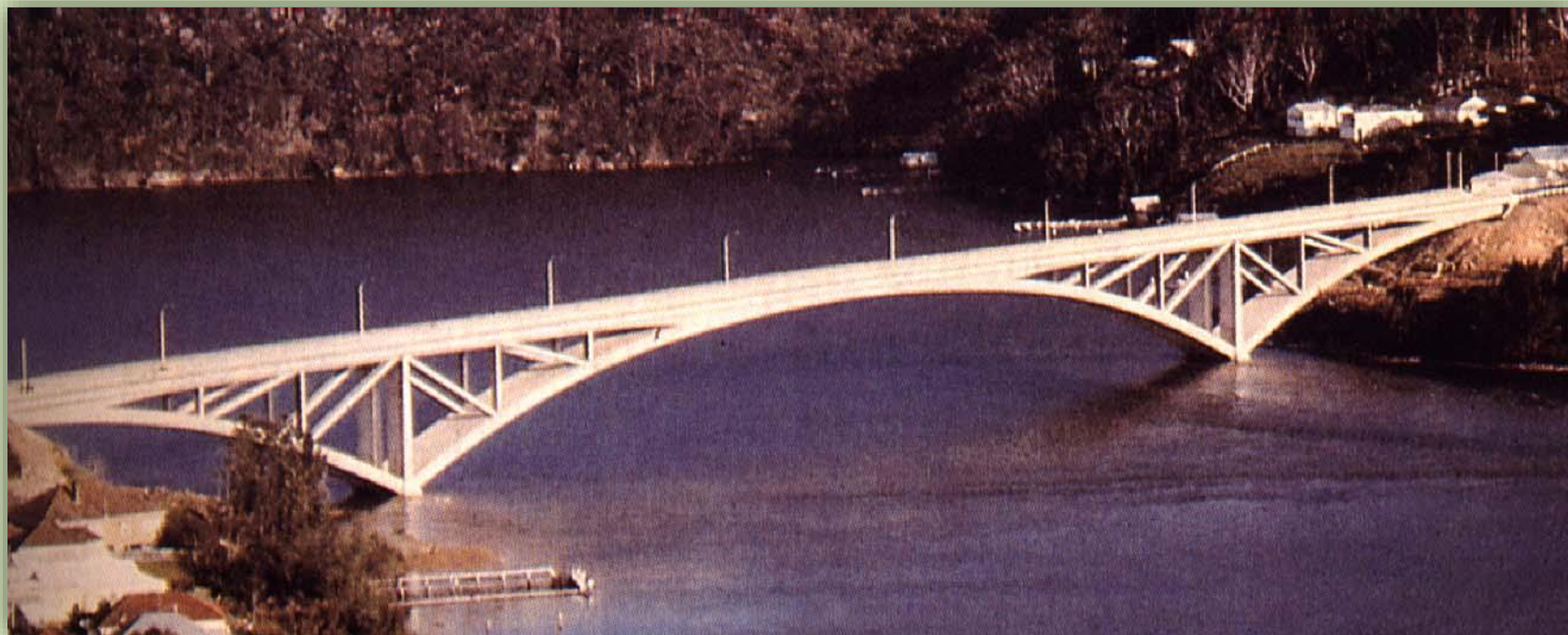


KONZOLNA IZVEDBA FORMIRANJEM REŠETKE



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 cijevi.

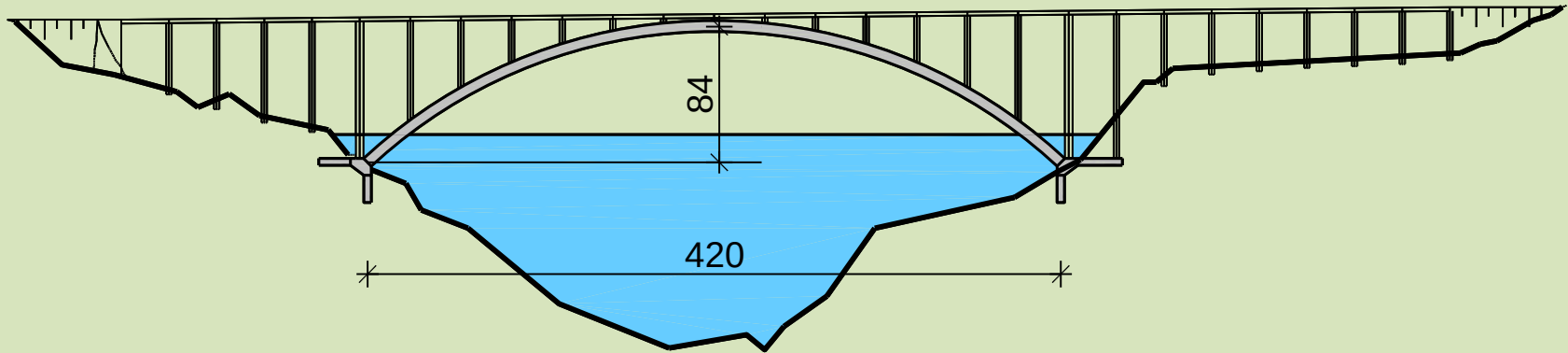
2. Cijevi samonosivog luka ispunjavaju se betonom, na takav način da se postigne dobra prionjivost između betona i stjenke cijevi. Koristi se beton s minimalnim skupljanjem.

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

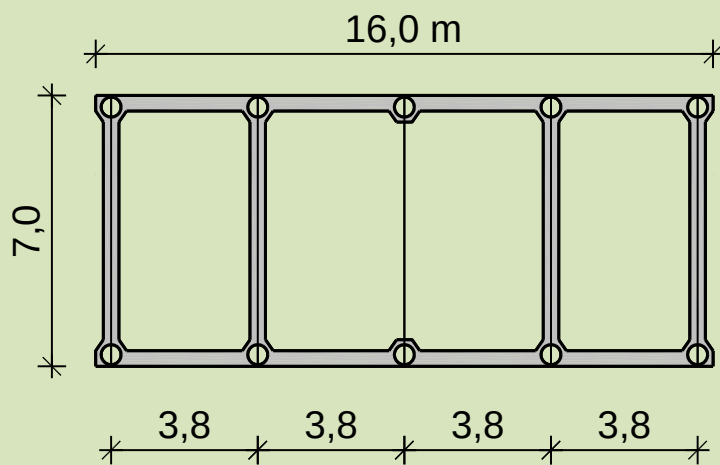
4. Po dovršenju luka nad njim se izvodi rasponski sklop.



