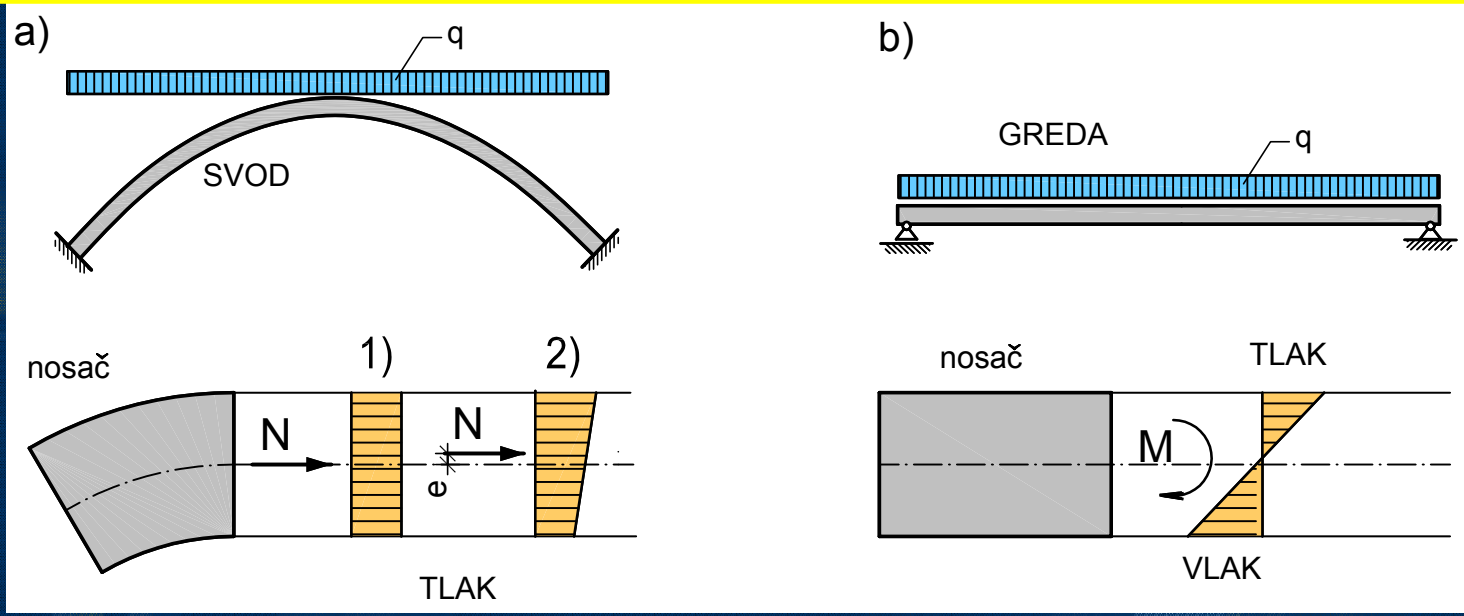
LUČNI MOSTOVI

- NAČELA OBLIKOVANJA I DETALJI

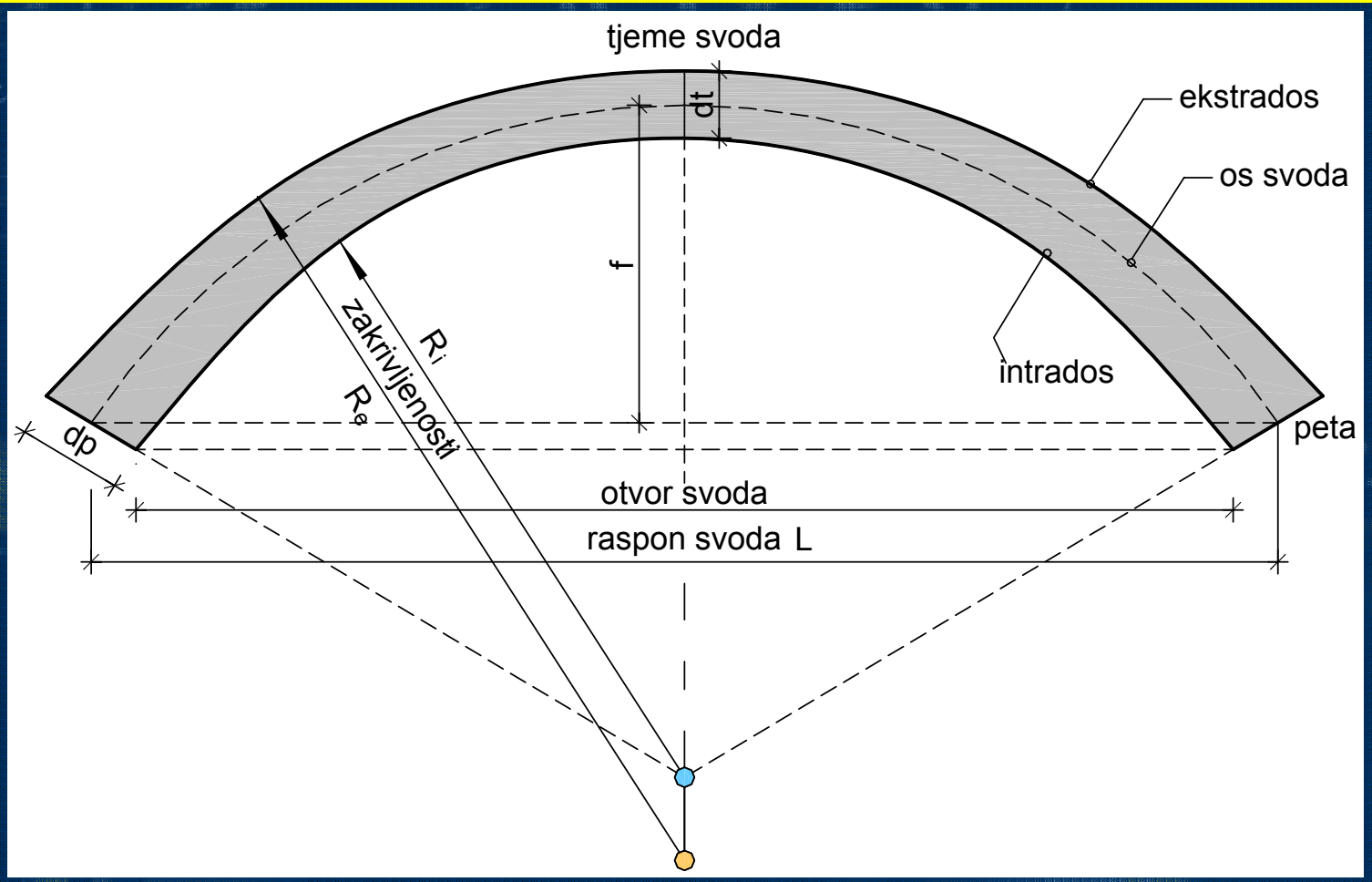
UVODNO

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*

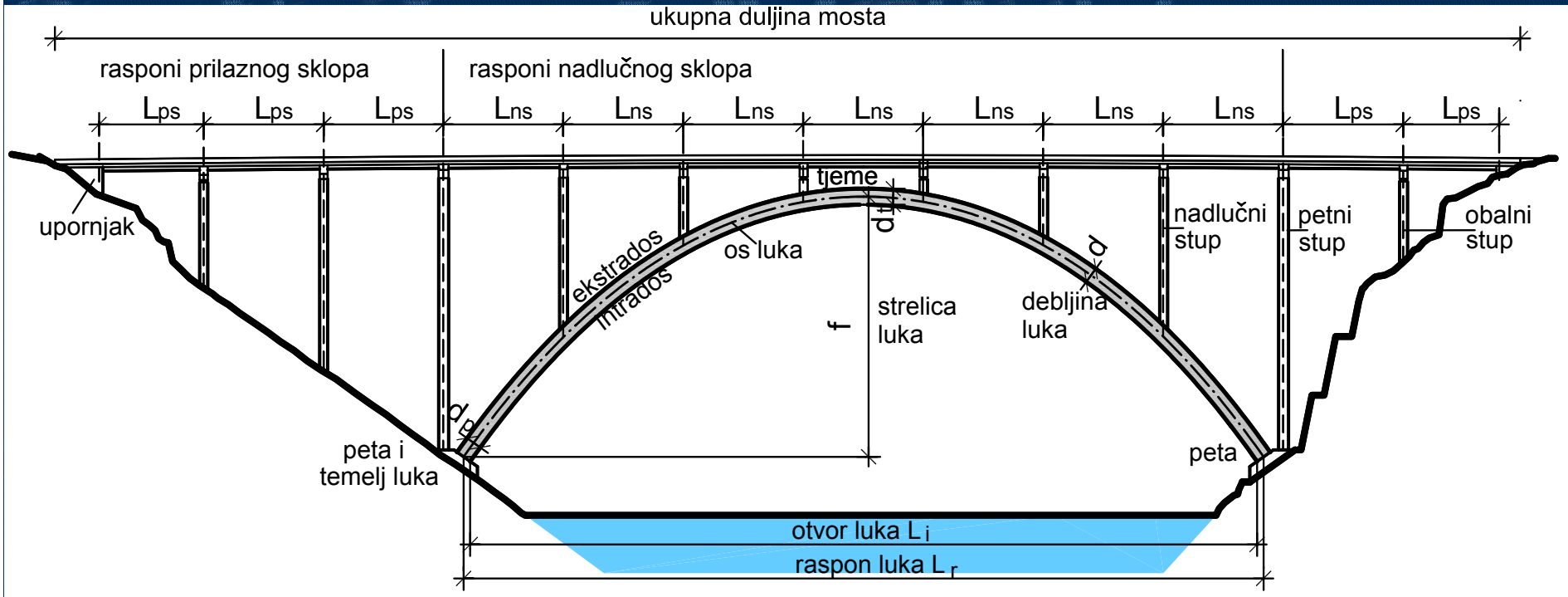
SPLJOŠTENOST LUKA



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

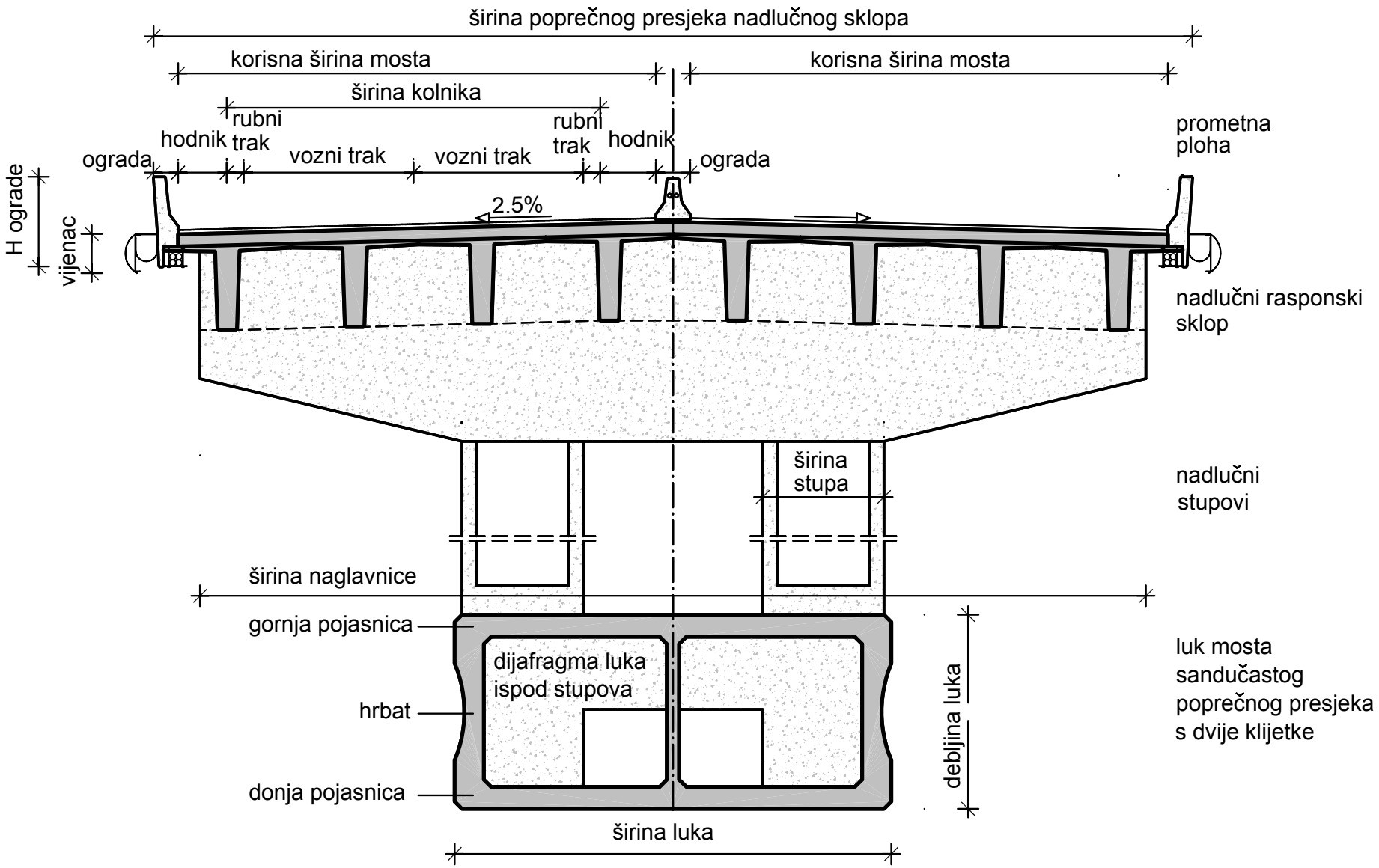


OSNOVNI POJMOVI





OSNOVNI POJMOVI



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

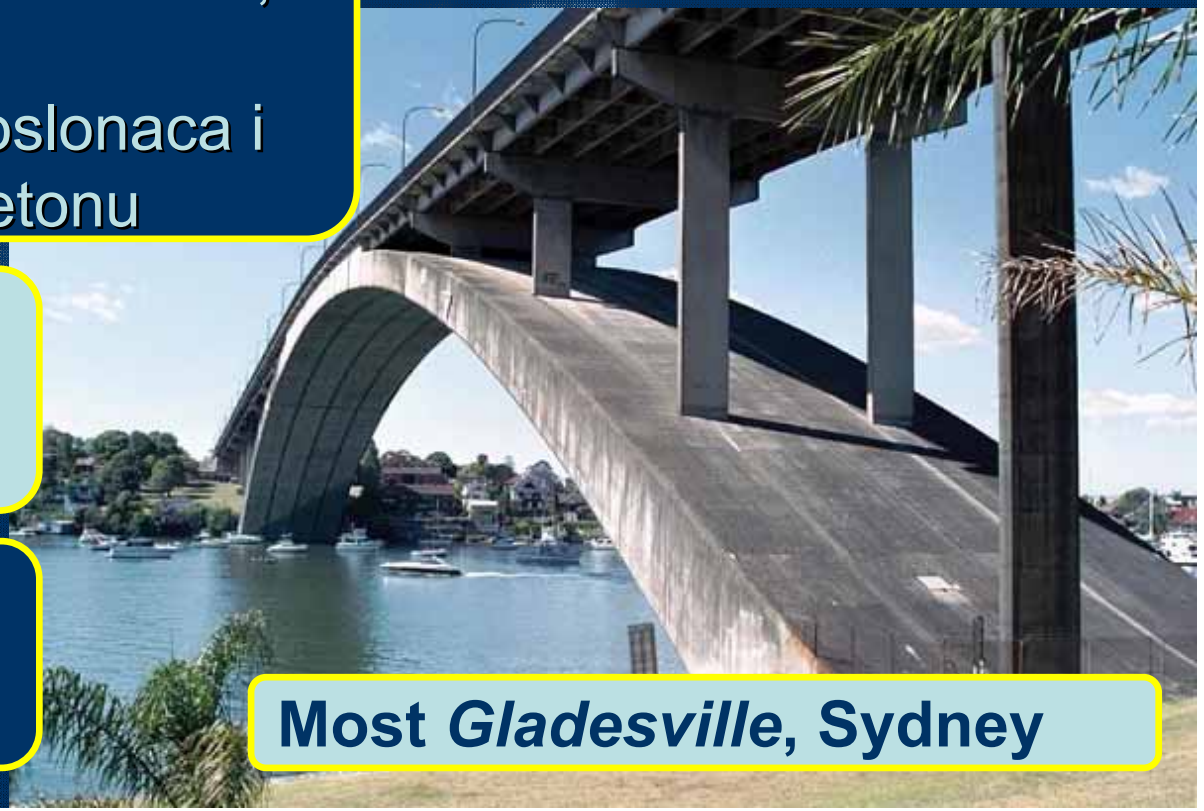
Rasponi masivnih lukova – racionalni 40 – 300 m

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

ELASTIČNO UPETI LUKOVI

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

Nadlučni sklop – bez stupova ili s minimalnim brojem stupova

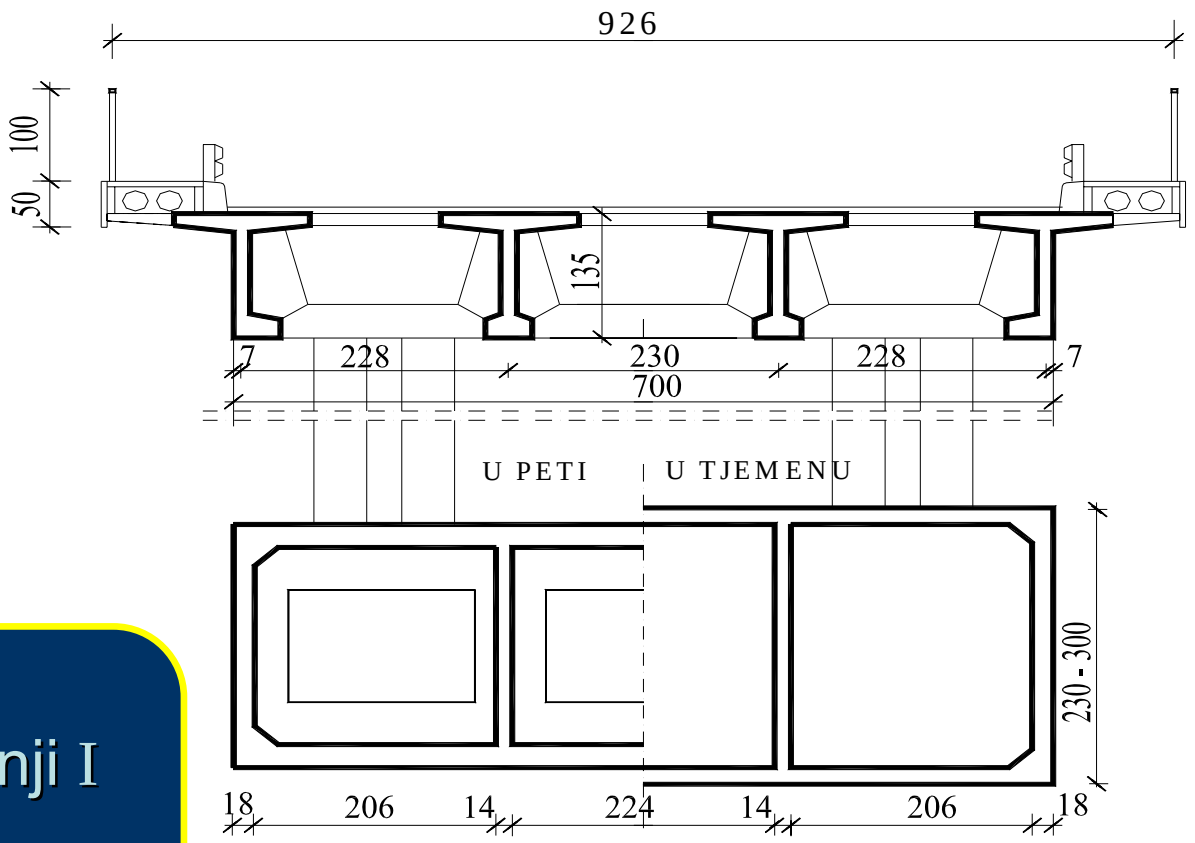
Ideja: smanjiti moment tromosti i na mjestu gdje se u luku očekuju najveći momenti

Ujednačeni momenti duž nosača – racionalan presjek



Paški most

ELASTIČNO UPETI LUKOVI

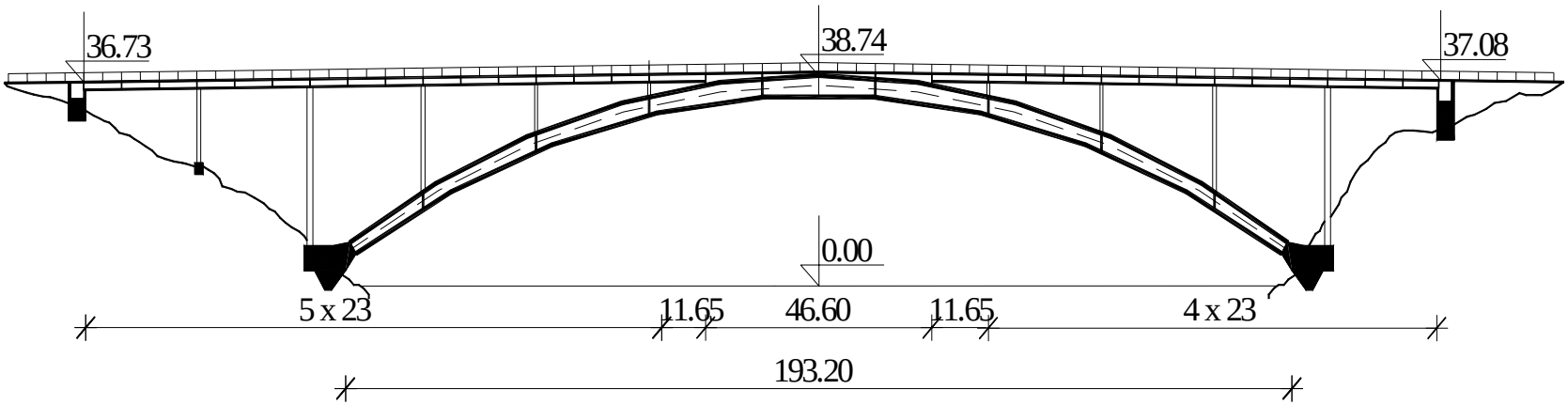


PETA:
veći A, manji I

TJEME:
manji A, veći I

Paški most

ELASTIČNO UPETI LUKOVI



Paški most



DVOZGLOBNI LUKOVI

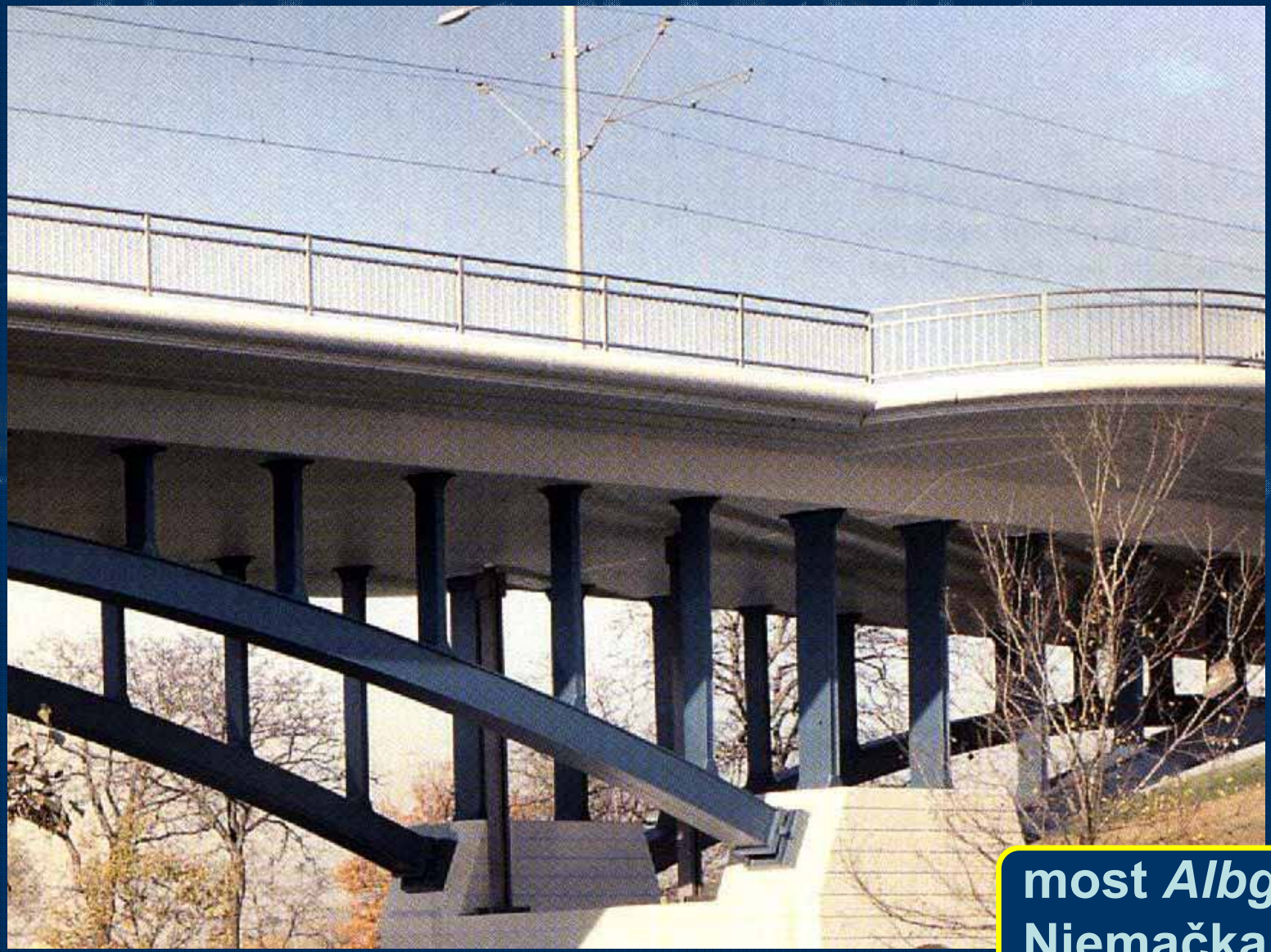
Umetanjem zglobova u petama mogu se smanjiti neka nepovoljna djelovanja – utjecaj pomaka ili zakretanja vrha temelja

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

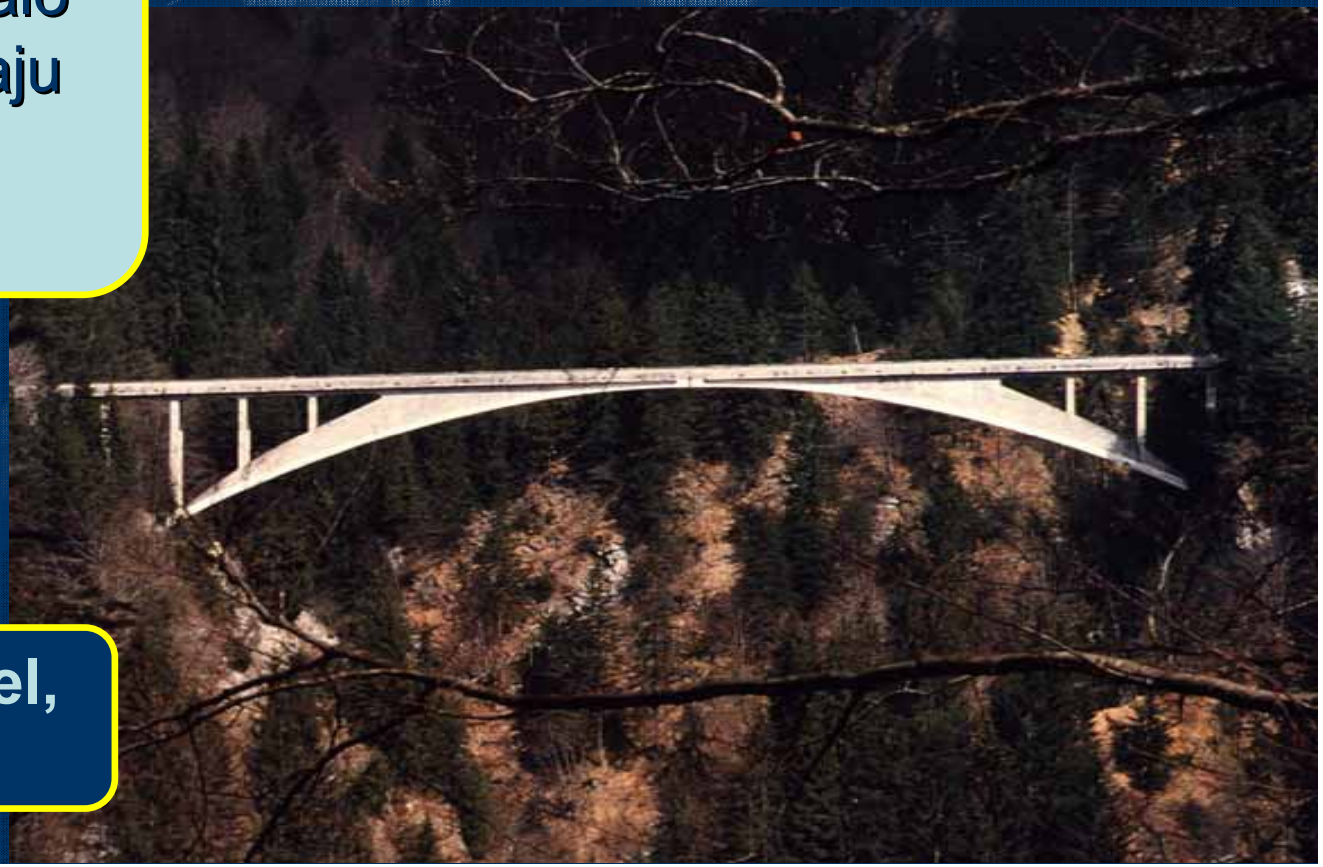


most *Albgrün*, Njemačka

TROZGLOBNI LUKOVI

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

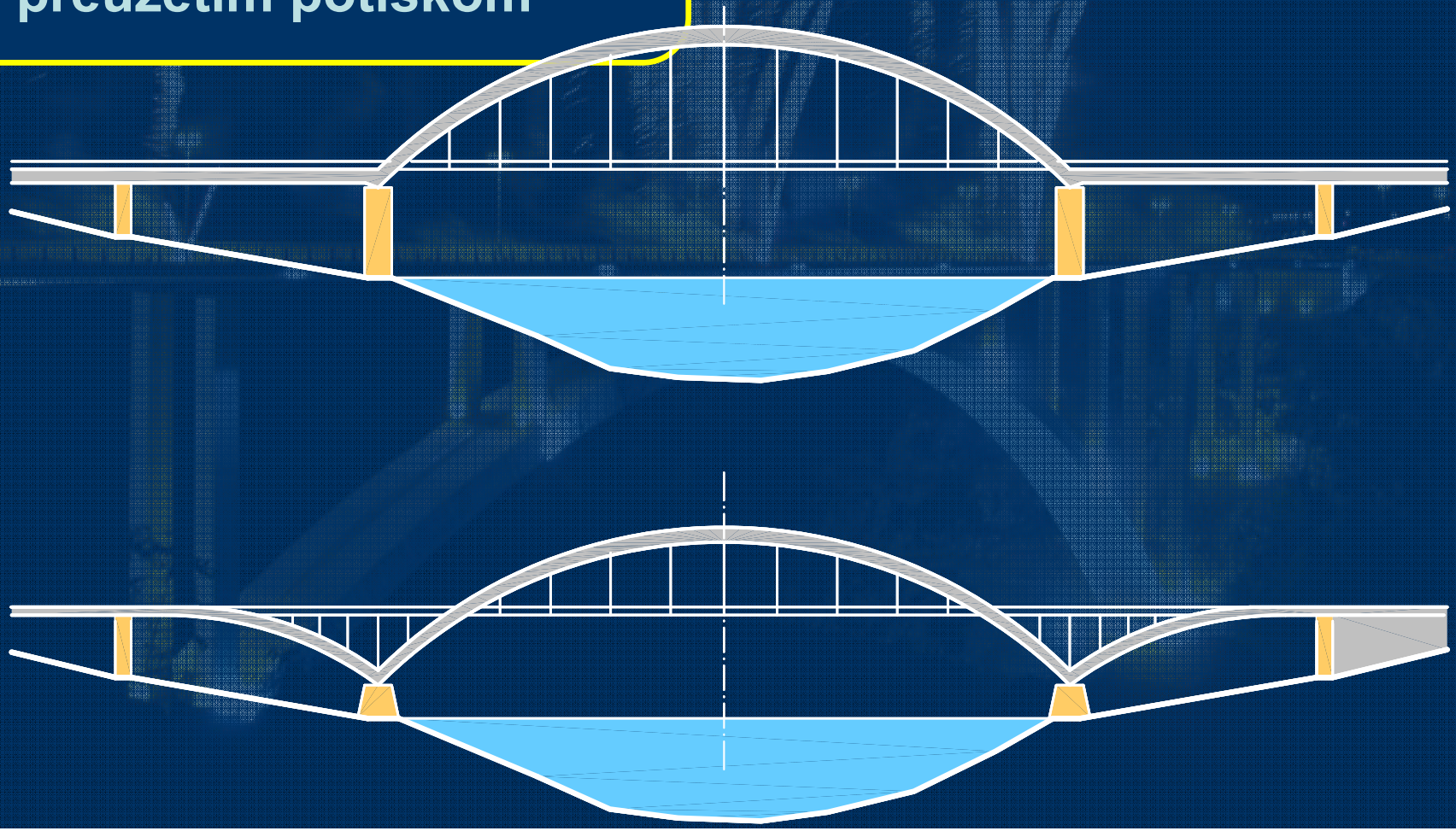
U praksi se pokazalo da zglobovi izazivaju više teškoća no probitaka



