



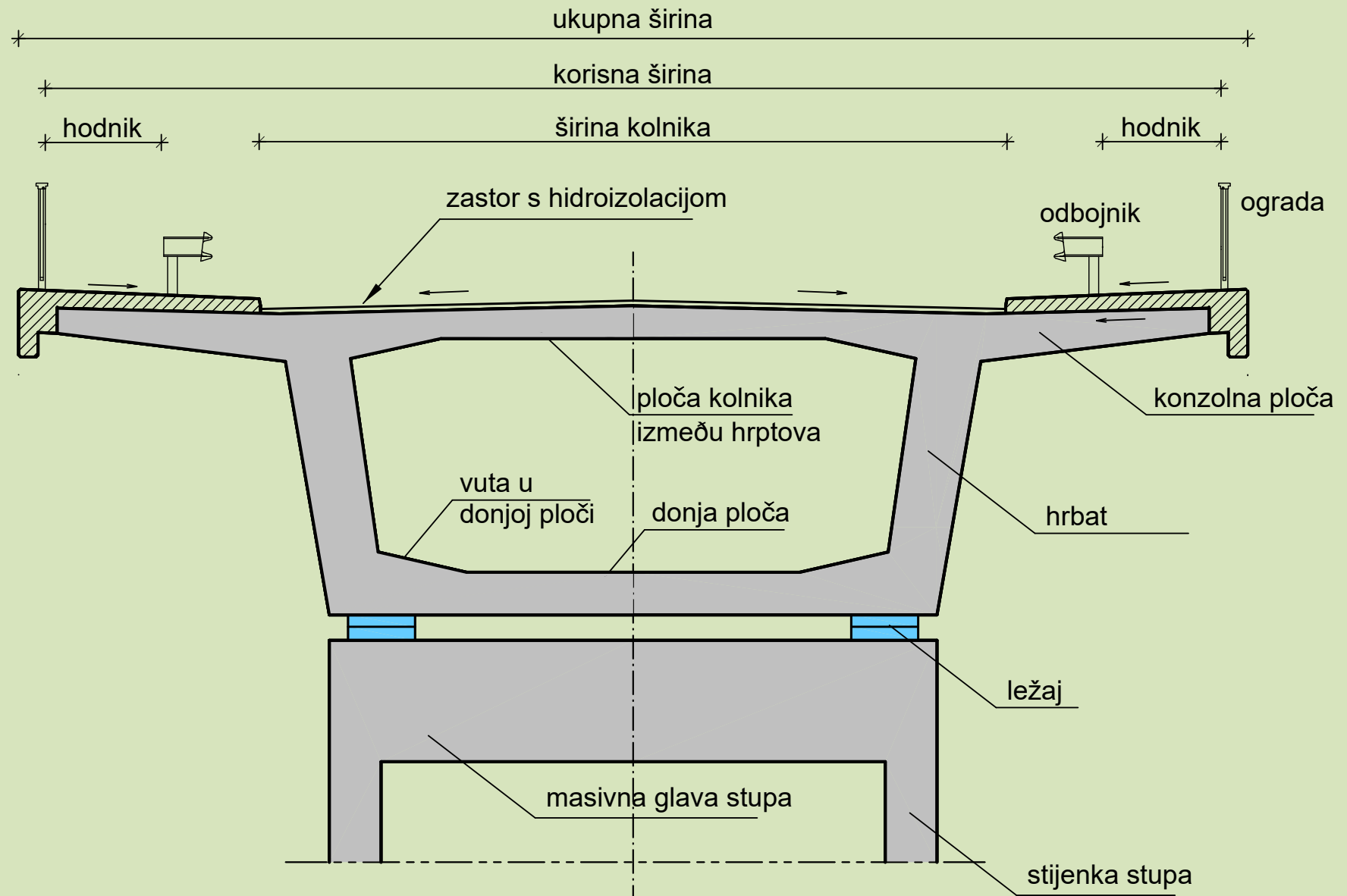
*GRAĐEVINSKI FAKULTET
ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE
KATEDRA ZA MOSTOVE*

Betonski sandučasti mostovi





Tipični poprečni presjek





Općenito

- Pogodni za izvedbu kontinuiranih nosača jer gornja i donja ploča preuzimaju podjednako dobro tlačne i vlačne sile
- Rasponi do 300 m, najčešće ipak od 50 – 80 m zbog jednostavnije izvedbe
- Kod masivnih mostova najčešće su izvedbe u prednapetom betonu
- U oblikovnom smislu sandučasti presjeci pružaju znatne mogućnosti
- Ukupna visina sanduka odabire se prema rasponu mosta, ali, za razliku od pločastih i rebrastih izvedbi, bitno ovisi o postupku građenja
- Stoga je bitno već kod konceptualnog projektiranja predvidjeti tehnologiju izvedbe mosta i značajke statičkog sustava (gredni ili okvirni sustav)





Prednosti pred ostalim betonskim presjecima

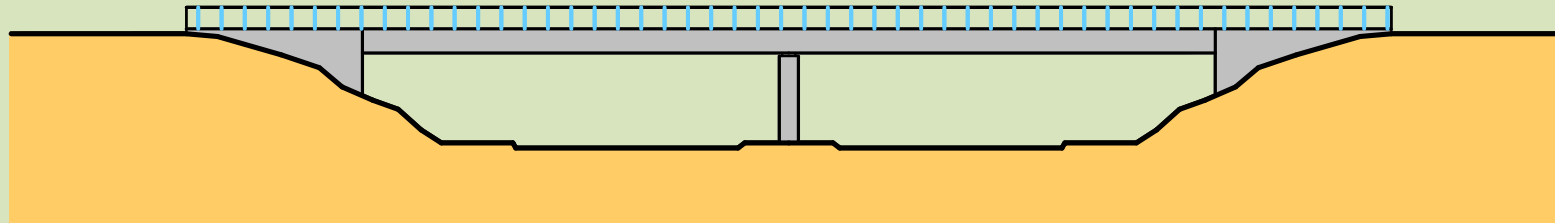
- povećana trajnost (manja površina izložena djelovanju štetnih utjecaja iz okoliša)
- mogu se postići velike vitkosti (zbog dobre poprečne preraspodjele)
- mogućnost ostvarenja znatno većih raspona
- prikladni su za promjenjive širine mostova, jer se duljina konzola ploče može po volji mijenjati zahvaljujući upetosti u sanduk, a moguće je povećavati i međusobne razmake hrptova sanduka
- težište poprečnog presjeka ne leži previše na gornjoj strani kao kod rebrastoga poprečnog presjeka
- velika torzijska krutost poprečnog presjeka korisna je:
 - za velike konzole kolničke ploče
 - za dobru poprečnu preraspodjelu
 - za podupiranje sanduka vitkim stupovima samo u njegovoj osi (točkasto oslanjanje)
 - za mostove u horizontalnim krivinama





Uzdužni raspored i statički sustavi

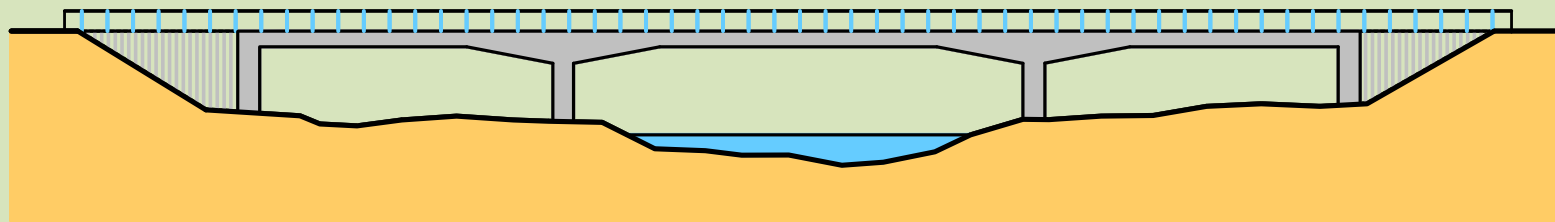
- $L < 80$ m, $h = \text{konstantno}$, $L/h = 20 - 25$ (naguravanje 12-15)



- $L > 50$ m $\Rightarrow$ nedovoljni h nad stupom $\Rightarrow$ prekoračenje tlačnih naprezanja $\Rightarrow$ podebljivanje donje ploče na duljini od $\frac{1}{4} - \frac{1}{2} L$

- Za nosač linearno promjenjive visine:

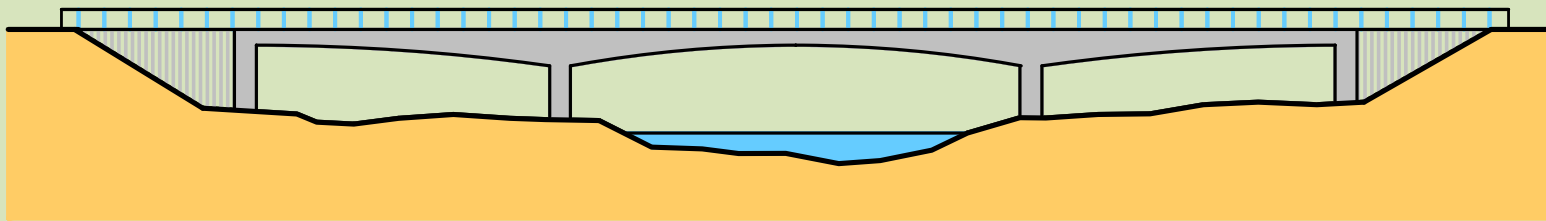
- LEŽAJ: $L/h = 16-20$ (obično 18)
- POLJE: $L/h = 22-28$ (obično 24)





Uzdužni raspored i statički sustavi

- Obično oblik konstrukcije (intradosa) prati momentni dijagram
- Funkcija promjene intradosa – linearna, parabola, hiperbola, kružni isječak, polinom trećeg ili višeg reda (najpovoljnija)



Za nosač parabolično promjenjive visine:

- LEŽAJ: $L/h = 18-22$ (obično 20)
- POLJE: $L/h = 30-60$ (obično 45)

Prednosti nosača sa parabolično promjenjivom visinom:

- Ravnomjerna naponska stanja u presjeku
- Uštede u materijalu
- Smanjivanje poprečne sile
- Estetski povoljnije rješenje





Uzdužni raspored i statički sustavi

DVA GLAVNA STATIČKA SUSTAVA

1. Grede (kontinuirani nosači)

- opterećenje rasponskog sklopa prenosi se preko ležaja na elemente donjeg ustroja
- momentni dijagram je kao na bilo kojem kontinuiranom nosaču
- izvedba pretežno naguravanjem (ako je konstantna visina)

2. Okviri

- rasponski sklop je kruto spojen s elementima donjeg ustroja
- za vertikalno opterećenje (stalno, promet) javljaju se momenti savijanja u stupovima
- upetost sklopa u stupove daje i velike momente od temperature u njima pa se zato stupovi često rade vitki sa velikom mogućnošću deformacije (mogu biti i dvojni)
- karakterističan sustav za sklopove sa promjenjivim visinama





Uzdužni raspored i statički sustavi

DVA GLAVNA STATIČKA SUSTAVA

1. Grede (kontinuirani nosači)



2. Okviri





Uzdužni raspored i statički sustavi

VEZA STUPA I SKLOPA

- nije povoljno opteretiti stup velikim utjecajima od momenata savijanja, jer to znatno poskupljuje i komplicira izvedbu
- ZGLOB NAD STUPOM $\Rightarrow$ prenosi velike reakcije i eventualno preuzima pomake rasponskoga sklopa, s gledišta trajnosti i održavanja nije povoljno rješenje
- IZBACIVANJEM ZGLOBA I UPINJANJE SA STUPOVIMA
 - uklanja se potreba za dodatnim podupiranjem kod gradnje, te se povećava krutost cijeloga sklopa,
 - u statičkom pogledu povećava se stupanj statičke neodređenosti i utjecaj preraspodjele opterećenja na gotovoj konstrukciji tijekom uporabe,
 - u svakoj fazi izvedbe se mijenja statički sustav $\Rightarrow$ složenost i veća količina potrebnih proračuna i dimenzioniranja
- KOMPROMIS $\Rightarrow$ uvođenje okvirnih sustava s udvojenim gipkim stupovima.