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

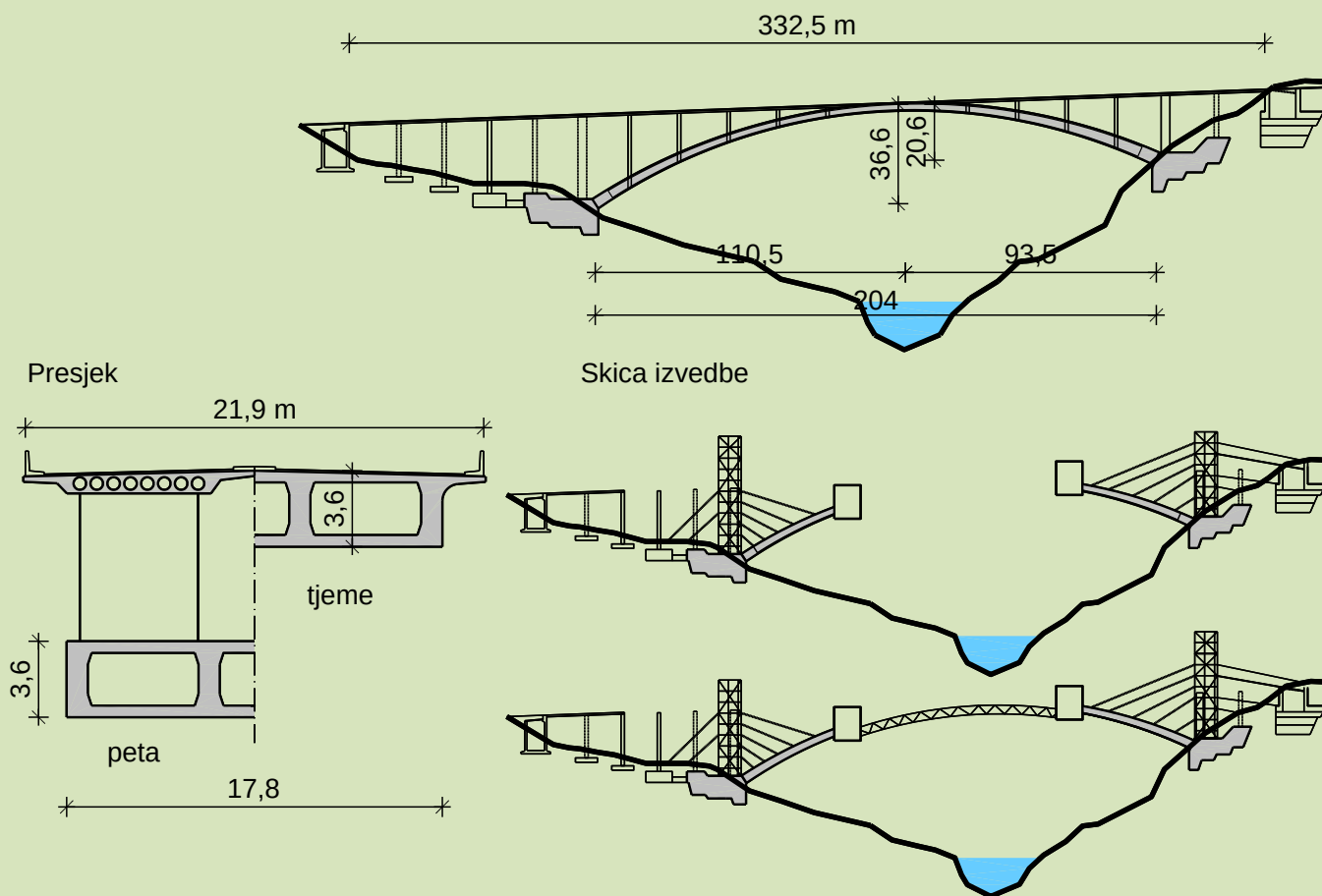


Most Wanxian, 1998. g., $L = 420$ m, betoniran luk

JAPANSKI POSTUPCI IZVEDBE

Konzolna izvedba s privremenim zavješanjem luka o pomoćni pilon

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

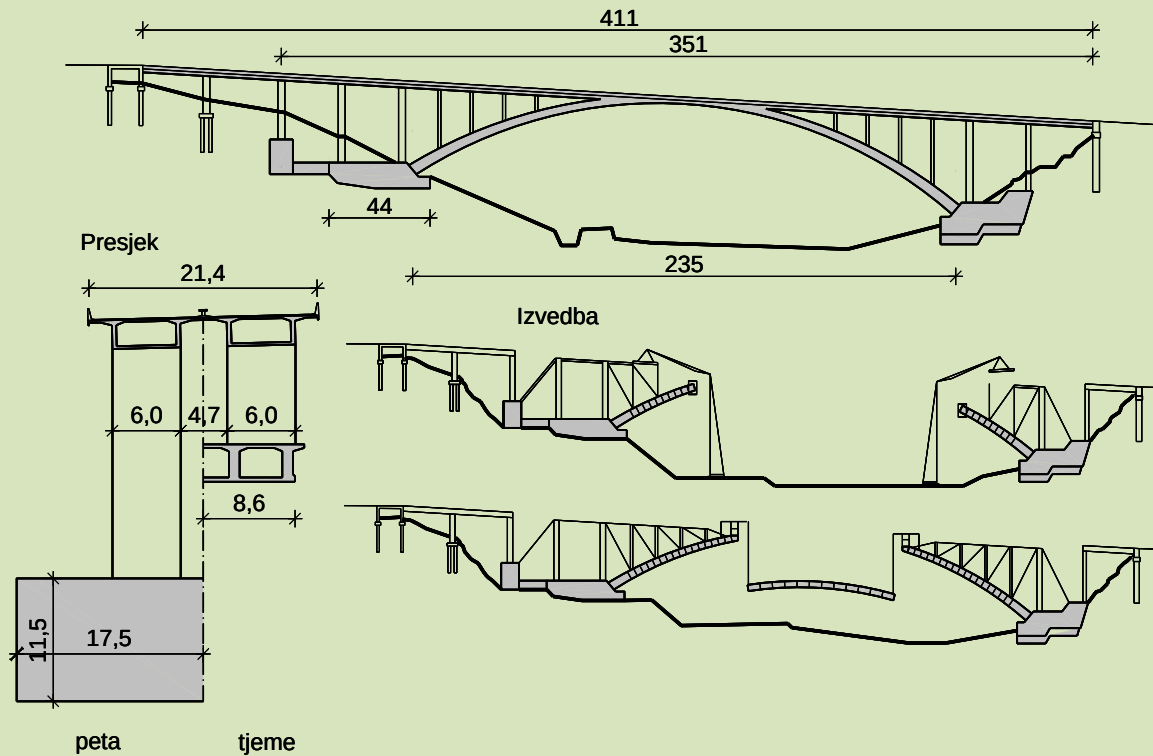


Most
Usugawa,
1982. g.,
L= 204 m



JAPANSKI POSTUPCI IZVEDBE

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



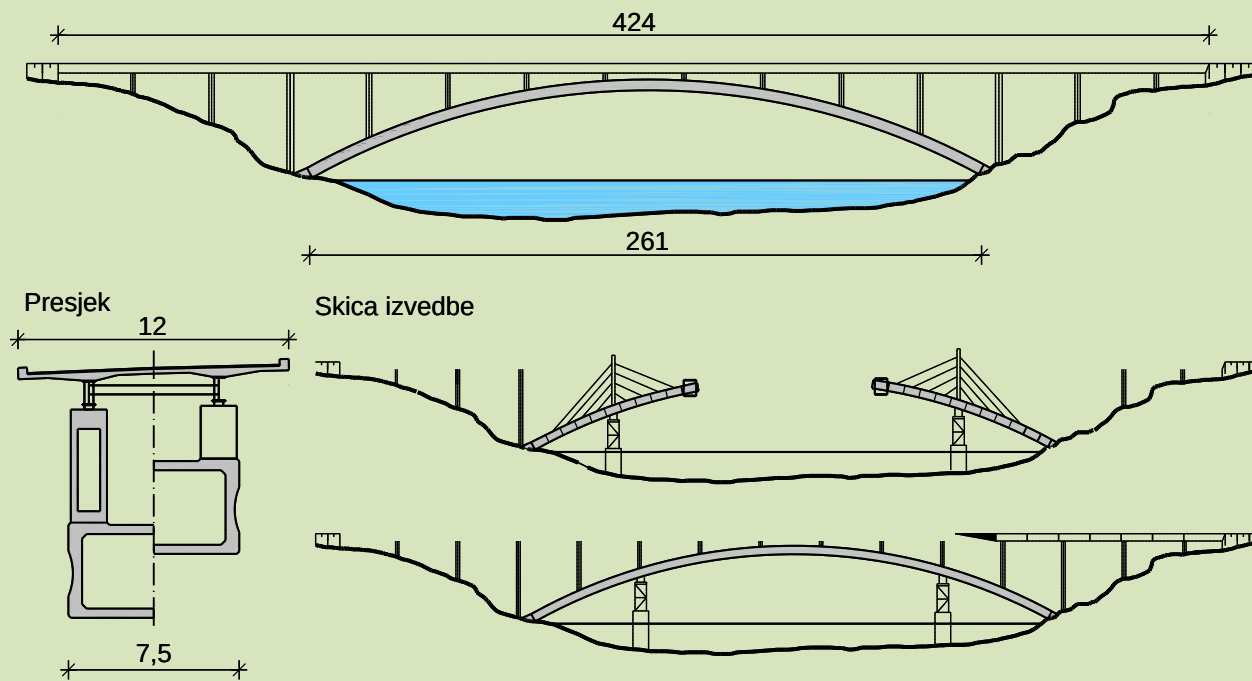
Most Beppu
Myouban,
1989. g.,
L= 235 m

FRANCUSKI MOSTOVI SA SPREGNUTIM NADLUČNIM SKLOPOM

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.



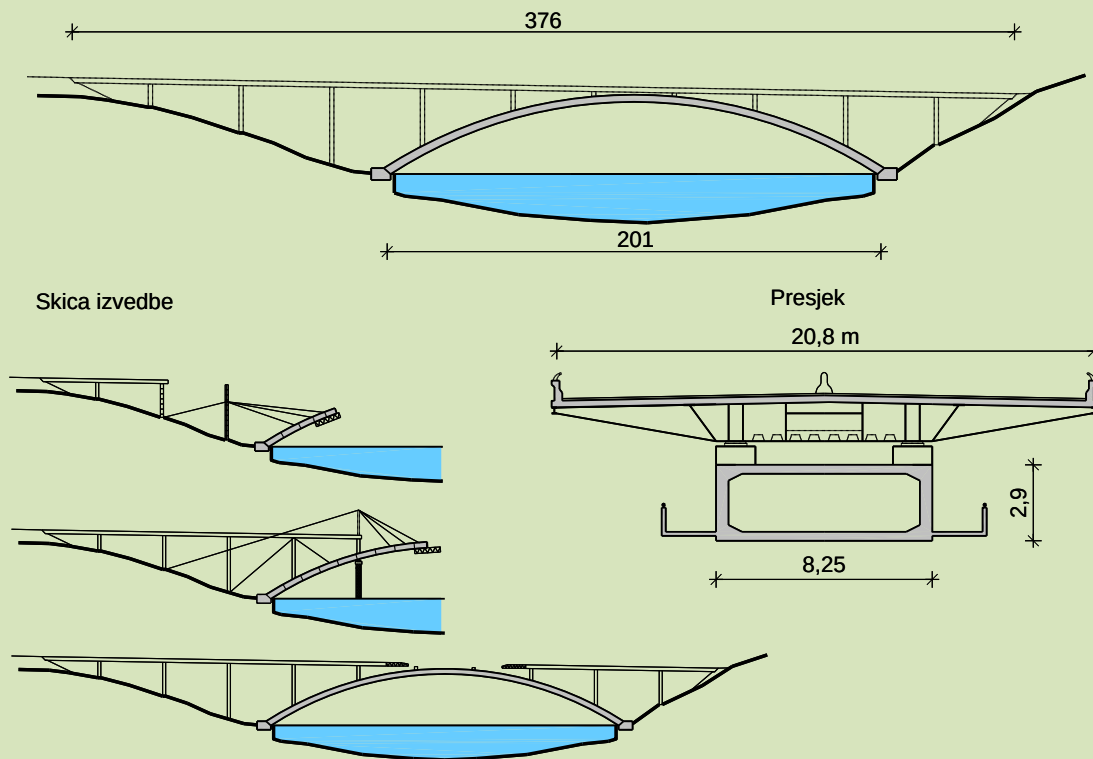
Most
Chateaubrian
d,
1994. g.,
L= 261 m



FRANCUSKI MOSTOVI SA SPREGNUTIM NADLUČNIM SKLOPOM

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.



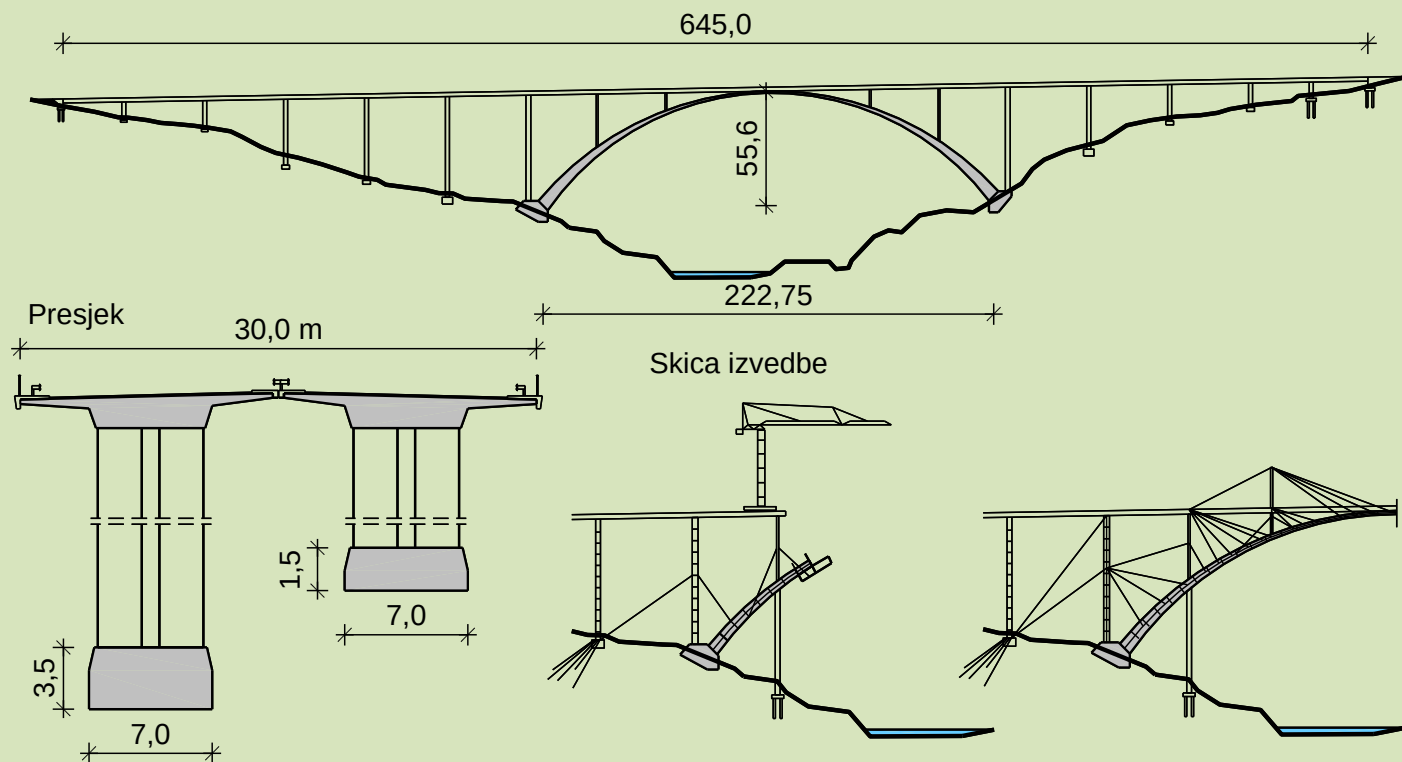
Nadlučni sklop –
potiskivanjem s obje
obale.