Salginatobel, Maillart

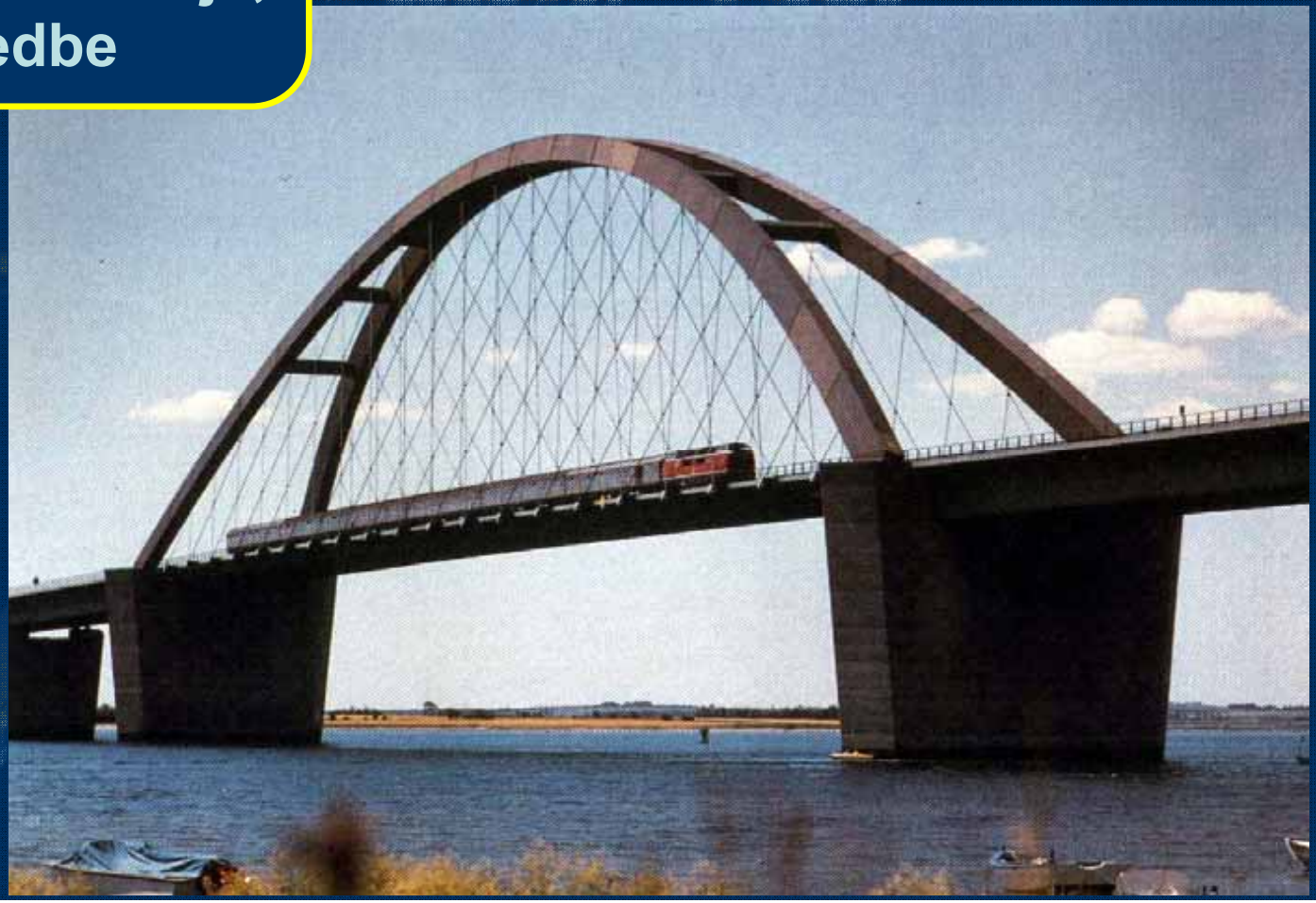
DRUGI LUČNI SUSTAVI

Neuobičajeni sustavi masivnih lučnih mostova s preuzetim potiskom



DRUGI LUČNI SUSTAVI

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



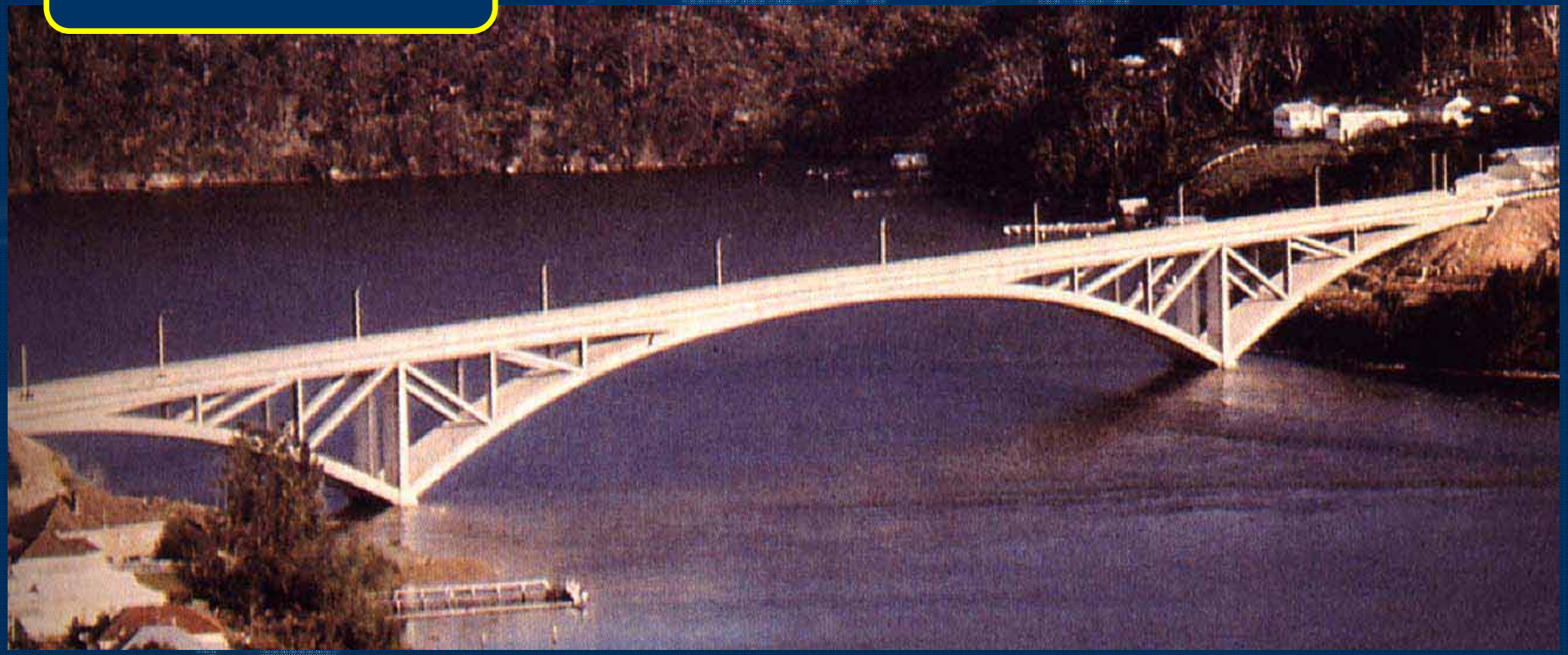
DRUGI LUČNI SUSTAVI

Lučni zidovi - diskovi



DRUGI LUČNI SUSTAVI

Rešetkasti luk



ODREĐIVANJE OPTIMALNOG OBLIKA OSI LUKA

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

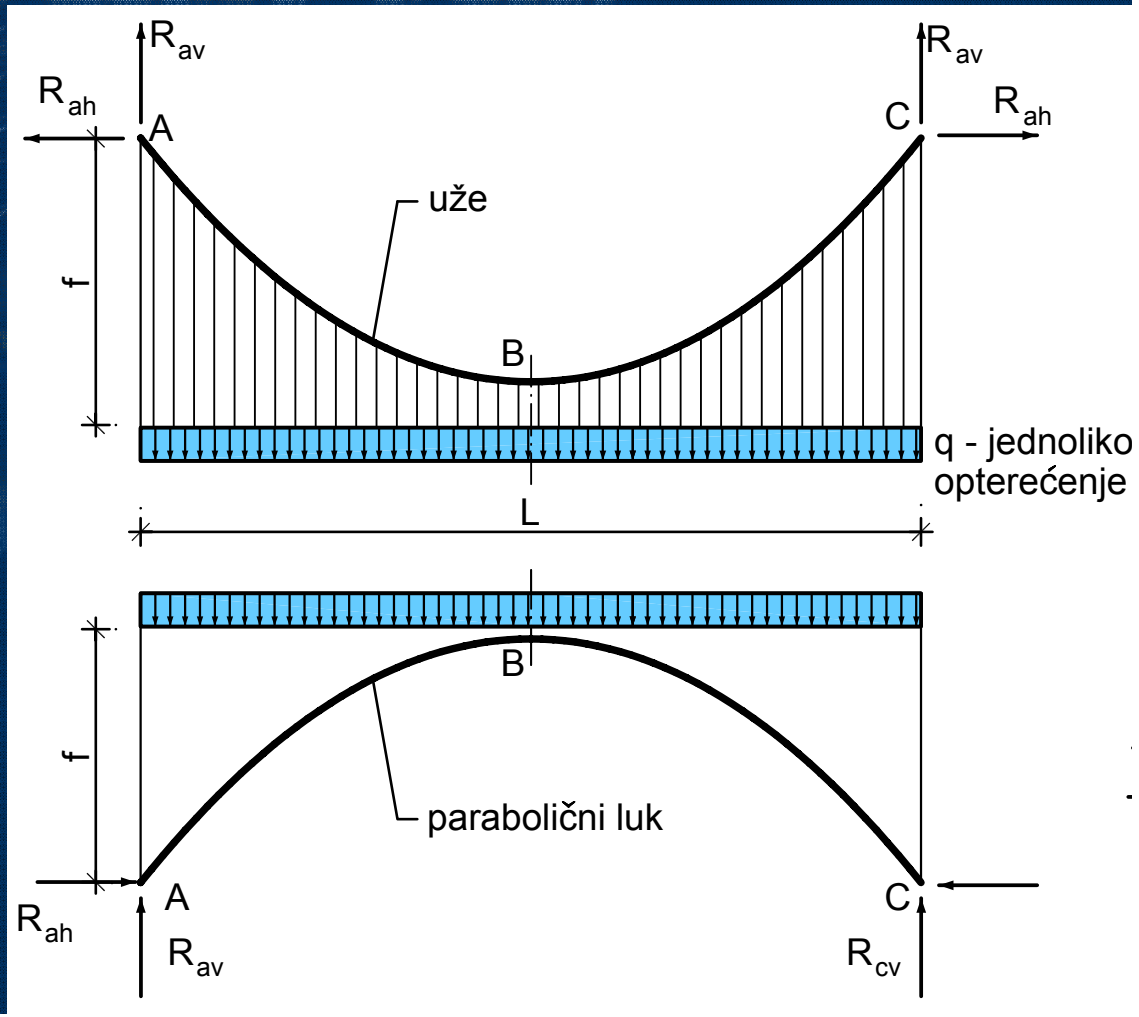


ANALOGIJA LUKA I LANČANICE

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:

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



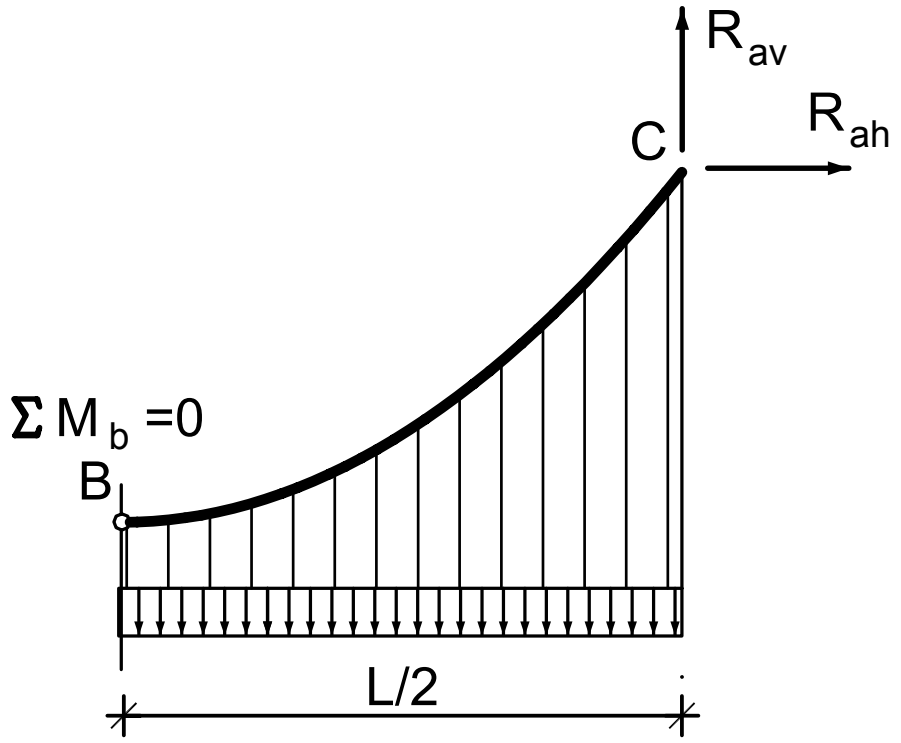
ANALOGIJA LUKA I LANČANICE

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 F_b

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



LUK OPTEREĆEN JEDNOLIKO

Traži se oblik osi koji minimizira momente savijanja

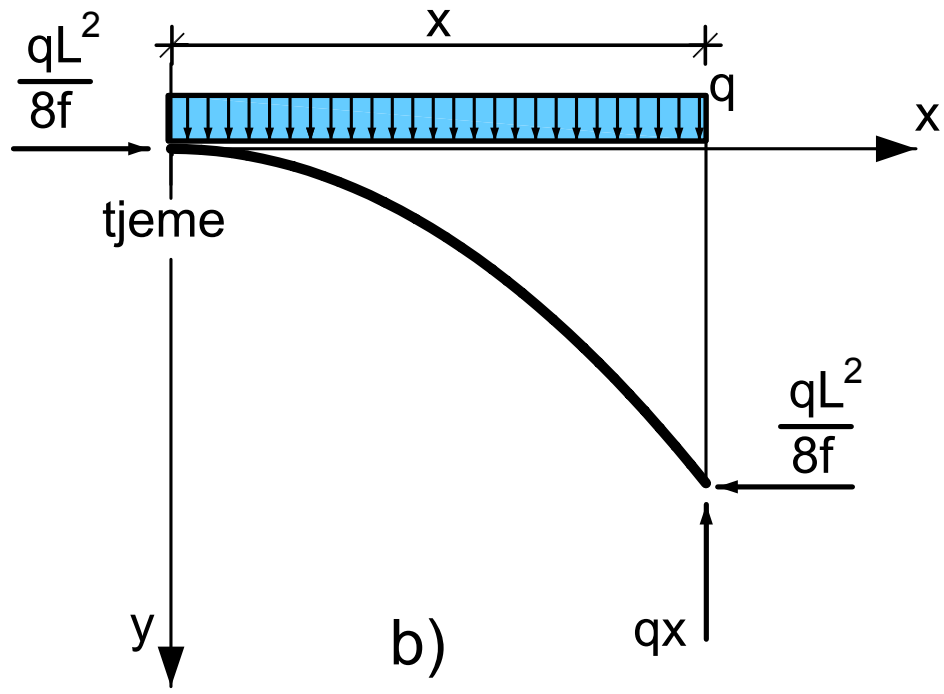
Promotrimo ravnotežu sila na odsječku luka pod kontinuiranim opt.

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

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

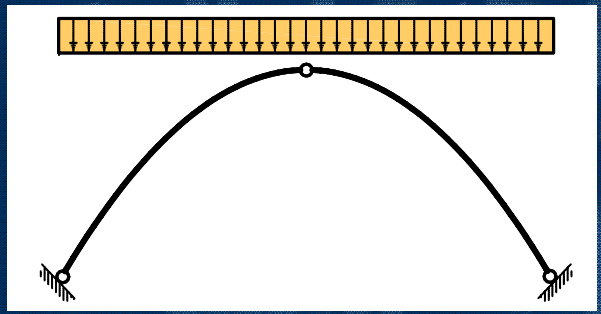
Parabola II stupnja – često se koristi kod preliminarnog oblikovanja osi luka

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

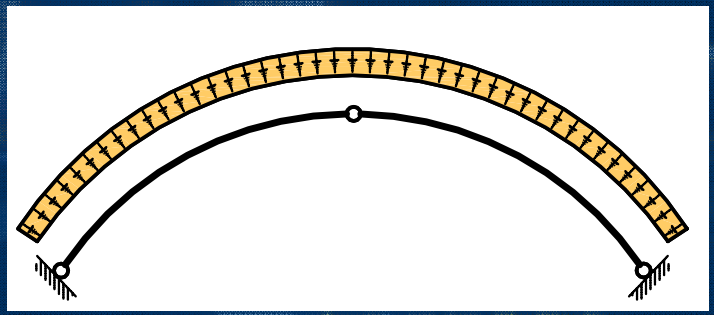


OPTIMALNI OBLIK LUČNIH NOSAČA

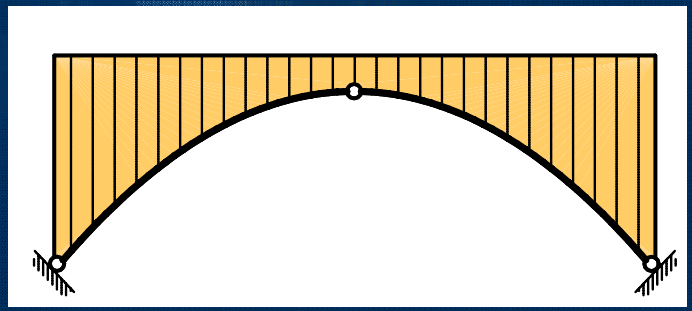
Paraboličan oblik – za jednoliko opterećenje



Kružni oblik – za jednoliko raspo-dijeljeno opterećenje



Realno promjenjivo opterećenje



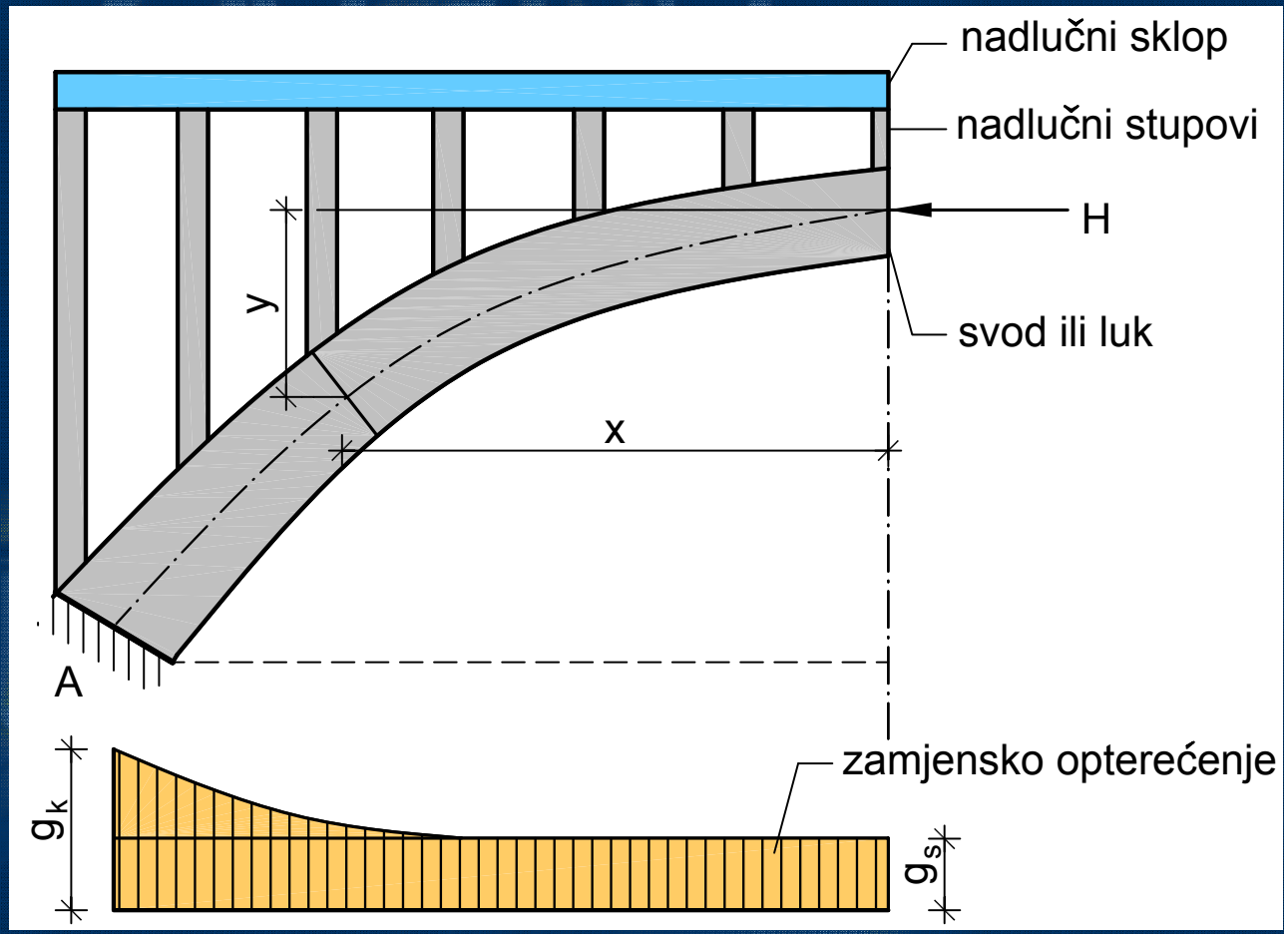
REALNI RASPORED OPTEREĆENJA NA LUK-OPTIMALNA OS ?

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

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

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

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

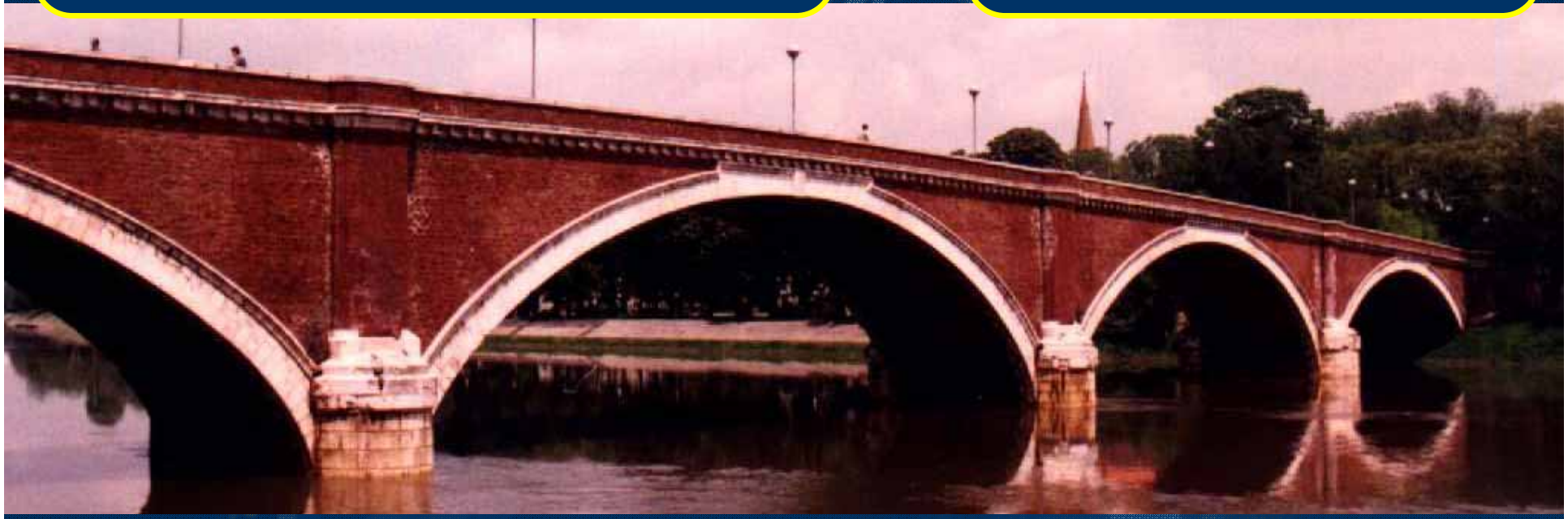


LANČANICA - LEGAY-EVA KATENOIDA

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

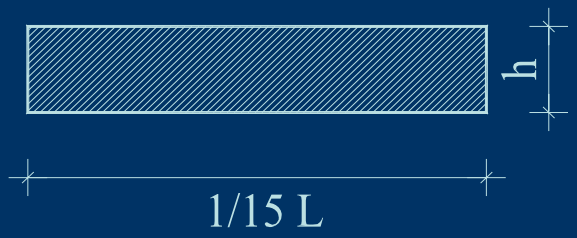
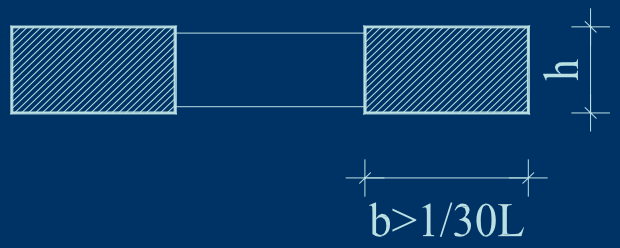
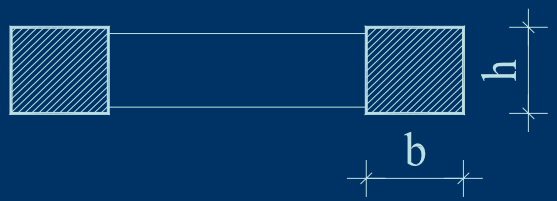
→ **Koncentrirani unos sile – lom osi luka**

POPREČNI PRESJECI LUKOVA

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

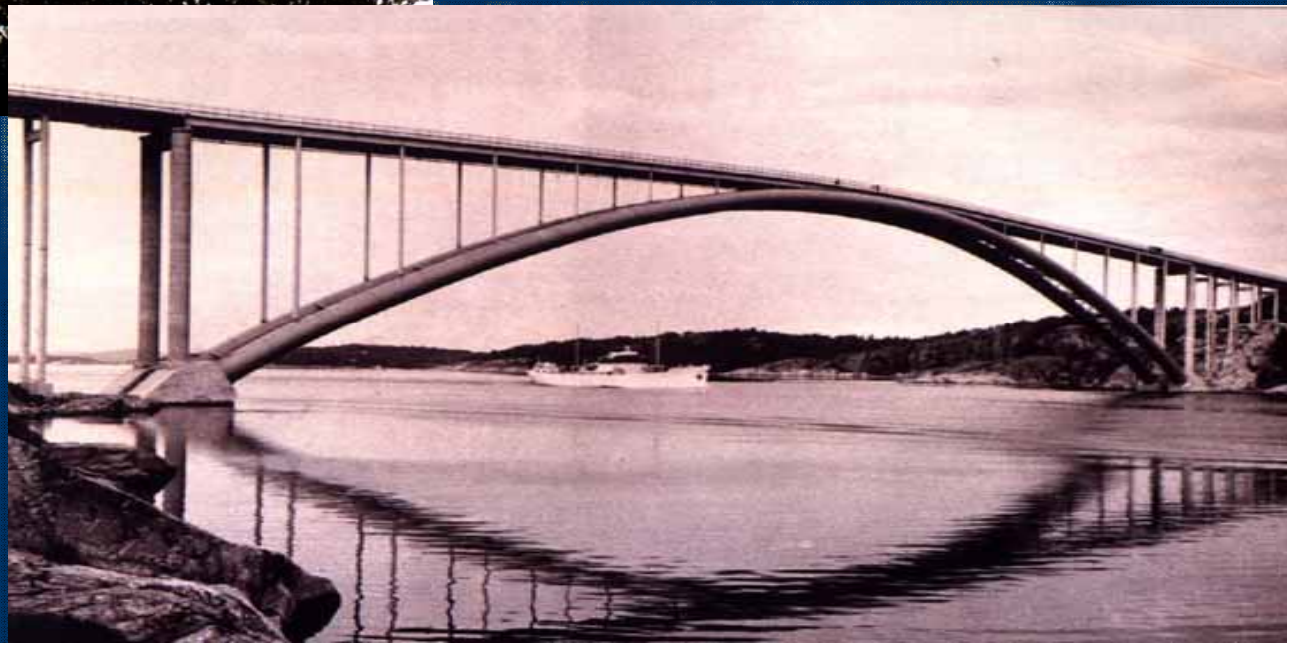
PROMJENJIVI PRESJEK LUKA → **Ako želimo uskladiti presjeke luka sa silama i momentima u tim presjecima**

UOBIČAJENI PRESJECI I PRIKLADNI RASPONI

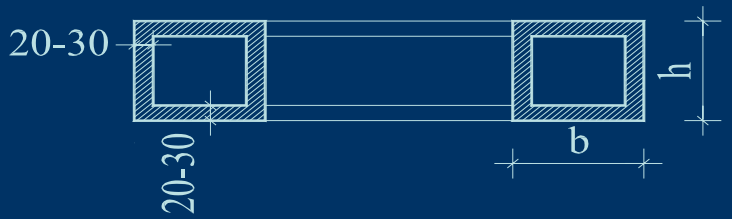
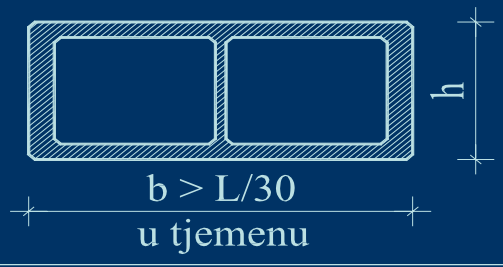
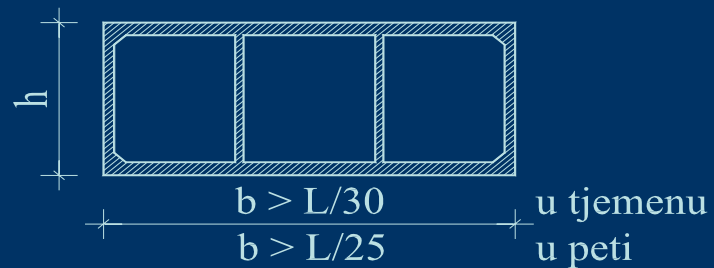
	SKICA POPREČNOG PRESJEKA	Raspon luka u m Visina presjeka
PUNI SVOD		L = 40 do 100 m visina h u tjemenu luka: h = (1/40 do 1/60) L (manji rasponi) h = (1/60 do 1/100) L (veći rasponi)
DVOSTRUKI SVOD		L = 40 do 100 m h = (1/60 do 1/100) L (u tjemenu)
RAZDVOJENI PUNI LUKOVI		L = 40 do 100 m h = (1/40 do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