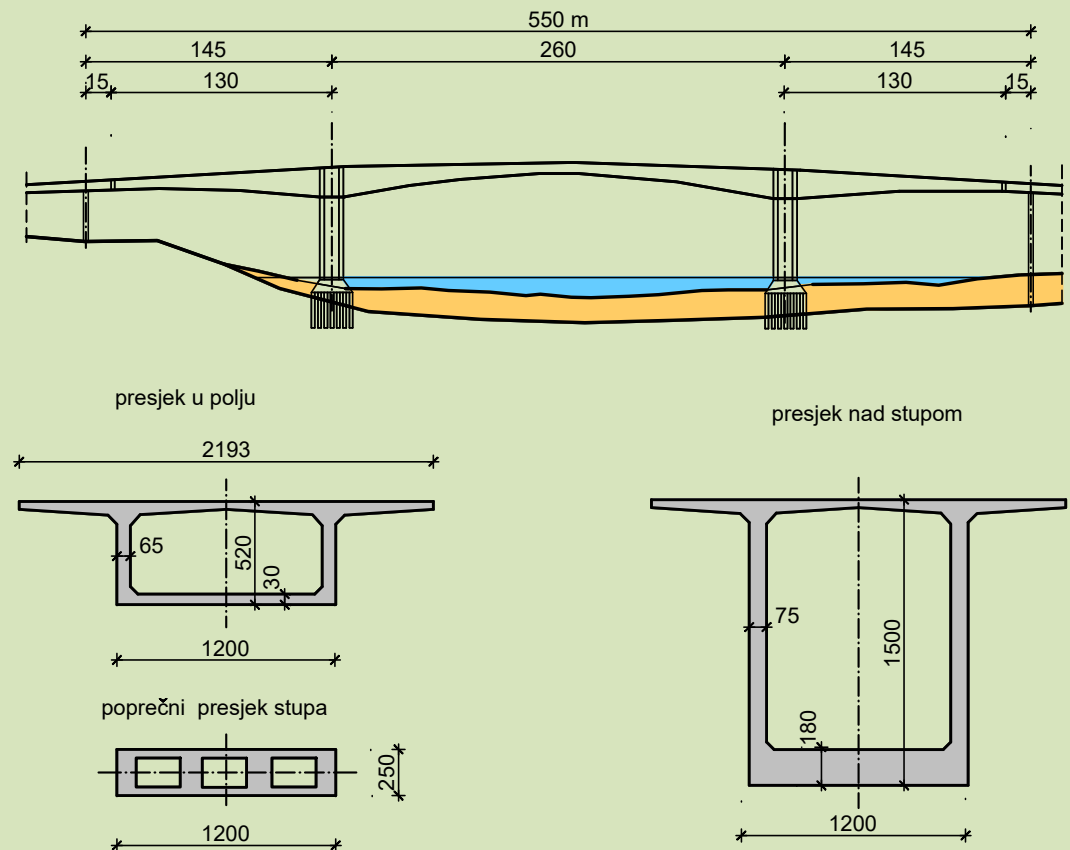
Uzdužni raspored i statički sustavi

OKVIRNI SUSTAVI S UDVOJENIM GIPKIM STUPOVIMA

- STABILNOST pri gradnji konzolnim postupkom
 - Razmaknuti zidovi stupišta daju veću sigurnost protiv prevrtanja nejednoliko opterećenih konzola ⇒ otpada potreba za eventualnim dodatnim podupiranjem tijekom gradnje.



Most Gateway preko
rijeke Brisbane,
Australija, 1986.
razmak stupova=8,5 m





Uzdužni raspored i statički sustavi

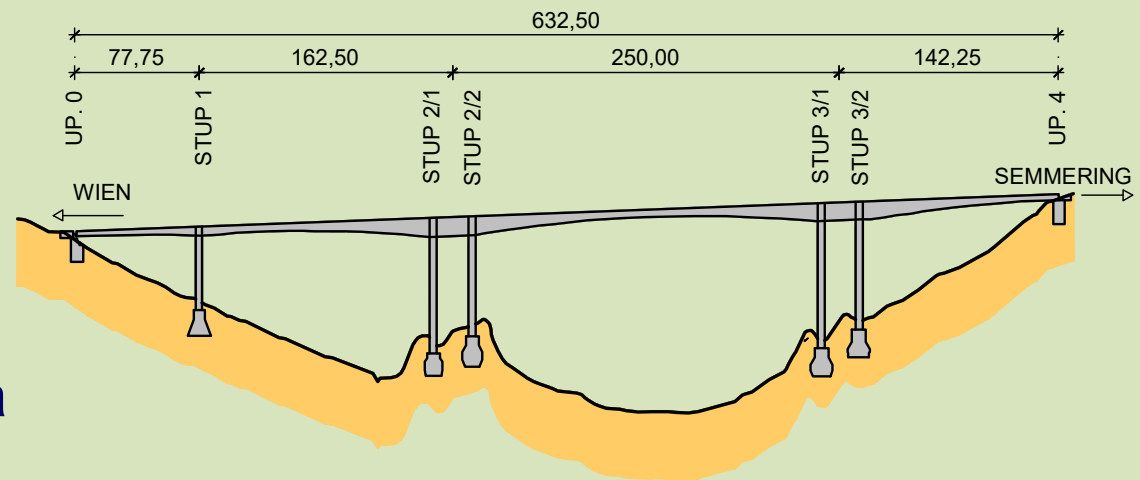
OKVIRNI SUSTAVI S UDVOJENIM GIPKIM STUPOVIMA

➤ GIPKOST ovakvog stupa

- važna za preuzimanje pomaka od dugotrajnih i temperaturnih djelovanja u rasponskom sklopu. Sprečavanjem pomaka se sile u sklopu mogu povećati do iznosa koje je teško preuzeti.
- osigurana je samo kod mostova s relativno visokim stupovima
- Kod niskih $\Rightarrow$ posebno oblikovanje $\Rightarrow$ npr. oslanjanje stupova na elastomerne ležajeve



Most Schottwien, Austrija
1991. god, razmak
stupova = 20,5 m

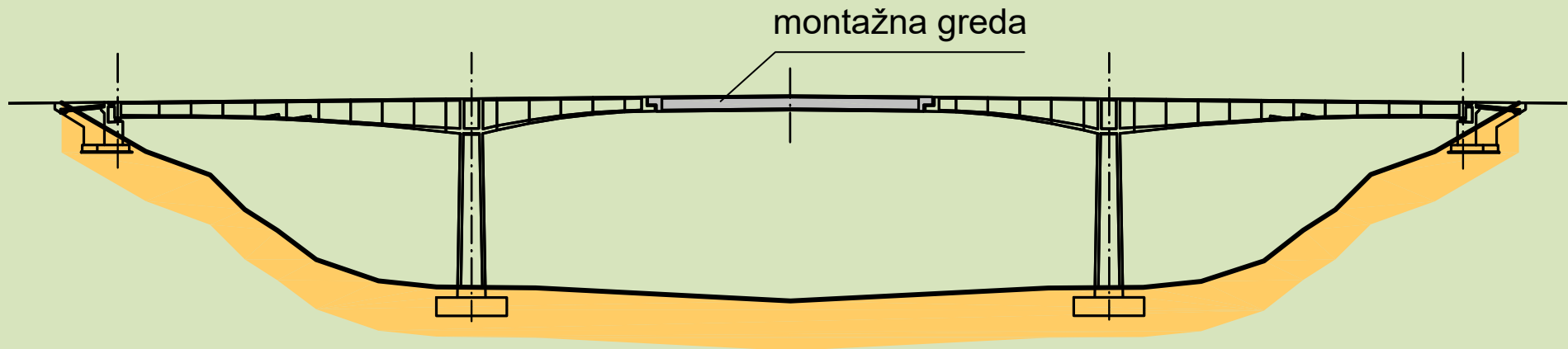




Uzdužni raspored i statički sustavi

SUSTAV S UMETNUTOM GREDOM (STATIČKI ODREĐEN SUSTAV)

- ako je potrebno otkloniti utjecaj progiba krajeva prepusta
- kada nije moguće točno predviđanje progiba uslijed dugotrajnih deformacija (npr. puzanje i skupljanje),
- kada se očekuju diferencijalna slijeganja stupova
- kod većih raspona korištenjem čeličnog umetka u sredini





Uzdužni raspored i statički sustavi

STATIČI SUSTAV SA ZGLOBOM U SREDINI RASPONA

➤ Prednosti :

- nije osjetljiv na promjene duljine grede od utjecaja temperature, sila prednapinjanja, skupljanja i puzanja betona, i deformacija temelja,
- svaki je upeti stup sa svoje dvije konzole statički određen sustav. Momenti savijanja od vlastite težine ne mijenjaju predznak i ostaju jednaki u vremenu.

➤ Mane:

- progibna linija nije glatka krivulja, već ima lomove na mjestima zglobova (smanjena udobnost vožnje),
- vrijednosti progiba su veće u odnosu na kontinuirani sustav za 80% pri opterećenju od vlastite težine,
- mnoge građevine dobile su na tim mjestima progibe koji višestruko nadmašuju predviđene, što je uzrokovalo skupe sanacije,
- u seizmički aktivnim područjima ovakav statički sustav ima daleko veće seizmičke sile,
- veći broj dilatacija pogodna su mjesta za nastanak oštećenja.