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

SUVREMENI LUČNI MOSTOVI IZVEDENI KONZOLNIM POSTUPKOM

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.



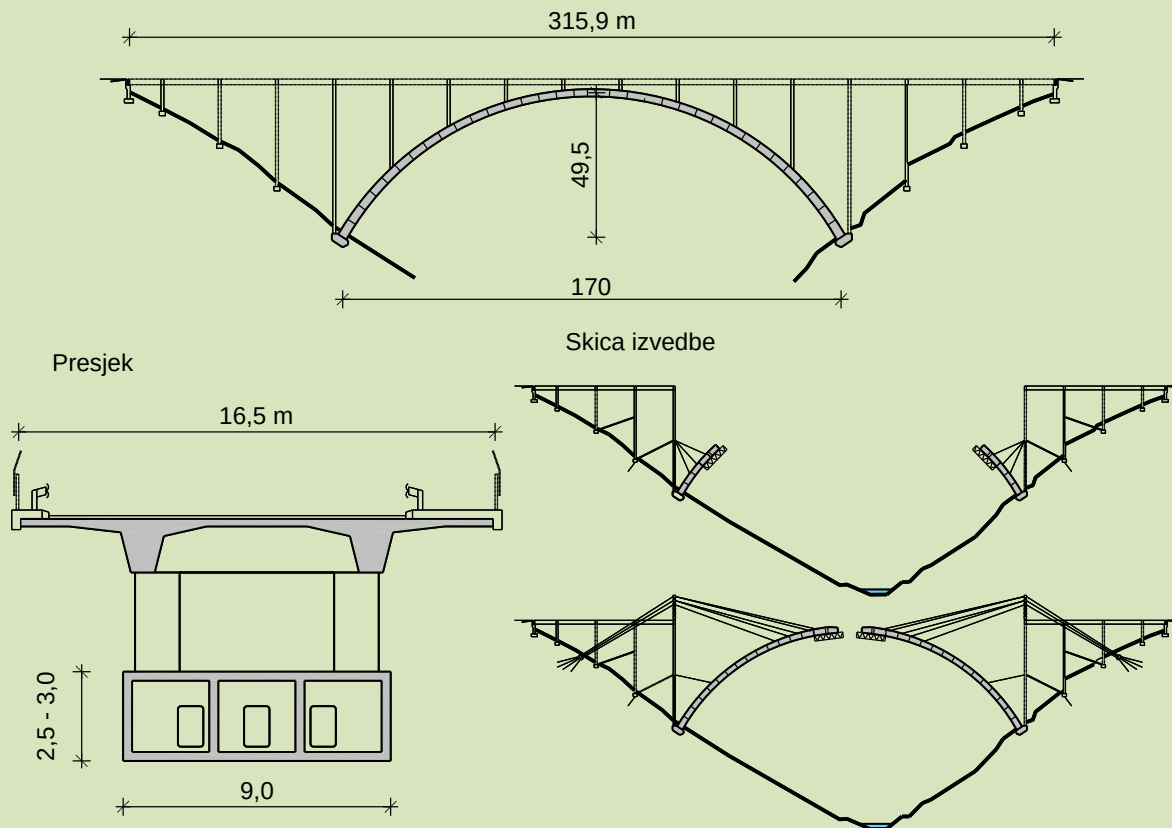
Most Kyll,
1997. g.,
L= 223 m



SUVREMENI LUČNI MOSTOVI IZVEDENI KONZOLNIM POSTUPKOM

LUK - konzolni postupak s pomoćnim pilonima nad petnim stupovima.

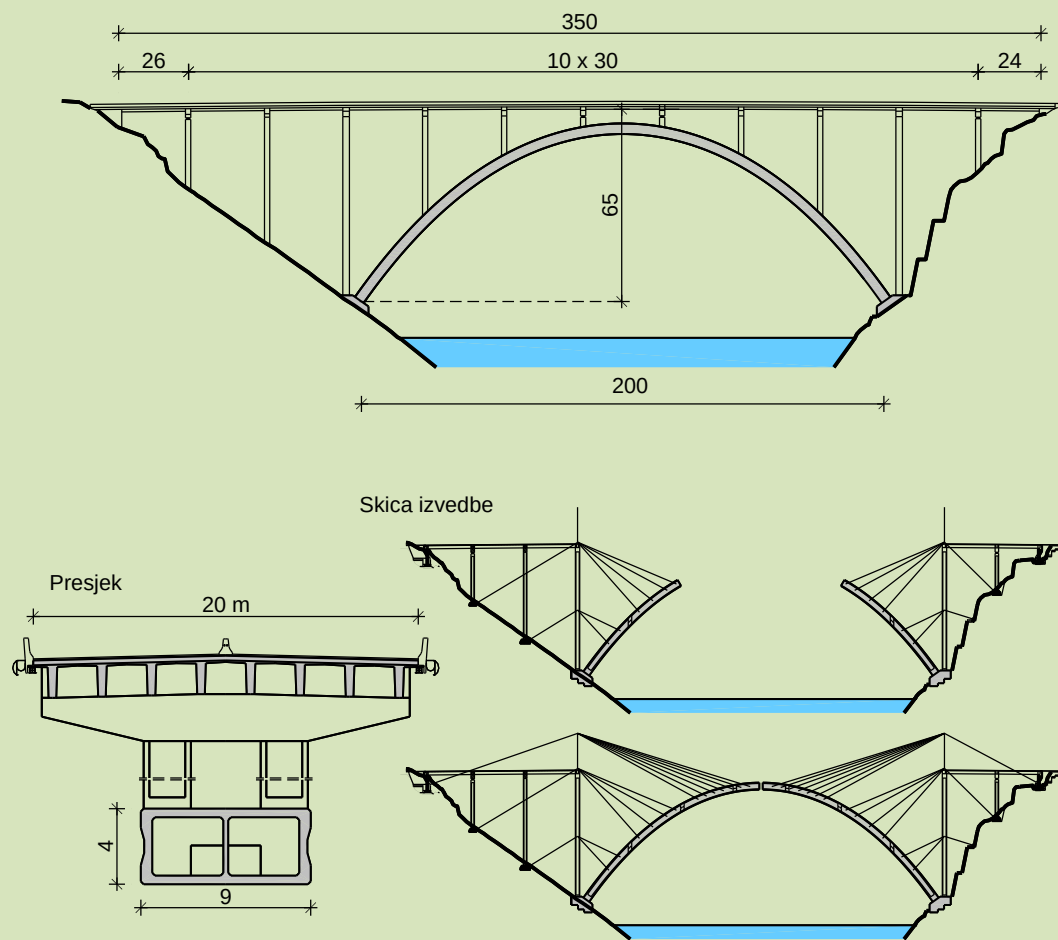
NADLUČNI SKLOP – betoniranjem na mjestu, polje po polje.



Most Grosse
Mühl,
1991. g.,
L= 170 m

SUVREMENI LUČNI MOSTOVI IZVEDENI KONZOLNIM POSTUPKOM

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

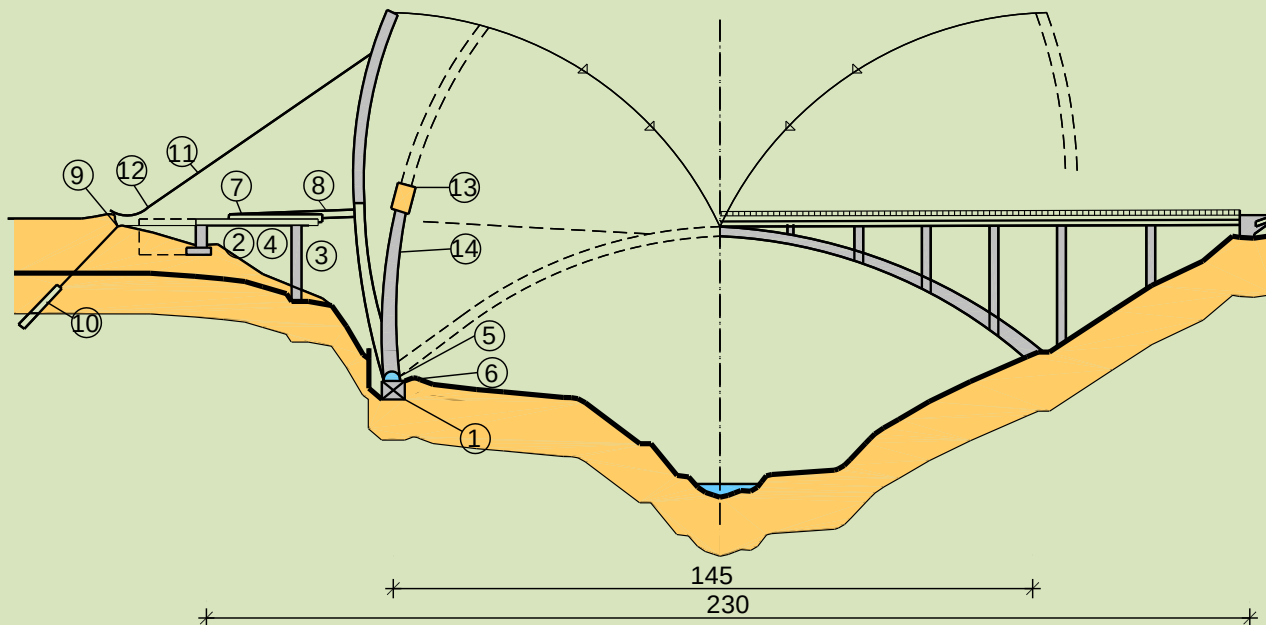


Most Maslenica,
1997. g., $L = 200$ m

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.