POPREČNI PRESJECI 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

VITKI LUK →
- Prenosi samo uzdužne sile
- Za manje i srednje raspne

KRUTI LUK →
- Značajniji momenti savijanja
- Veliki rasponi

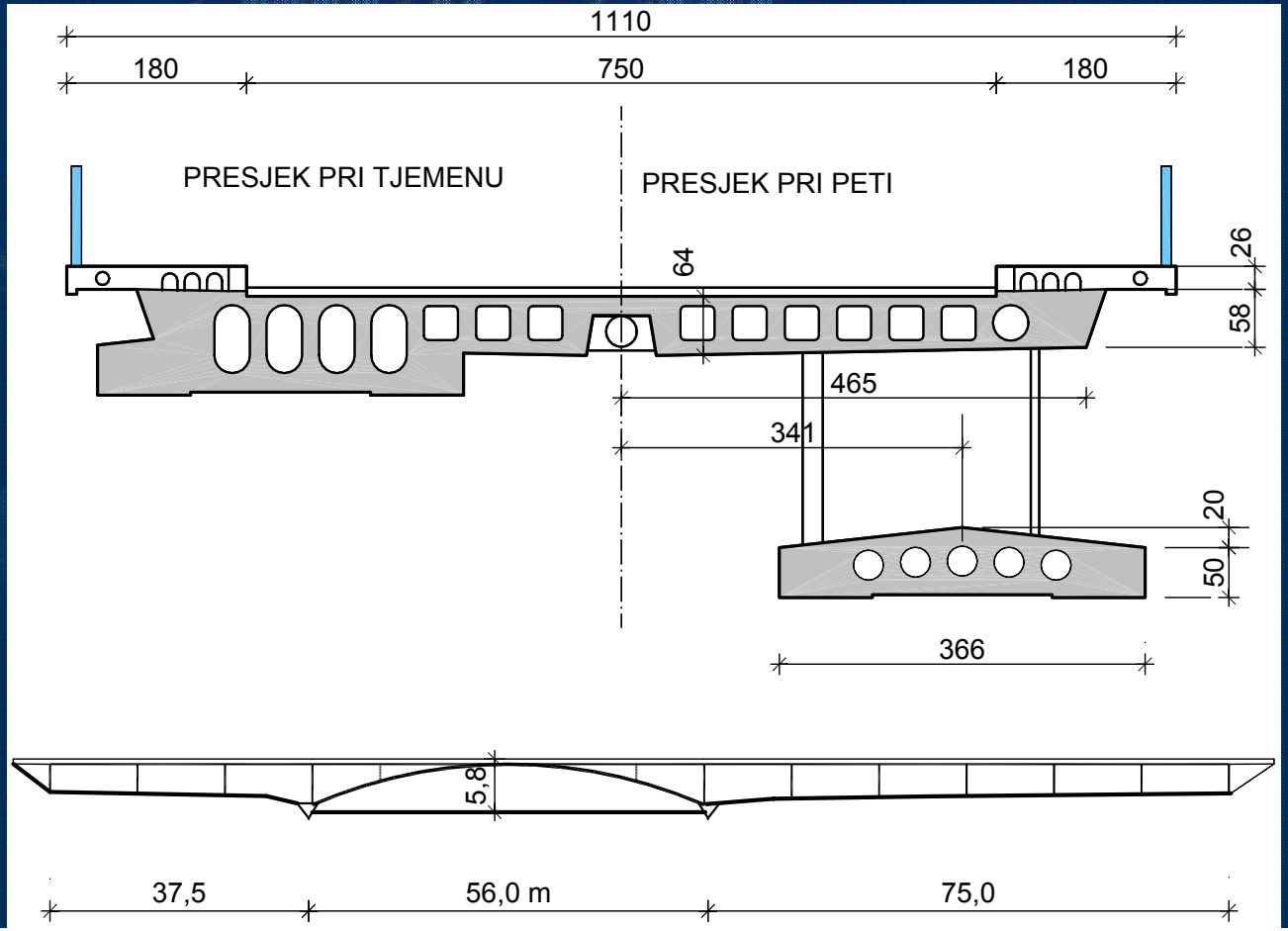
KRITERIJ: odnos krutosti luka i nadlučne grede

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

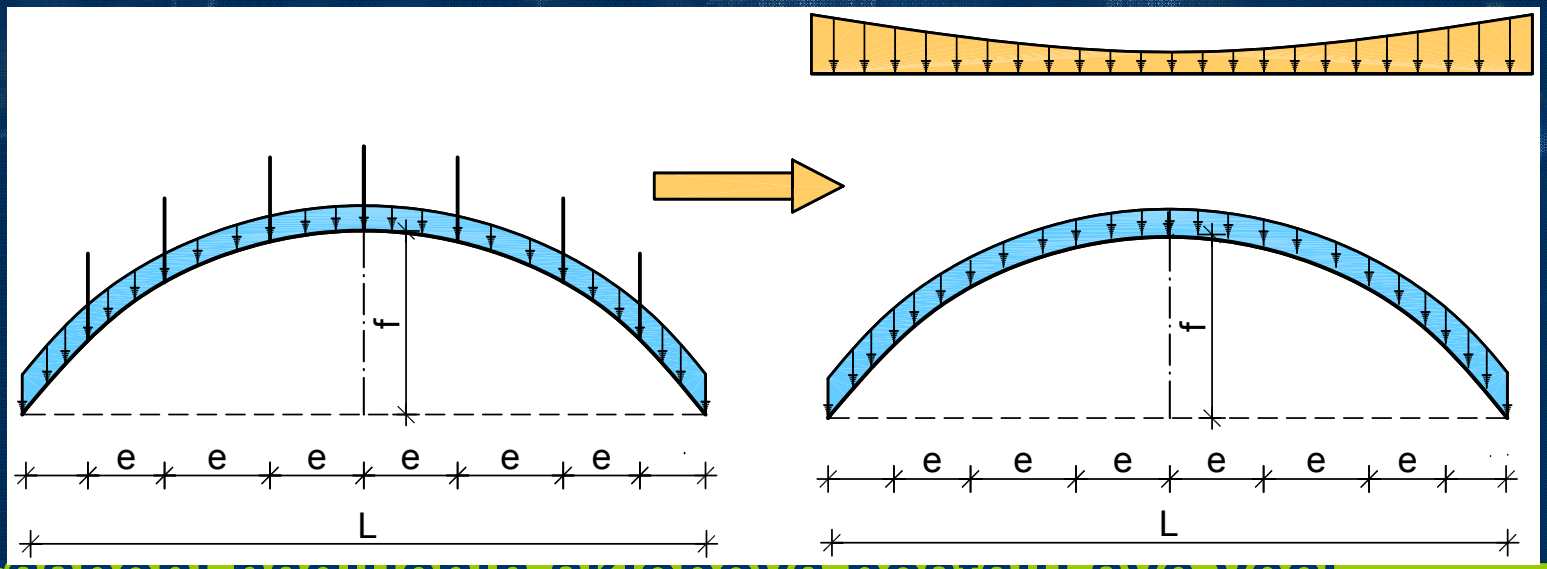
$$\frac{A_s}{A_z \cos \phi_z} = 1$$

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

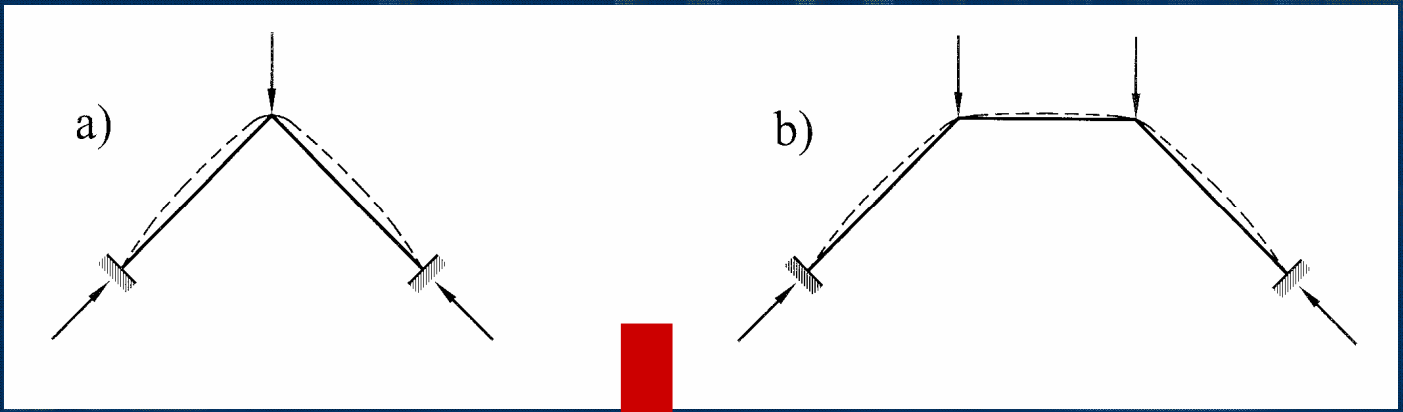
Problem određivanja optimalnog oblika osi za poznati raspon i strelicu luka sastoji se od:

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

METODA OBRNUTOG OPTEREĆENJA

Osnovna ideja metode obrnutog opterećenja

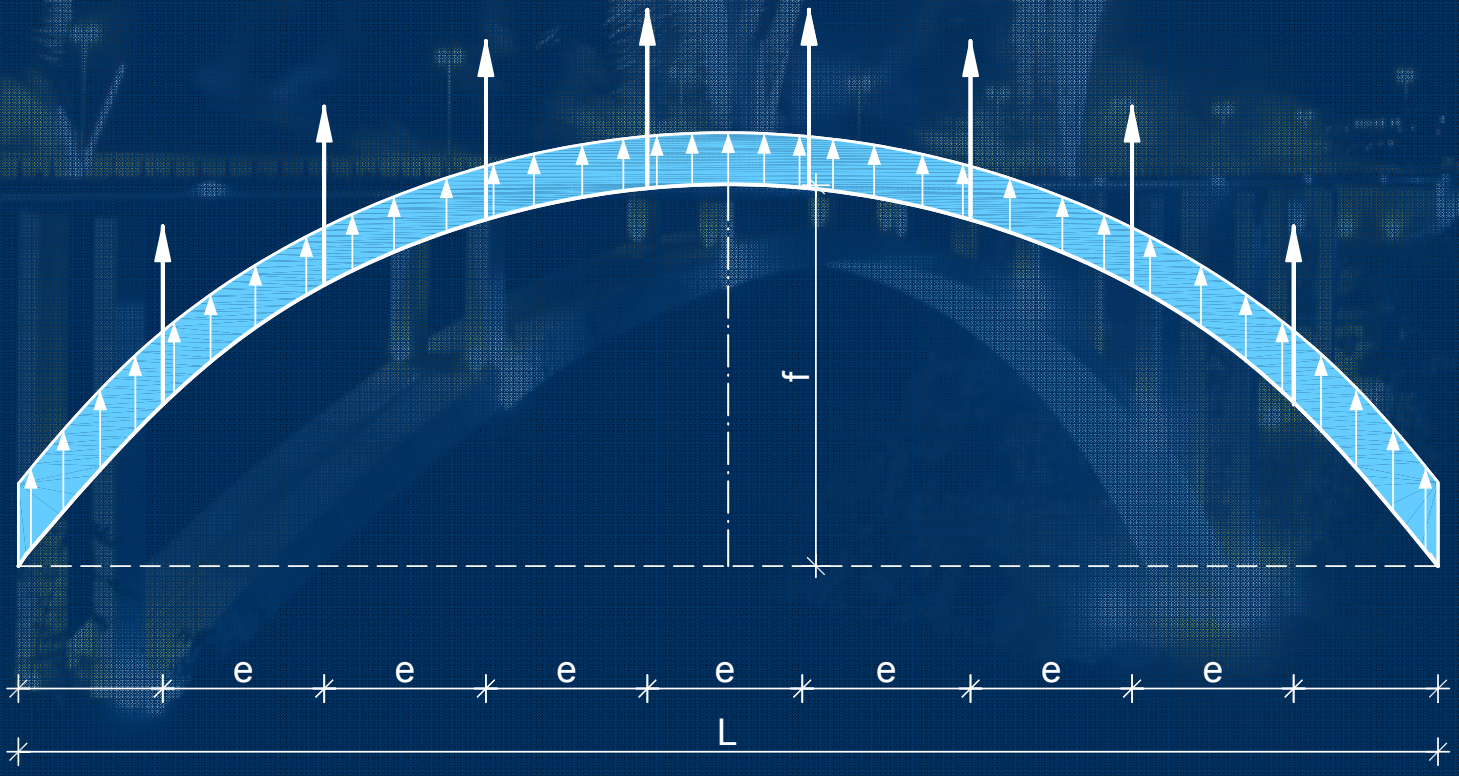
postaviti krivulju da što manje odstupa od rješenja u kojem nema momenata savijanja (oblik trokuta odnosno trapeza)



ravnotežni položaji lančanice

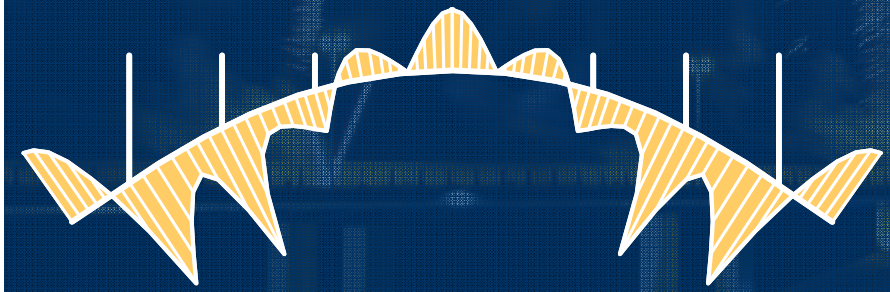
METODA OBRNUTOG OPTEREĆENJA

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

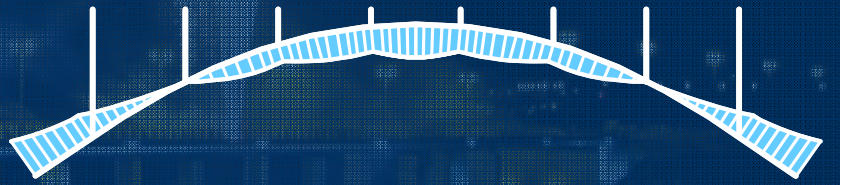


METODA OBRNUTOG OPTEREĆENJA

a) Momentni dijagram za luk oblika parabole

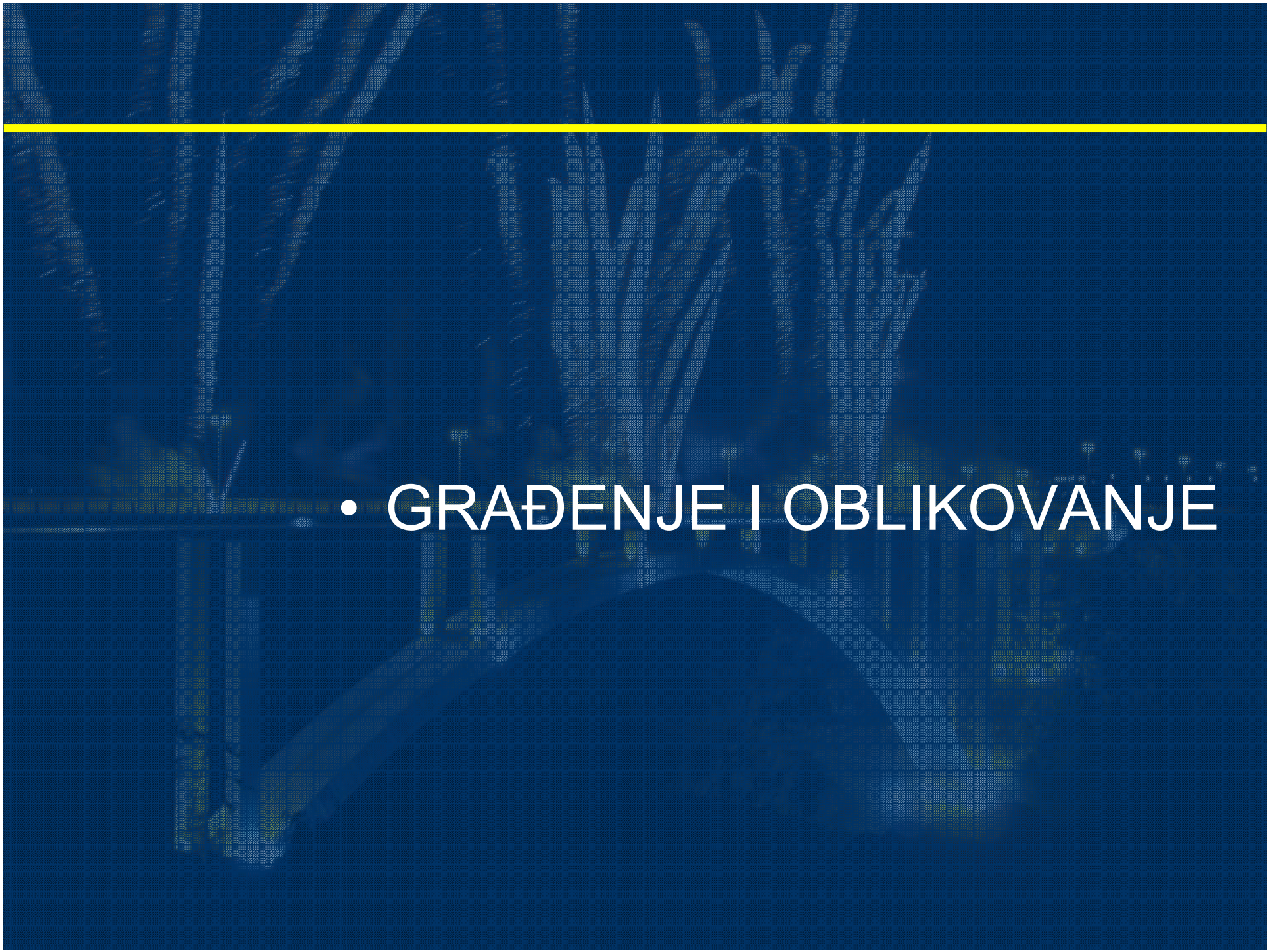


a)



b)

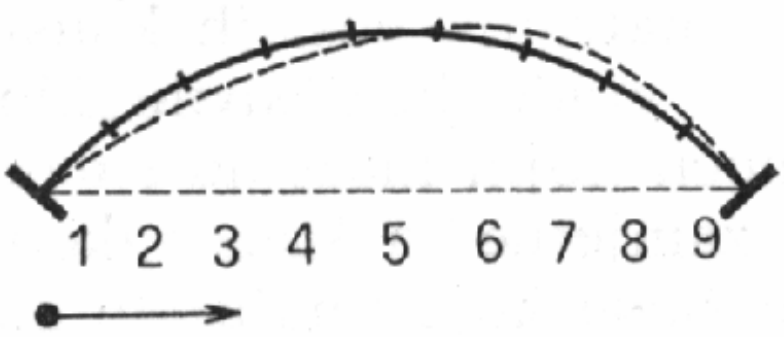
b) Momentni dijagram za luk određen metodom obrnutog opterećenja

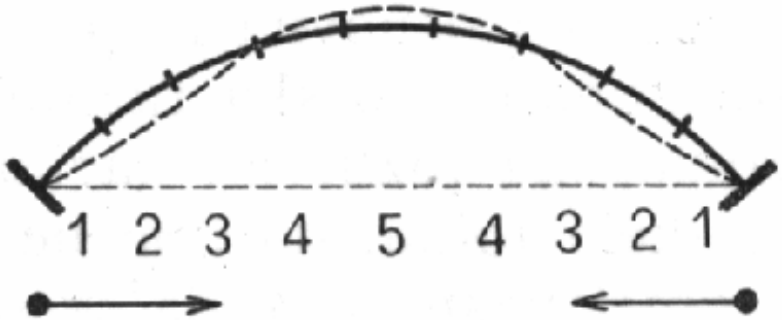


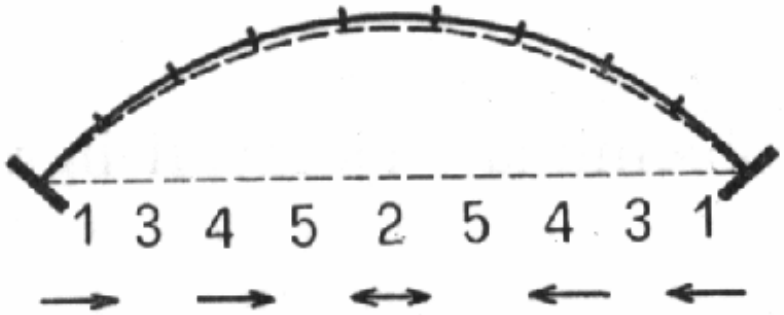
- GRAĐENJE I OBLIKOVANJE

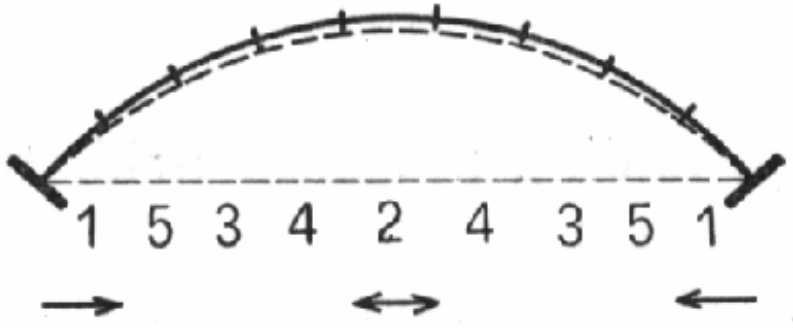
GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA – IZVEDBE NA SKELI

Građenje lukova na klasičnoj skeli – redoslijed izvedbe određuje deformacije



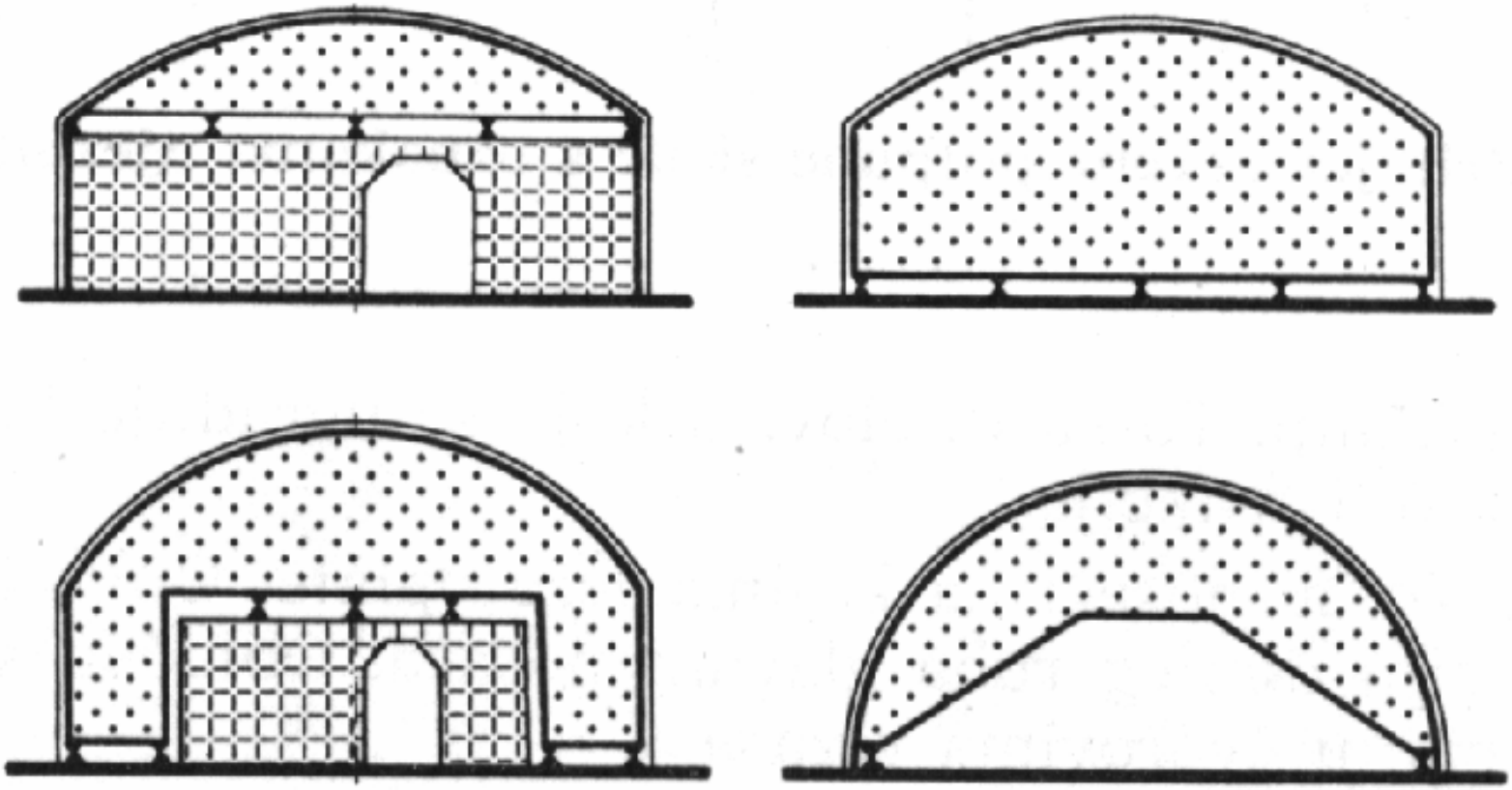






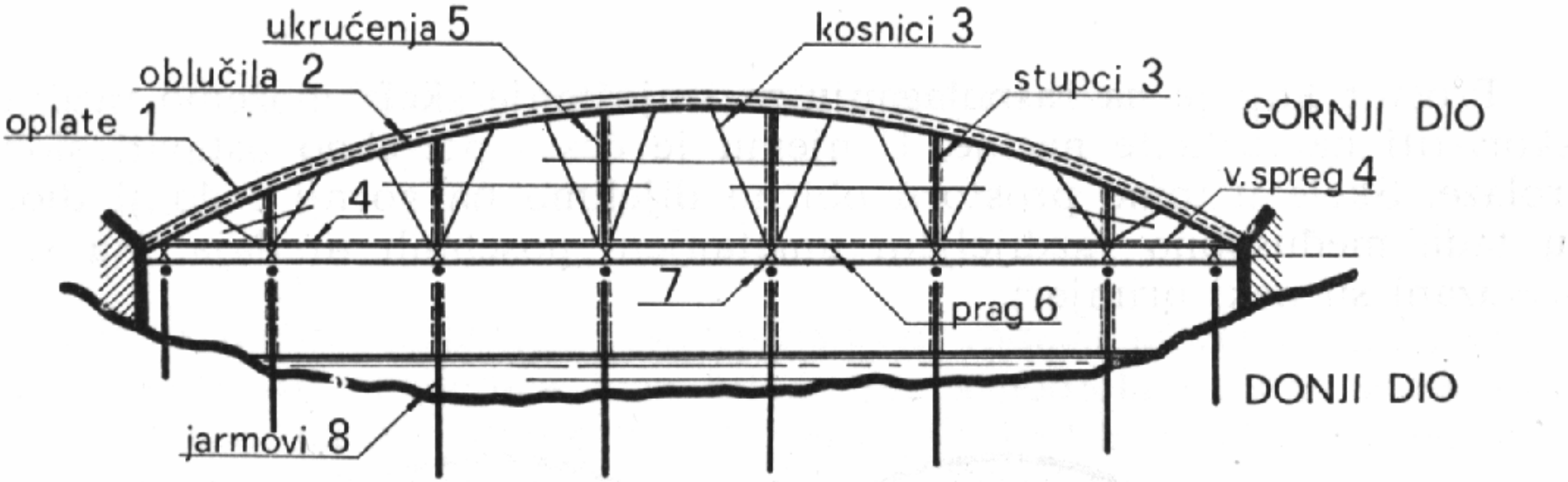
GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA – IZVEDBE NA SKELI

Građenje lukova na klasičnoj skeli – slobodni profil određuje tip skele



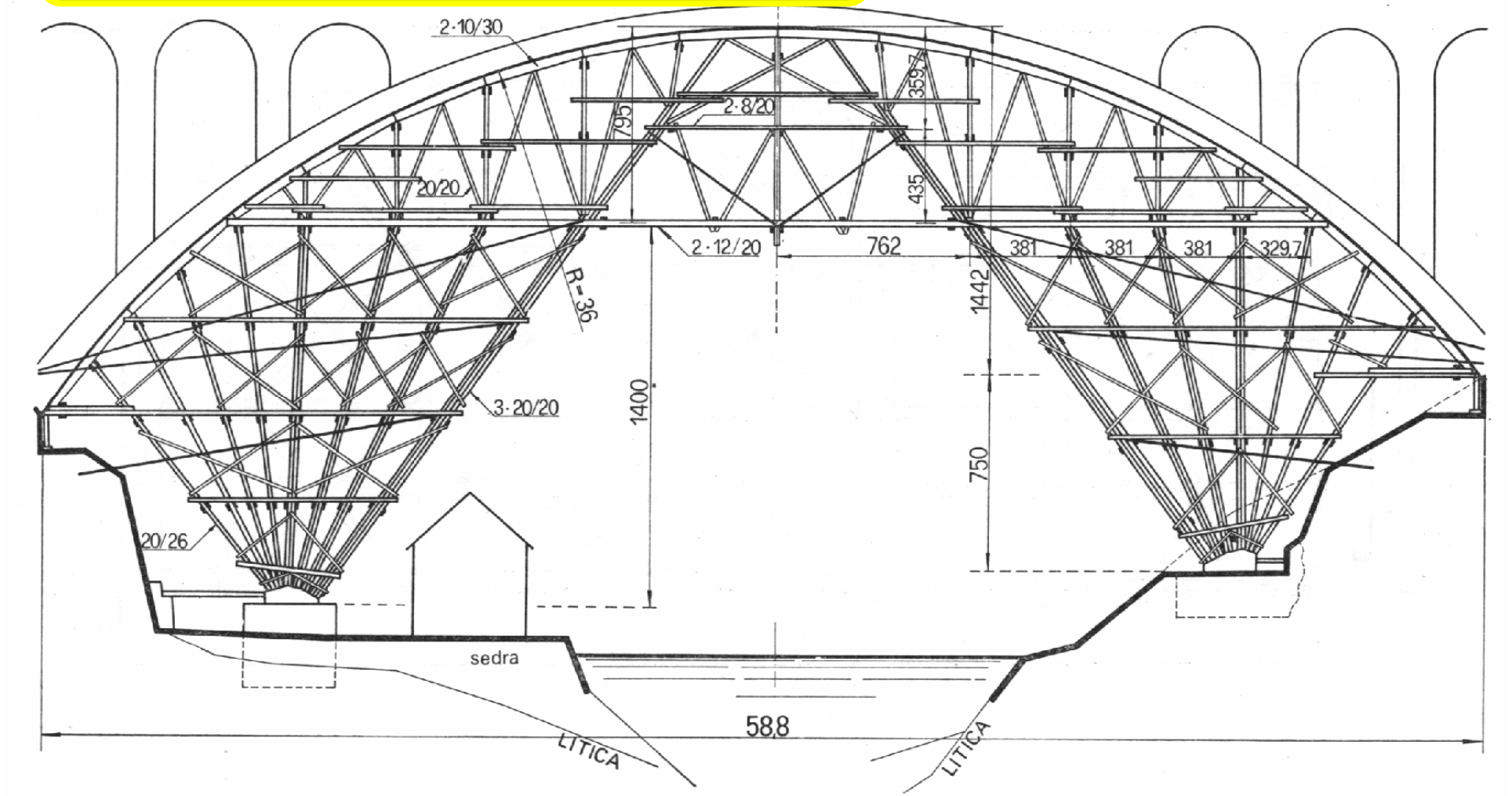
GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA – IZVEDBE NA SKELI

Djelovi klasične drvene skele



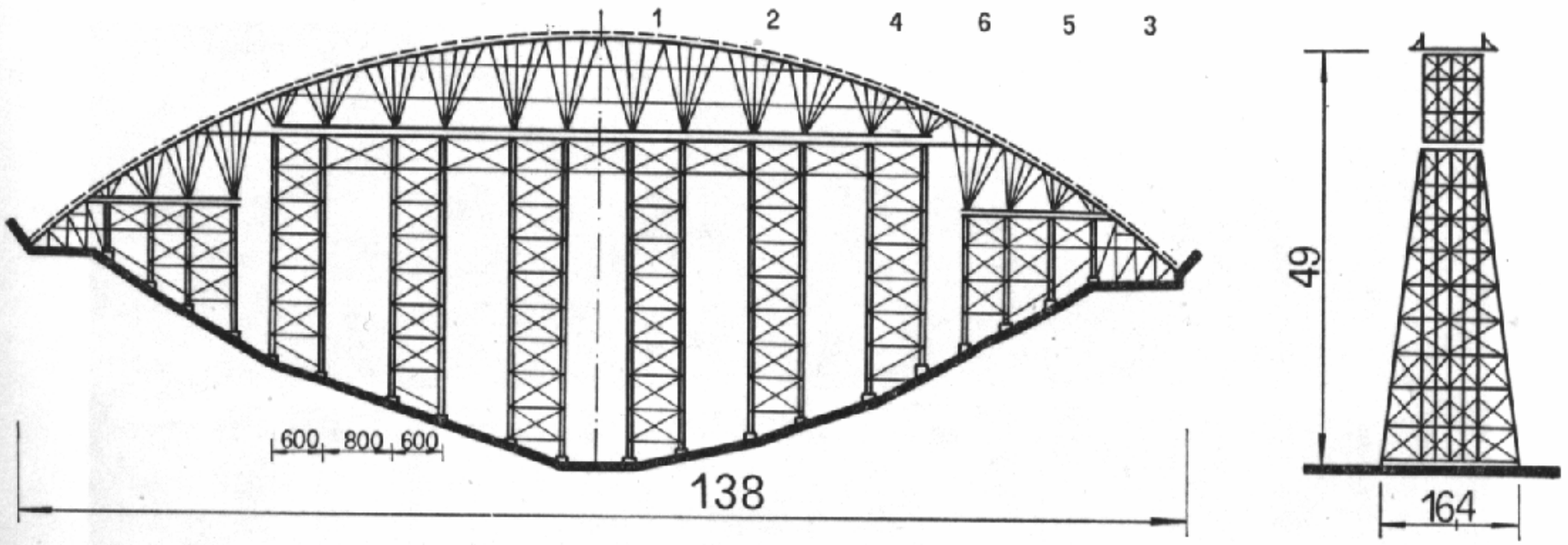
GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA – IZVEDBE NA SKELI