Uzdužni raspored i statički sustavi

SUVREMENI SUSTAVI

- Betoni visokih čvrstoća i sa lakim agregatom
- Razvoj, dobivanje i upotreba kvalitetnoga laganog betona visokih čvrstoća iznad C50/60 prostorne težine oko 19 kN/m^3
- Većina mostova rekordnih raspona izvedena je upravo od takvih betona



Raftsundet, 298 m



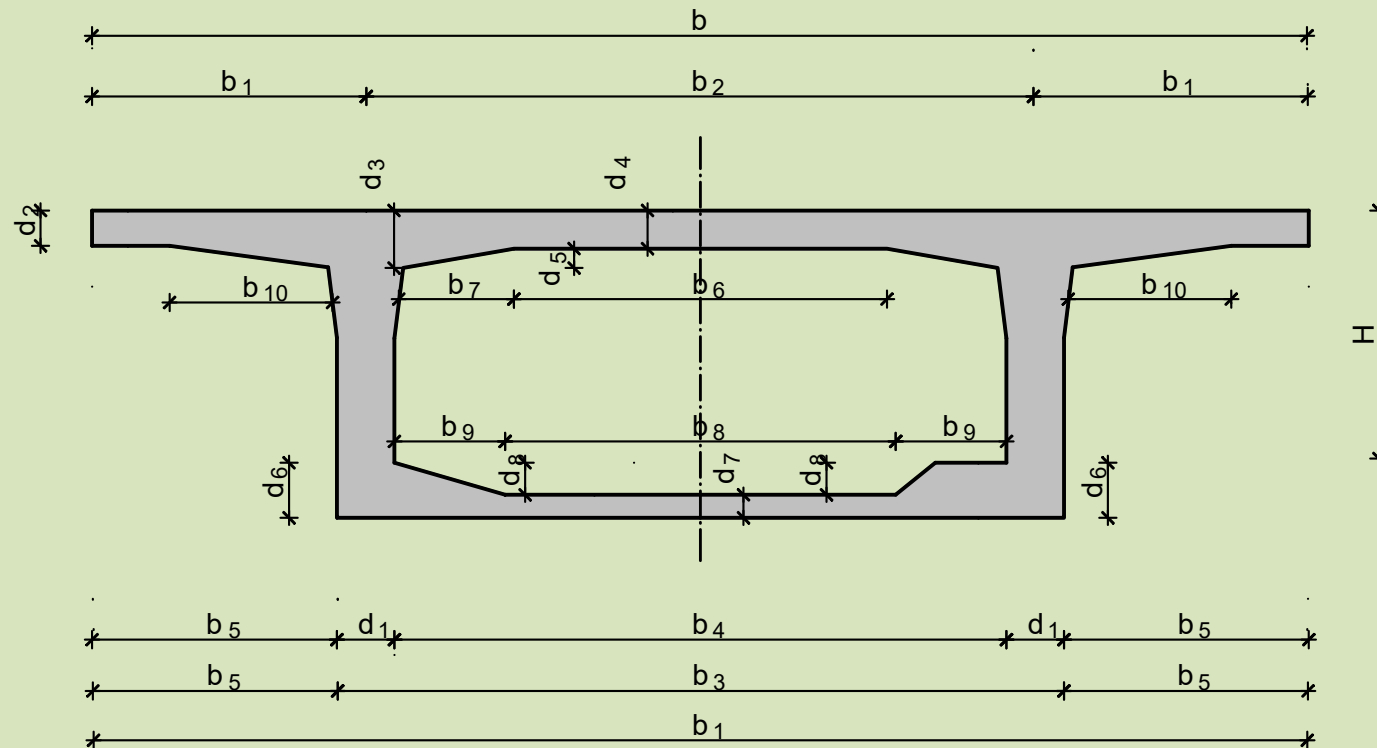
Stolmasundet, 301 m





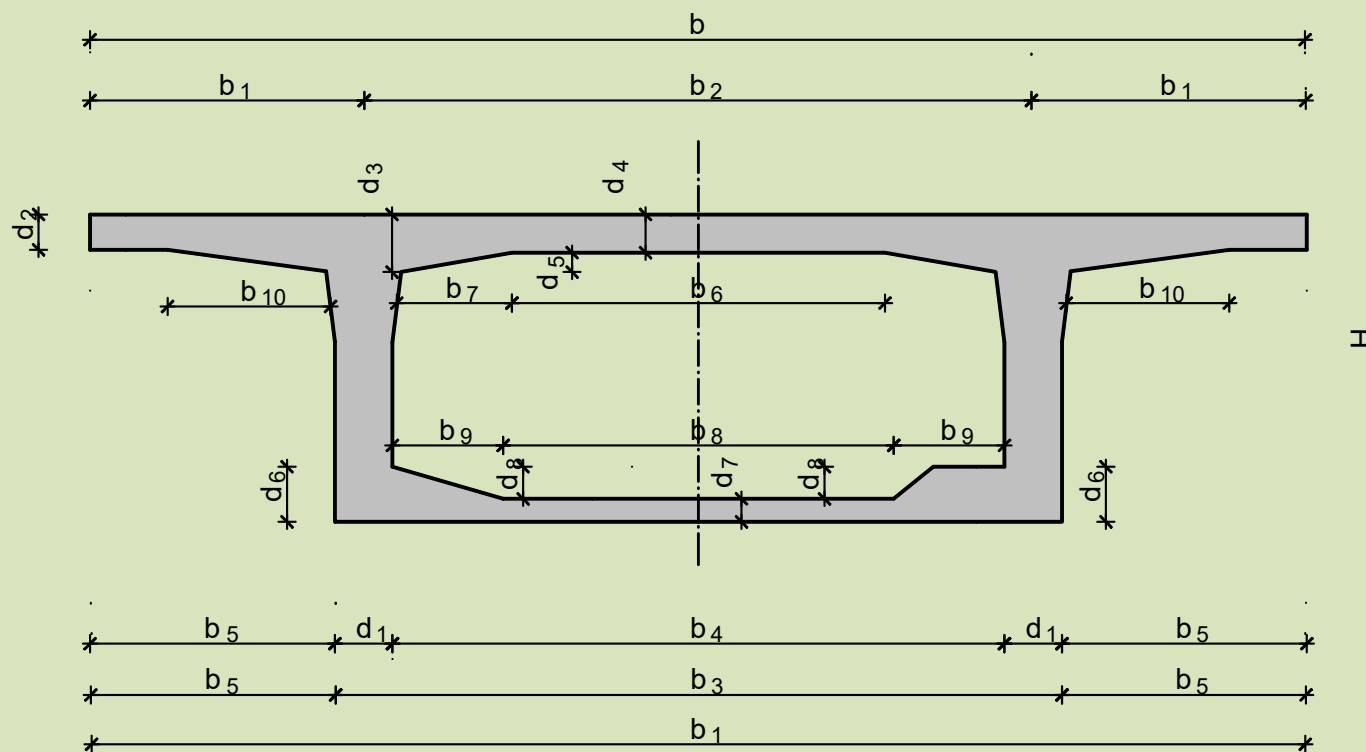
Oblikovanje poprečnog presjeka

- Ukupna visina sanduka H odabire se:
- prema rasponu mosta,
 - potrebnoj širini
 - postupku građenja
 - iz uvjeta prohodnosti kroz sanduk $h = \min 200 \text{ cm}$ (potrebna za vrijeme radova prednapinjanja kabela u donjoj ploči i izvedbe segmenata)



Oblikovanje poprečnog presjeka

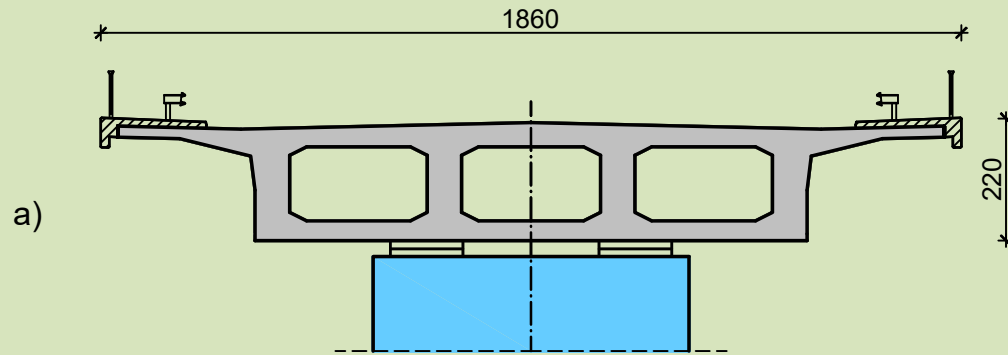
- Razmak osi hrptova b_2 uzima se od 0,5 do 0,6 ukupne širine mosta b
- Duljina konzole b_5 ne bi smjela biti veća od 350 cm.
- Duljina ploče između hrptova $b_4 < 700$ cm, u protivnom više komora
- Debljina hrptova odabire se iz nekoliko uvjeta:
 - $d_1 \geq H/15$; $d_1 \geq 30$ cm; $d_1 \geq 20$ cm + 2ϕ cijevi; $d_1 \geq 4\phi$ cijevi,
 - potreba smještaja sidara kabela (spirala sidra)





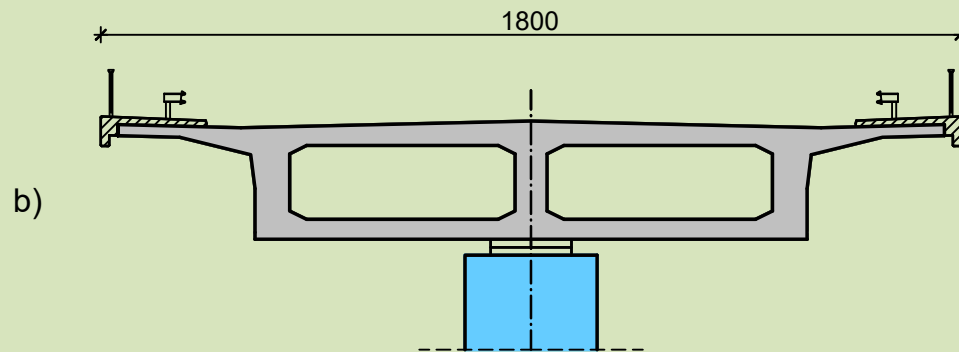
Oblikovanje poprečnog presjeka

PRESJECI SA VIŠE KOMORA – kod mostova većih širina (b – širina gornjeg pojasa)