Privremeni
zakretni zglob
nakon izvedbe se
može ubetonirati.



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

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

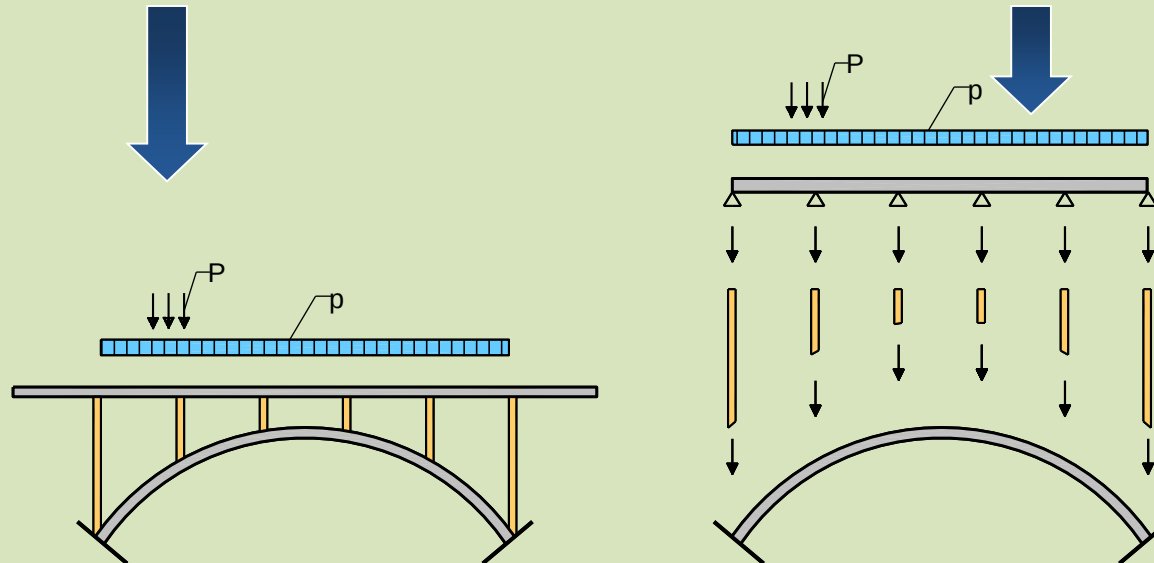
Osnovni lučni ili svođeni nosač

Sekundarni nadlučni sklop (stupovi ili vješaljke+greda)

Osnovna podjela – prema stupnju uključenosti sekundarnog sklopa u nosivi sustav

Uz luk i pomost je uključen u prijenos opterećenja

Čitavo opterećenje prenosi samo luk – krutost pomosta je zanemariva



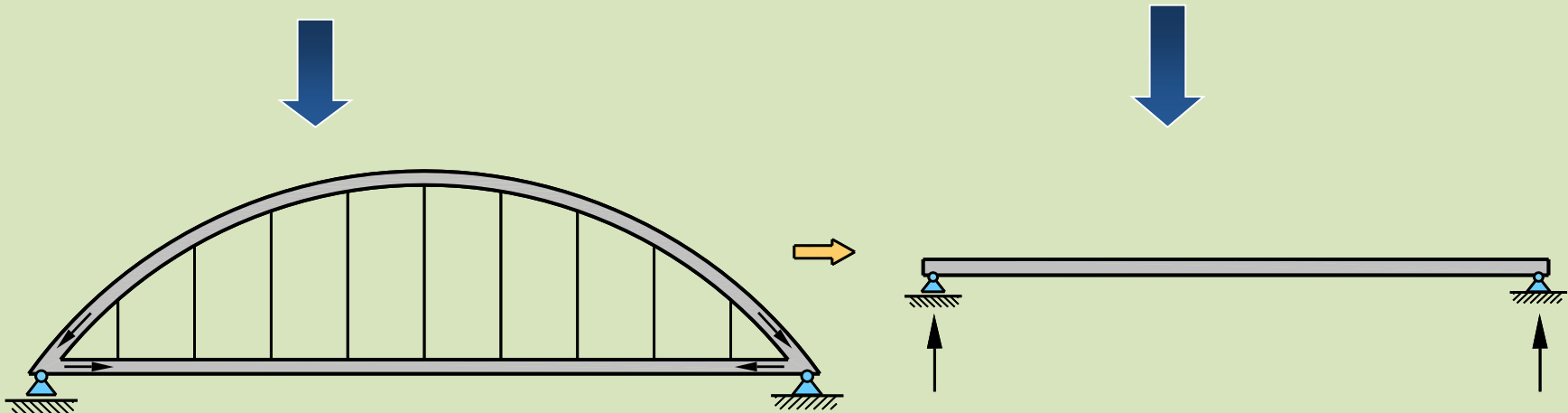


MODELIRANJE ZA PRORAČUN

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



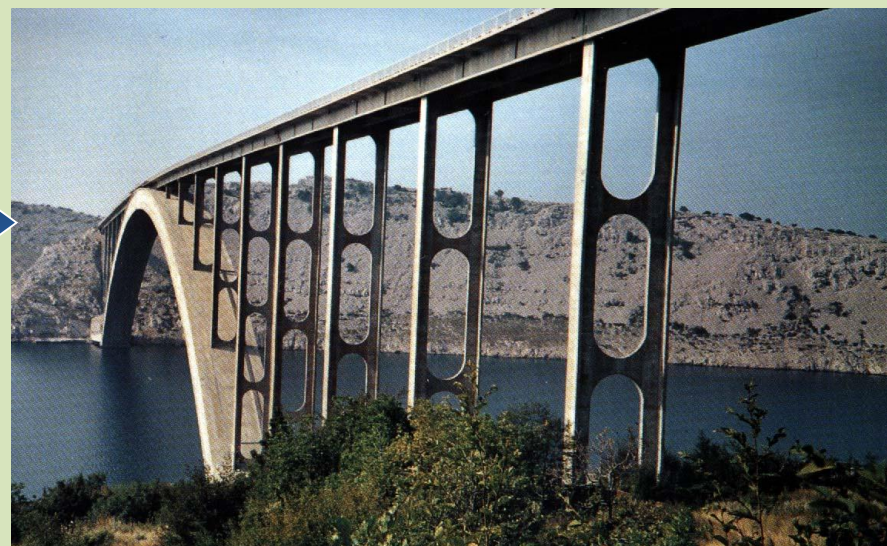
MODELIRANJE ZA PRORAČUN

Tri skupine upetih lukova prema odnosu krutosti luka i krutosti grede

Upeti kruti luk s gipkom konstrukcijom pomosta

$$I_{\text{luka}}/I_{\text{grede}} \geq 20$$

Lukovi velikih raspona



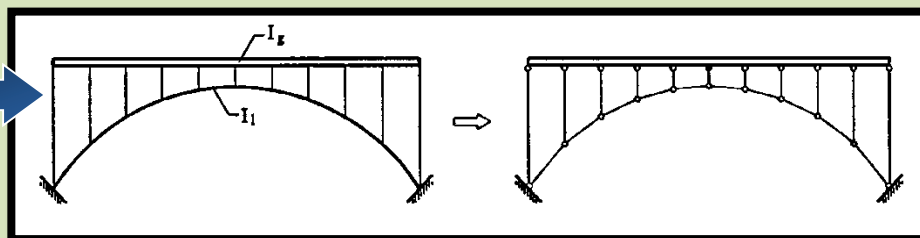
Gipki luk s krutom gredom

$$I_{\text{luka}}/I_{\text{grede}} \leq 1$$

Krutost spojeva takva da ne mogu prenijeti momente

Sustav pogodan za manje lukove

Gipki lukovi podložni izvijanju



Upeti kruti luk s krutom gredom $1 \leq I_{\text{luka}}/I_{\text{grede}} \leq 20$