Klasična drvena lepezasta skela



GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA – IZVEDBE NA SKELI

Čelična skela sa stupcima



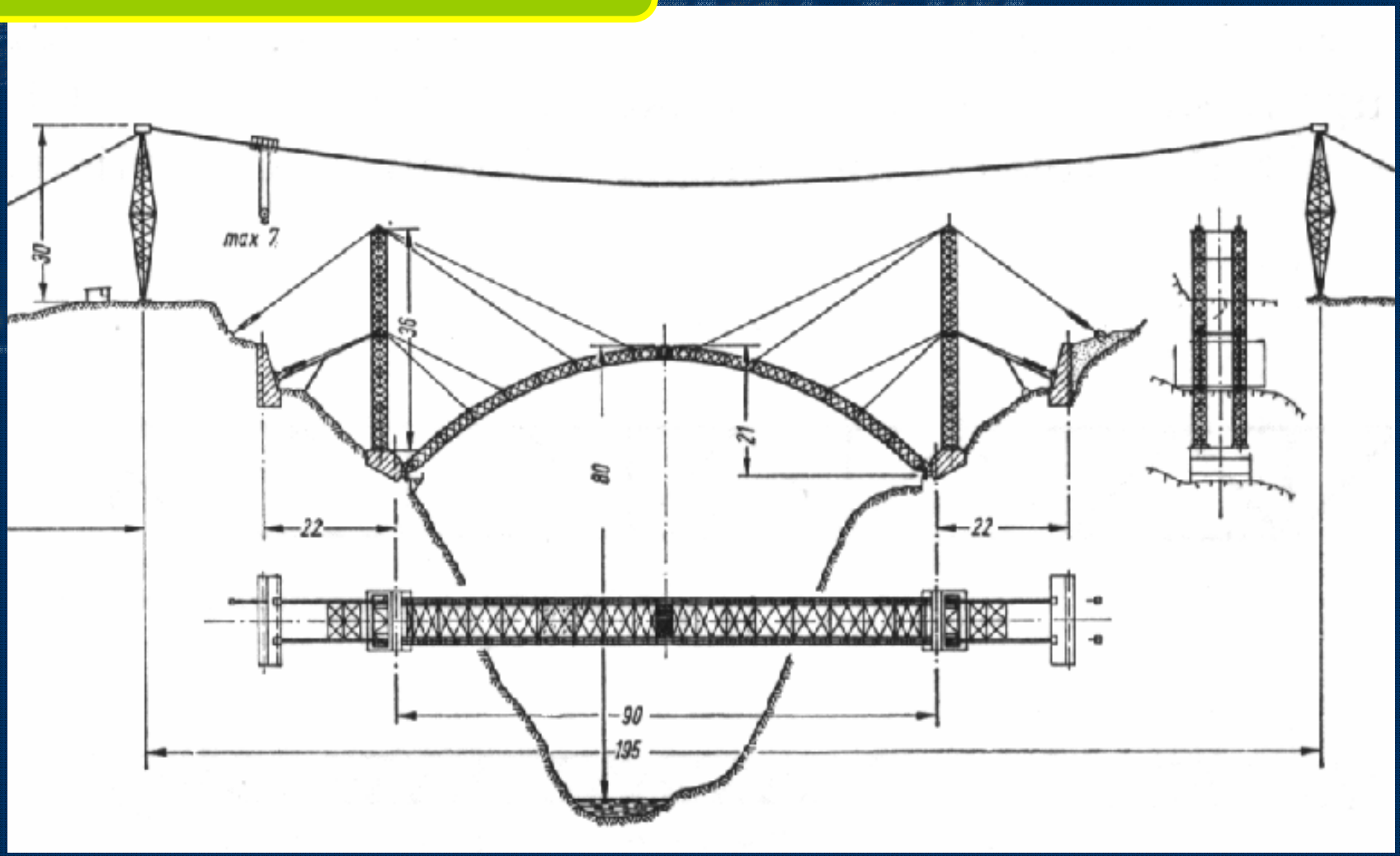
GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA – IZVEDBE NA SKELI

Skela bez međuoslonaca



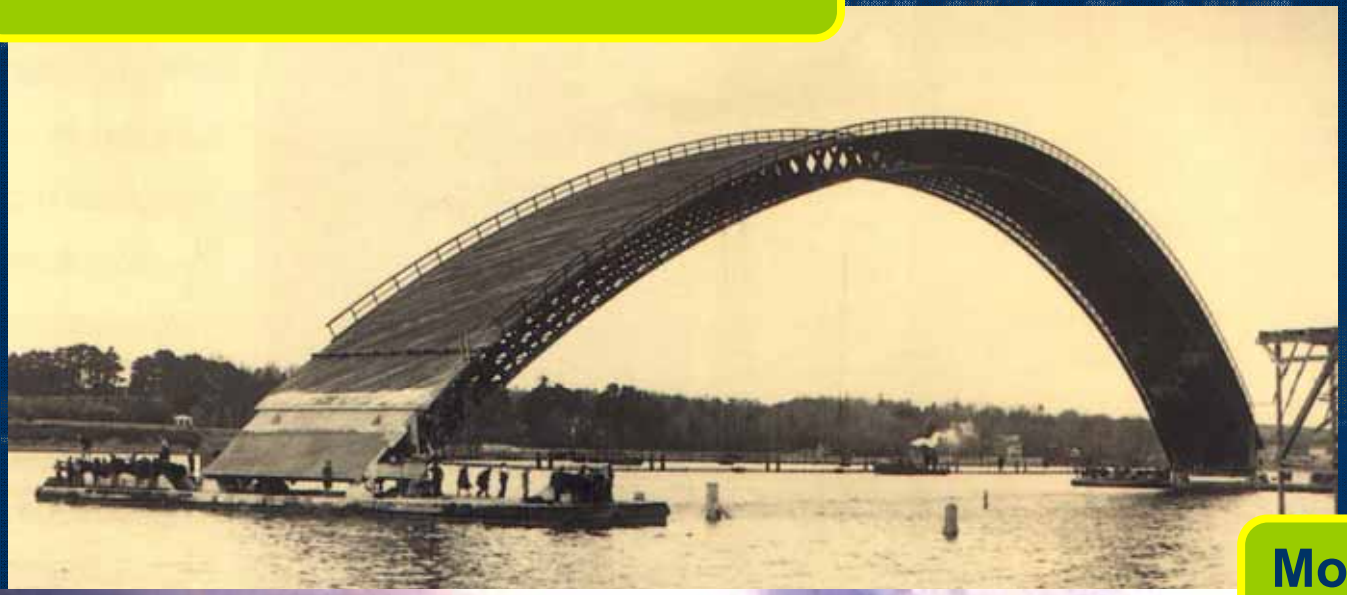
GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA – IZVEDBE NA SKELI

Skela bez međuoslonaca

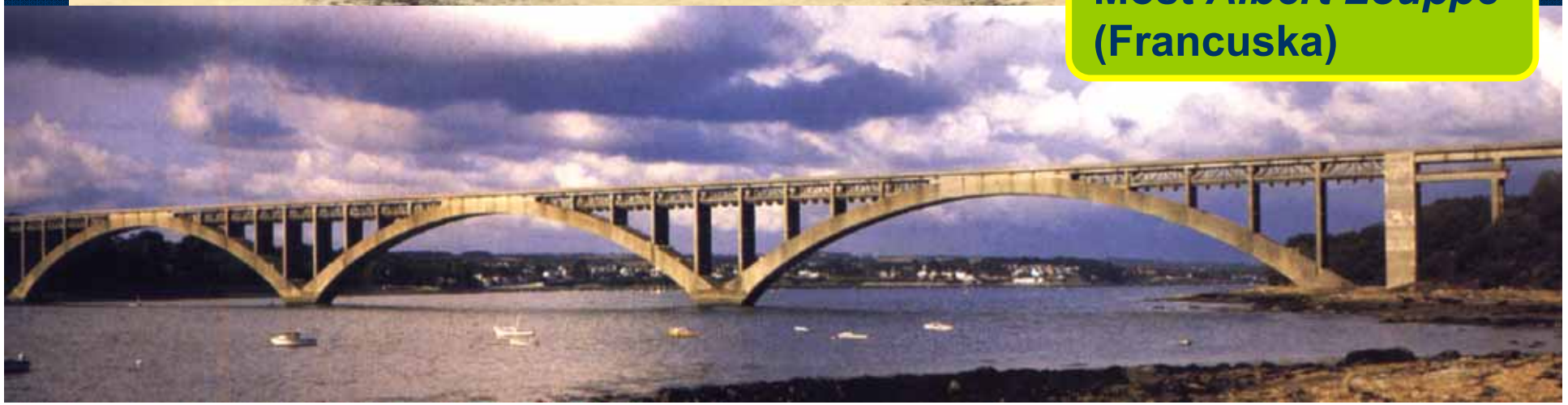


GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA – IZVEDBE NA SKELI

Skela bez međuoslonaca

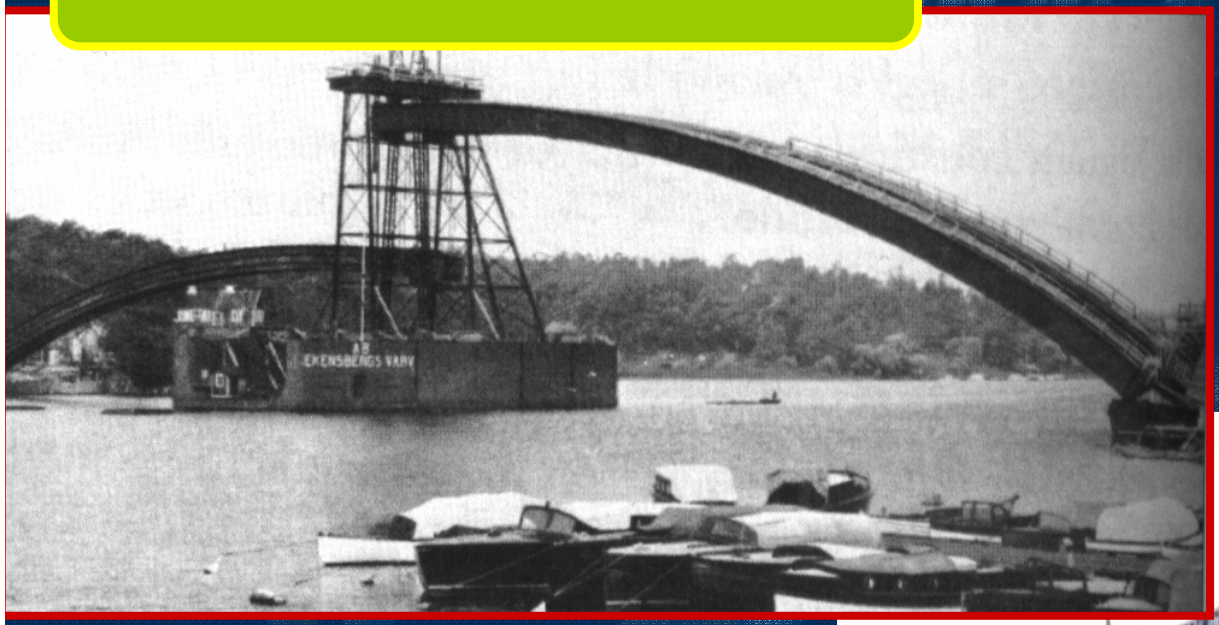


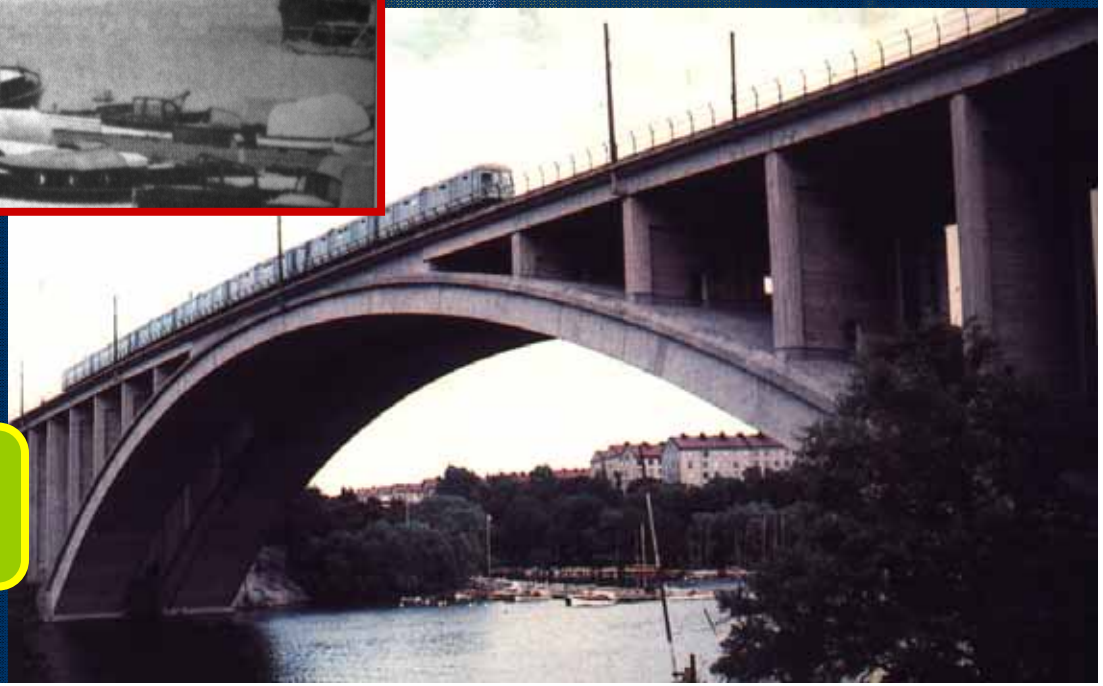
Most *Albert Louppe* (Francuska)



GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA – IZVEDBE NA SKELI

Skela bez međuoslonaca

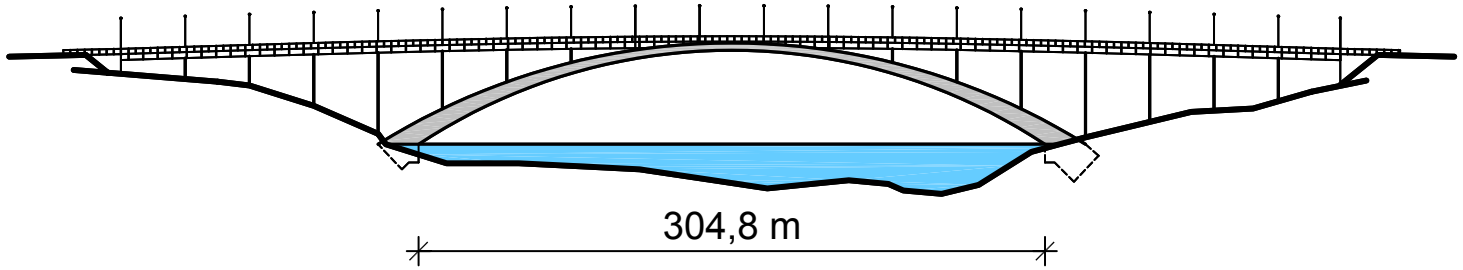


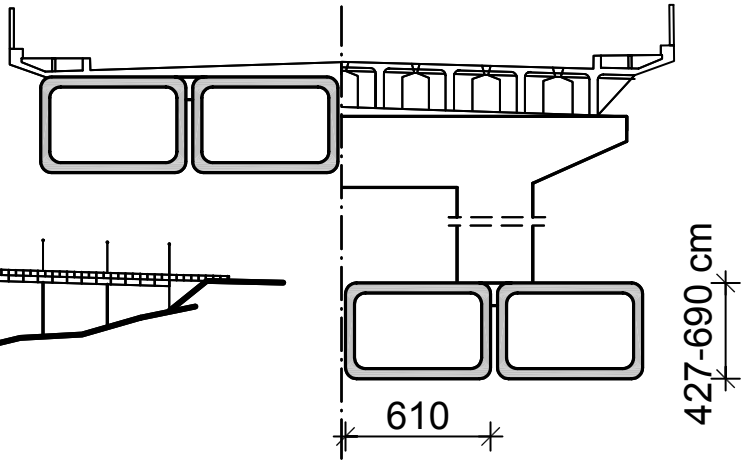


Most *Traneberg* (Švedska)

GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA – IZVEDBE NA SKELI

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

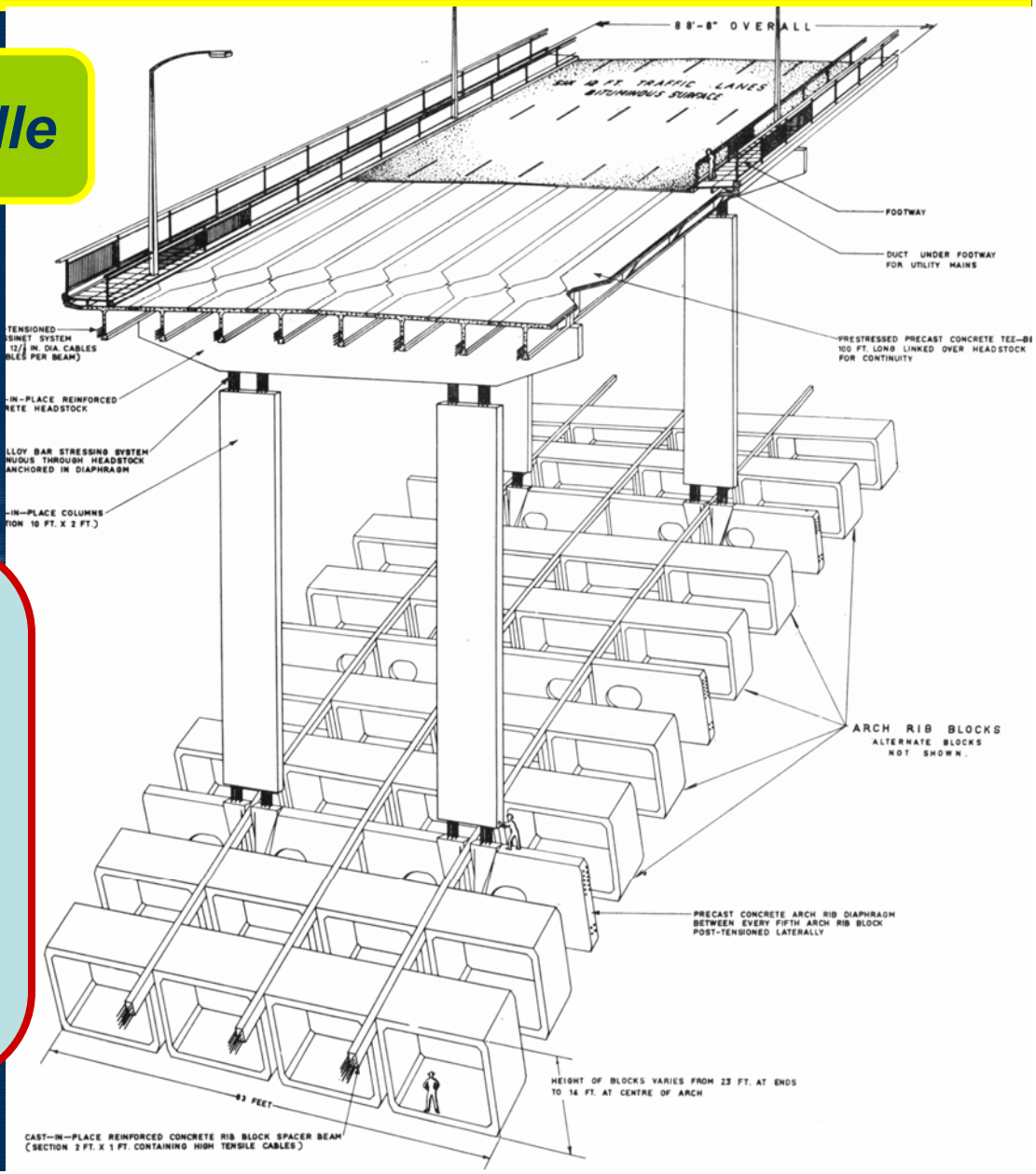






GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA – IZVEDBE NA SKELI

Izvedba mosta *Gladesville*



4 šuplja usporedna luka od montažnih odsječaka

Izvođeni jedan po jedan na istoj skeli

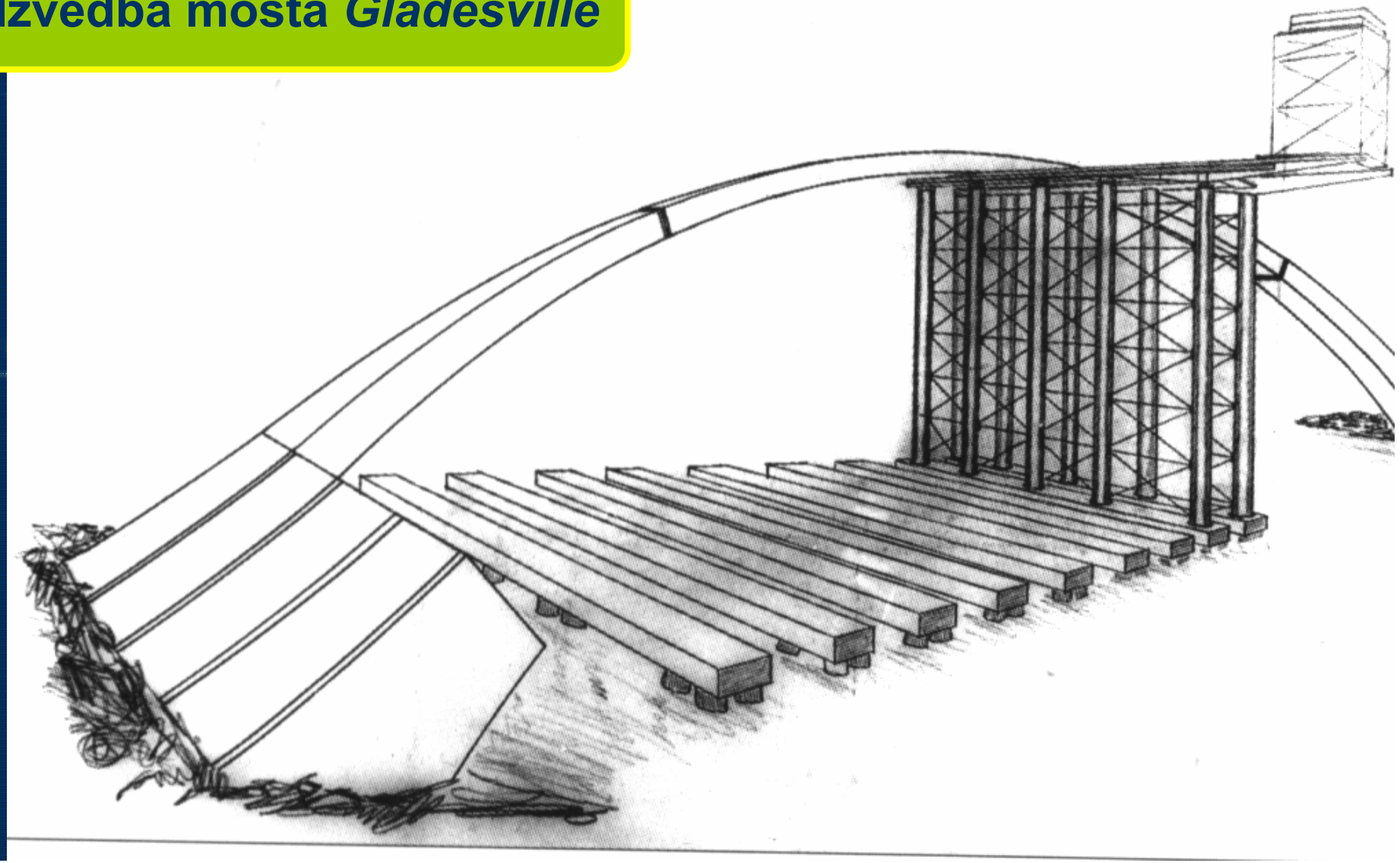
GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA – IZVEDBE NA SKELI

Izvedba mosta *Gladesville*



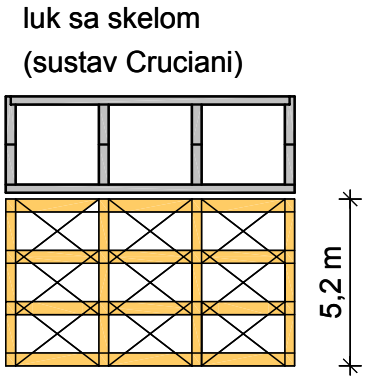
GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA – IZVEDBE NA SKELI

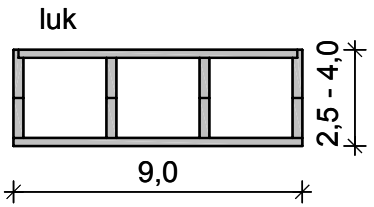
Izvedba mosta *Gladesville*

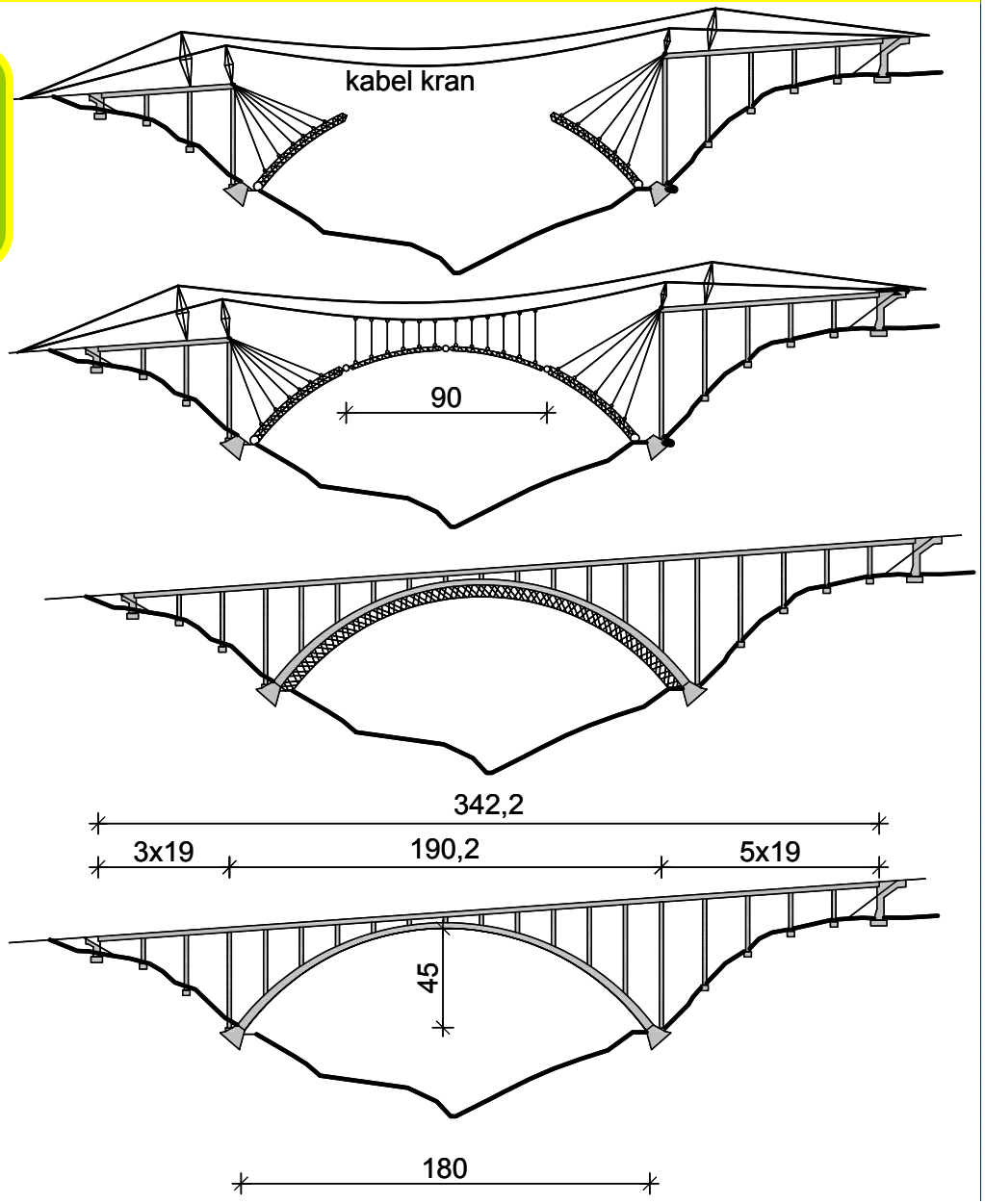


GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA – IZVEDBE NA SKELI

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







GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA – IZVEDBE NA SKELI

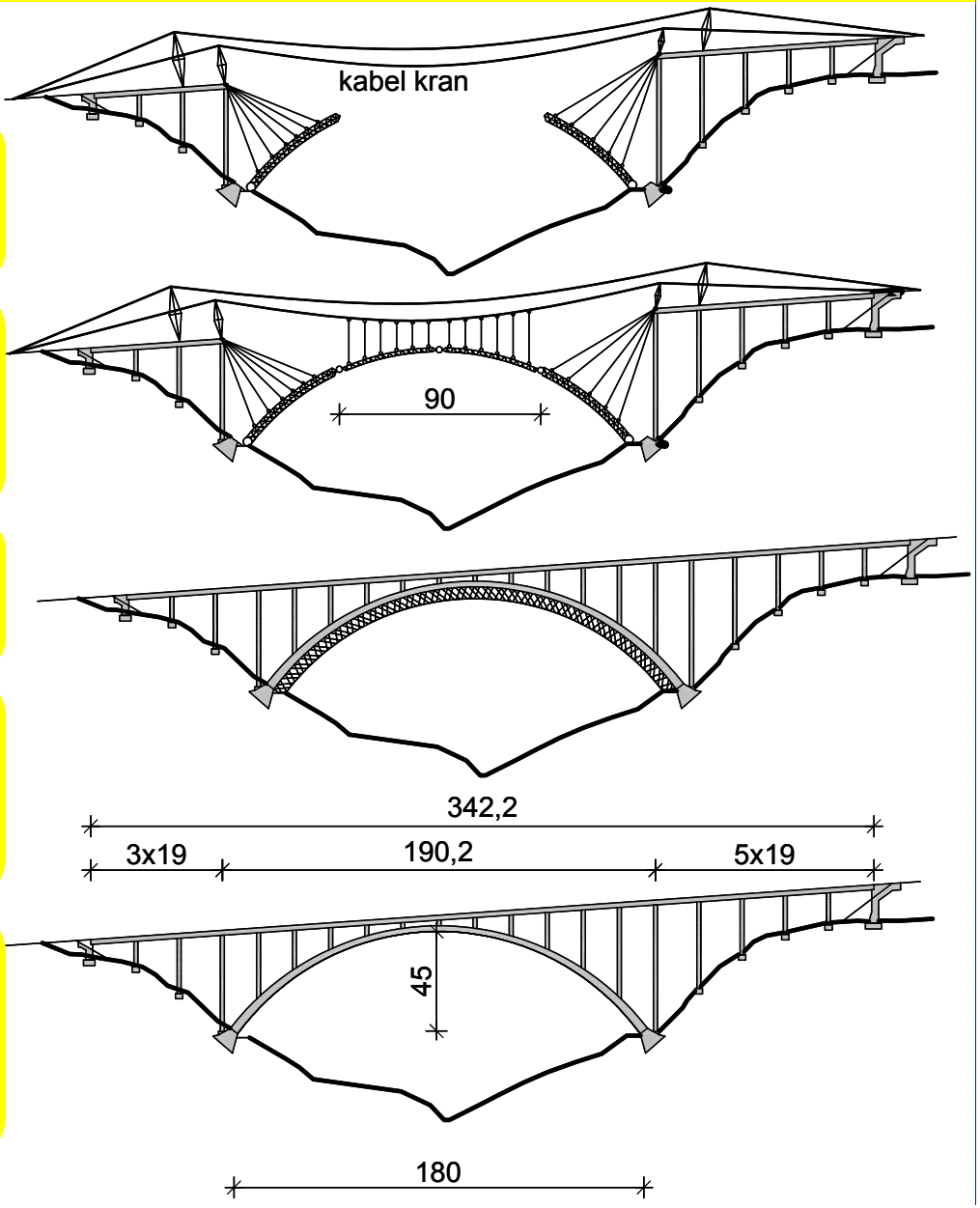
1.dvokatni petni dio skele

2.priključene jednokatne rešetke, pridržane privremenim vješaljkama

3.središnjim rešetkama dodan je kat da postanu samonoseće

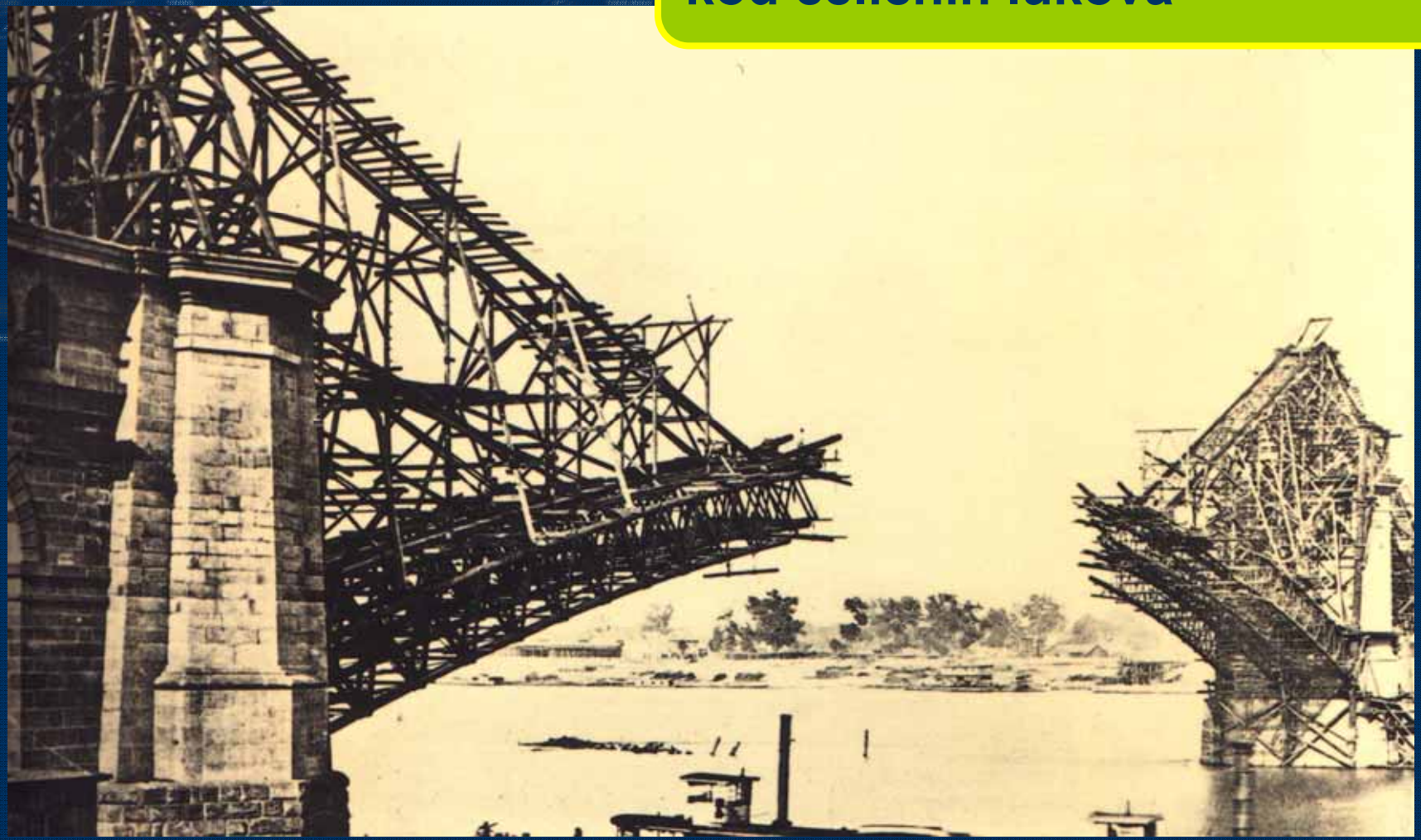
4.po zatvaranju privremenih zglobova dodan je treći kat kompletnoj rešetci