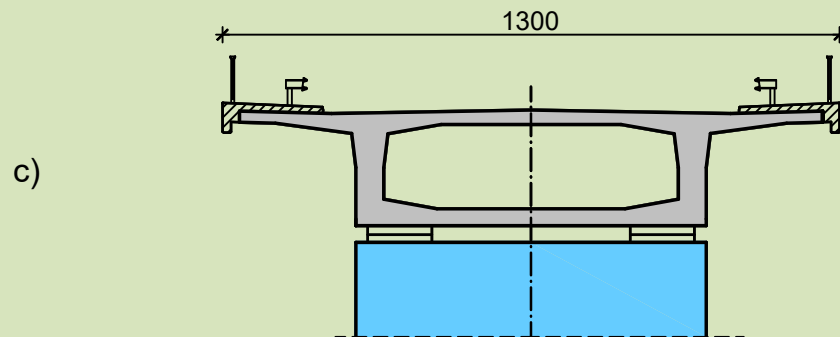
$b > 18 \text{ m}$

- smanjenje raspona kolničke ploče
- izbjegavanje poprečnog prednapinjanja



$13 < b < 18 \text{ m}$

$b/h > 6$



$b < 13 \text{ m}$

$b/h < 6$

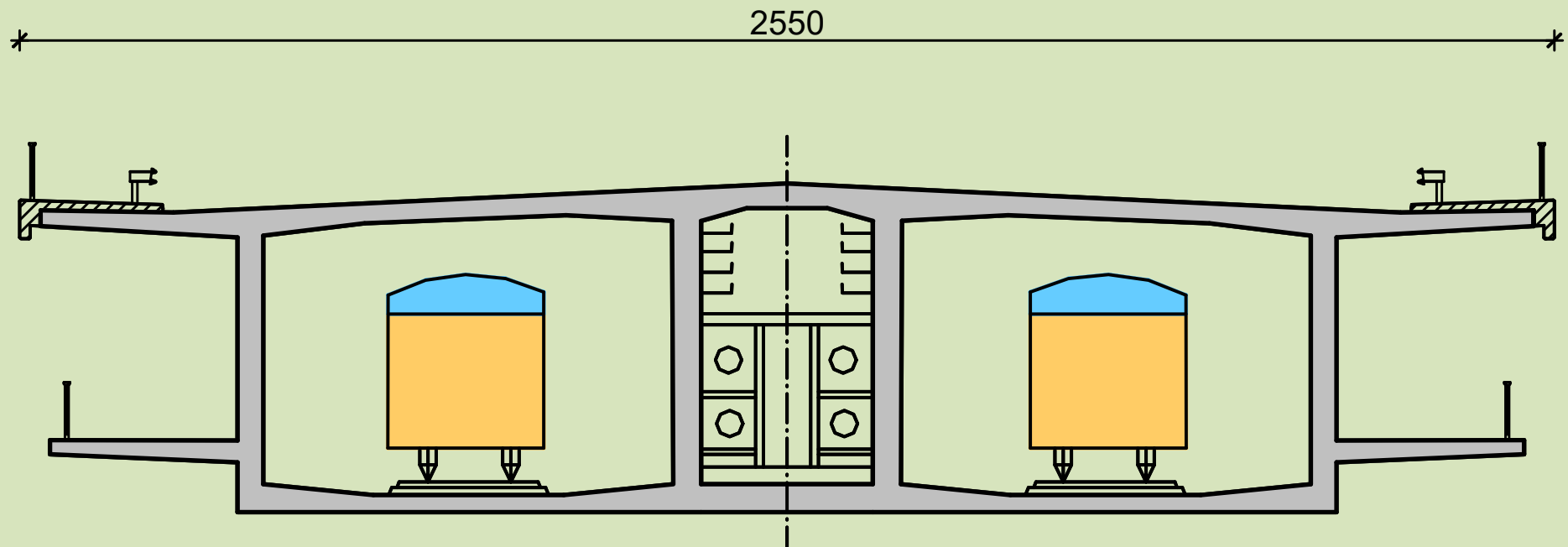




Oblikovanje poprečnog presjeka

PRESJECI SA VIŠE KOMORA

- Za mostove s različitom kombinacijom prometa (cesta i željeznica na istome mostu) poželjno je, u slučaju konstantne i dovoljne visine grede, iskoristiti prostor unutar sanduka

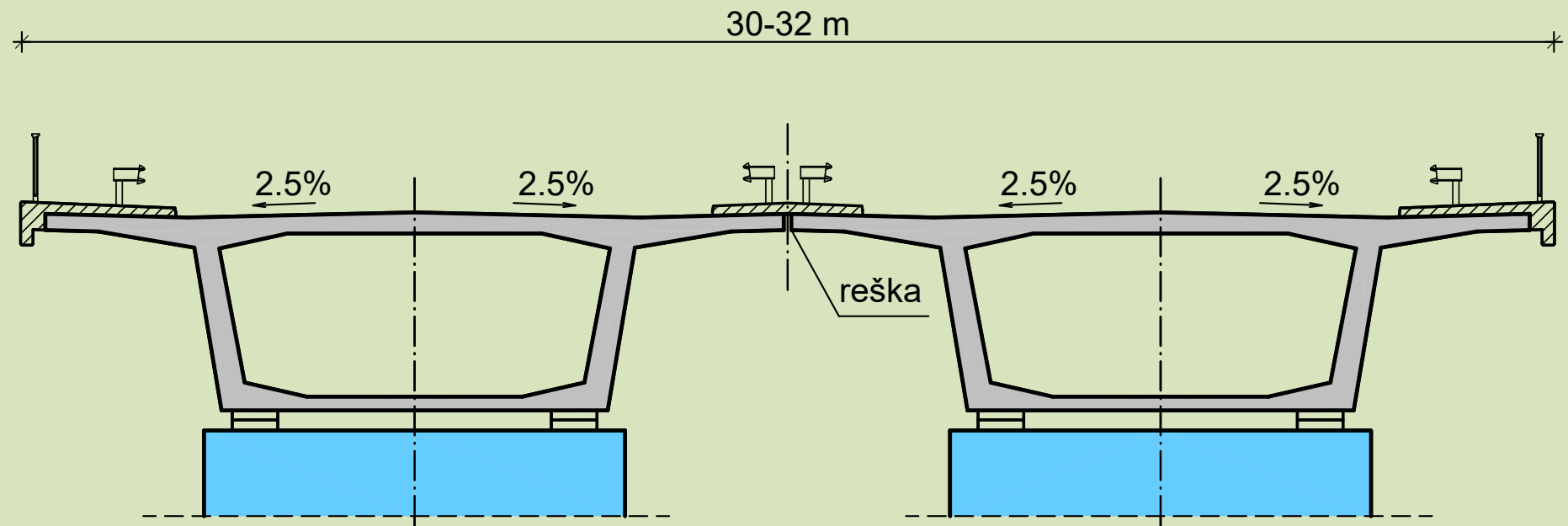




Oblikovanje poprečnog presjeka

PRESJECI SA VIŠE SANDUKA

- Kod mostova na autocestama povoljno je svaki trak voditi na zasebnom sanduku s jednom komorom
- Unutrašnjost sanduka obično se koristi za provođenje instalacija, no postoje izvedbe gdje se unutar sanduka odvija promet

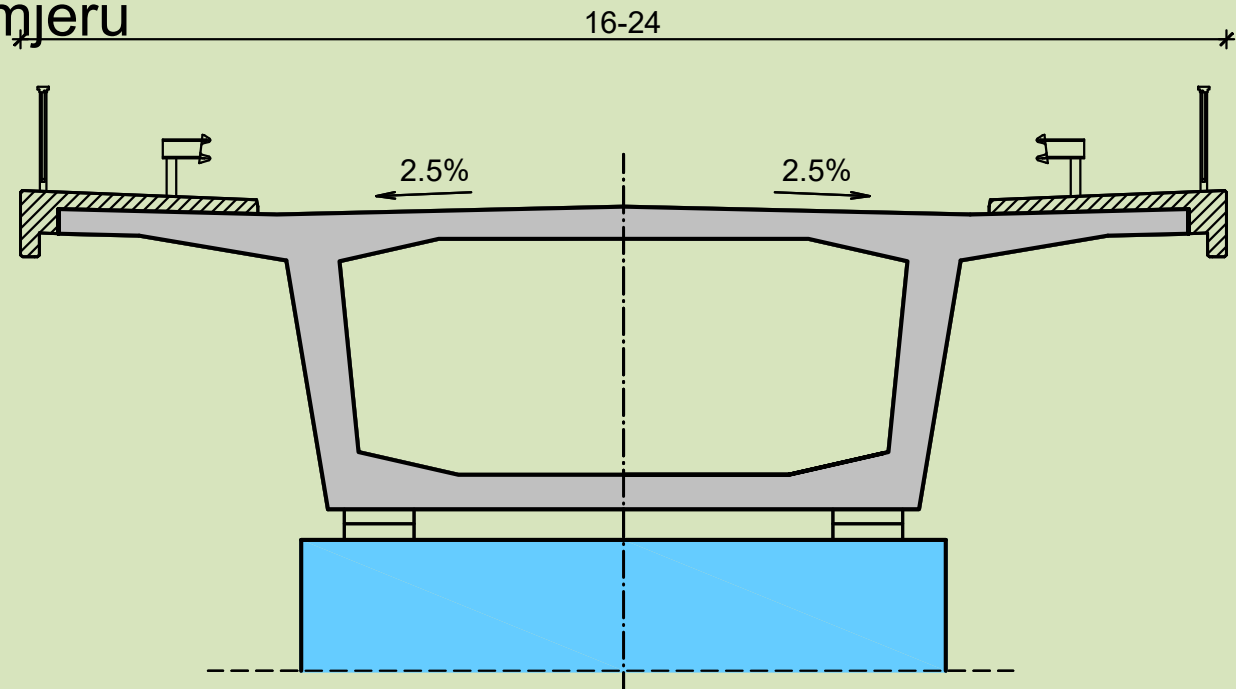




Oblikovanje poprečnog presjeka

NAGNUTI HRPTOVI

- estetski su prihvatljiviji od onih s vertikalnim hrptovima
- njihova izvedba je složenija (vibriranje betona u kosom hrptu)
- kod promjenjive visine uzrokuju smanjenje površine donjeg pojasa iznad stupova (tamo gdje je to zbog tlaka najpotrebnije)
- nagnutost hrptova izaziva u gornjoj kolničkoj ploči dodatne vlačne sile u poprečnom smjeru
- $\text{tg } \alpha = 1/5 \text{ do } 1/4$.





Oblikovanje poprečnog presjeka

POPREČNI NOSAČI (OKVIRI) I DJAFRAGME

- Poprečni nosači, dijafragme ili poprečni okviri izvode se u pravilu samo na ležajima.
- Uloga poprečnog nosača je da:
 - spriječiti izobličenje (krivljenje) poprečnog presjeka i
 - preda momente torzije i poprečne sile na ležaje
- Da bi poprečni nosač obavio svoju zadaću, dovoljno je da ima razmjerno malu debljinu (30 do 50 cm)