Kod proračuna modelirati cjeloviti složeni sustav s realnim krutostima



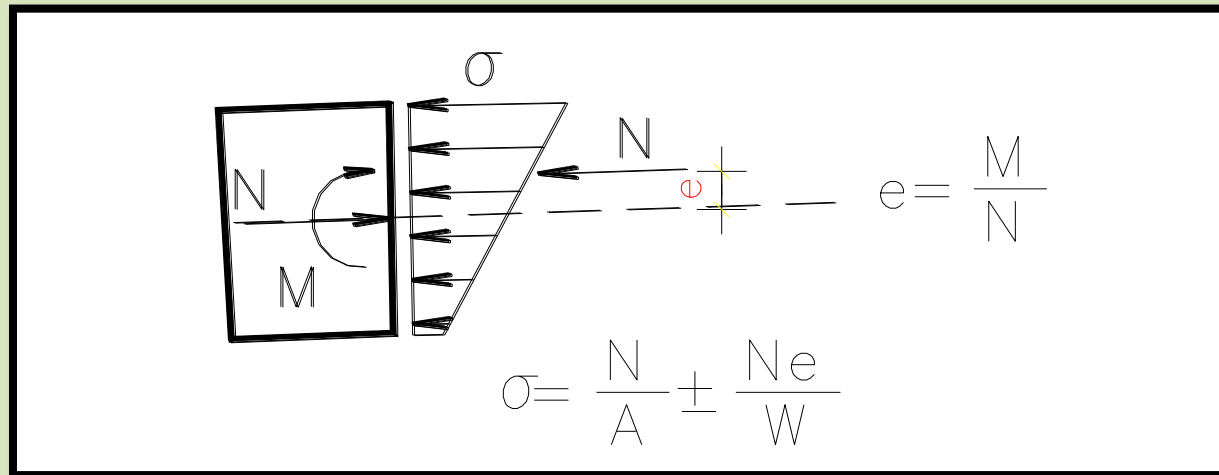
TLAČNA LINIJA

Rezultantna krivulja hvatišta tlačne sile u presjecima luka

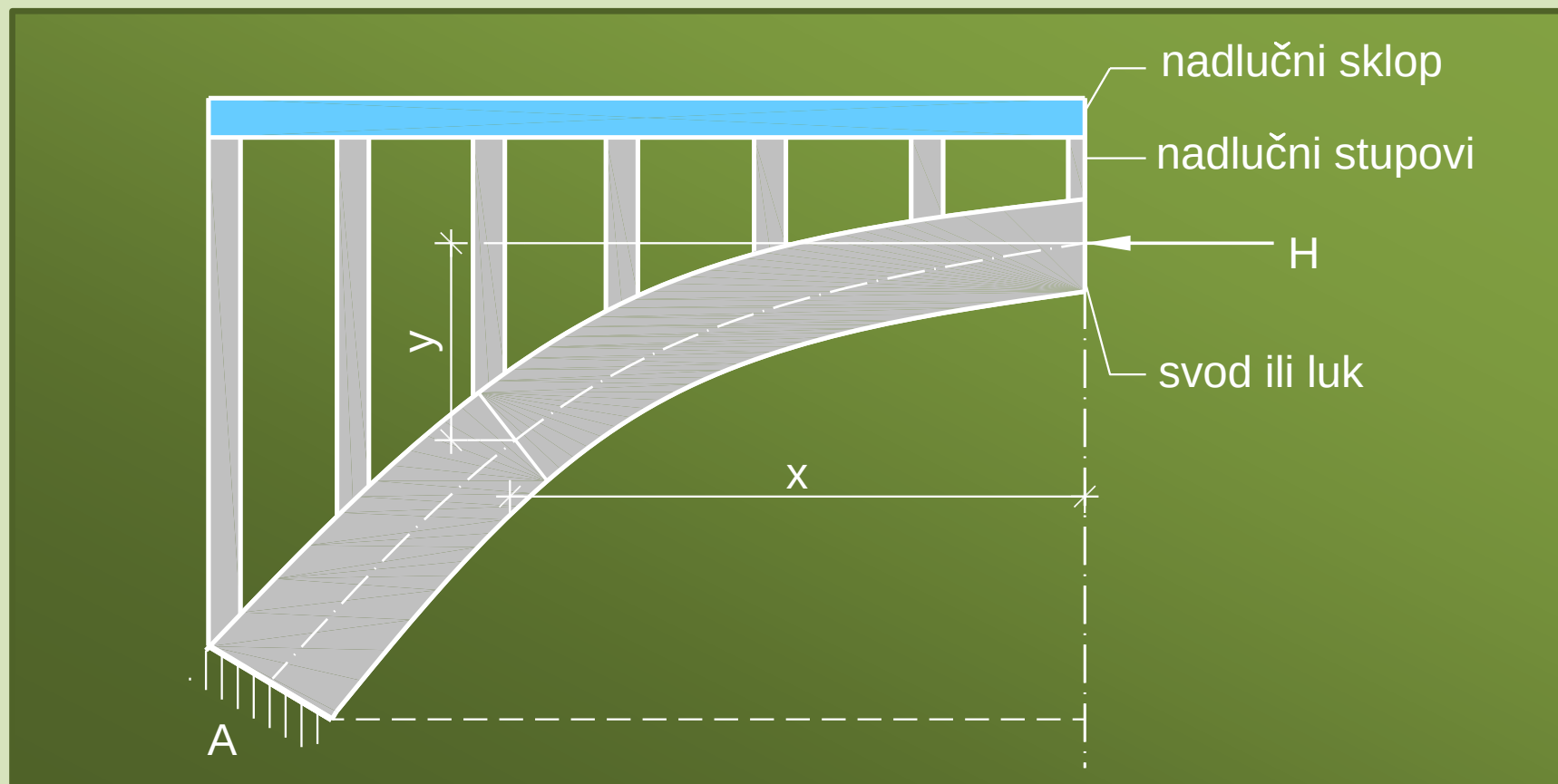
Njome je određen ekscentricitet tlačne sile u svakom presjeku luka

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

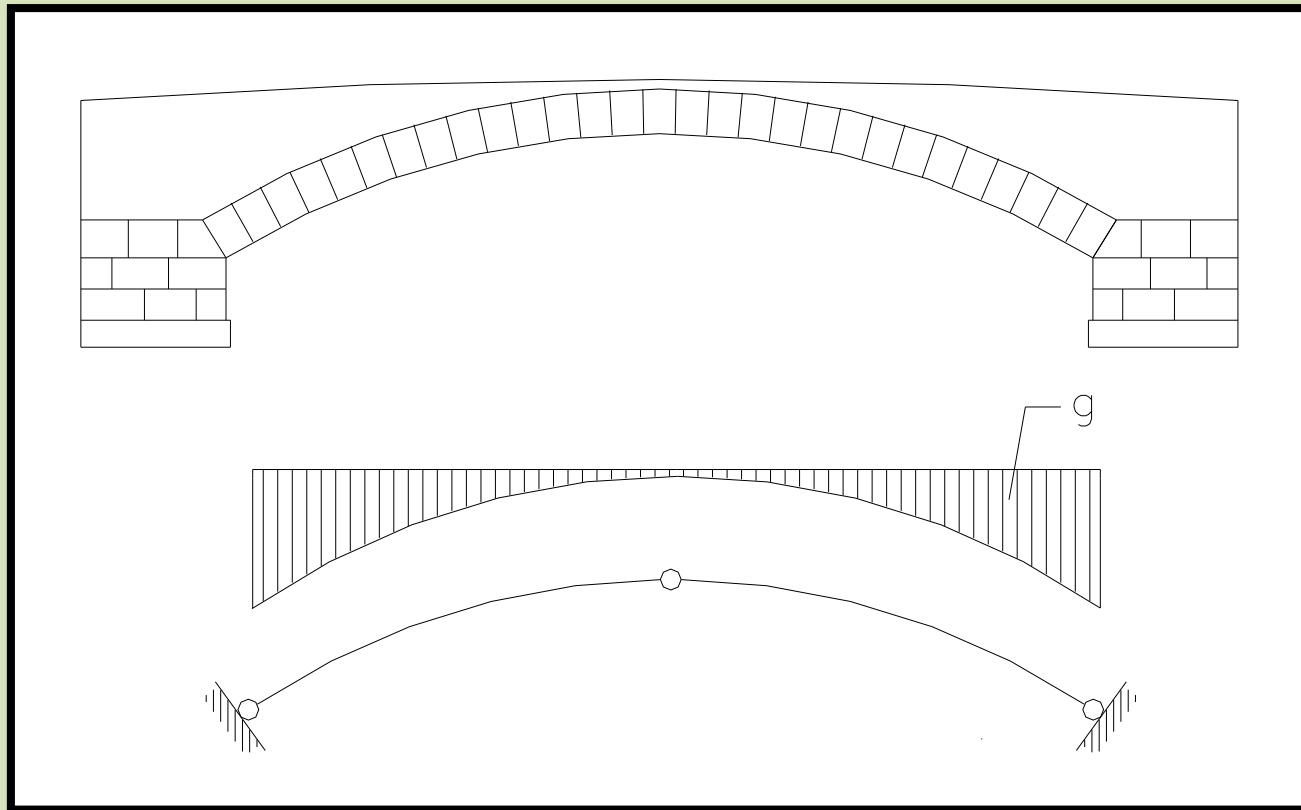
$$Mx - H y = 0$$

Mx - moment sila desno od presjeka x

H - horizontalni potisak



TLAČNA LINIJA - grafički



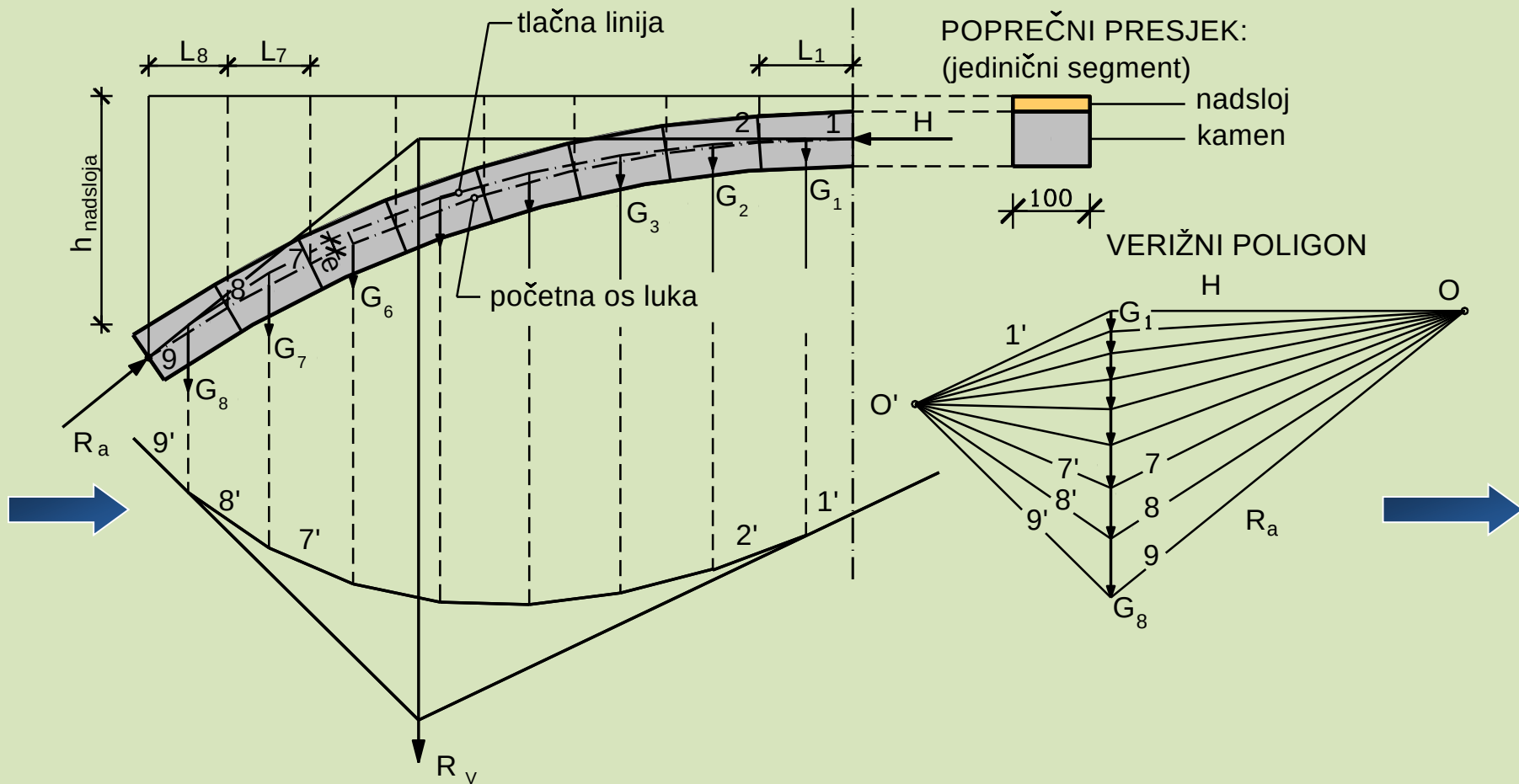
Masivni svod s nadslojem modelira se simetričnim trozglobnim lukom. Zglobovi luka nalaze se u osi svoda (tlačna linija za stalni teret).