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



GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA – KONZOLNA IZVEDBA

Prvenstveno primjenjivana kod čeličnih lukova



GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA – KONZOLNA IZVEDBA

Prvenstveno primjenjivana kod čeličnih lukova



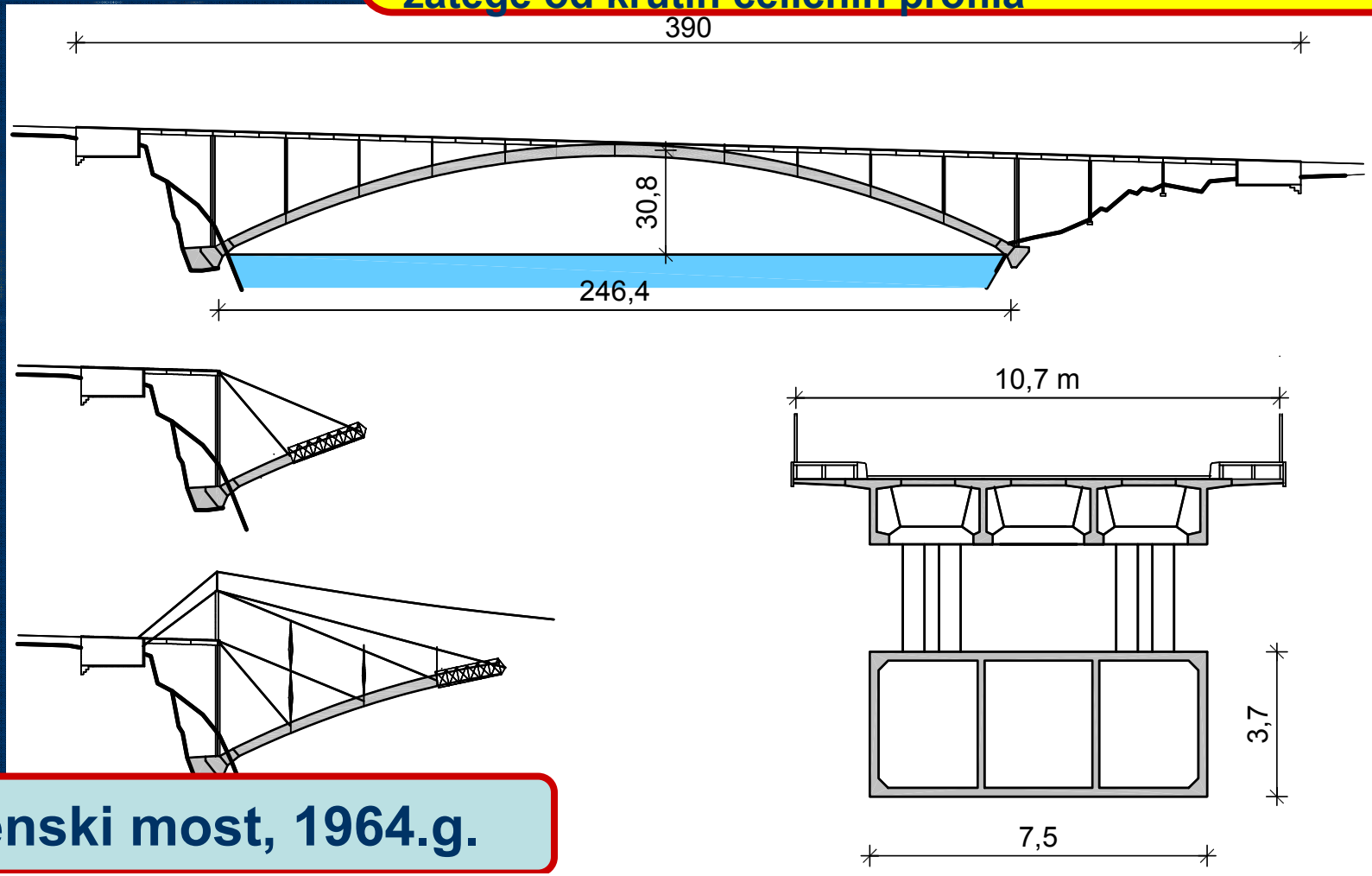
GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA – KONZOLNA IZVEDBA

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



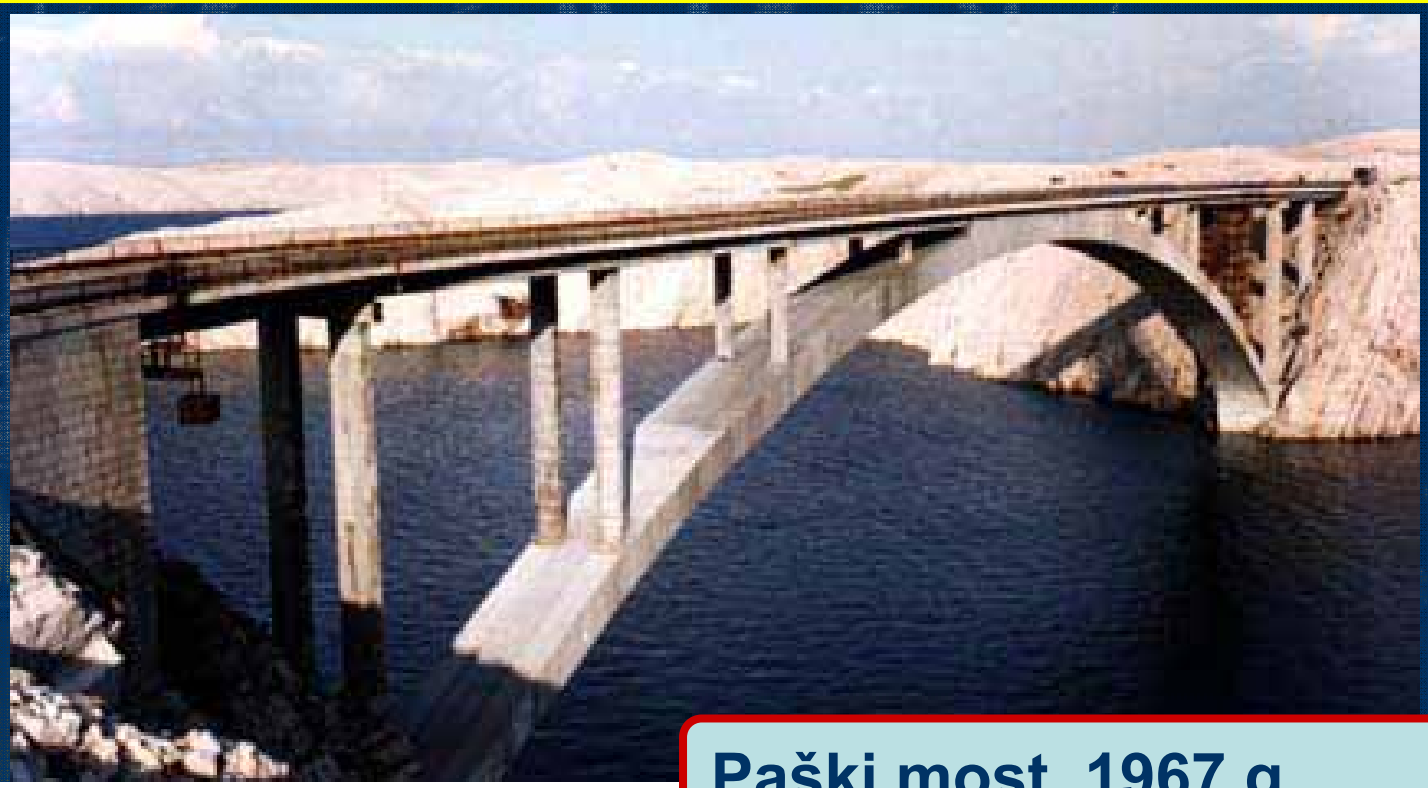
GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA – PRVE KONZOLNE IZVEDBE LUKOVA

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

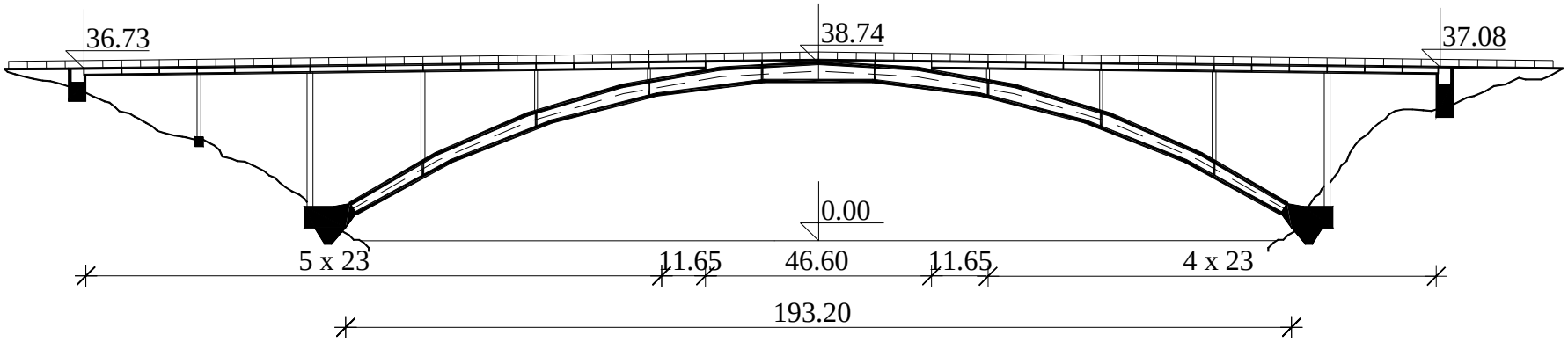


Šibenski most, 1964.g.

GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA – PRVE KONZOLNE IZVEDBE LUKOVA



Paški most, 1967.g.



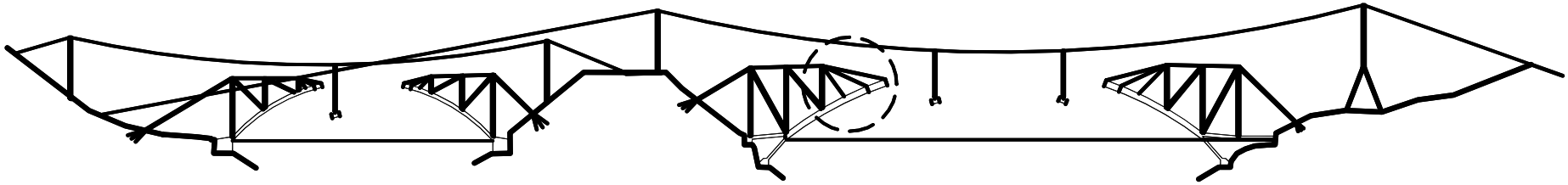
GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA – KONZOLNA IZVEDBA FORMIRANJEM REŠETKE

Istodobno građenje luka i nadlučnog sklopa

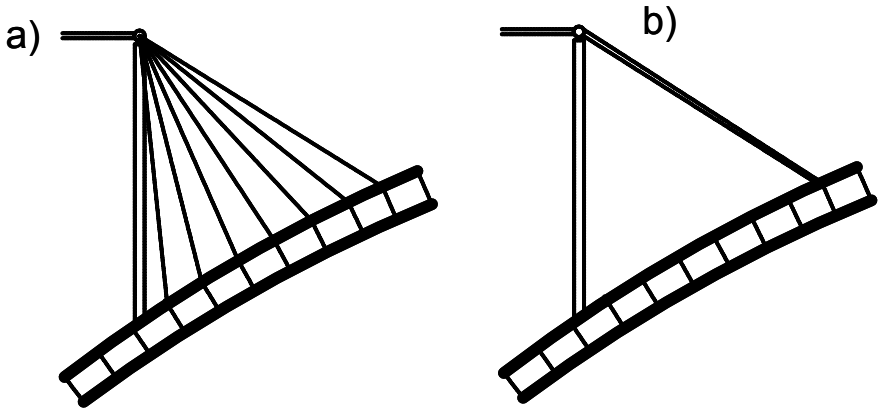
- uključivanje djelova u zajedničko nošenje već tijekom gradnje
- skraćenje trajanja građenja

Postupna izvedba rešetkaste konzole:

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

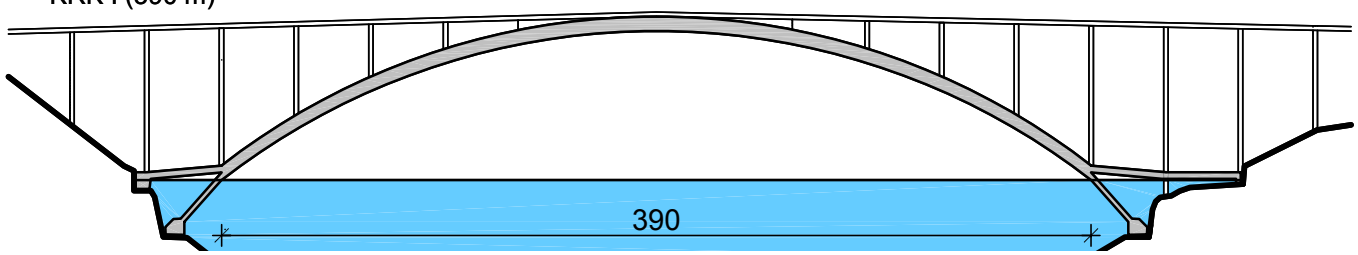


Krčki most, 1981.g.

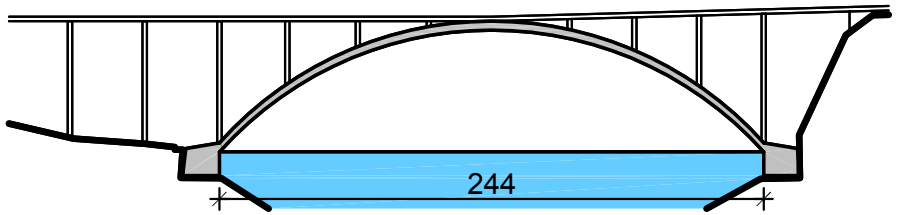


GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA – KONZOLNA IZVEDBA FORMIRANJEM REŠETKE

KRK I (390 m)

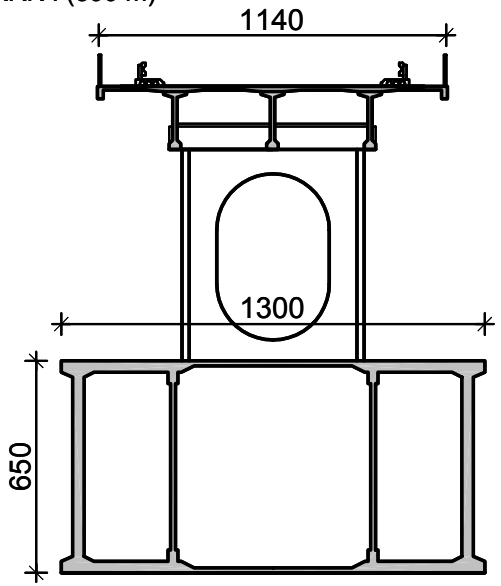


KRK II (244 m)

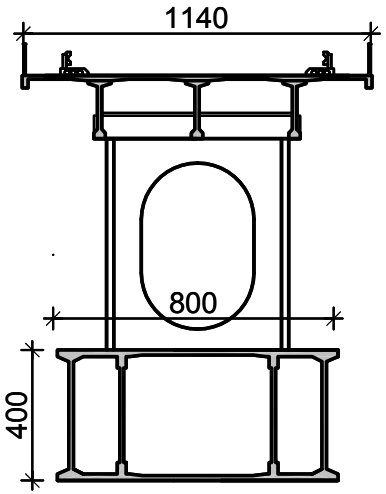


Luk se gradio postupnim formiranjem poprečnog presjeka

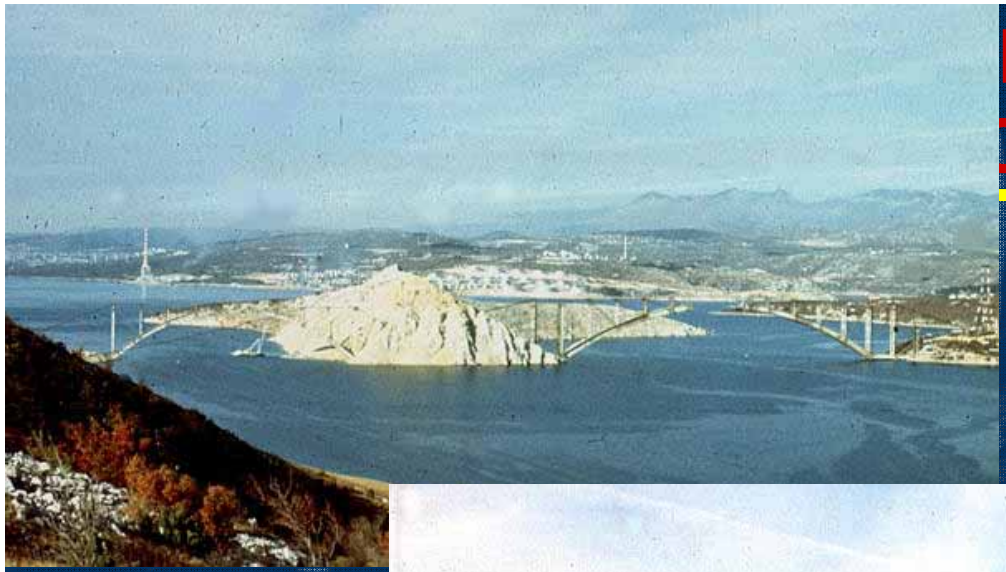
KRK I (390 m)



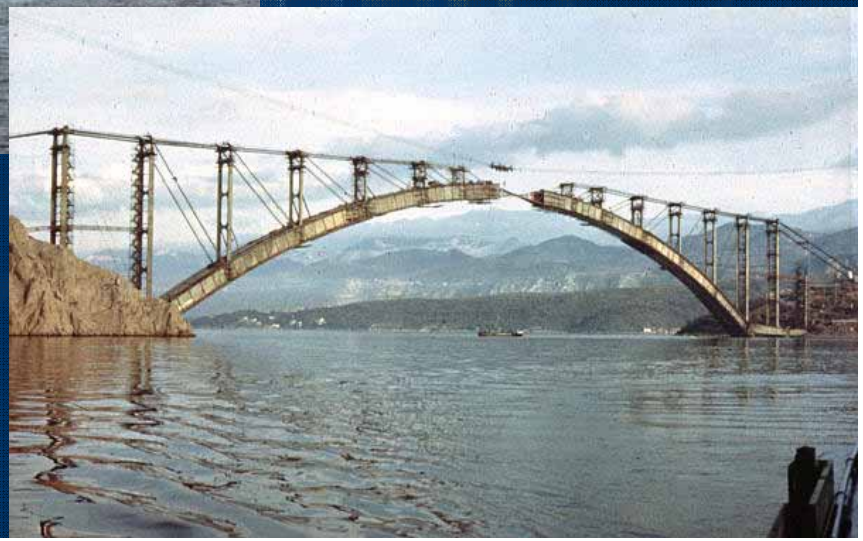
KRK II (244 m)

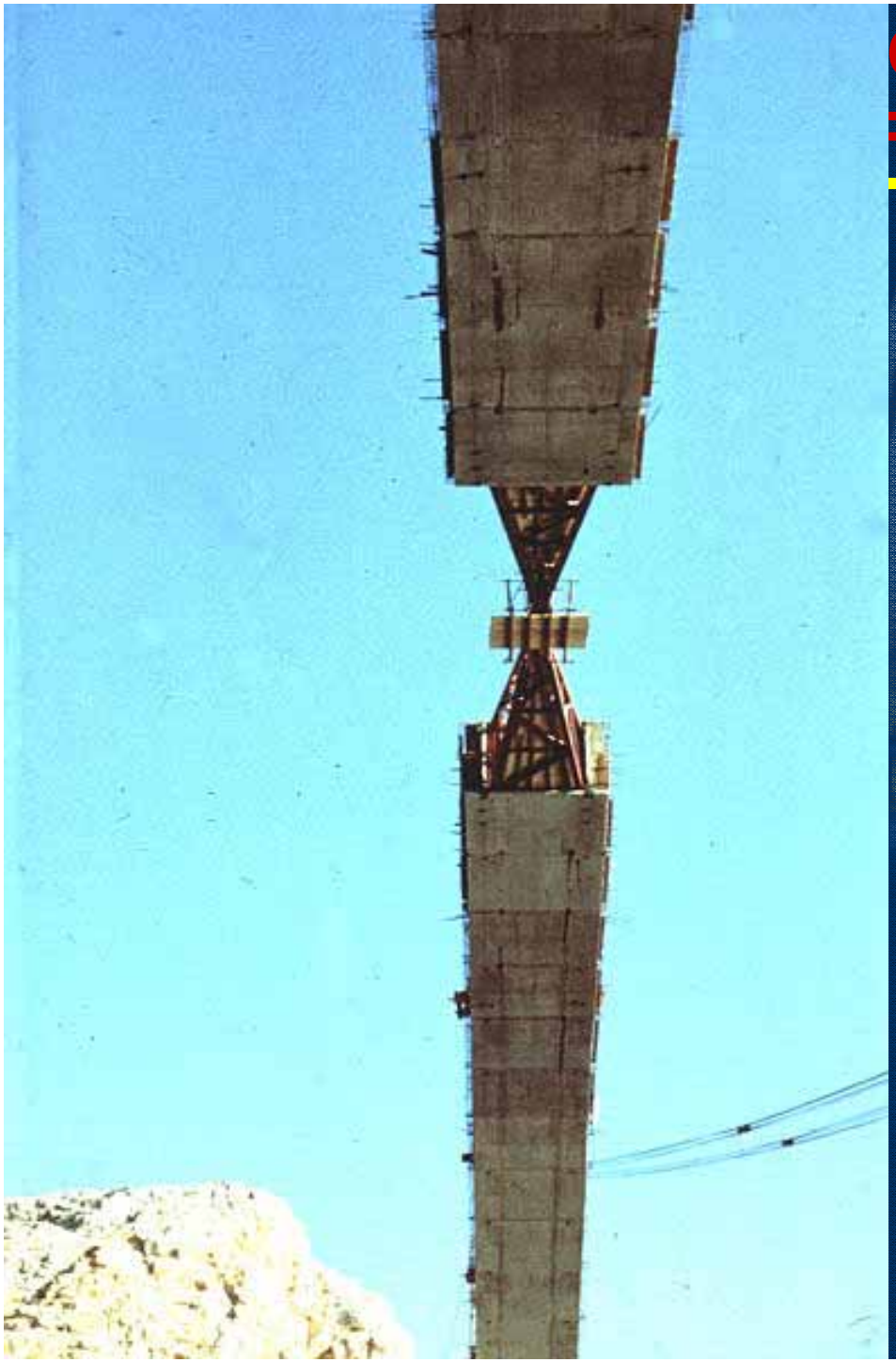


NIH MOSTOVA
ORMIRANJEM REŠETKE









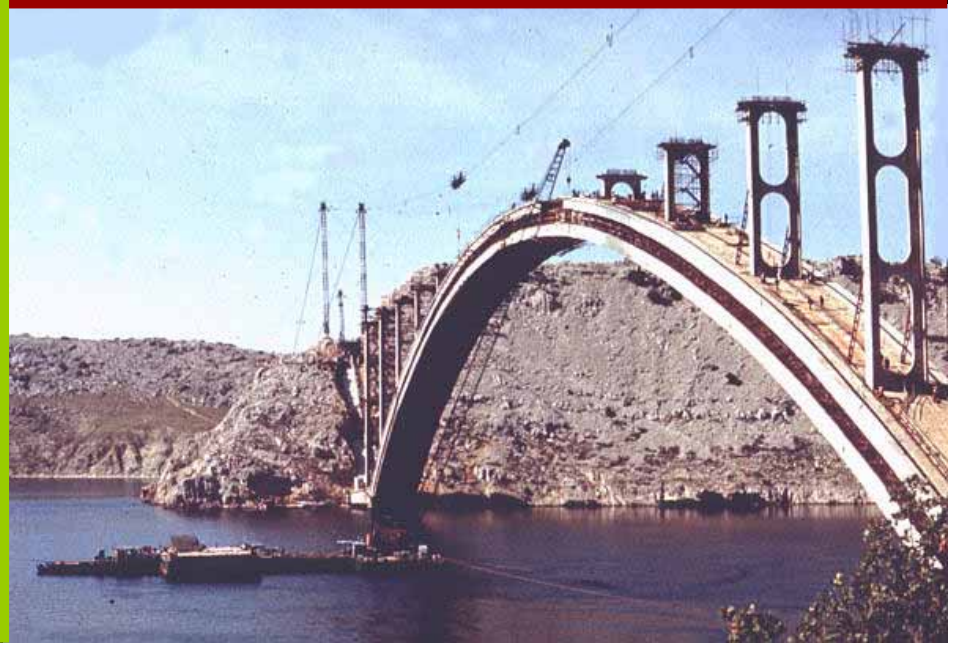


GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA – KONZOLNA IZVEDBA FORMIRANJEM REŠETKE



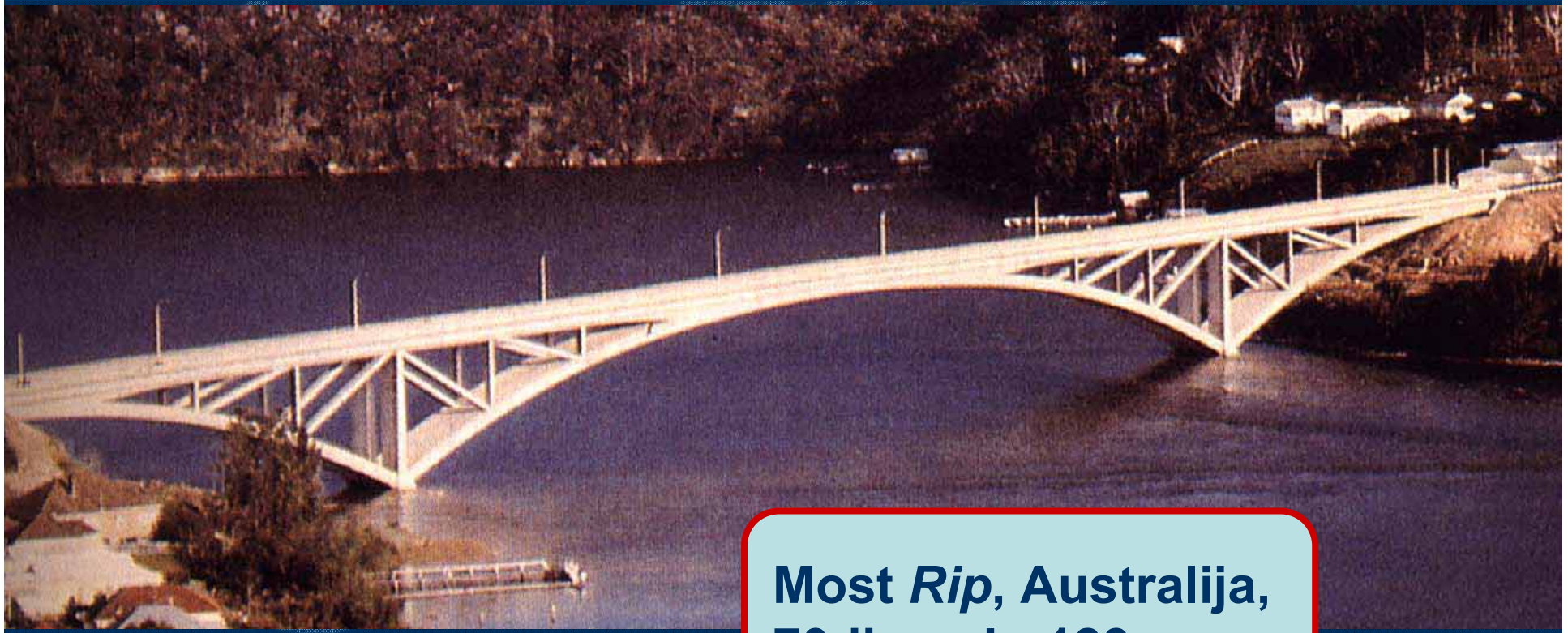






GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA – KONZOLNA IZVEDBA FORMIRANJEM REŠETKE

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



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

GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA – KINESKI MOSTOVI S KRUTOM ARMATUROM

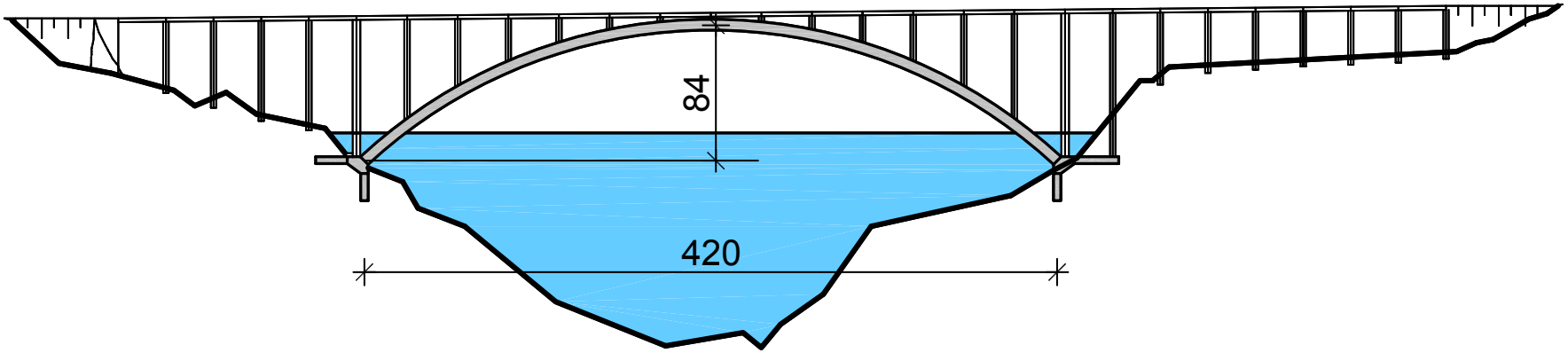
1. Konzolnom montažom sa zategama izvodi se rešetkasti luk od šupljih čeličnih cijev.