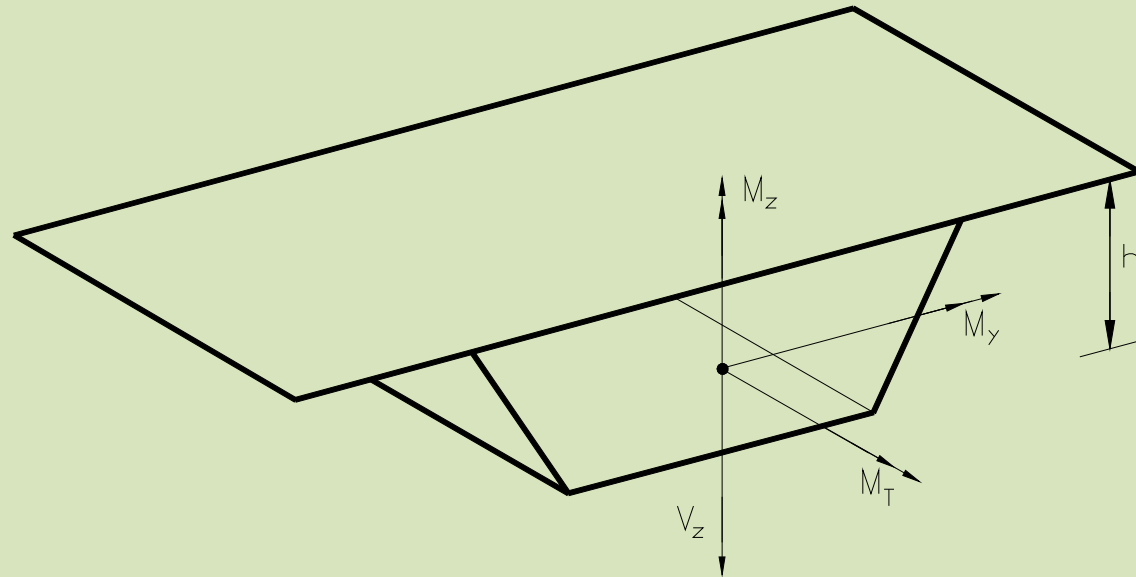


Proračun i izvedba





Proračun sandučastog nosača u uzdužnom smjeru



Unutarnje sile u rasponskom sklopu sandučastog poprečnog presjeka

Štapni model za proračun konstrukcije u uzdužnom smjeru

$b/h > 6$



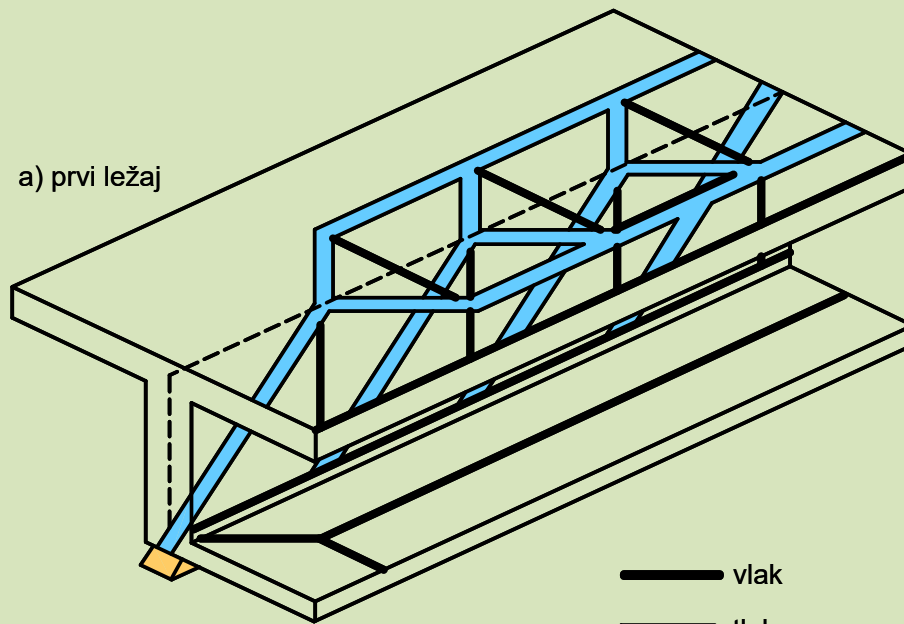
statički model s
jednim štapom ne
daje ispravne
rezultate



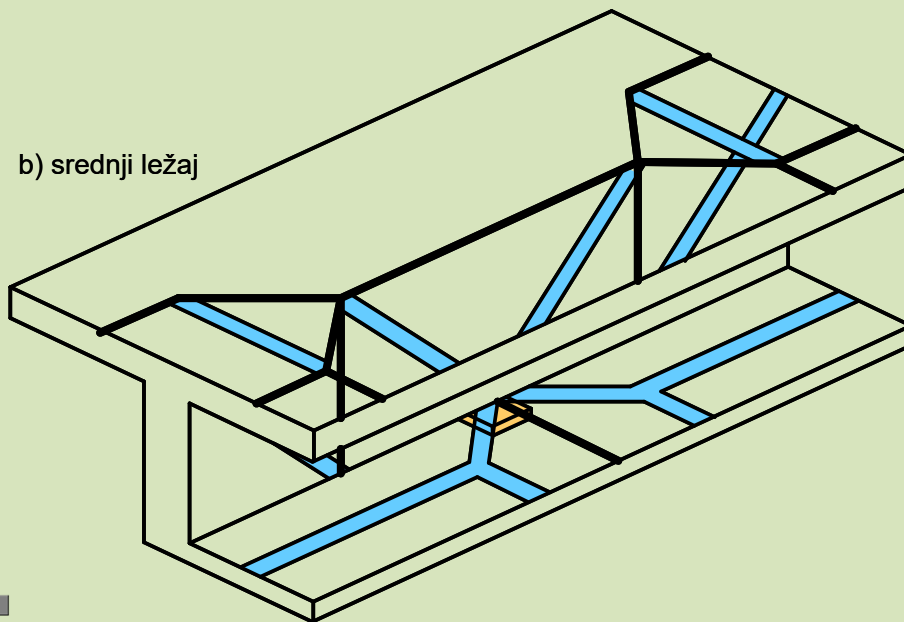
konstrukcija se
ponaša po
teoriji ploča



statički model roštilj,
rešetka ili sa pločastim
elementima



— vlak
— tlak



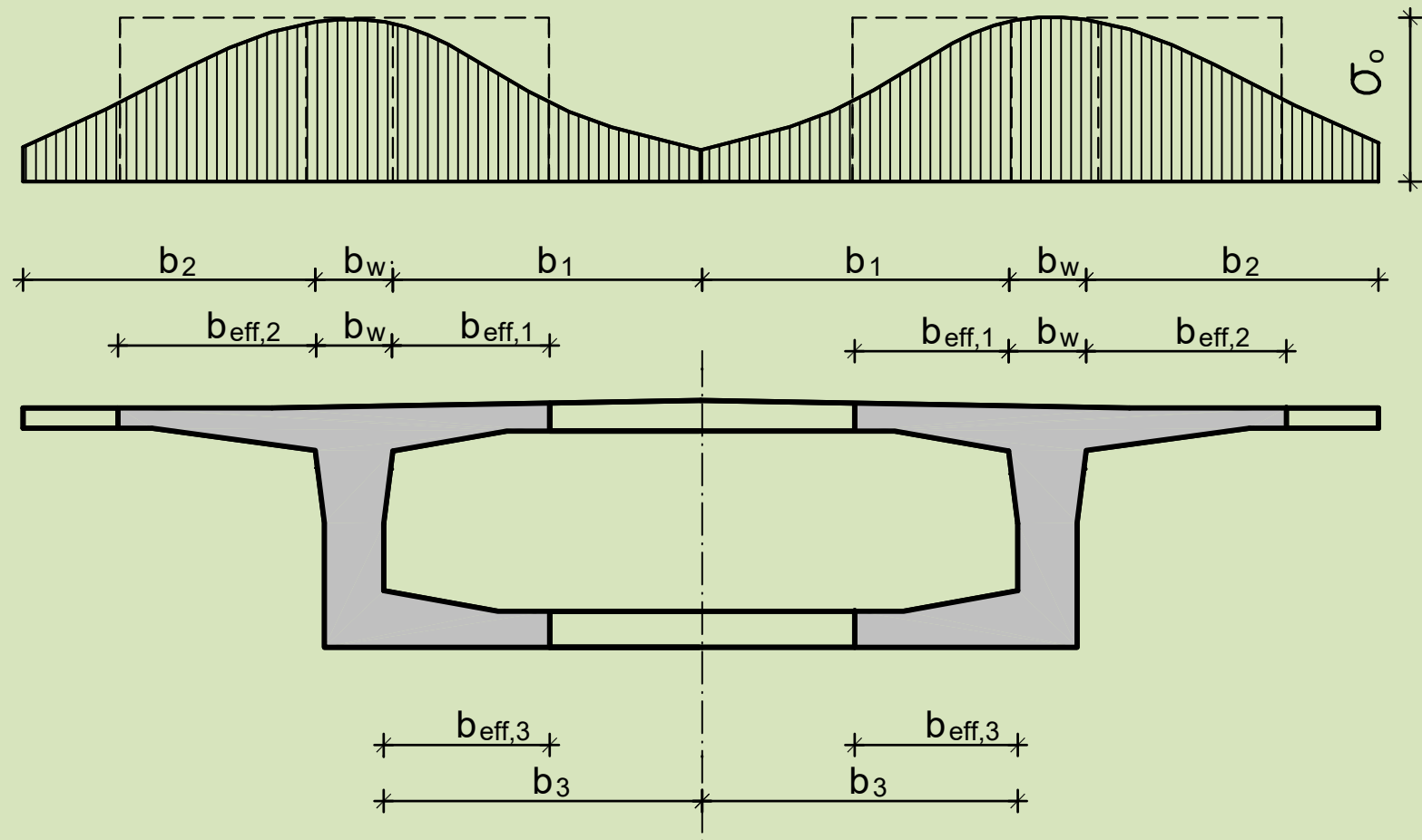
rešetkasti model sanduka
nad osloncima $\Rightarrow$ tijekom
vlačnih i tlačnih naprezanja





Raspodjela naprezanja i sudjelujuće širine u poprečnom presjeku

- Zbog nejednolike razdiobe napona po širini poprečnog presjeka, posebno na mjestima oslanjanja, pri proračunu štapnim modelom potrebno je odrediti sudjelujuće širine gornje i donje ploče





Raspodjela naprezanja i sudjelujuće širine u poprečnom presjeku

EN 1992-1-1: pravila za proračunske širine pojasnica greda T ili L poprečnog presjeka

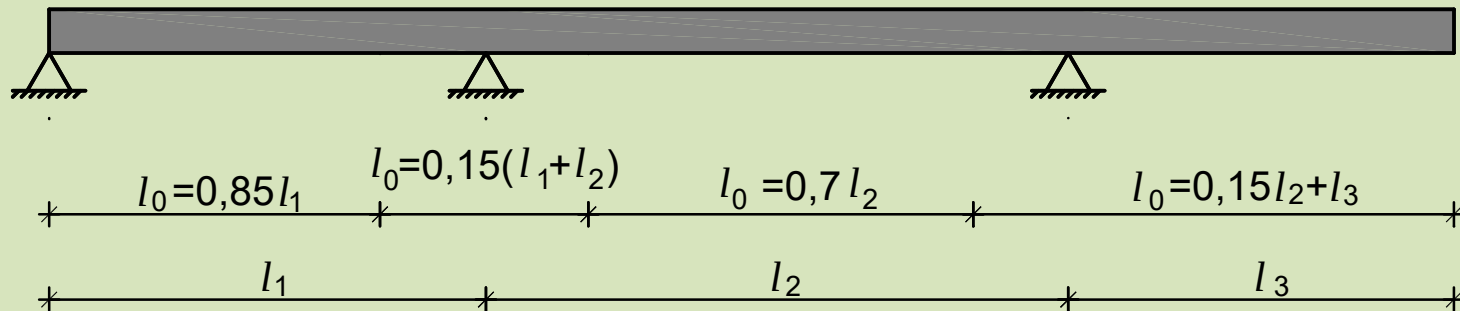
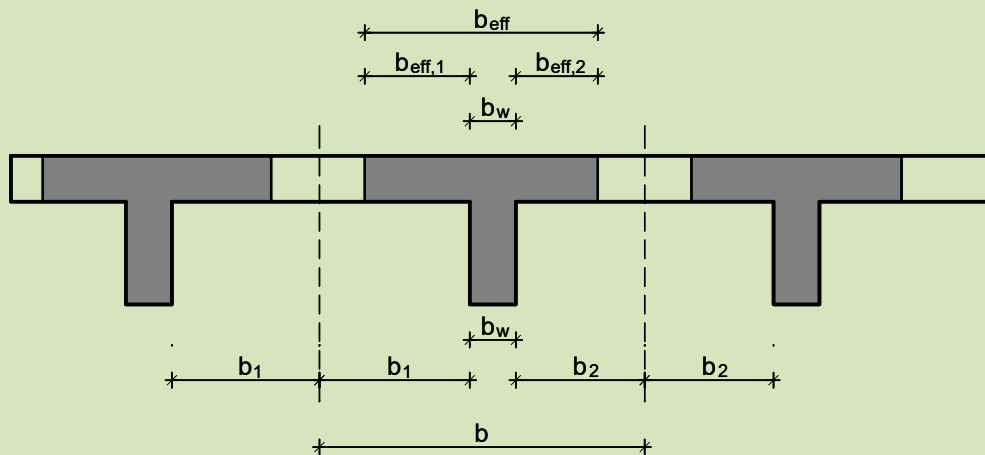