- 



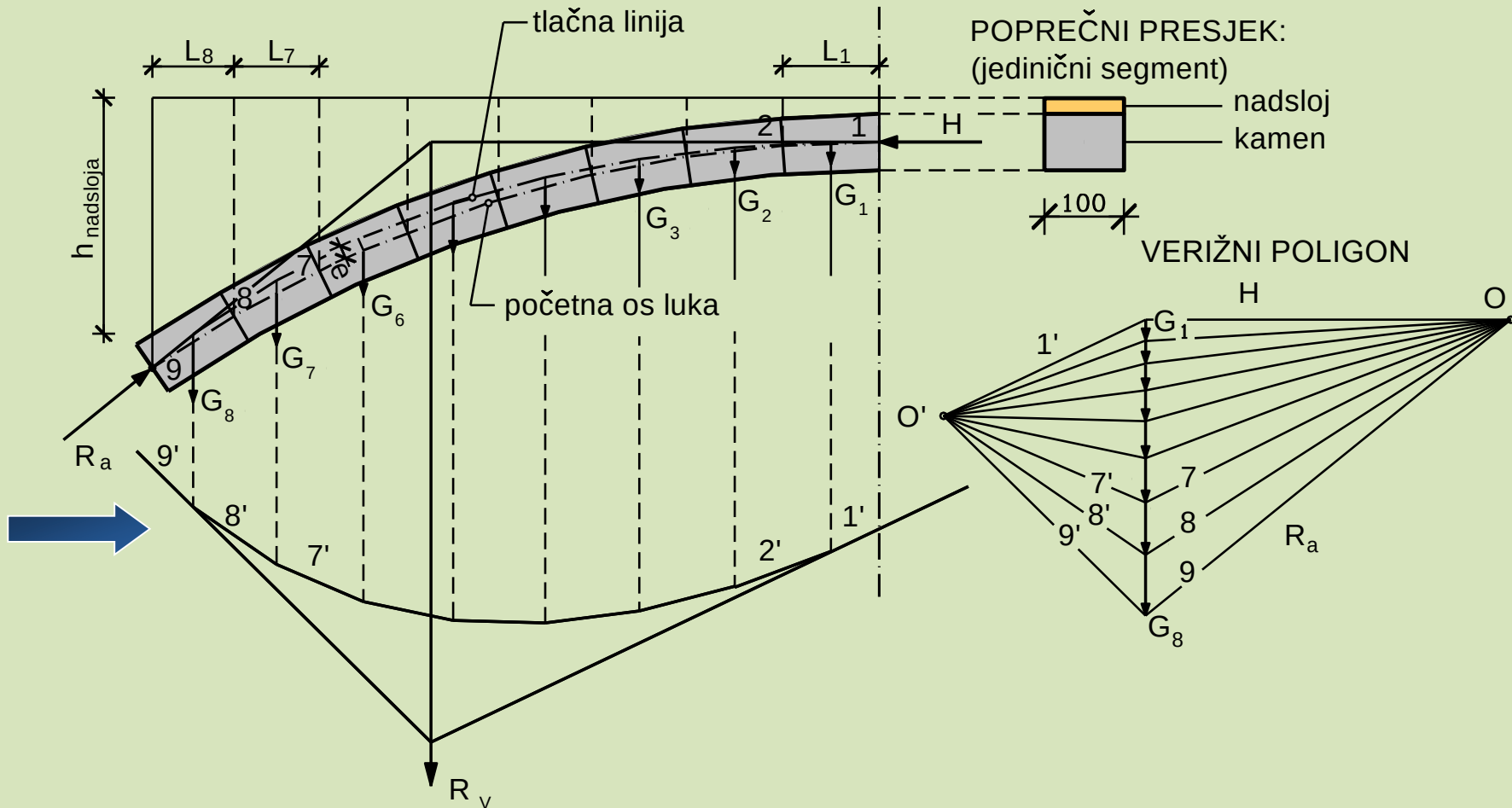
TLAČNA LINIJA - grafički



- Nanošenje zraka poligona u duljinama odsječaka luka – dobiva se pravac rezultante R_v
- H i R_a sjeku se s R_v u istoj točki



TLAČNA LINIJA - grafički



- Poznatim pravcima H i R_a određen je novi pol kao i veličina reakcija H i R_a
- 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 se vrši 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 antisimetrično).

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 NJOJ
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

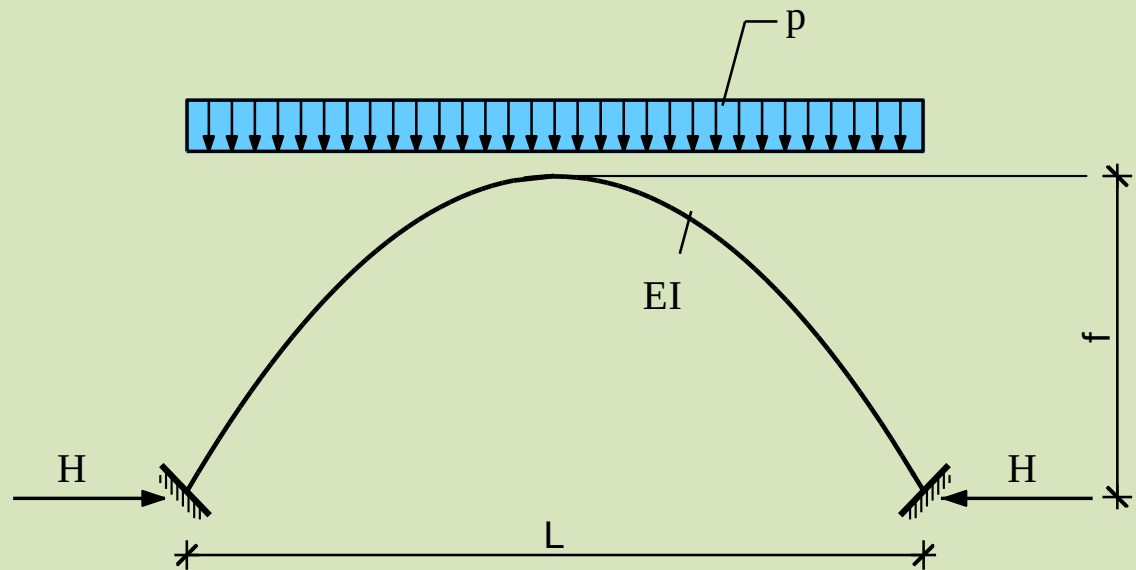
Okomito na os luka:
složen problem, ali nije mjerodavan za pravilno oblikovane lukove



PROVJERE STABILNOSTI LUKA U RAVNINI

kritična veličina potiska od jednolikog opterećenja za parabolični luk

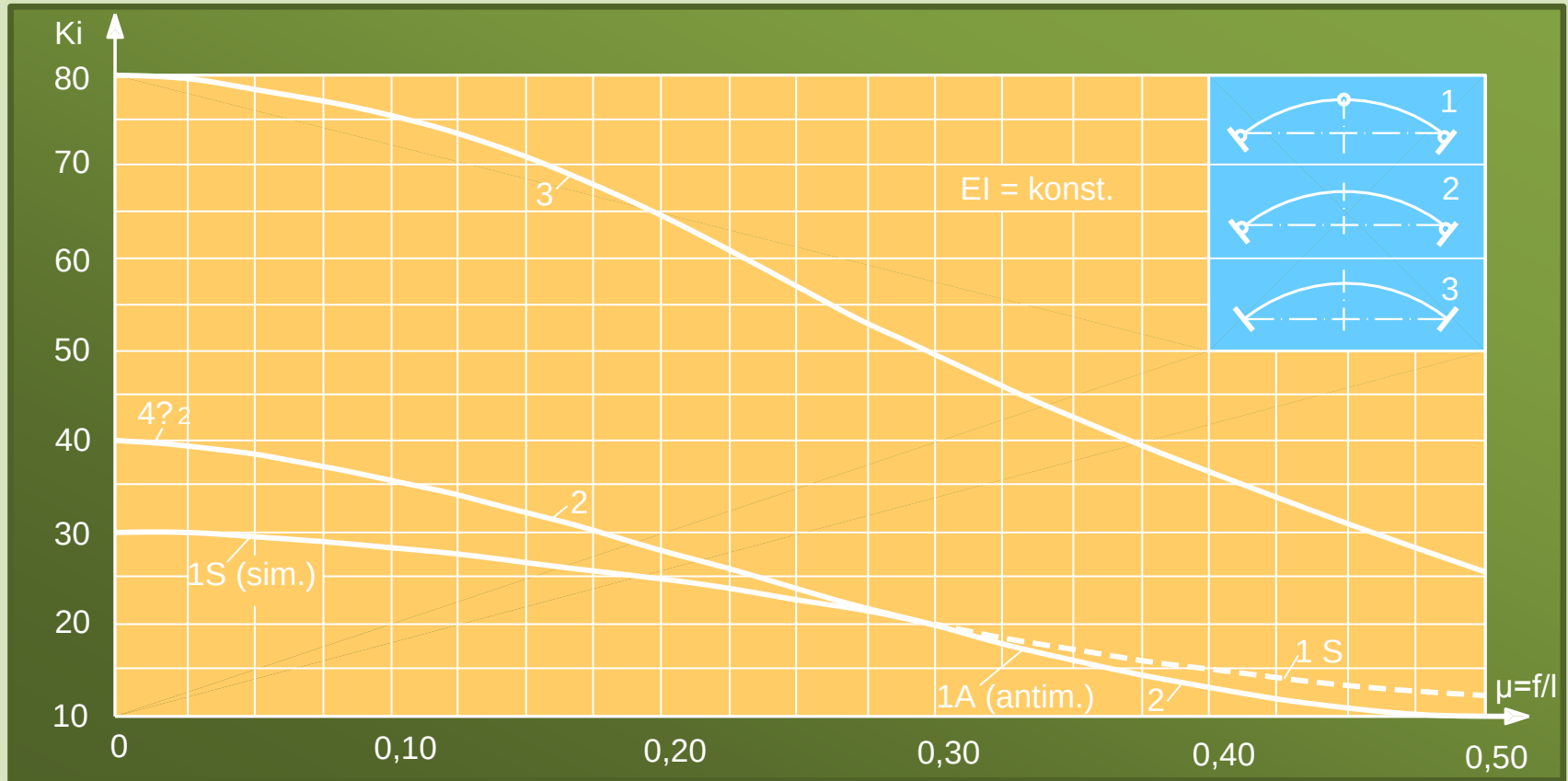
$$H_{kr} = K \frac{E I_s}{L^2}$$



E - modul elastičnosti
 I_s - moment inercije u tjemenu
 L - raspon
 K – koeficijent određen pokusima