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.

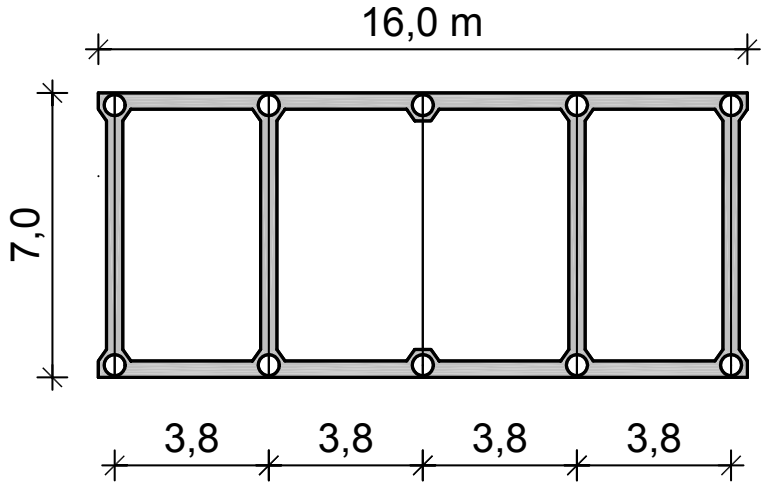
3. Na ispunjenu rešetku povećane nosivosti vješa se skela na kojoj se betonira luk. Rešetkasti sklop ostaje ubetoniran, kao kruta armatura.

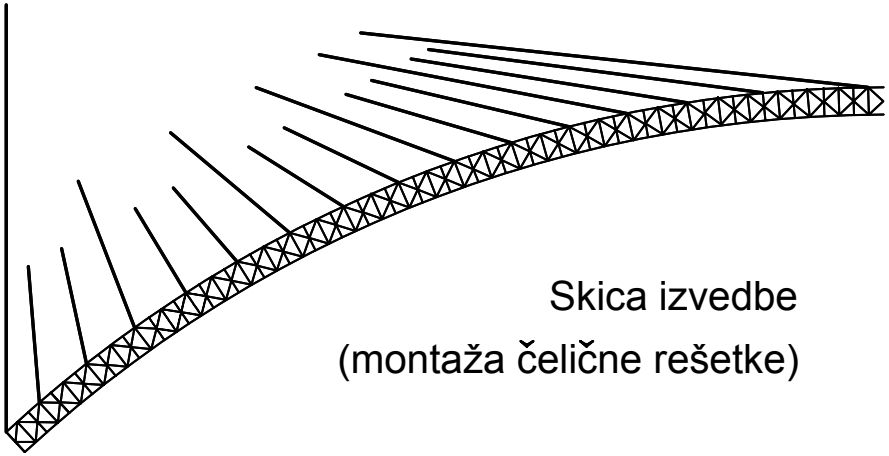
4. Po dovršenju luka nad njim se izvodi rasponski sklop.

GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA – KINESKI MOSTOVI S KRUTOM ARMATUROM



Presjek luka

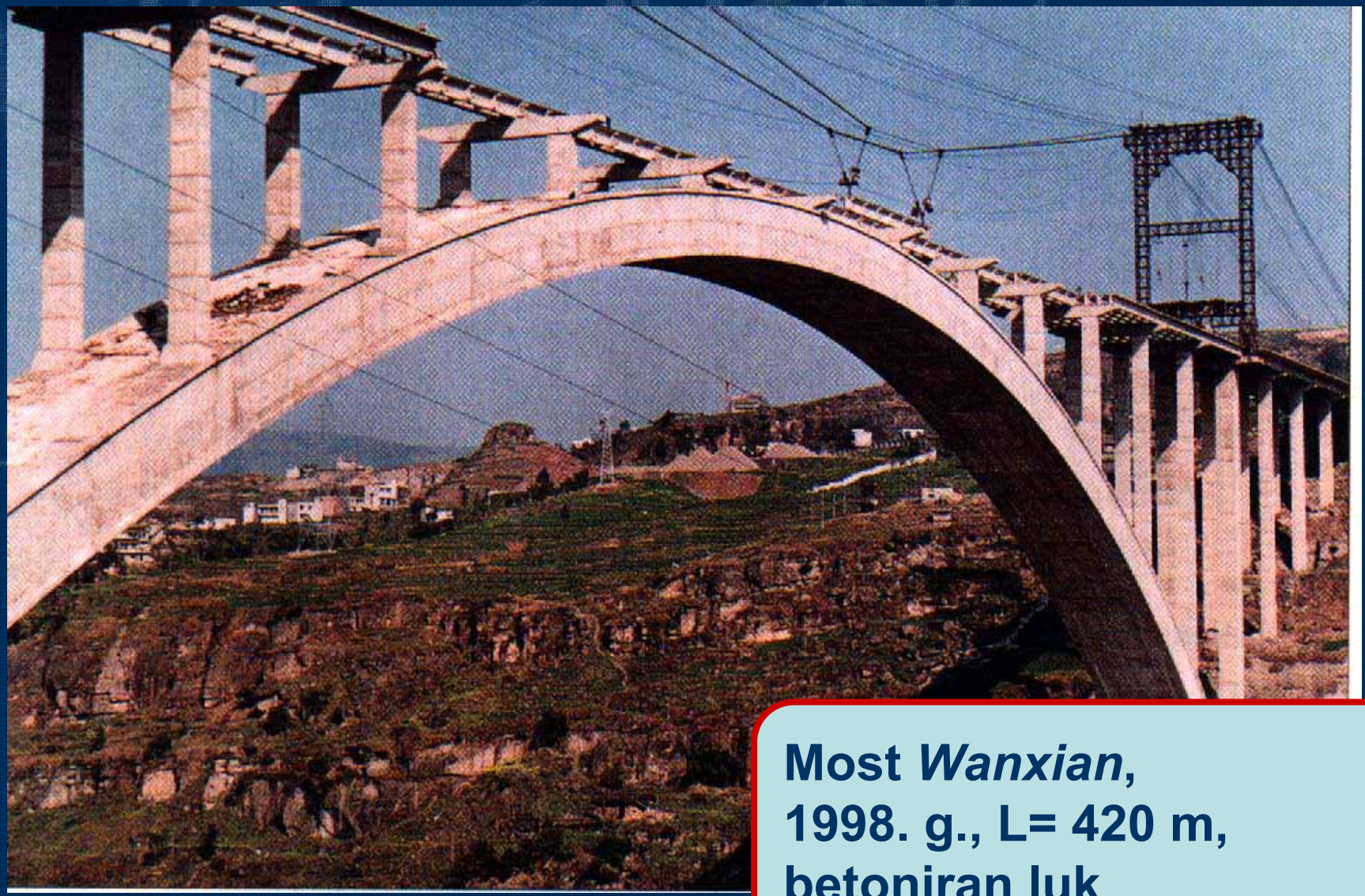




Skica izvedbe
(montaža čelične rešetke)

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

GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA – KINESKI MOSTOVI S KRUTOM ARMATUROM

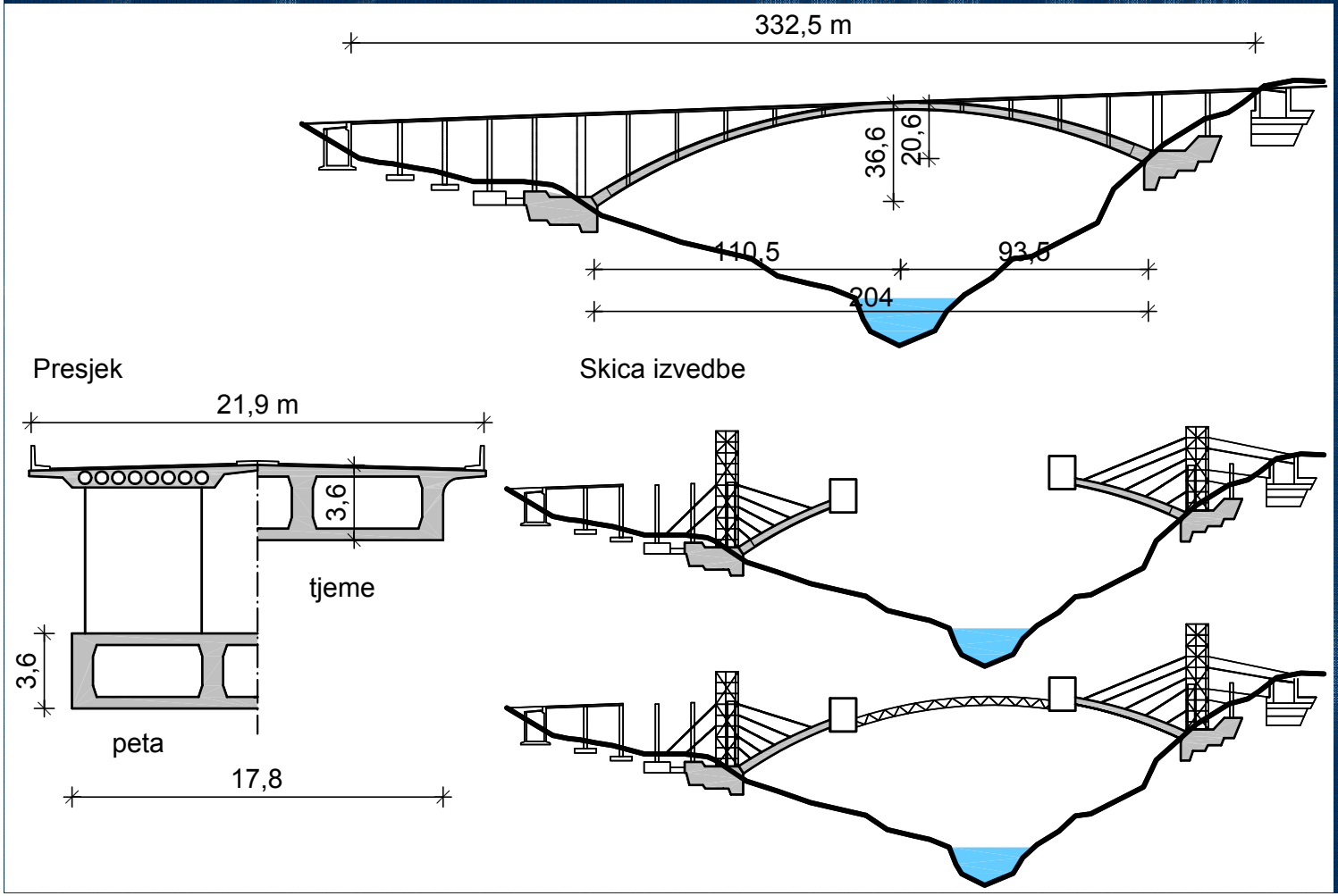


Most *Wanxian*,
1998. g., L= 420 m,
betoniran luk

GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA – 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)

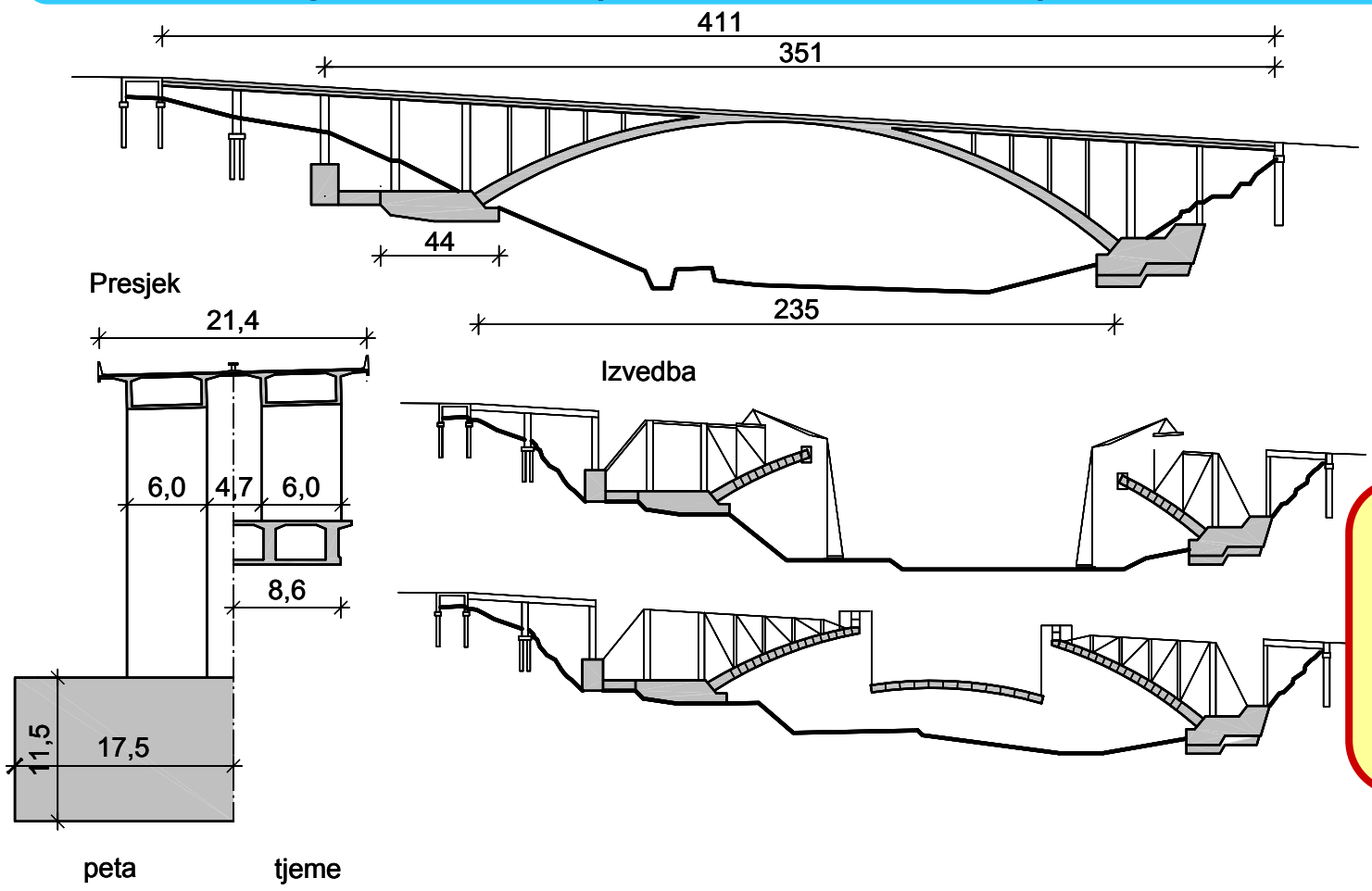


Most *Usugawa*, 1982. g., L= 204 m

GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA – 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

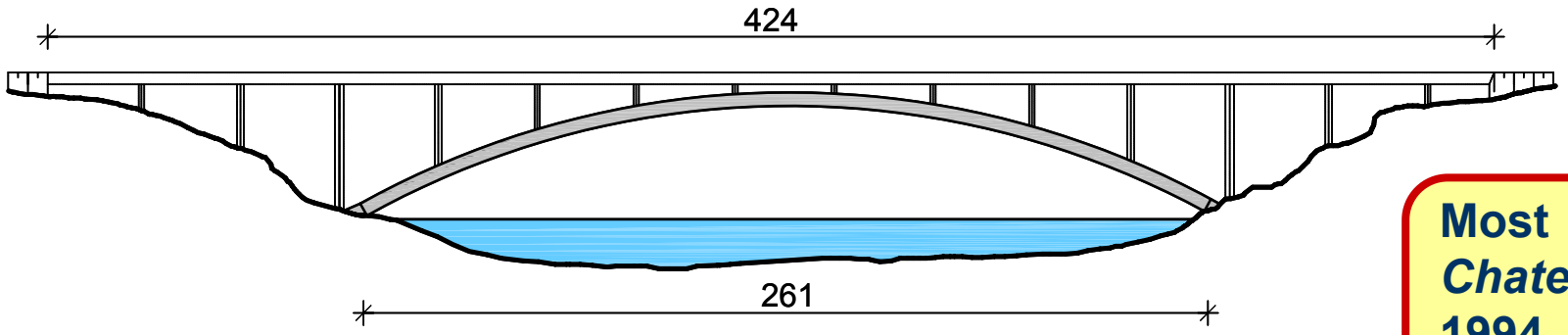
GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA

– FRANCUSKI MOSTOVI SA SPREGNUTIM NADLUČNIM SKLOPOM

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

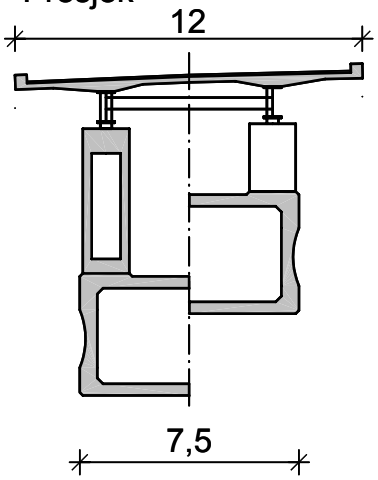
Središnji dijelovi lukova – konzolnim postupkom, s privremenim pilonom nad pomoćnim stupom i s pomoćnim zategama.

Nadlučni sklop – potiskivanjem s jedne obale.

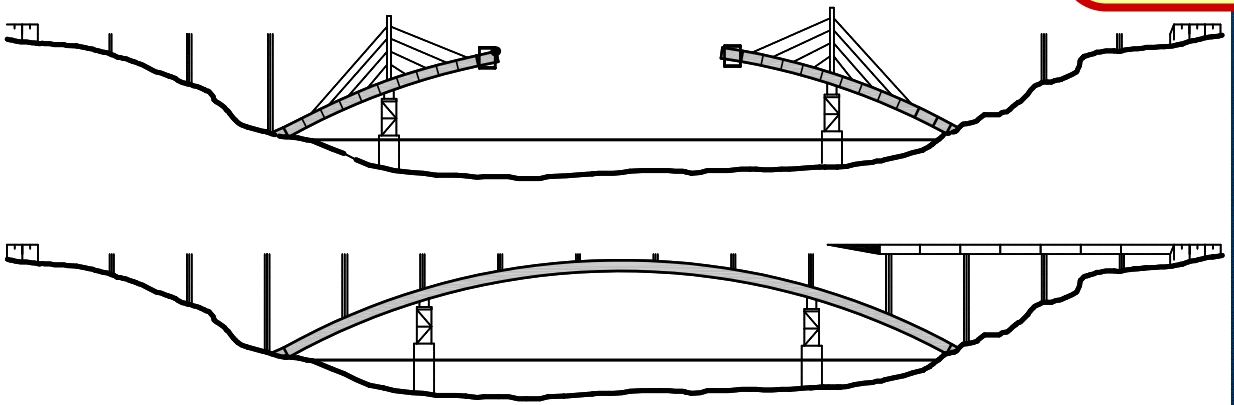


Most *Chateaubriand*, 1994. g., L= 261 m

Presjek



Skica izvedbe

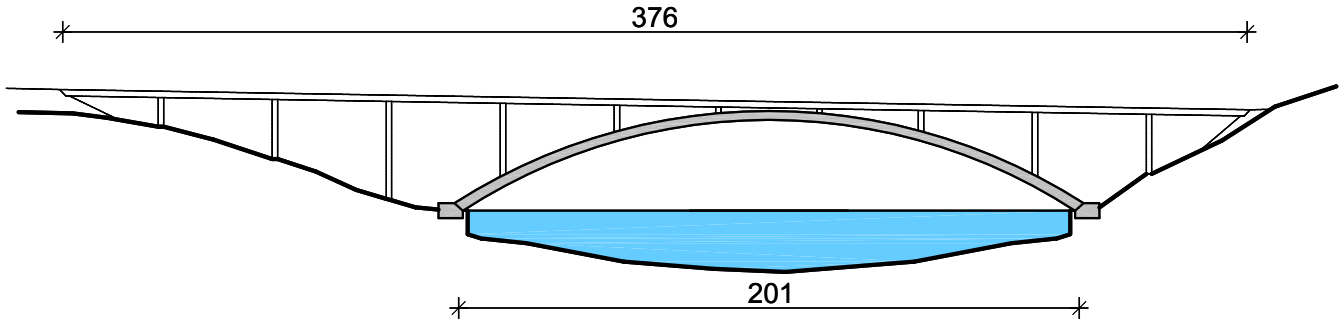


GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA

FRANCUSKI MOSTOVI SA SPREGNUTIM NADLUČNIM SKLOPOM

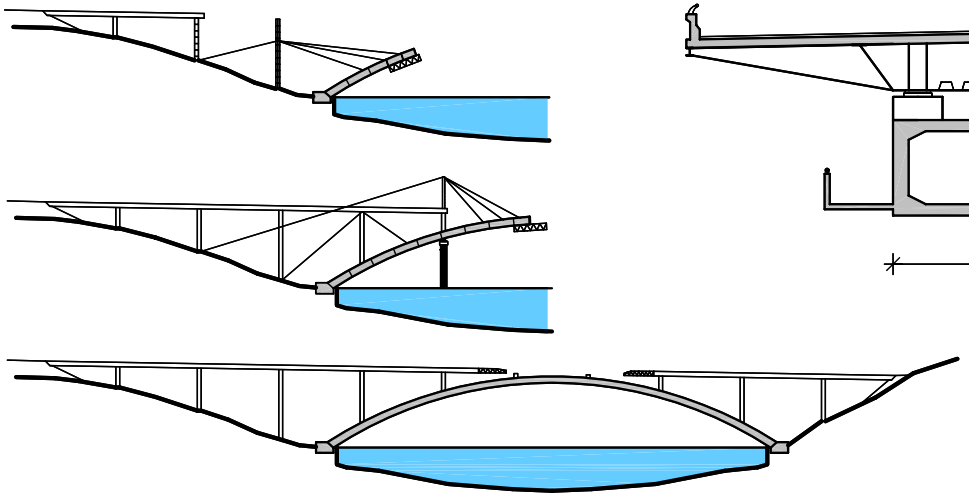
Peta luka – konzolnim postupkom uz podupiranje do drugog nadlučnog stupa (privremeni stupovi na 46 m od pete luka).

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

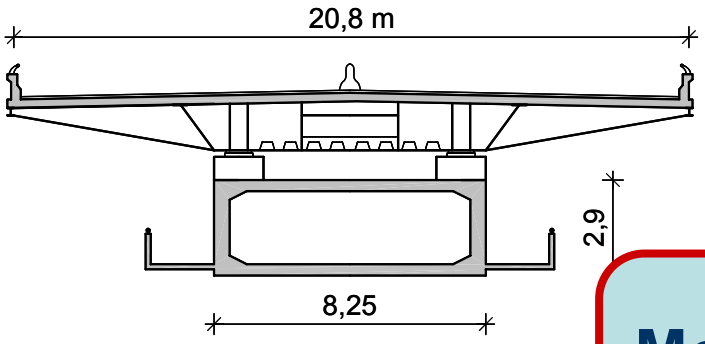


Nadlučni sklop – potiskivanjem s obje obale.

Skica izvedbe



Presjek



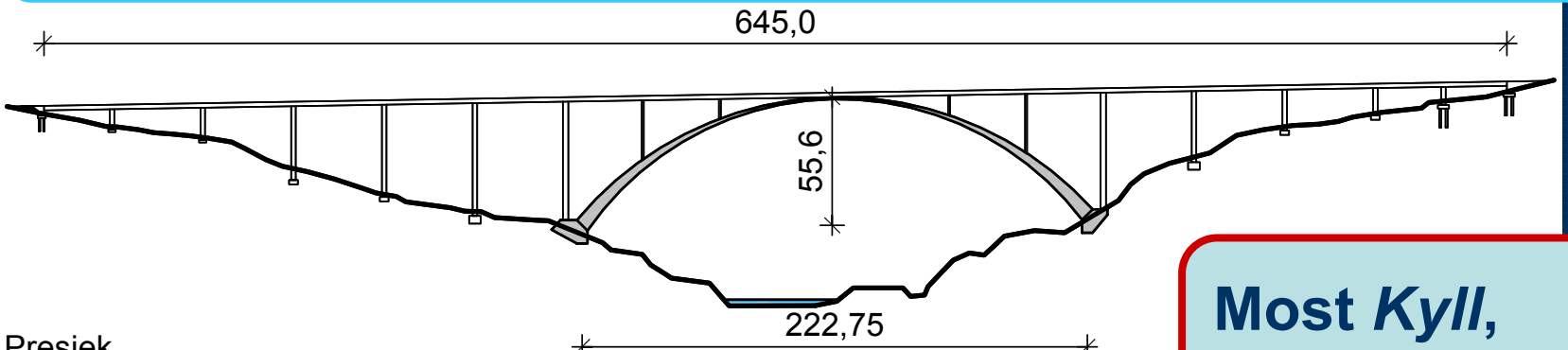
Most *Morbihan*, 1994. g.,L= 201 m

GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA

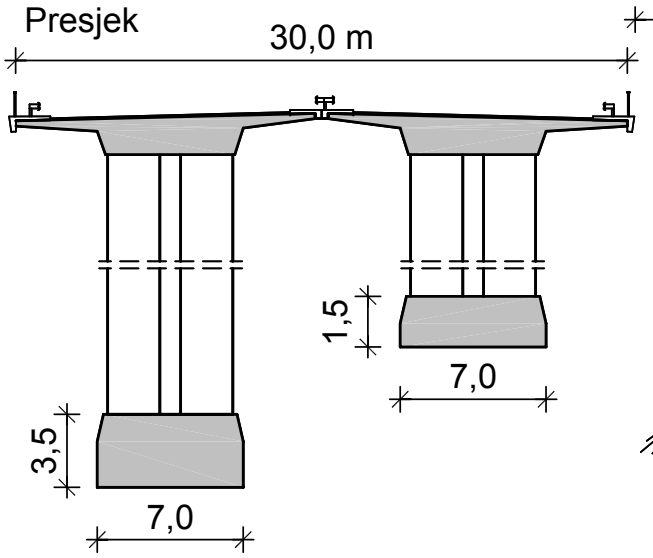
SUVREMENI LUČNI MOSTOVI IZVEDENI KONZOLNIM POSTUPKOM

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

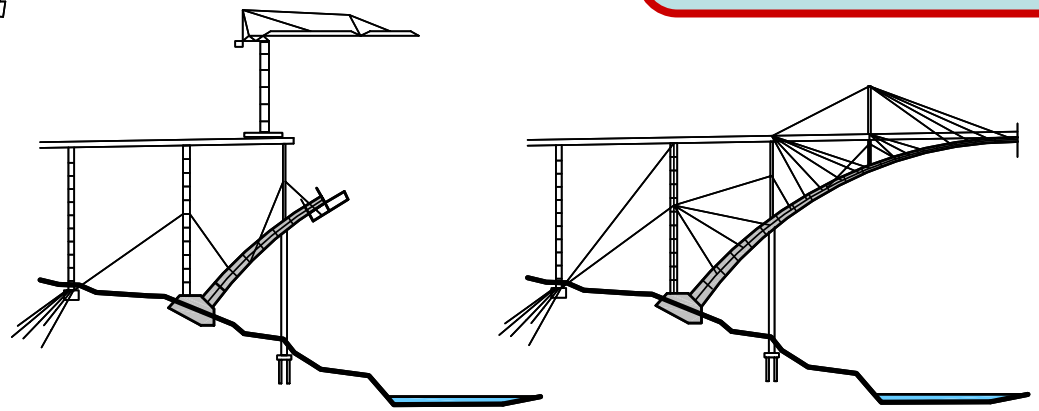
Konzolni postupak s privremenim kosim zategama. Konzole su dodatno poduprte pomoćnim stupovima.



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



Skica izvedbe

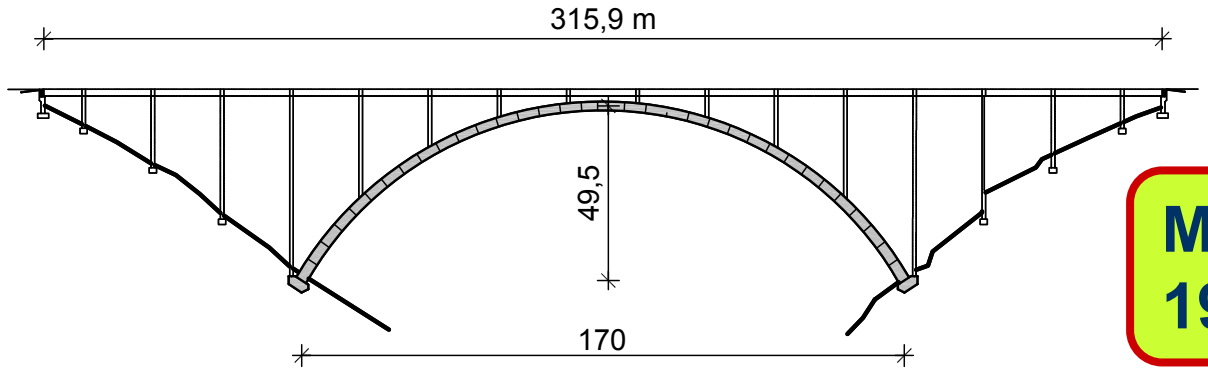


GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA

SUVREMENI LUČNI MOSTOVI IZVEDENI KONZOLNIM POSTUPKOM

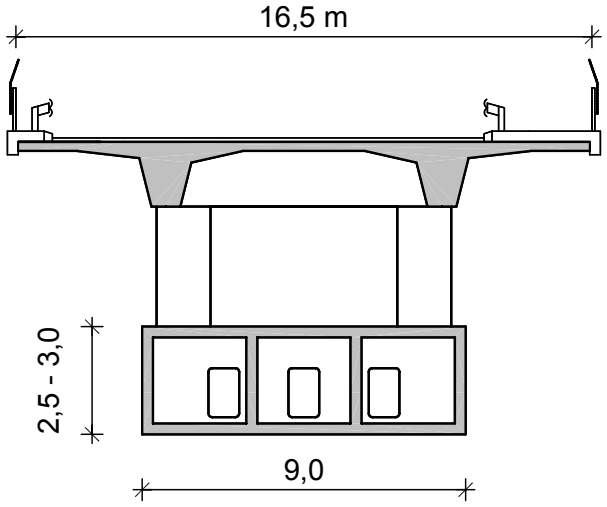
LUK - konzolni postupak s pomoćnim pilonima nad petnim stupovima.

NADLUČNI SKLOP – betoniranjem na mjestu, polje po polje.