$$b_{eff,i} = \sum b_{eff,i} + b_w$$

$$b_{eff,i} = 0,2b_i + 0,1l_0 \leq 0,2l_0$$

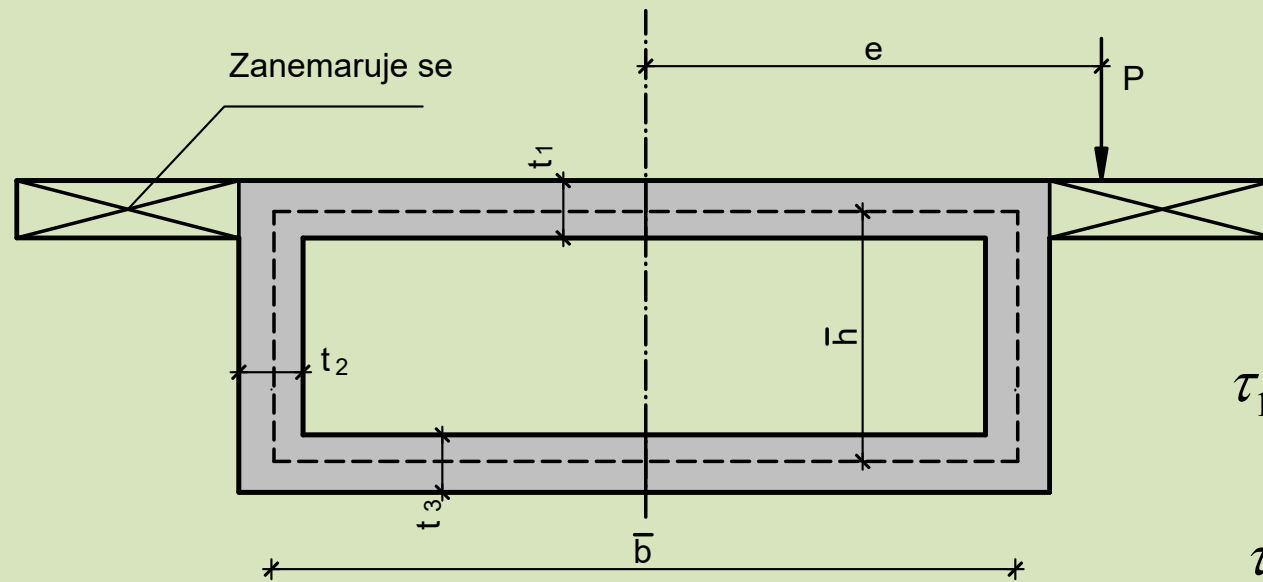
$$b_{eff,i} \leq b_i$$

- b_w širina hrpta,
- b_i stvarna širina pojasnice,
- l_0 efektivni raspon (udaljenost nul-točaka momentnog dijagrama)





Torzijska krutost sandučastog poprečnog presjeka



$$\tau_1 = \frac{P \cdot e}{2 \cdot \bar{b} \cdot \bar{h} \cdot t_1}$$

$$\tau_2 = \frac{P \cdot e}{2 \cdot \bar{b} \cdot \bar{h} \cdot t_2}$$

$$\tau_3 = \frac{P \cdot e}{2 \cdot \bar{b} \cdot \bar{h} \cdot t_3}$$

$$I_T = \frac{4 \cdot \bar{A}^2}{\int \frac{ds}{t}} = \frac{4 \cdot (\bar{b} \cdot \bar{h})^2}{\sum_i \frac{s_i}{t_i}} = \frac{4 \cdot (\bar{b} \cdot \bar{h})^2}{\frac{\bar{b}}{t_1} + 2 \cdot \frac{\bar{h}}{t_2} + \frac{\bar{b}}{t_3}}$$

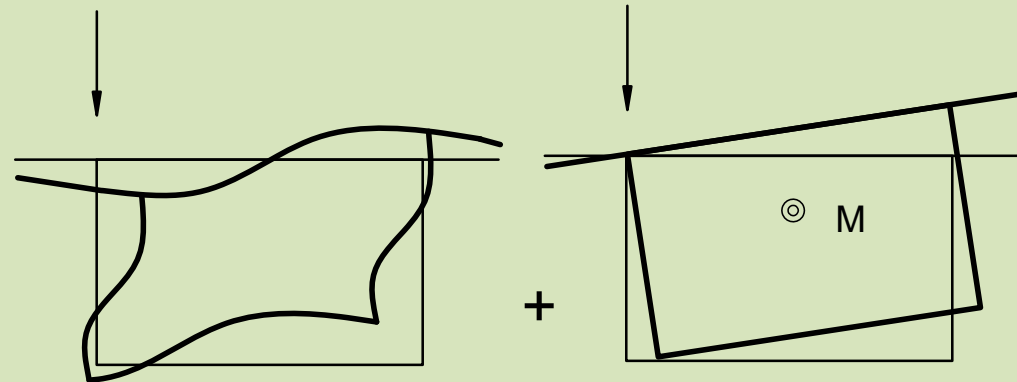
- Da bi ovo vrijedilo mora postojati pretpostavka da poprečni presjek sanduka ostaje nepromjenljiv $\Rightarrow$ uslijed djelovanja torzije ne mijenja bitno svoj oblik
- Kod mostova od prednapetog betona ova pretpostavka je ostvarena kad je sanduk nad ležajevima ukrućen poprečnim dijafragmama ili dovoljno krutim okvirom



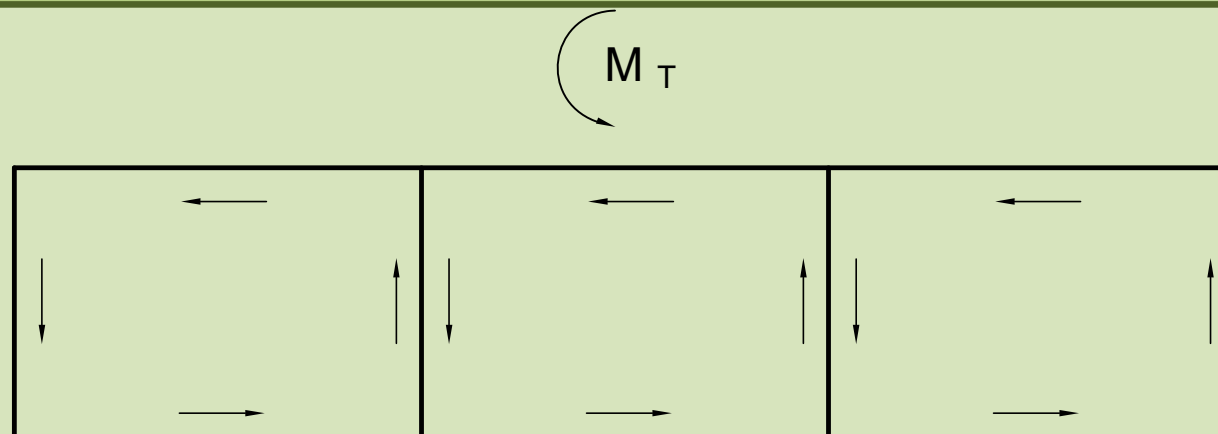


Torzijska krutost sandučastog poprečnog presjeka

Kod tankostijenih poprečnih presjeka velikih sandučastih nosača:
 $M_T \Rightarrow$ deformacije poprečnog presjeka $\Rightarrow$ dodatni poprečni momenti savijanja okvira sanduka $\Rightarrow$ zbog malih vrijednosti obično zanemarivi

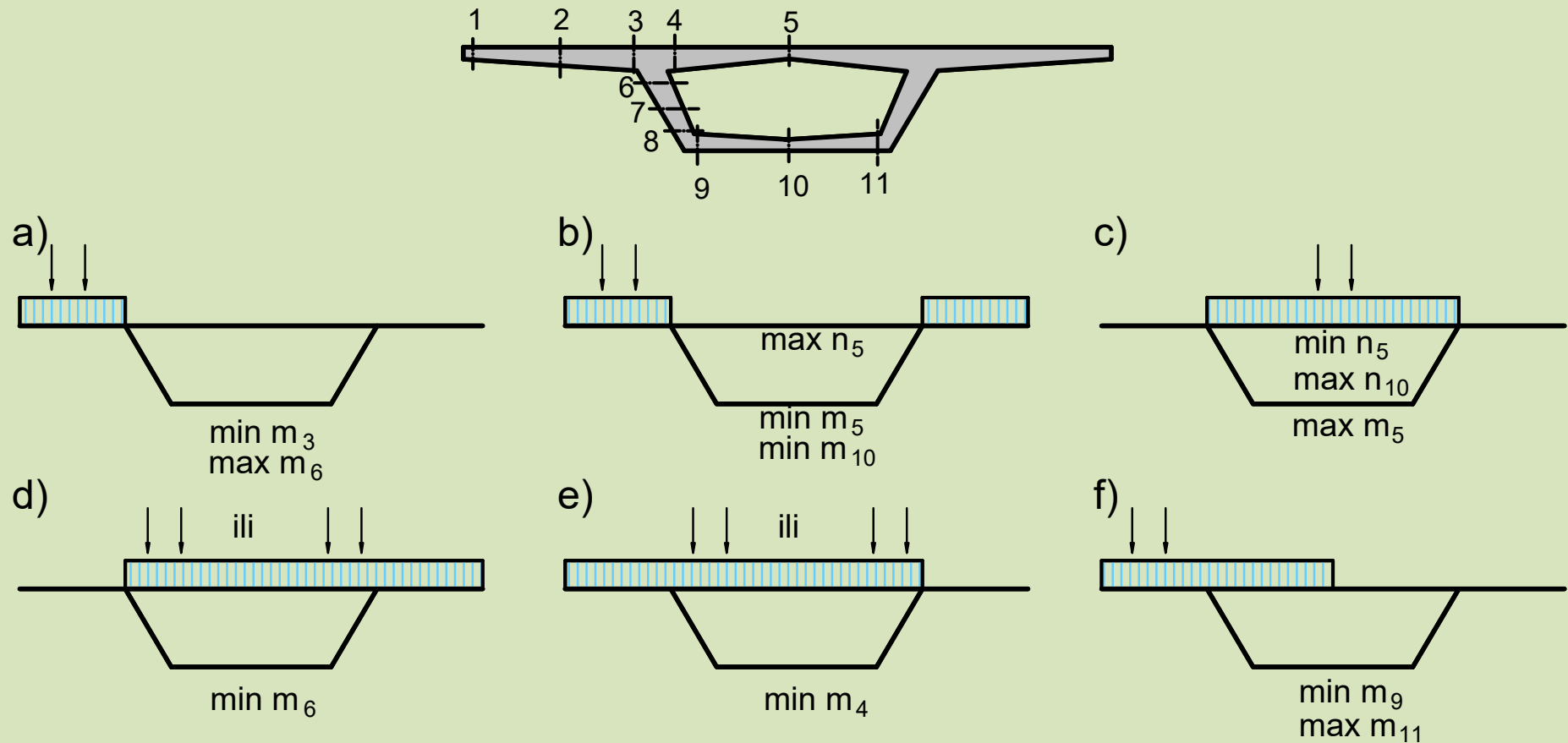


Kod sanduka sa više komora se posmična naprezanja od torzije u unutrašnjim rebrima poništavaju $\Rightarrow$ unutarnja rebra zanemarujemo pri proračunu I_T .