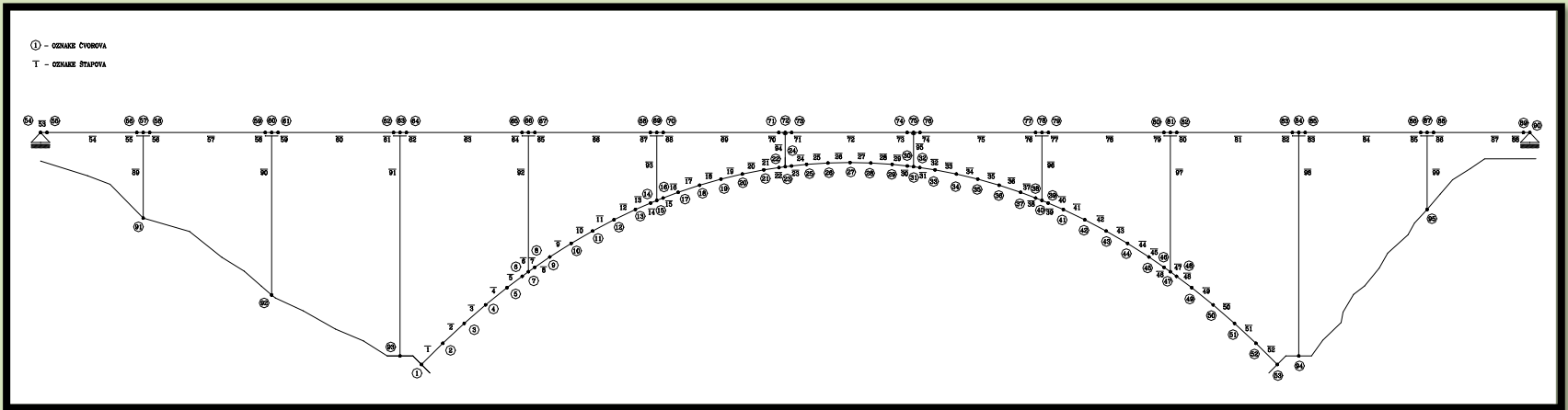
PROVJERE STABILNOSTI LUKA



Koeficijent K ovisan o:

- statičkom sustavu (upeti, dvozglobni ili trozglobni luk),
- odnosu strelice i raspona
- zakonu promjene poprečnog presjeka
- vrsti opterećenja (simetrično, antimetrično)

MODELIRANJE ZA MKE

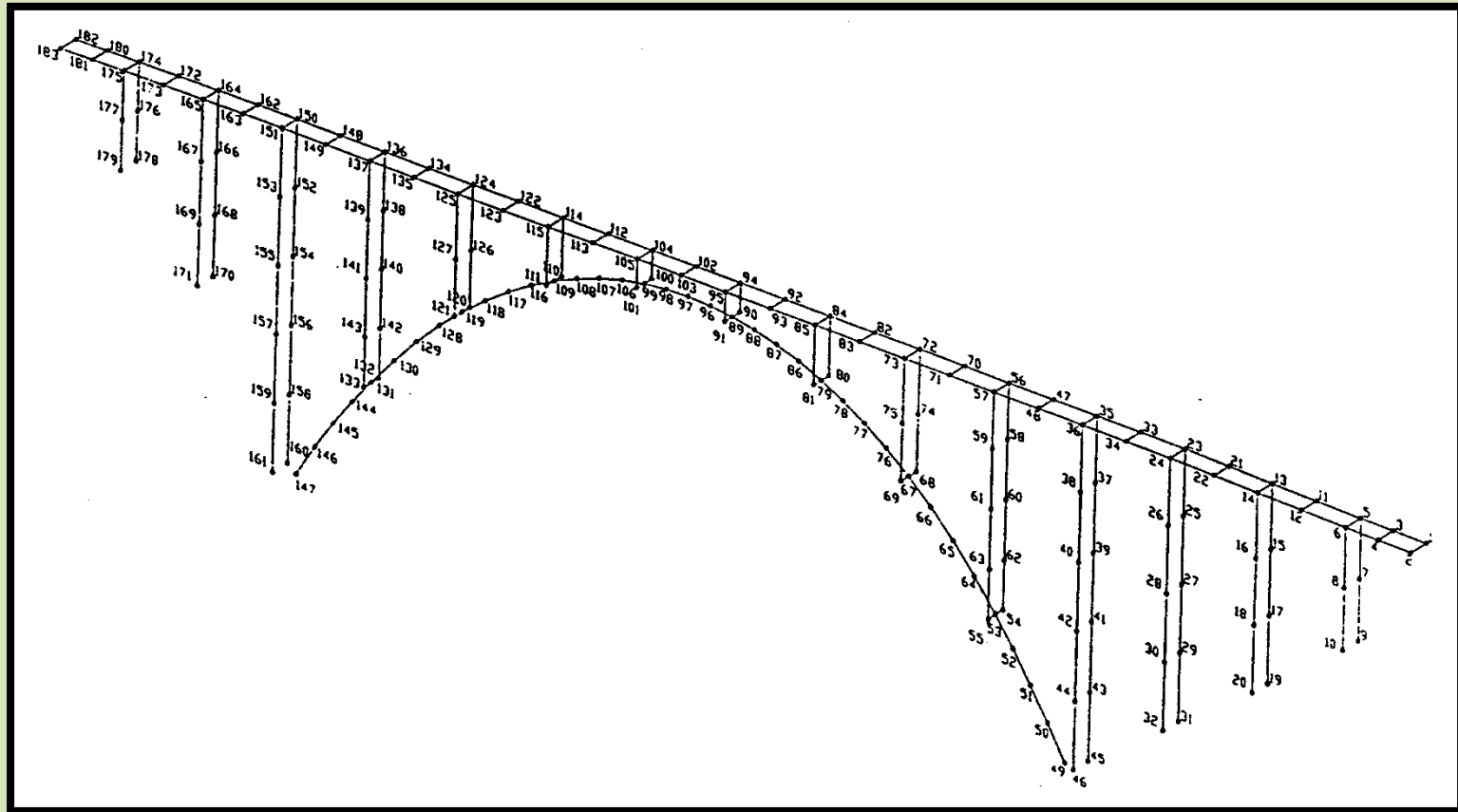


Štapni modeli

- ravninski u fazi idejnog projekta
- prostorni u fazi detaljnije razrade

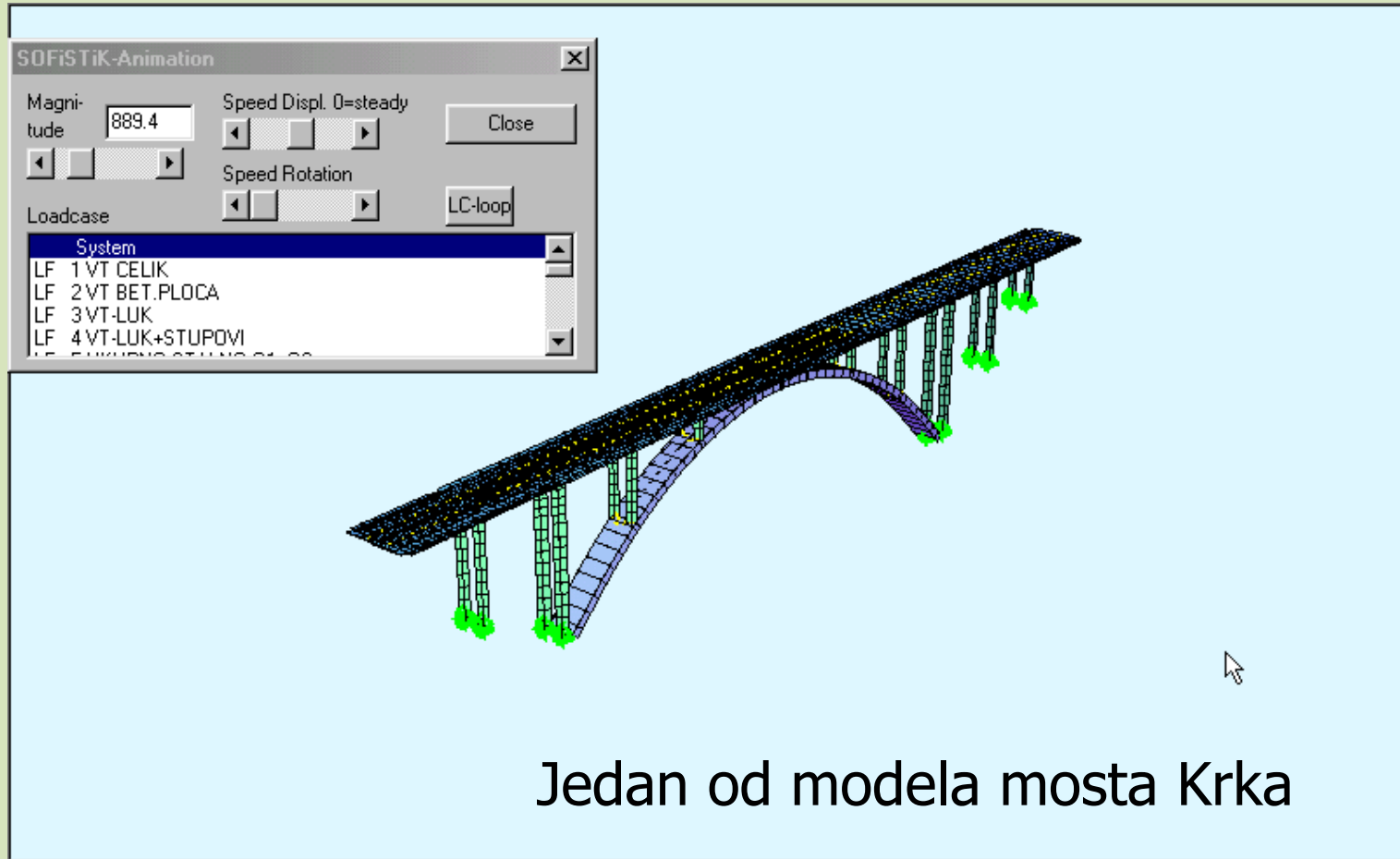
Prostorni konačni elementi: – kada je razdioba unutarnjih sila već poznata
– za razradu detalja sklopa