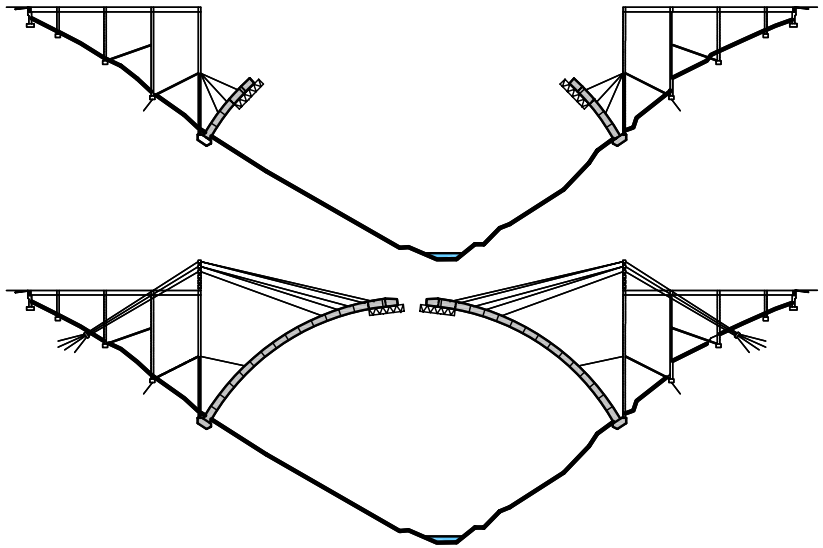


Most *Grosse Mühl*, 1991. g., L= 170 m

Presjek



Skica izvedbe

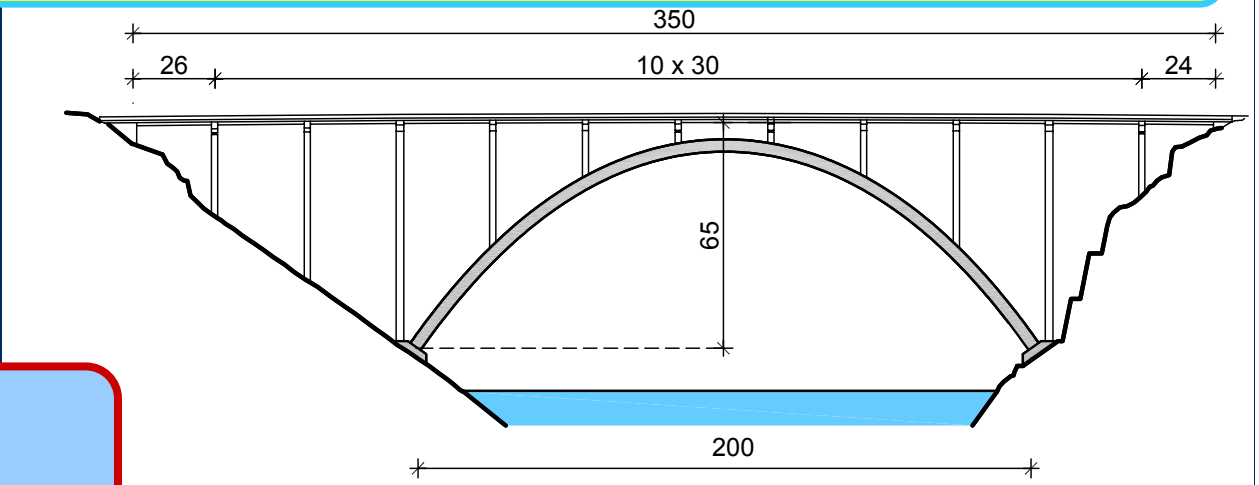


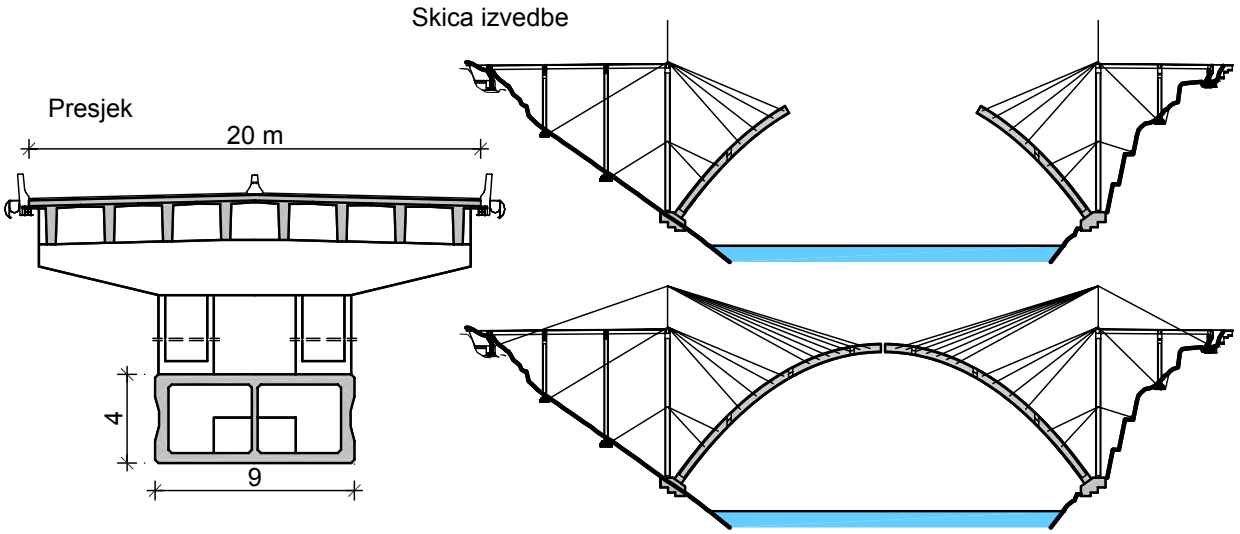
GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA

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



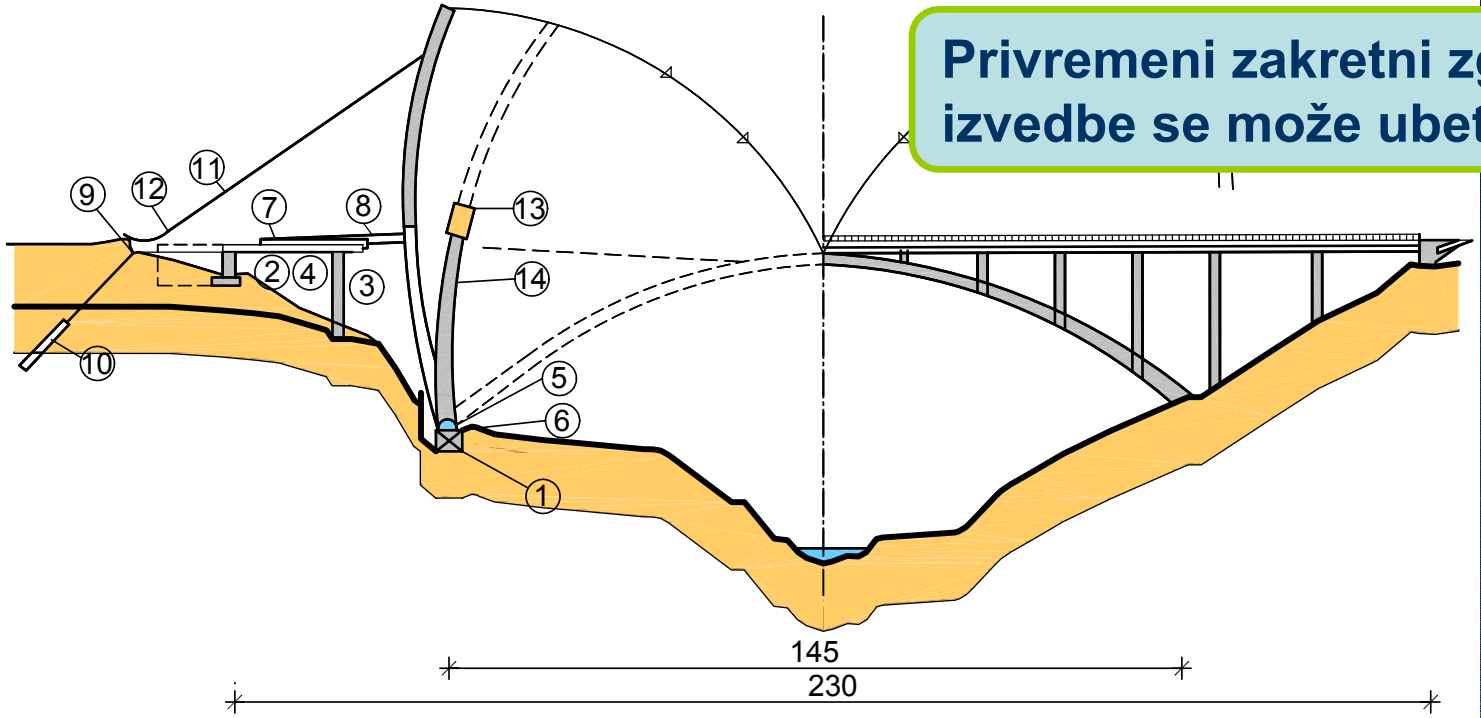


GRAĐENJE LUČNIH MOSTOVA

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
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)

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



- PRORAČUN I ARMIRANJE

PRORAČUN I ARMIRANJE LUČNIH MOSTOVA

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

PRORAČUN I ARMIRANJE LUČNIH MOSTOVA

MODELIRANJE ZA PRORAČUN

Nosivi sklop lučnog mosta čine

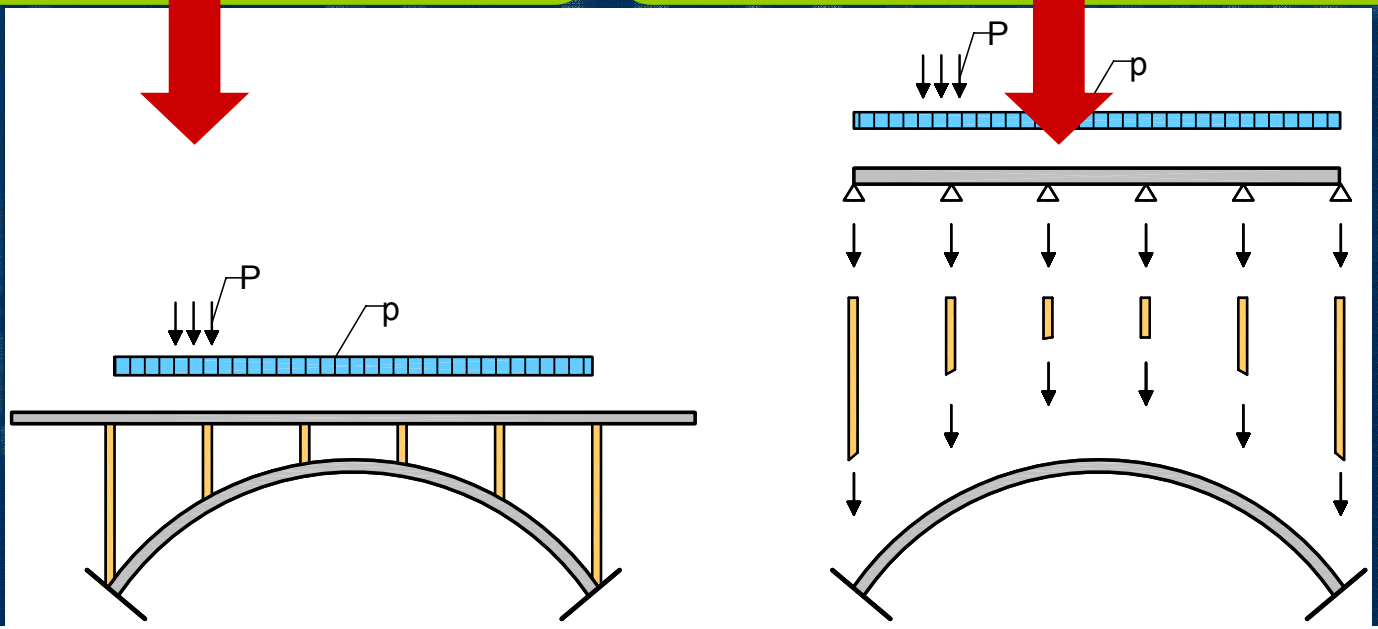
Osnovni lučni ili svođeni nosač

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



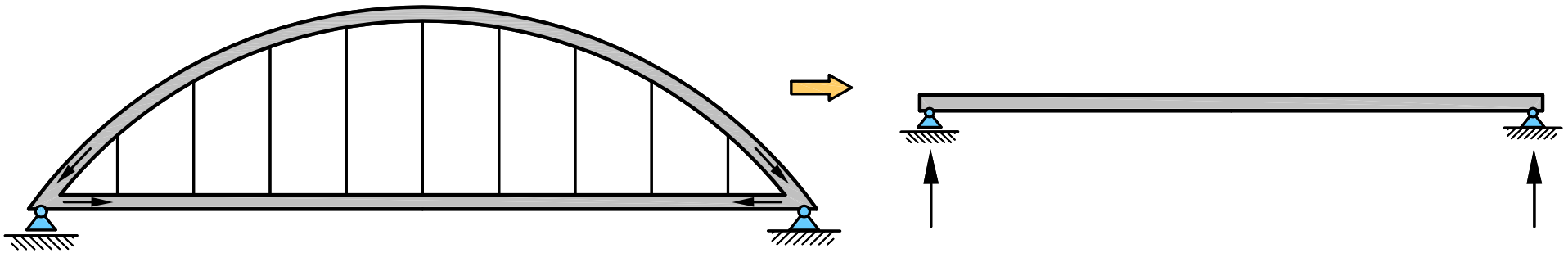
PRORAČUN I ARMIRANJE LUČNIH MOSTOVA

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



PRORAČUN I ARMIRANJE LUČNIH MOSTOVA

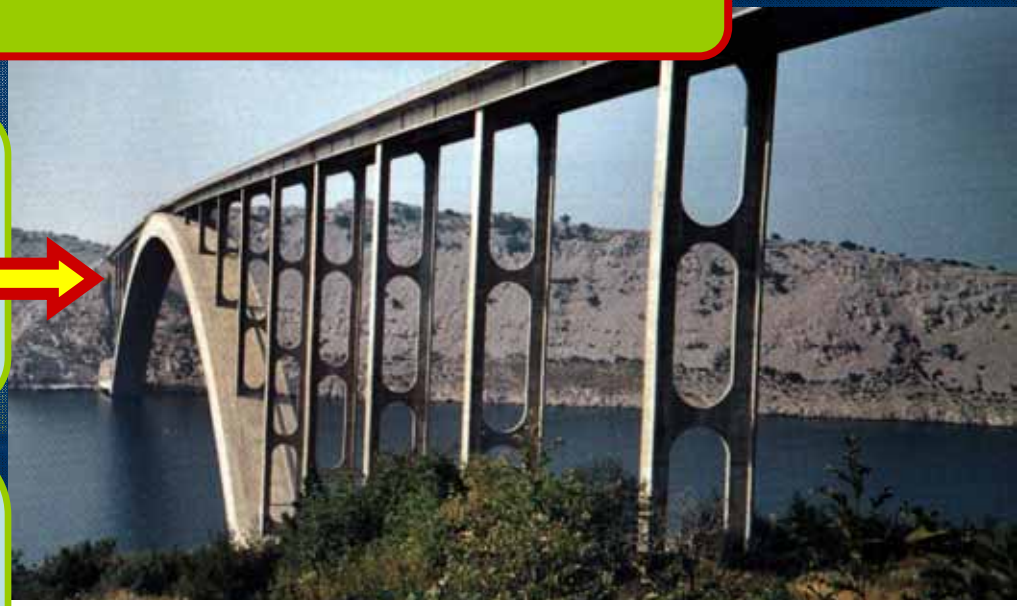
MODELIRANJE ZA PRORAČUN

Tri skupine upetih lukova prema odnosu krutosti luka i krutosti grede

Upeti kruti luk s gipkom konstrukcijom pomosta

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

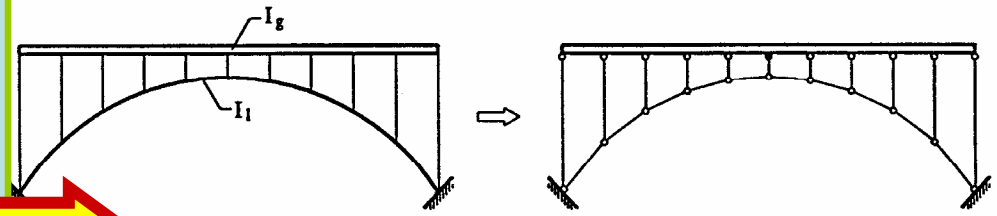
Lukovi velikih raspona



Gipki luk s krutom gredom

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

Krutost spojeva takva da ne mogu prenijeti momente
Sustav pogodan za manje lukove
Gipki lukovi podložni izvijanju



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

Kod proračuna modelirati cjeloviti složeni sustav s realnim krutostima

PRORAČUN I ARMIRANJE LUČNIH MOSTOVA

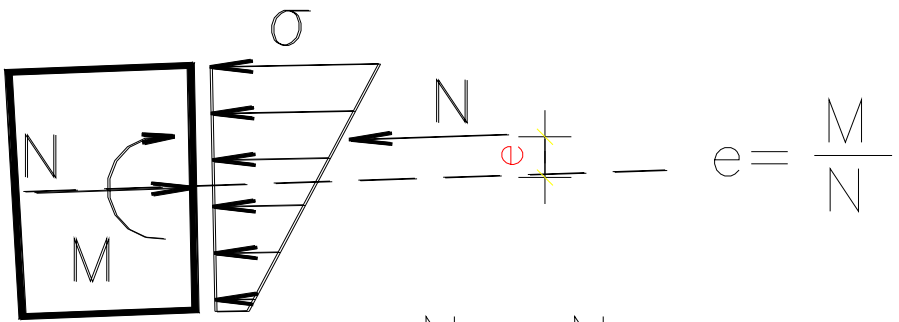
TLAČNA LINIJA

Rezultantna krivulja hvatišta tlačne sile u presjecima luka

Njome je određen ekscentricitet tlačne sile u svakom presjeku luka

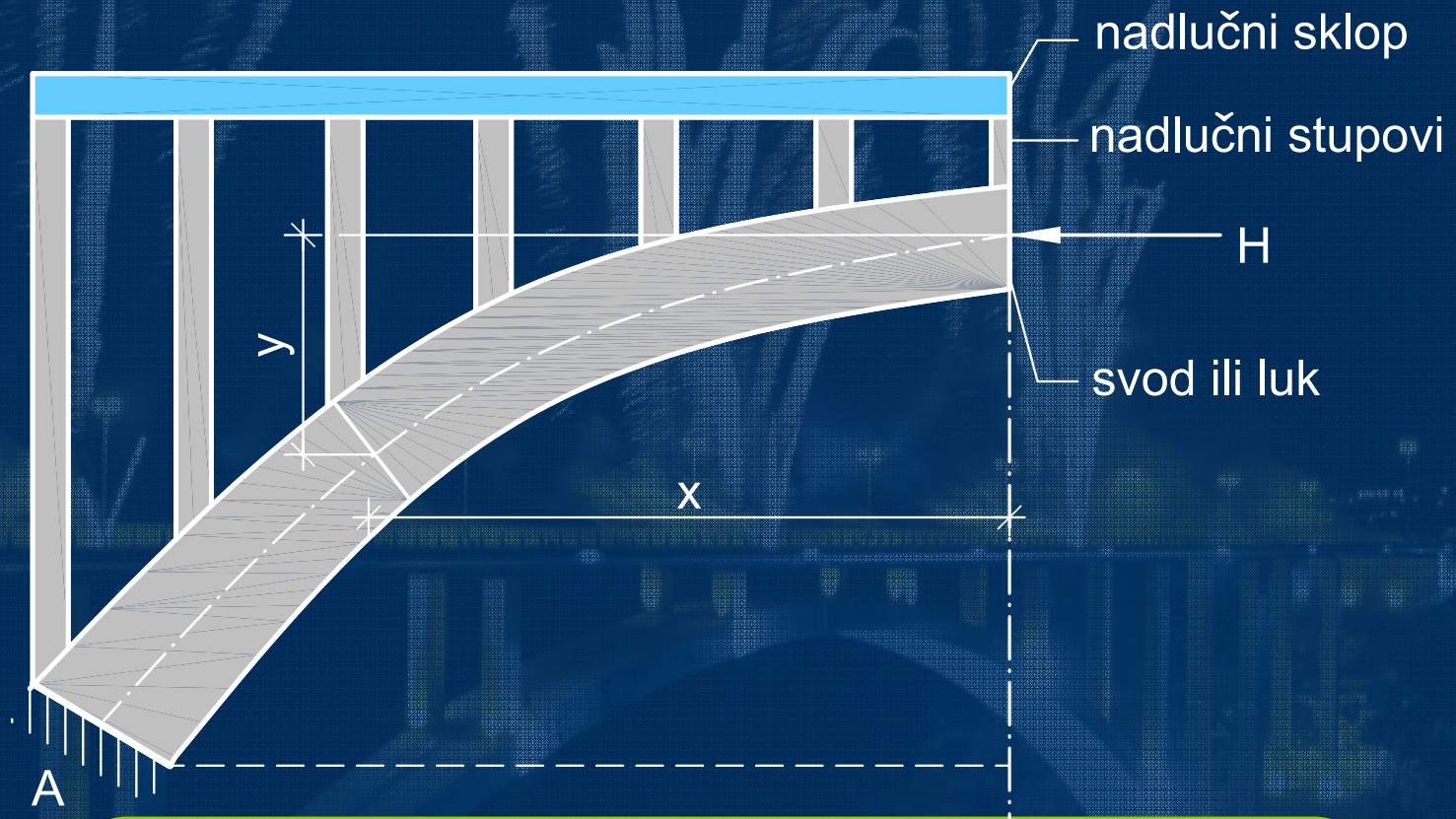
Tlačnom linijom može se odrediti veličina momenata u svim presjecima

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



PRORAČUN I ARMIRANJE LUČNIH MOSTOVA

TLAČNA LINIJA - analitički



Uvjet poklapanja tlačne linije s osi luka

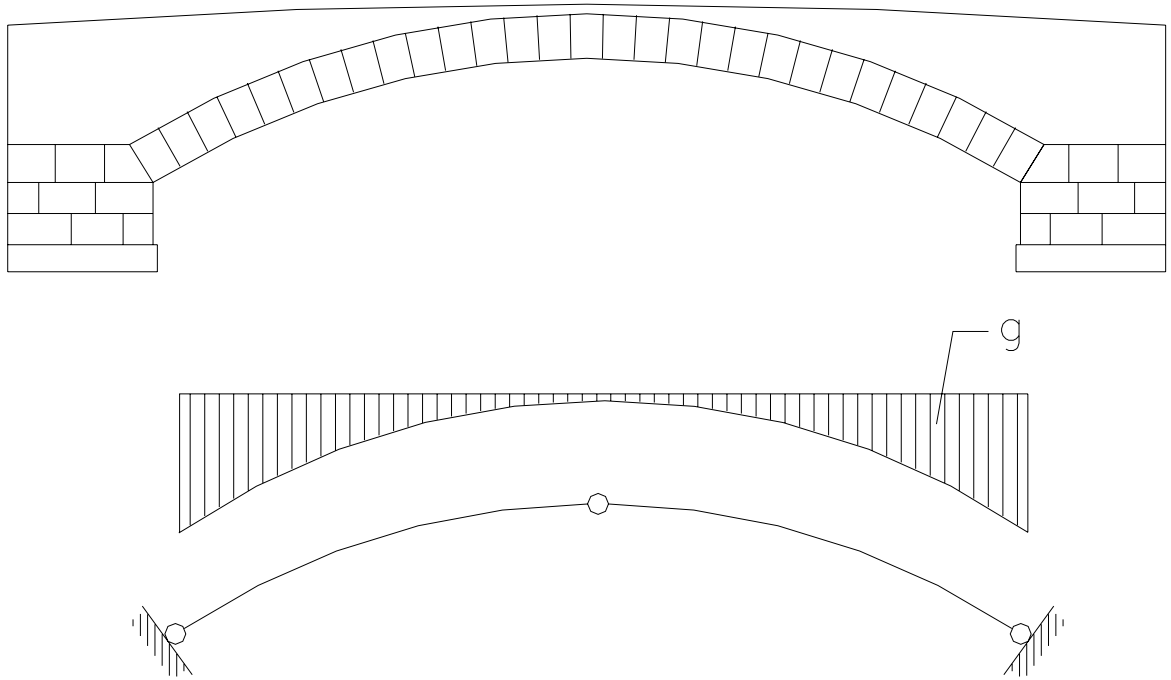
$$M_x - H\,y = 0$$

M_x - *moment sila desno od presjeka x*

H - *horizontalni potisak*

PRORAČUN I ARMIRANJE LUČNIH MOSTOVA

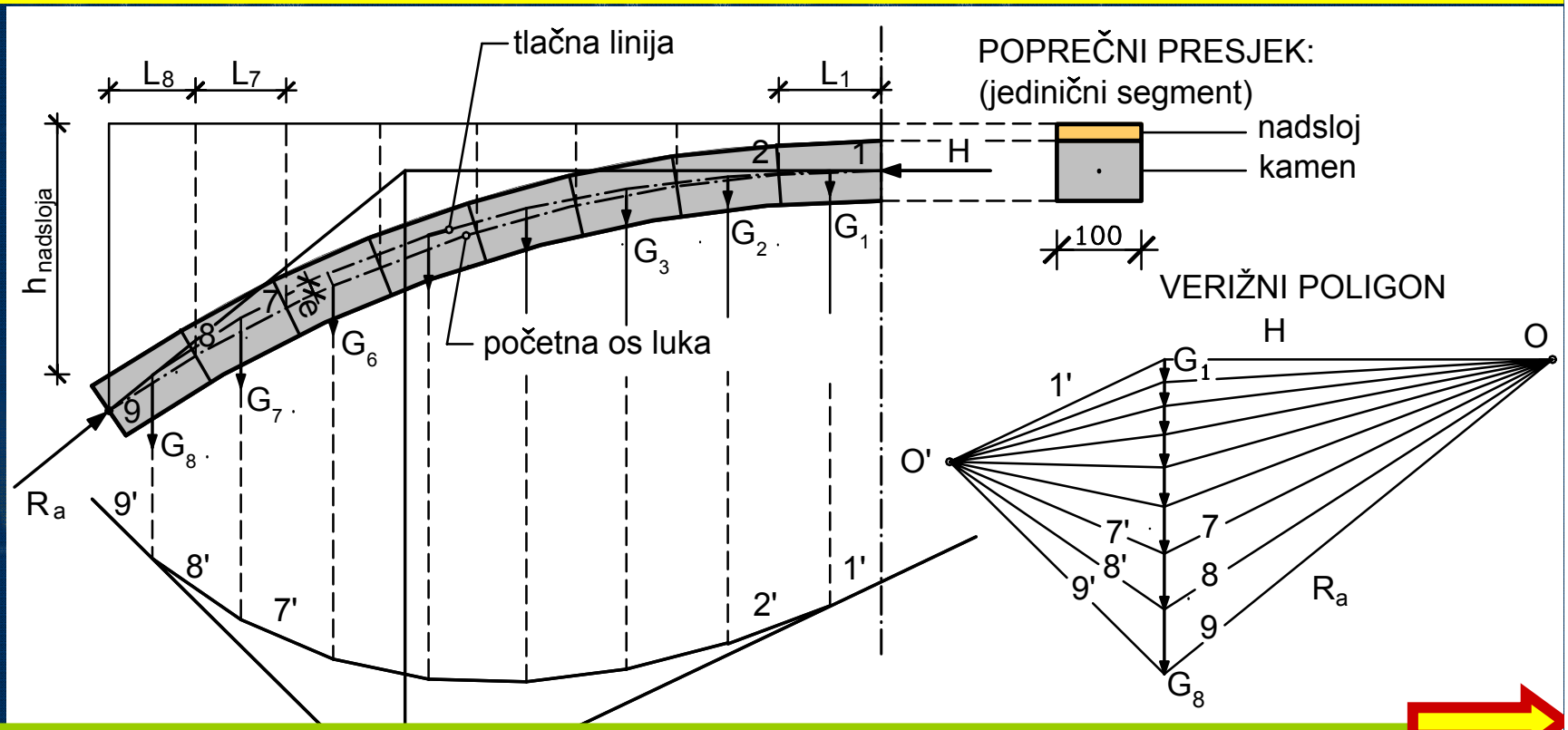
TLAČNA LINIJA - grafički



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

PRORAČUN I ARMIRANJE LUČNIH MOSTOVA

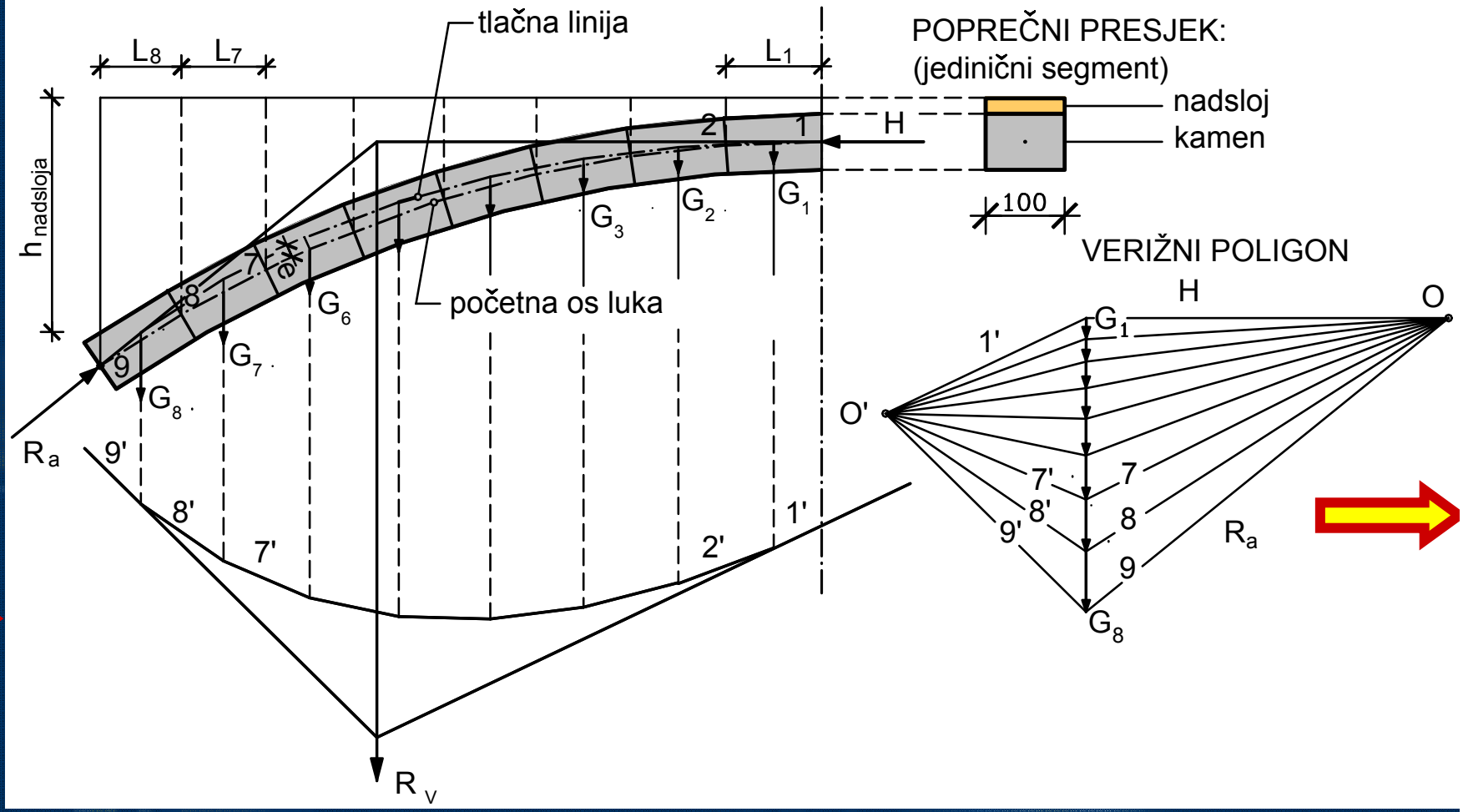
TLAČNA LINIJA - grafički



- **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').**

PRORAČUN I ARMIRANJE LUČNIH MOSTOVA

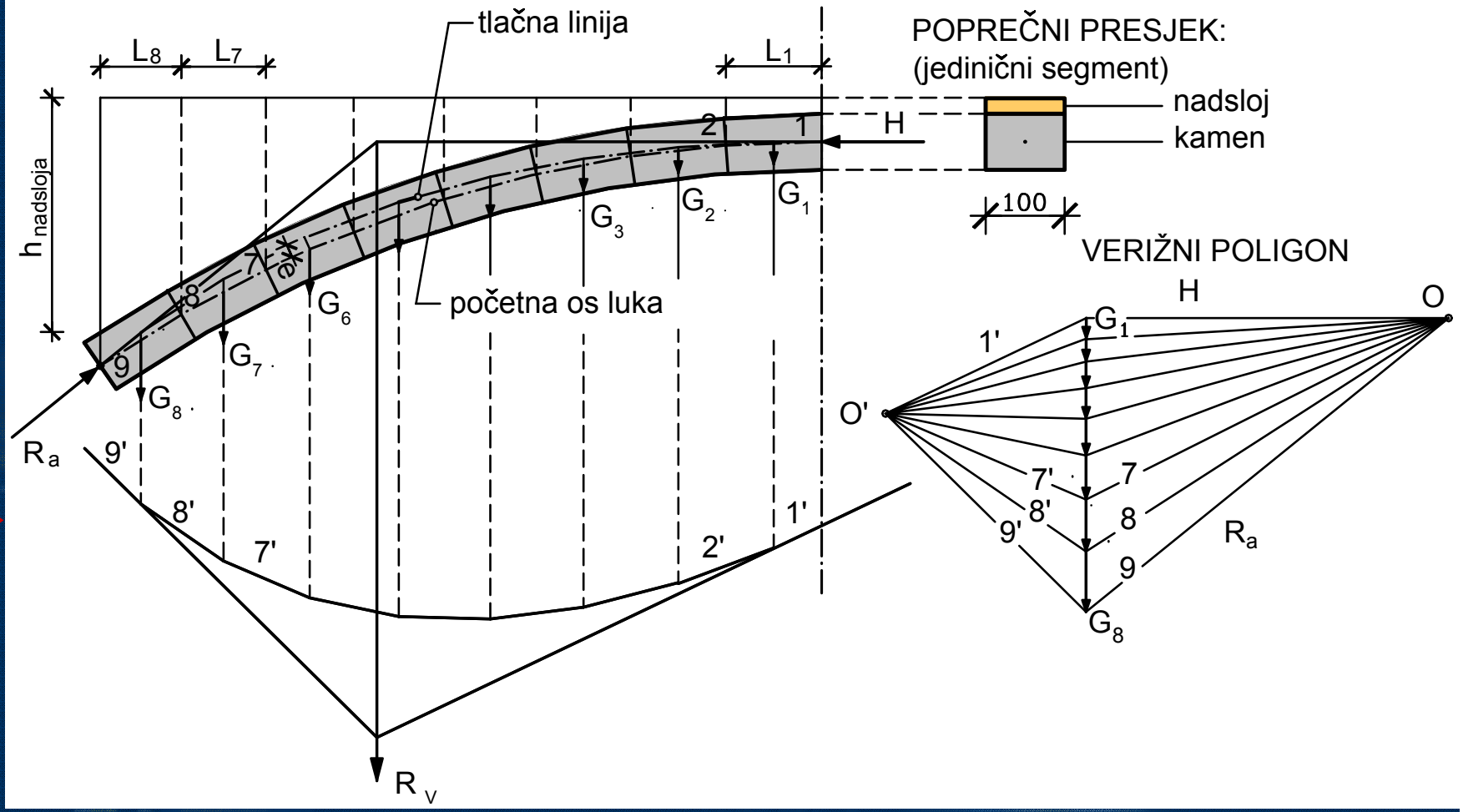
TLAČNA LINIJA - grafički



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

PRORAČUN I ARMIRANJE LUČNIH MOSTOVA

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

PRORAČUN I ARMIRANJE LUČNIH MOSTOVA

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.