Proračun u poprečnom smjeru



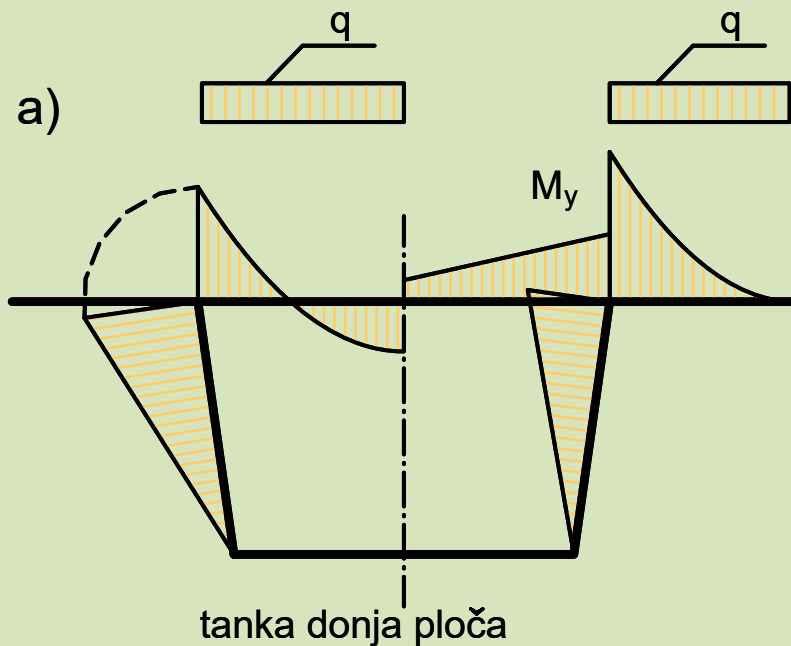
Položaji pokretnog opterećenja za proračun sanduka u poprečnom smjeru.



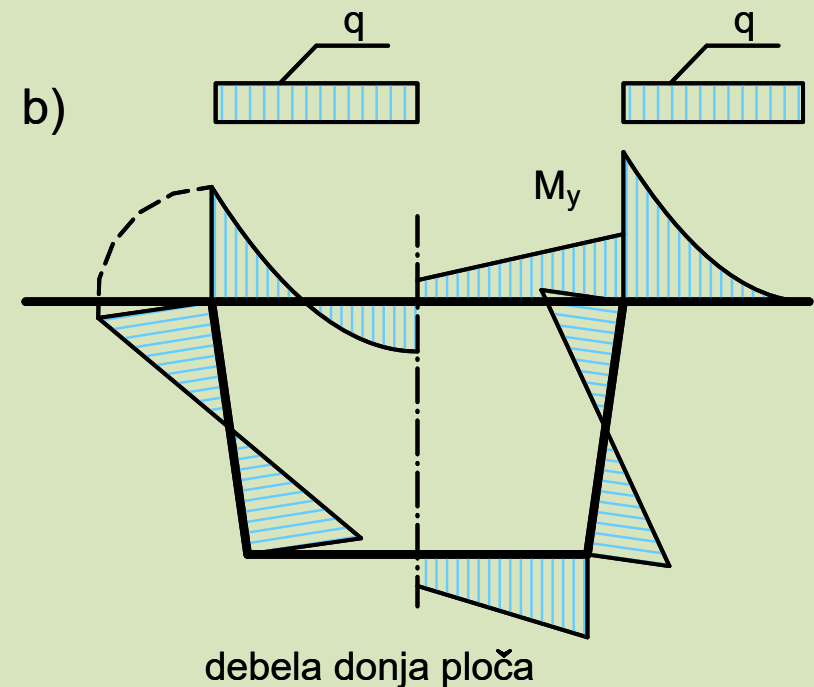


Proračun u poprečnom smjeru

Poprečni momenti savijanja u sandučastom nosaču s tankom donjom pločom



Poprečni momenti savijanja u sandučastom nosaču pri debeloj donjoj ploči

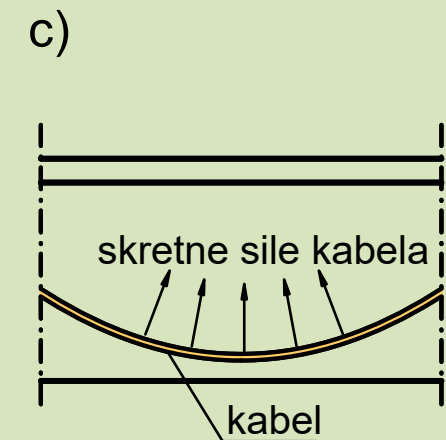
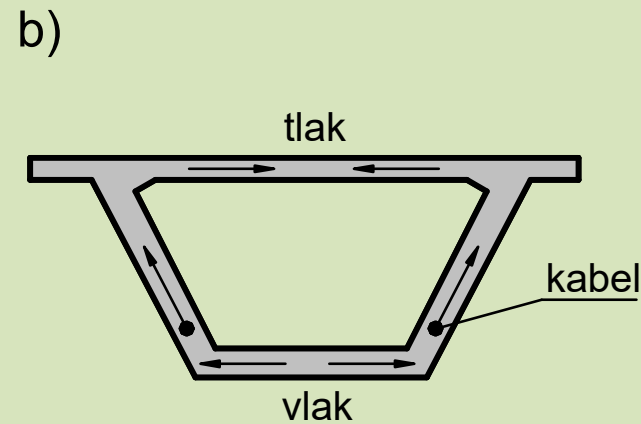
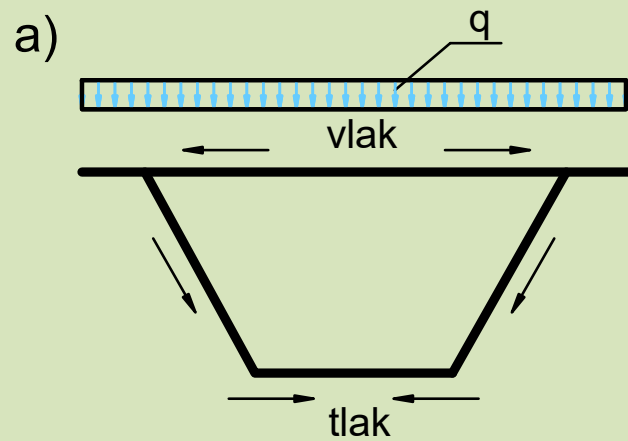


- stupanj upetosti ploče kolnika je kod sandučastih nosača veći nego kod rebrastih poprečnih presjeka
- za određivanje stupnja upetosti, odnosno za prijenos momenata upetosti preko rebra u donju ploču, sandučasti nosač se promatra kao zatvoreni okvir.



Proračun u poprečnom smjeru

Nagnuta rebra $\Rightarrow$ poprečni vlak i poprečni tlak u gornjem i donjem pojasu sandučastog nosača već od vlastite težine.





Donja ploča

Opterećenja donje ploče:

- Savijanje u poprečnom smjeru uslijed vlastite težine i korisnog opterećenja.
 - Uslijed momenata savijanja glavnog nosača i djelovanja poprečnih sila, u donjoj ploči se pojavljuju tlačni ili vlačni naponi.
 - Uslijed momenta torzije glavnih nosača u donjoj ploči pojavljuju se glavni vlačni i tlačni naponi koji se križaju pod kutom od 45-135 °.
 - Uslijed vođenja kabela u donjoj ploči pojavljuju se skretne sile.
 - Kod tankih donjih ploča uz debelo rebro, pojavljuju se u ploči znatni dodatni naponi od promjene temperature i puzanja i skupljanja betona.
- Uzdužni vlačni naponi, koji se pojavljuju u donjoj ploči sanduka, prihvataju se prednapinjanjem, a poprečni vlačnom armaturom.





Donja ploča

Opterećenja donje ploče:

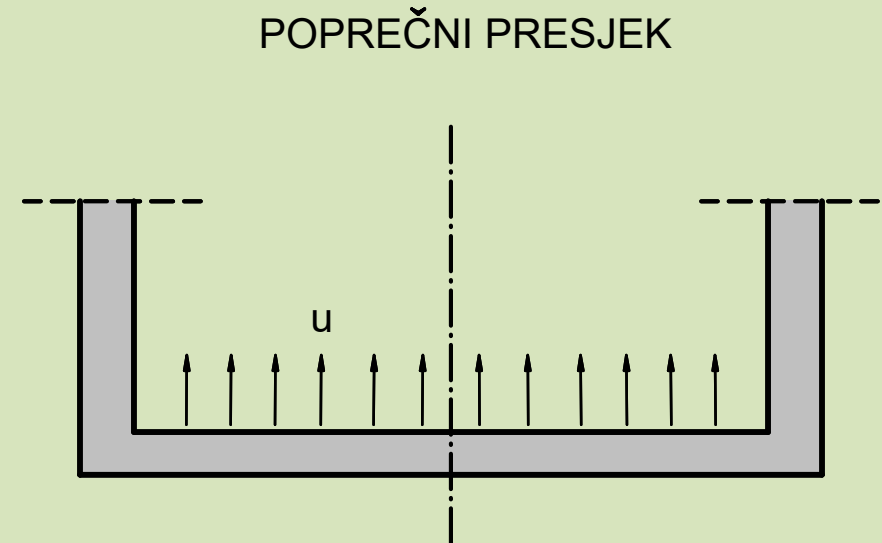
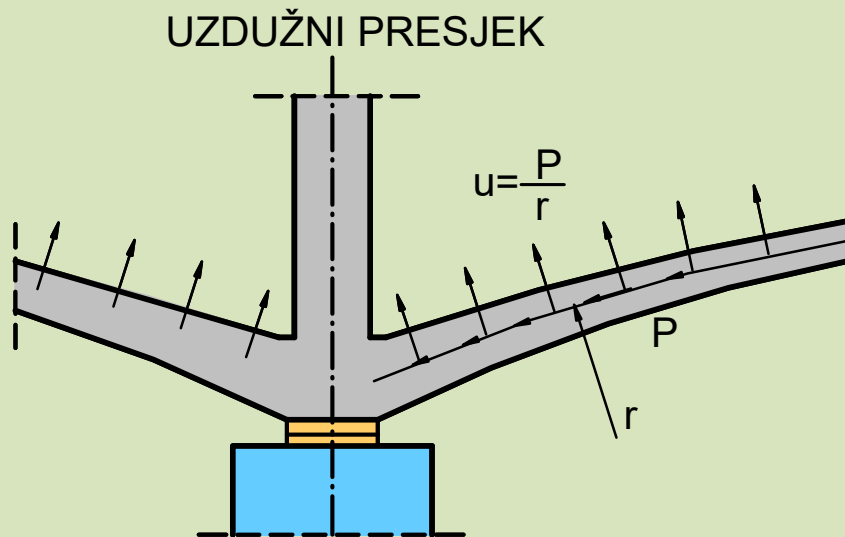
- U području pozitivnih momenata savijanja donja ploča se izvodi što tanja da se smanji vlastita težina. Minimalna debljina mora biti 20 cm ili $L_{pl}/30$. Ukoliko su u donju ploču položeni kabeli, debljina treba biti najmanje 3 promjera zaštitne cijevi kabela.
- Kabele glavnih nosača u donjoj ploči potrebno je postaviti što bliže rebru. Tanje ploče treba ukrutiti poprečnim rebrima.
- U području negativnih momenata savijanja debljina donje ploče ovisi o tlačnoj sili u ploči. Kod mostova većih raspona i uskih sanduka, debljina donje ploče često je veća od 1,0 m.