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

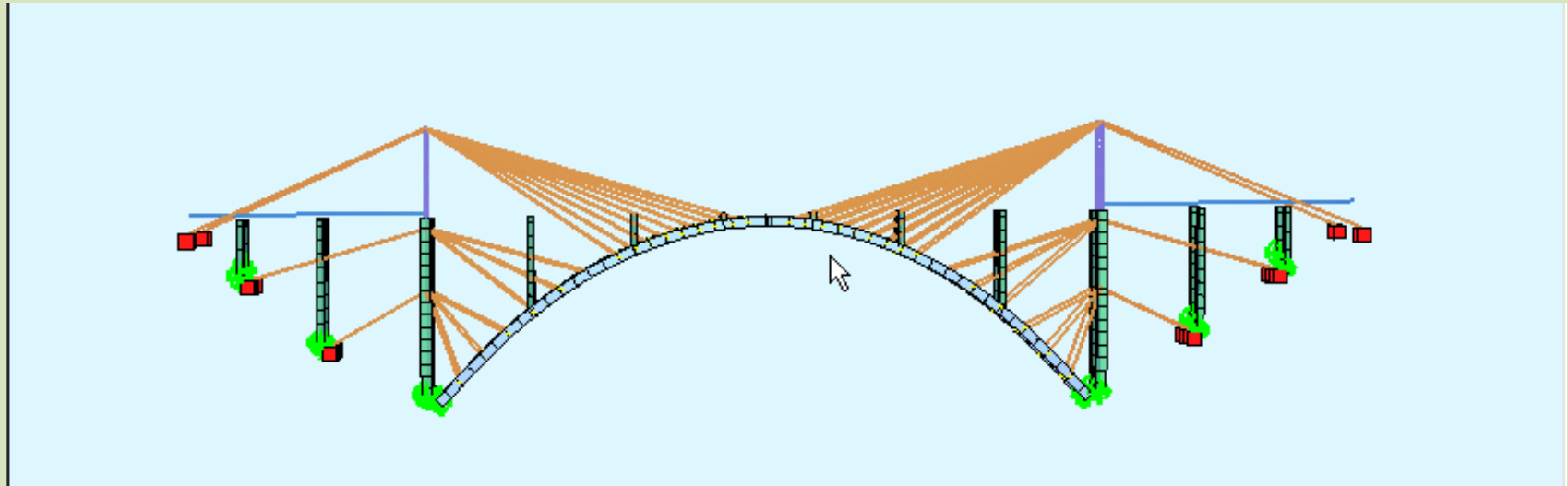


Proračun se prvo vrši za granična stanja dovršenog mosta i to po teoriji elastičnosti (teorija I reda)



MODELIRANJE ZA MKE

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

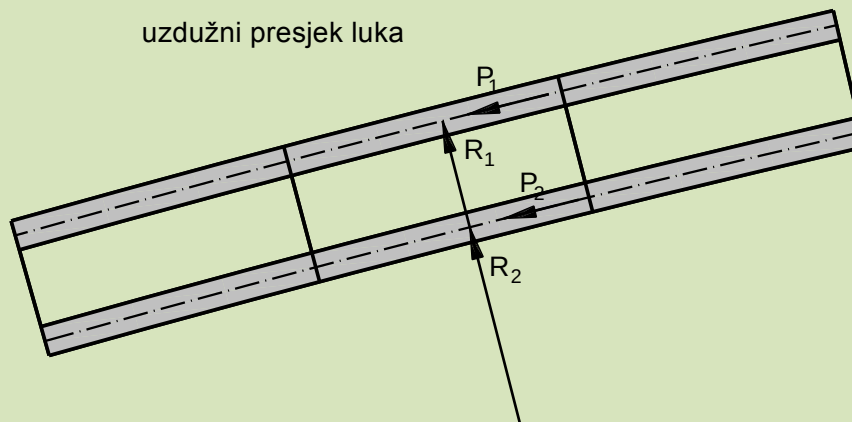


Jedan od modela mosta Krka

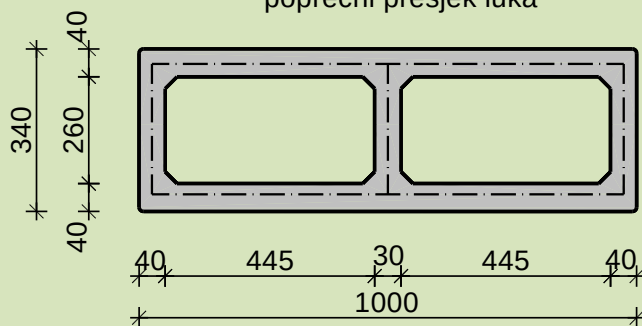
PRORAČUN LUKA U POPREČNOM SMJERU

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.

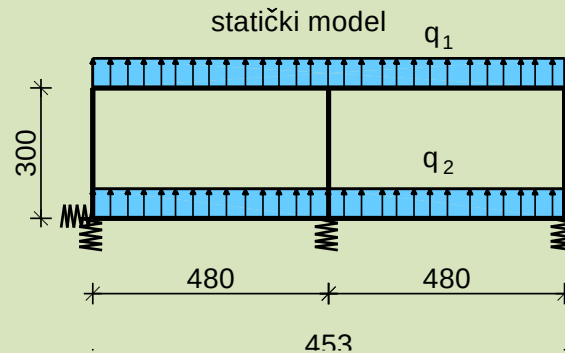
uzdužni presjek luka



poprečni presjek luka



statički model



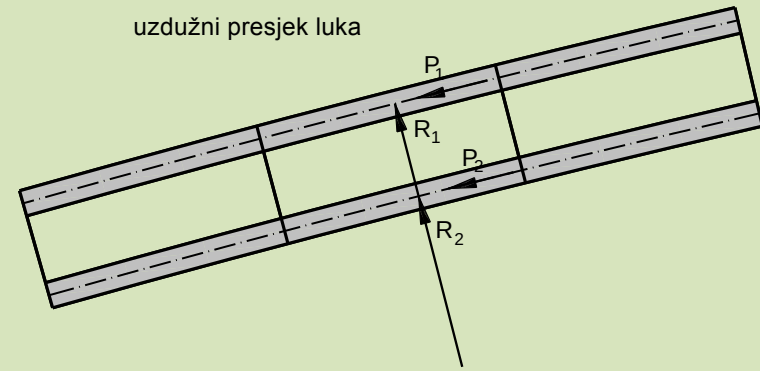
PRORAČUN LUKA U POPREČNOM SMJERU

Skretne sile : $q_1 = \frac{P_1}{R_1}$ $q_2 = \frac{P_2}{R_2}$

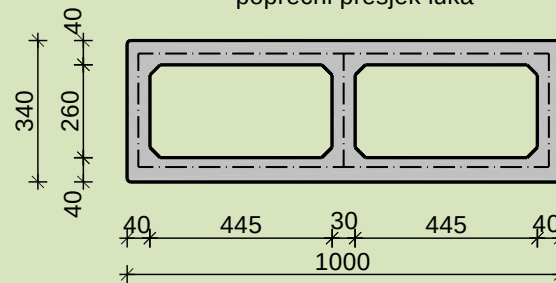
$$q_1 = \frac{P_1}{R_1} = \frac{\sigma_{m1} \cdot h_{gpl}}{R_1}$$

P_1 - uzdužna sila u gornjoj ploči (kN/m),
 R_1 - radijus zakrivljenosti osi gornje ploče (m),
 σ_{m1} - napon u sredini gornje ploče (kN/m²),
 h_{pl} - debljina gornje ploče (m).

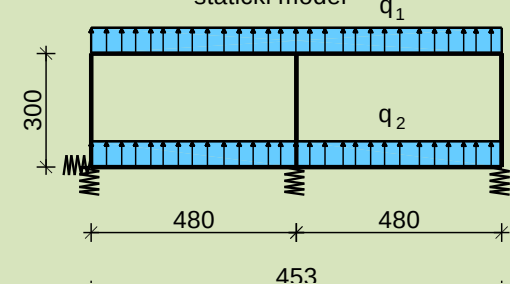
uzdužni presjek luka



poprečni presjek luka



statički model



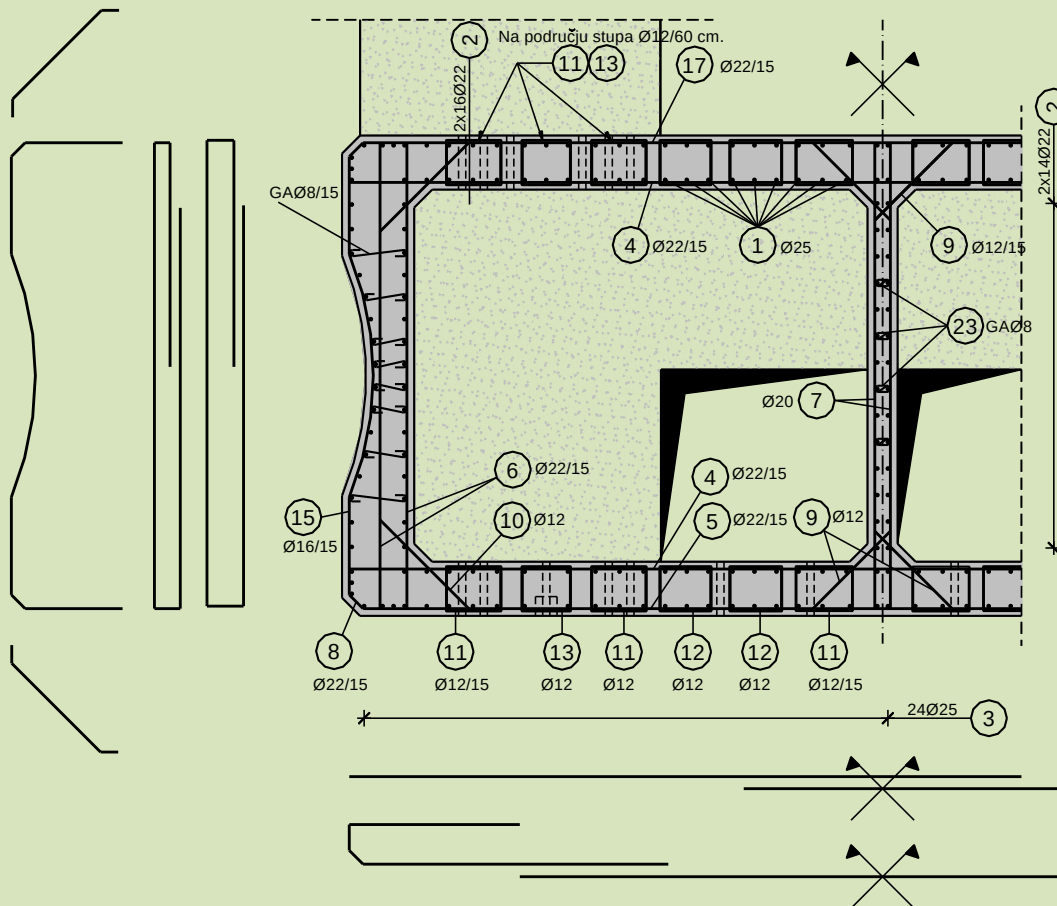


ARMIRANJE LUKA

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