PRORAČUN I ARMIRANJE LUČNIH MOSTOVA

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

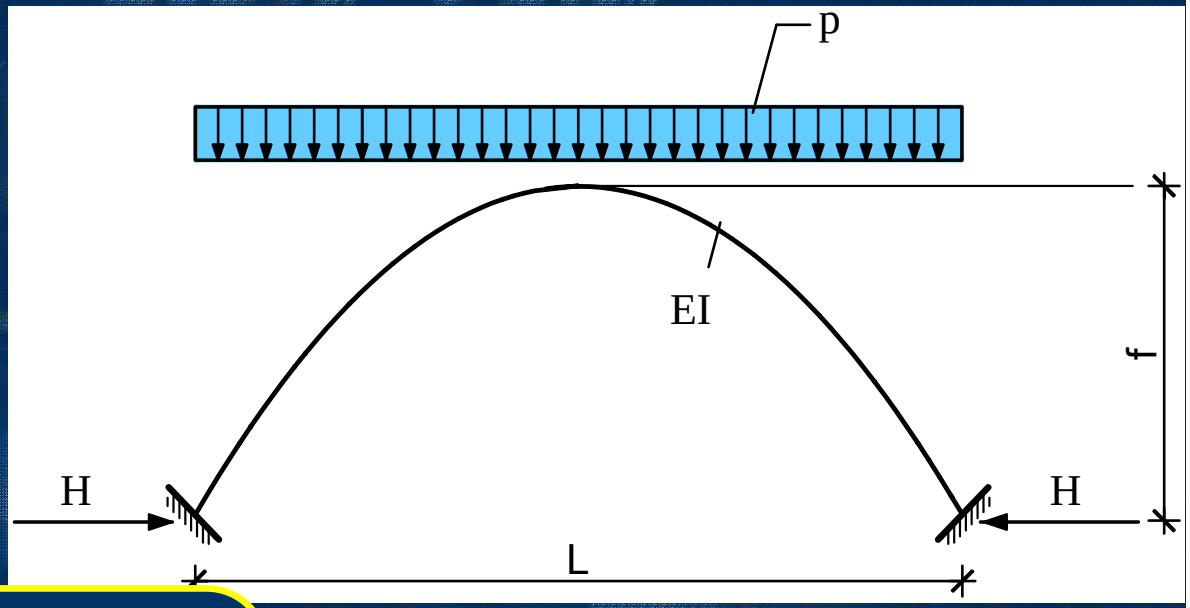
Okomito na os luka: složen problem, ali nije mjerodavan za pravilno oblikovane lukove

PRORAČUN I ARMIRANJE LUČNIH MOSTOVA

PROVJERE STABILNOSTI LUKA

kritična veličina potiska od jednolikog opterećenja za parabolični luk

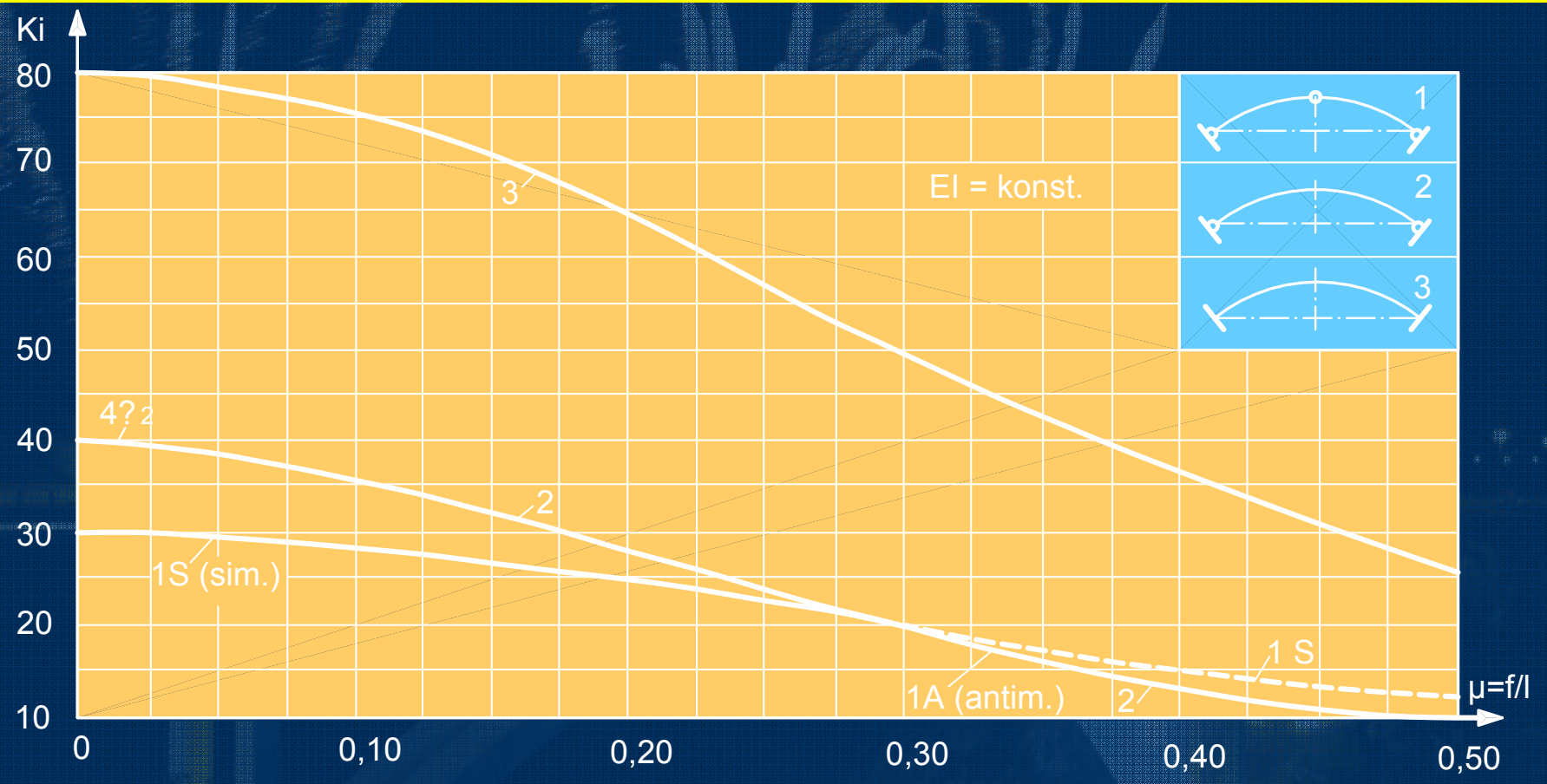
$$H_{kr} = K \frac{E\, I_s}{L^2}$$



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

PRORAČUN I ARMIRANJE LUČNIH MOSTOVA

PROVJERE STABILNOSTI LUKA

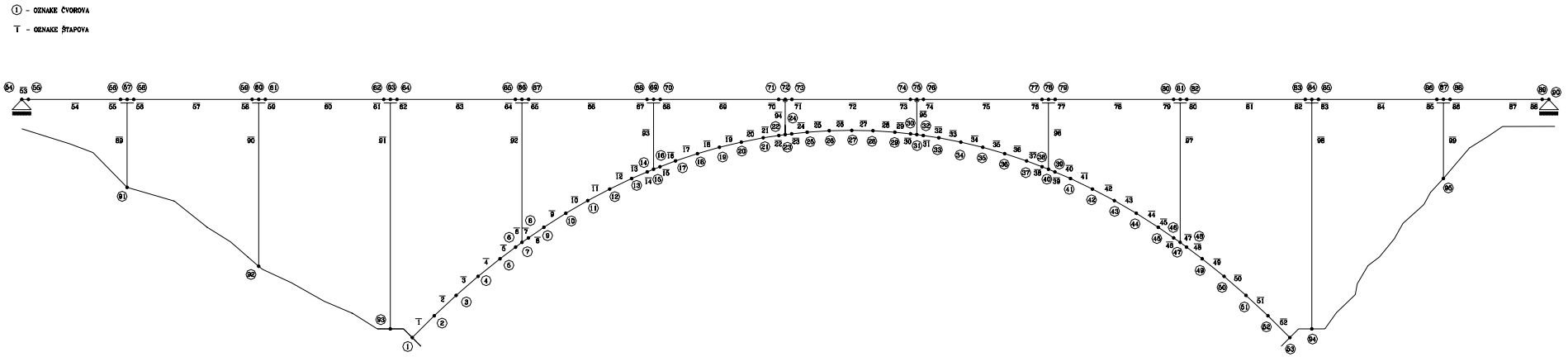


Koeficijent K ovisan o:

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

PRORAČUN I ARMIRANJE LUČNIH MOSTOVA

MODELIRANJE ZA MKE

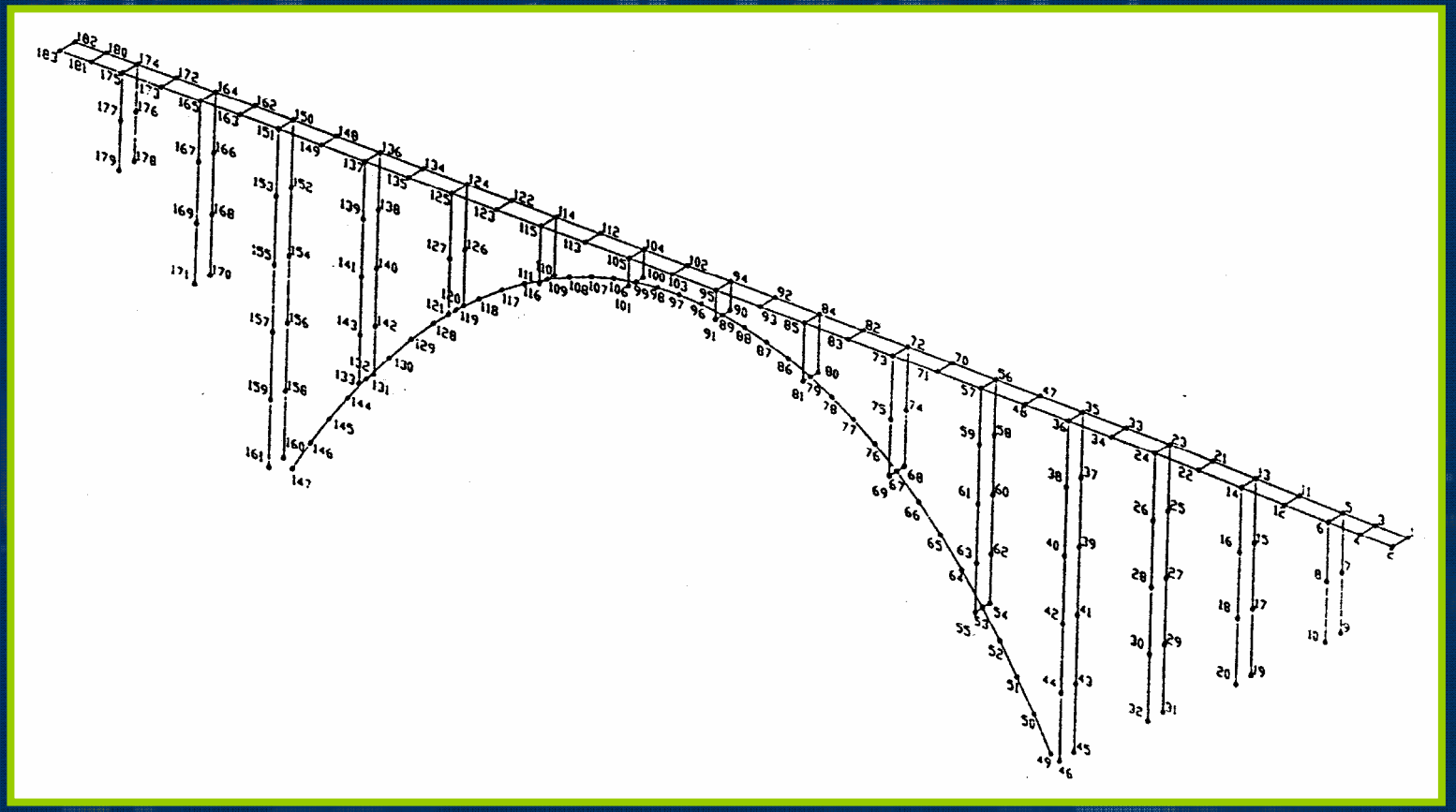


Štapni modeli
– ravninski u fazi idejnog projekta
– prostorni u fazi detaljnije razrade

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

PRORAČUN I ARMIRANJE LUČNIH MOSTOVA

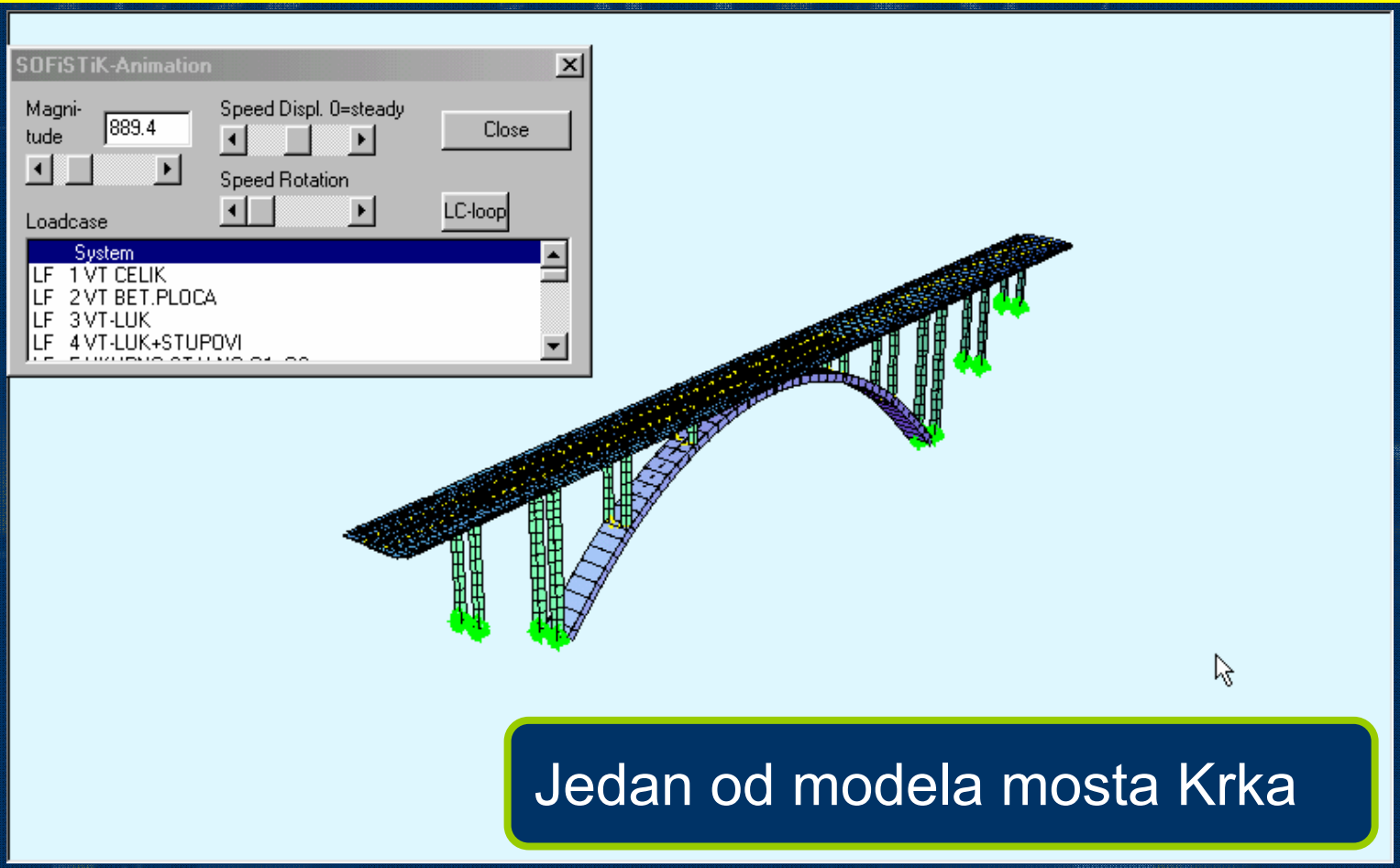
MODELIRANJE ZA MKE



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

PRORAČUN I ARMIRANJE LUČNIH MOSTOVA

MODELIRANJE ZA MKE

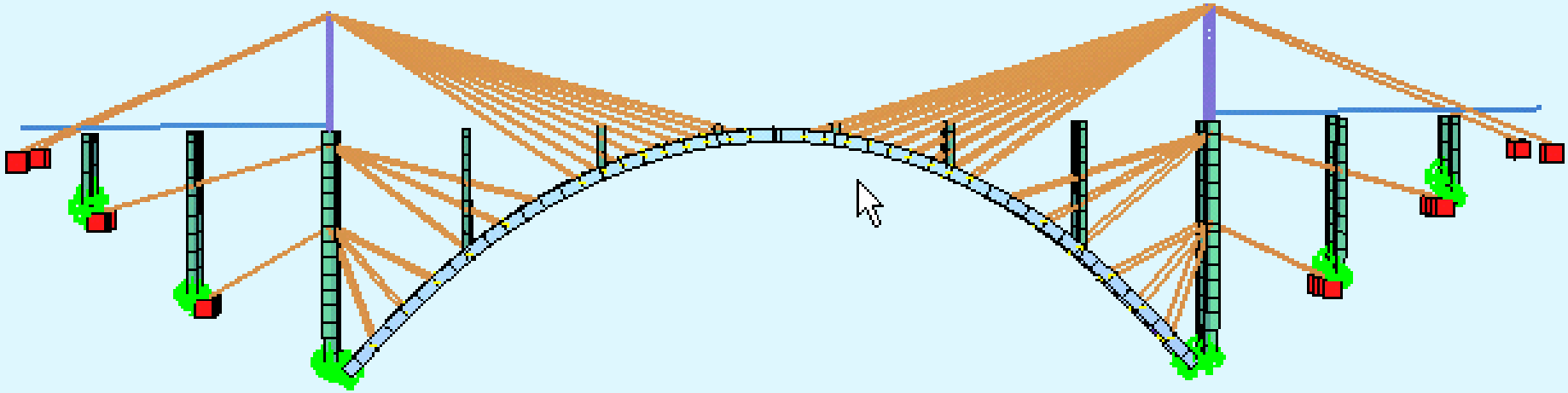


Jedan od modela mosta Krka

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

PRORAČUN I ARMIRANJE LUČNIH MOSTOVA
MODELIRANJE ZA MKE

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



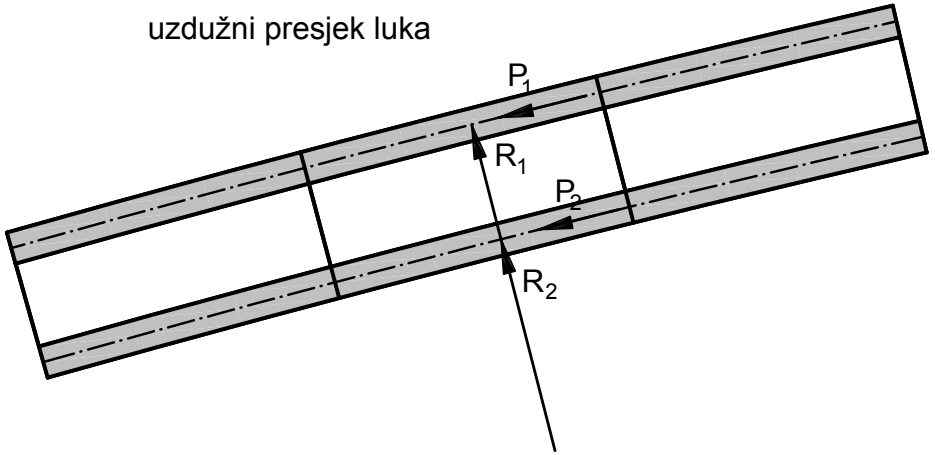
Jedan od modela mosta *Krka*

PRORAČUN I ARMIRANJE LUČNIH MOSTOVA

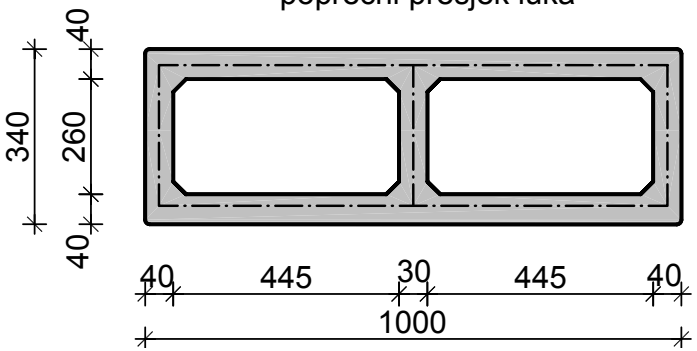
PRORAČUN LUKA U POPREČNOM SMJERU

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.

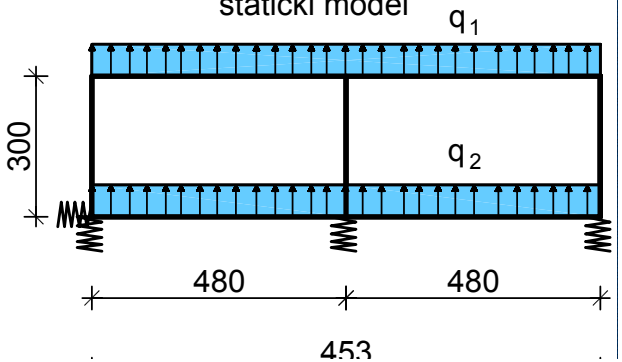
uzdužni presjek luka



poprečni presjek luka



statički model



PRORAČUN I ARMIRANJE LUČNIH MOSTOVA

PRORAČUN LUKA U POPREČNOM SMJERU

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

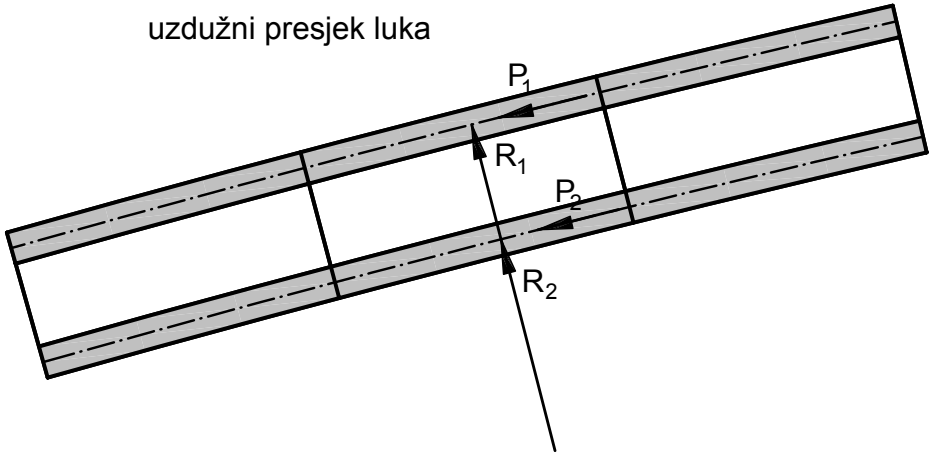
P_1 - uzdužna sila u gornjoj ploči (kN/m),

R_1- radijus zakrivljenosti osi gornje ploče (m),

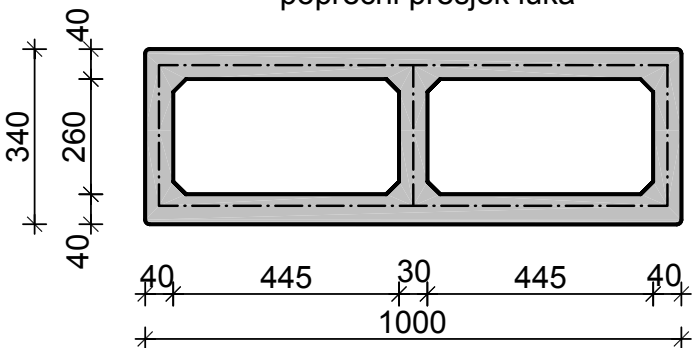
σ_{m1}- napon u sredini gornje ploče (kN/m^2),

h_{pl} - debljina gornje ploče (m).

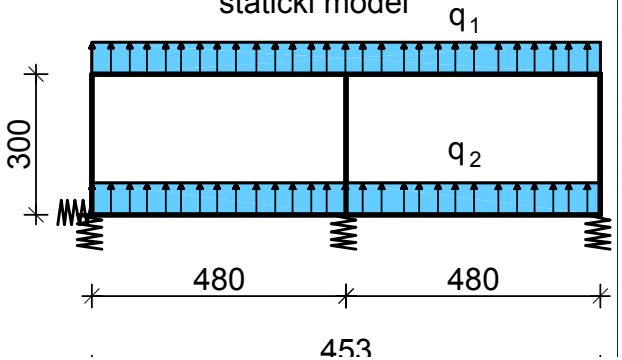
uzdužni presjek luka



poprečni presjek luka



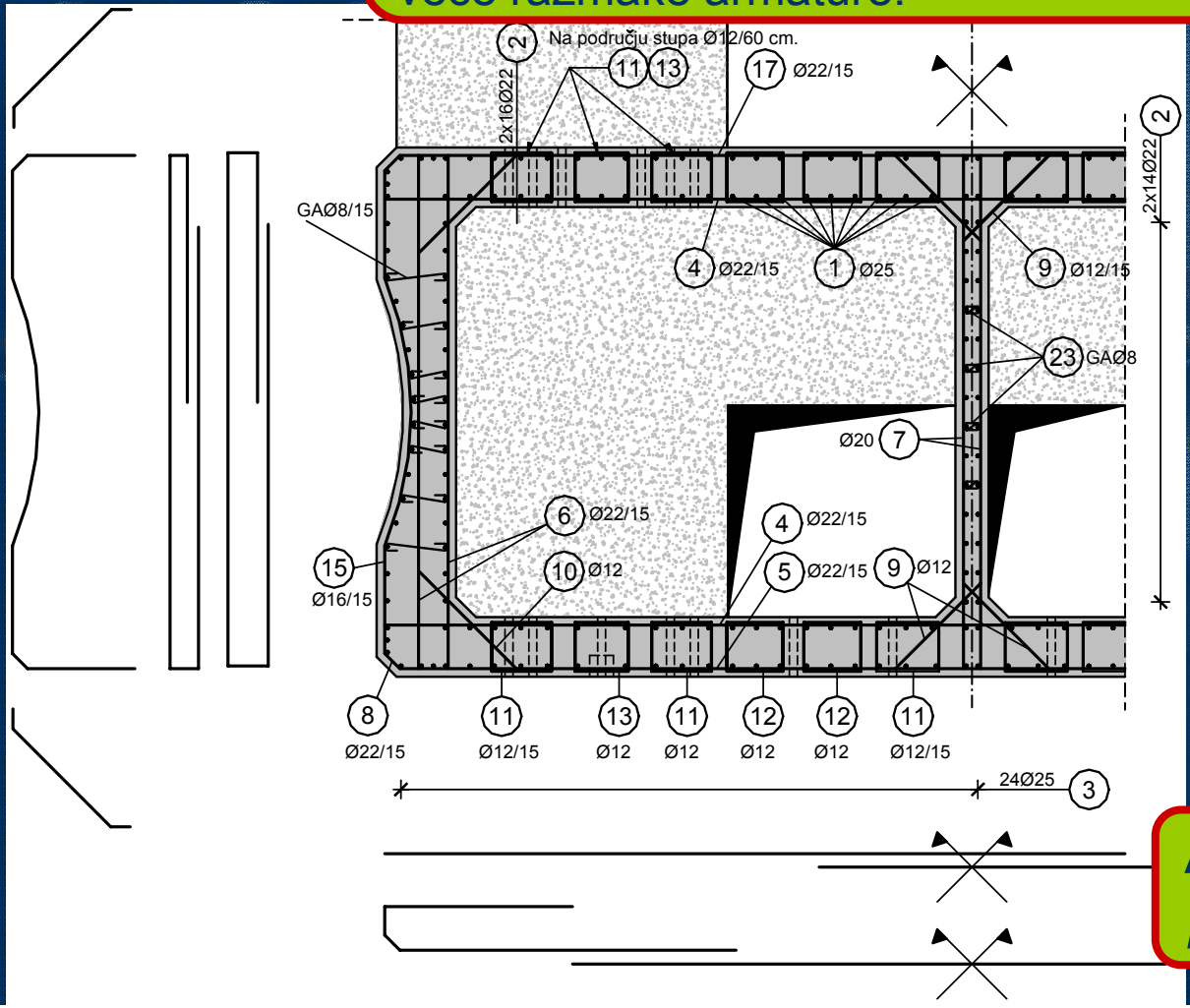
statički model



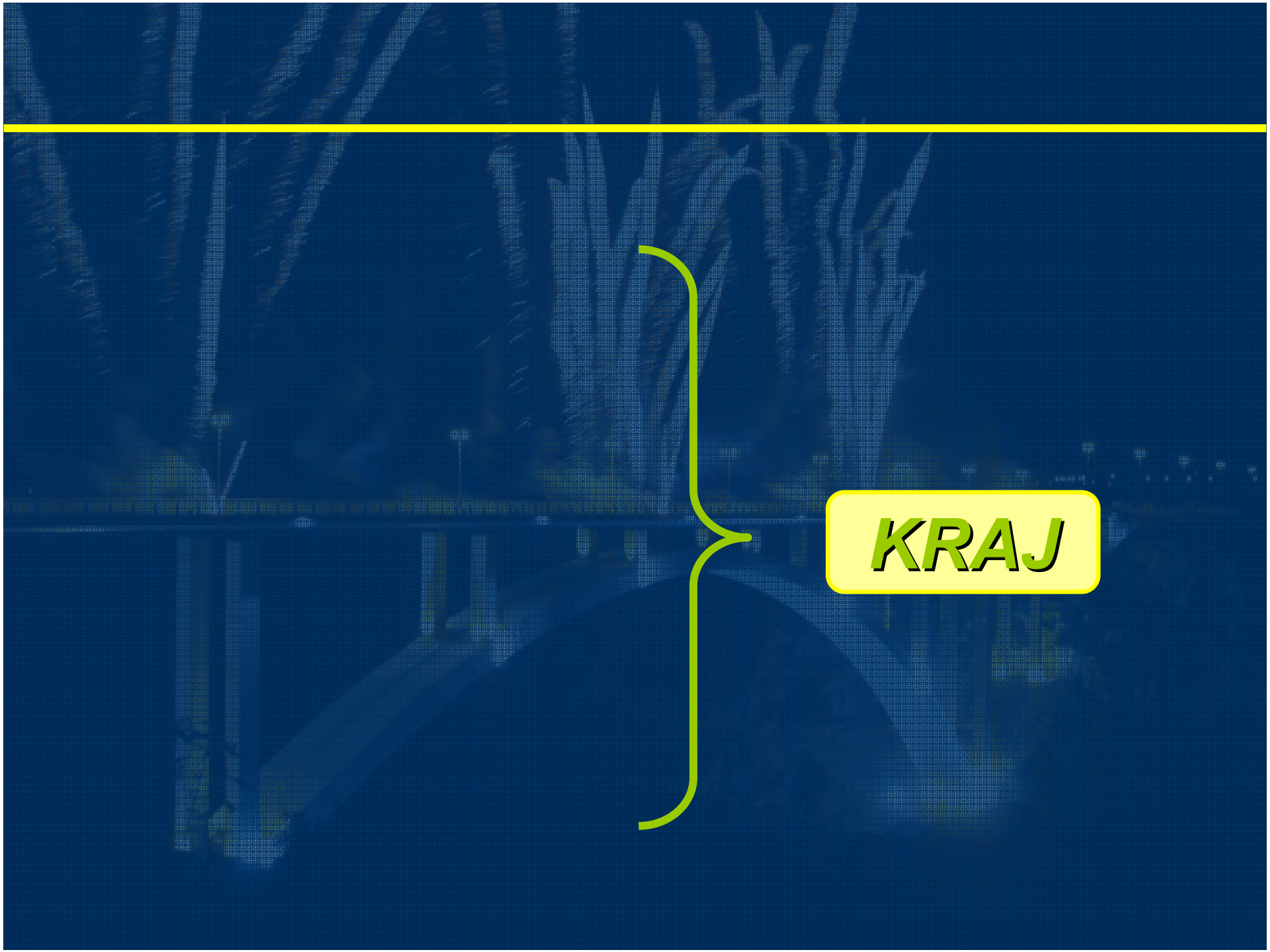
PRORAČUN I ARMIRANJE LUČNIH MOSTOVA

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