Donja ploča

Kod kontinuiranih nosača sa zaobljenim donjim pojasom, pojavljuju se u donjoj ploči skretne sile usmjerene prema gore. U donjoj ploči ove sile izazivaju poprečne momente savijanja suprotnog smjera od momenata savijanja izazvanih vlastitom težinom.





Međudjelovanje izvedbe i proračuna

NAJČEŠĆI POSTUPCI IZVEDBE:

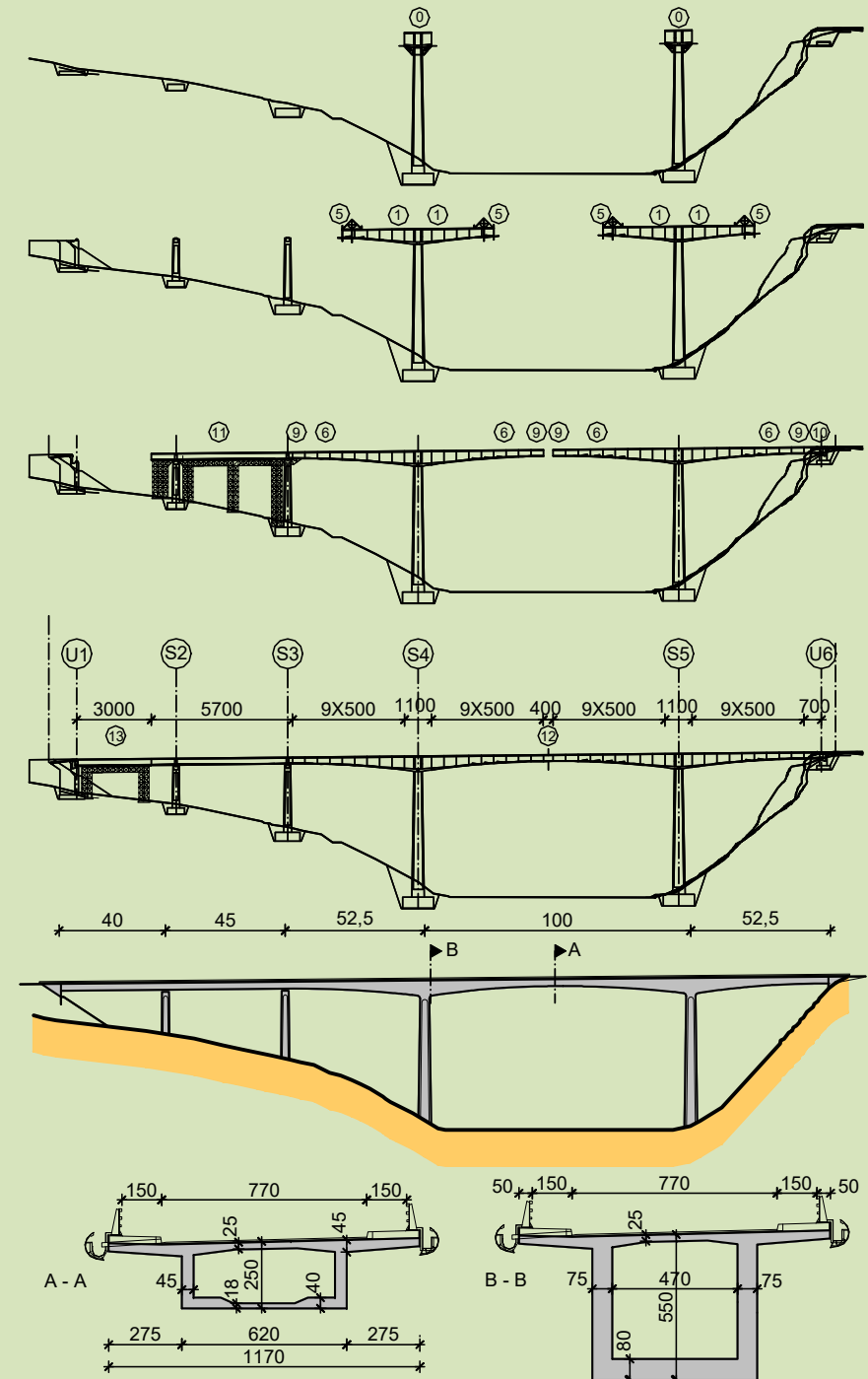
- slobodna konzolna gradnja
 - građenje betoniranjem odsječaka na licu mjesta
 - građenja predgotovljenim (montažnim) odsječcima (3 – 5 m)
- uzdužno potiskivanje
 - odsječci se betoniraju iza upornjaka i sklop se potiskuje preko stupova
- izvedba na skeli
 - Izvedba na fiksnoj skeli, oslonjenoj o tlo,
 - izvedba na pomičnoj skeli, oslonjenoj na vrhove stupova (lansirna skela)
- izvedba montažom predgotovljenih odsječaka punog raspona ili velike duljine
 - pomagala velike nosivosti i duljine (navlačna rešetka).





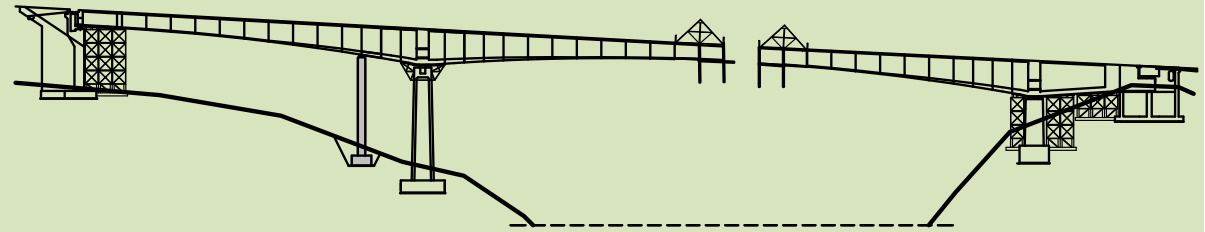
➤ kombinacija dvaju postupaka:

- središnji sklop promjenjive visine preko tri polja izvest će se konzolnim postupkom, betoniranjem odsječaka na mjestu
- rubna polja (most je niže nad tlom) bit će izvedena na skeli

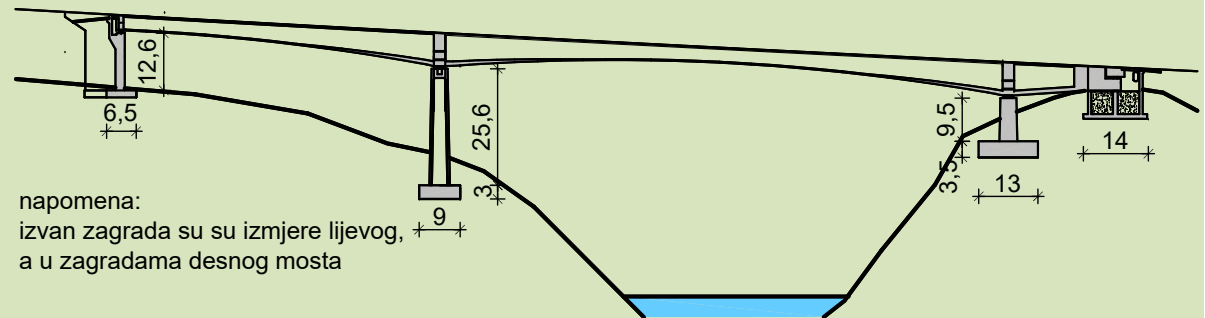
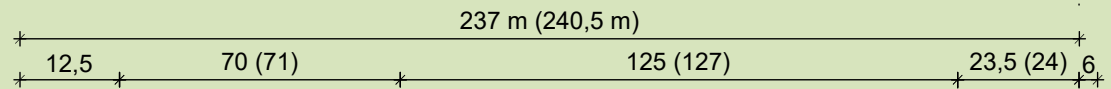




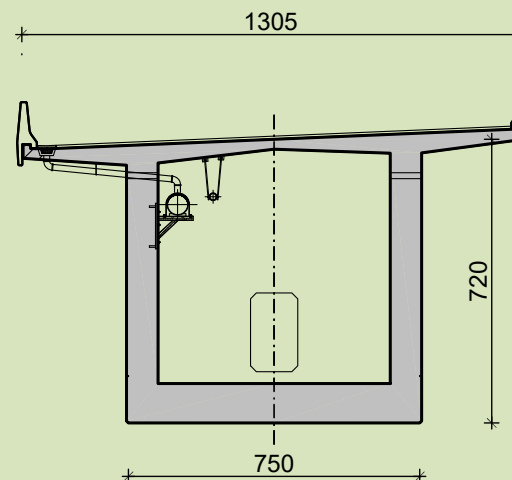
- Most Kamačnik ⇒ kombinacija konzolne izvedbe i građenja na skeli uz korištenje privremenih potpora (stupova)
- Dijelovi mosta i oprema za gradnju nisu smjeli ući u kanjon zbog uvjeta očuvanja okoliša, što je bitno odredilo raspored mosta, ali i način izvedbe konzolnim postupkom, bez pomoćnih oslonaca unutar kanjona



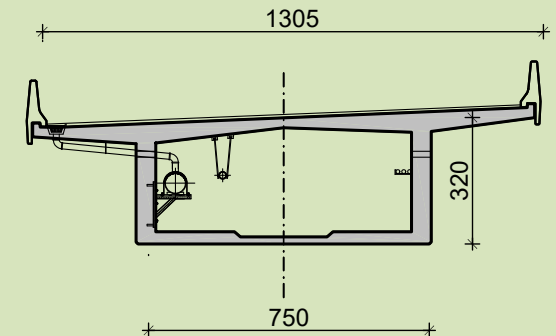
uzdužni presjek



presjek nad ležajem



presjek u polju





Most Kamačnik

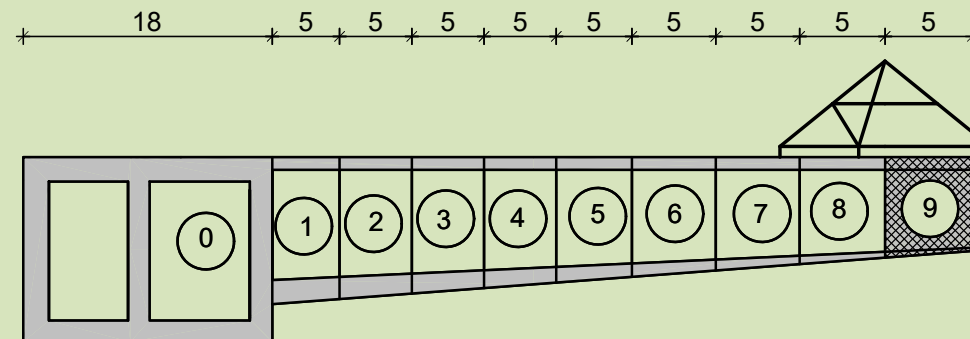




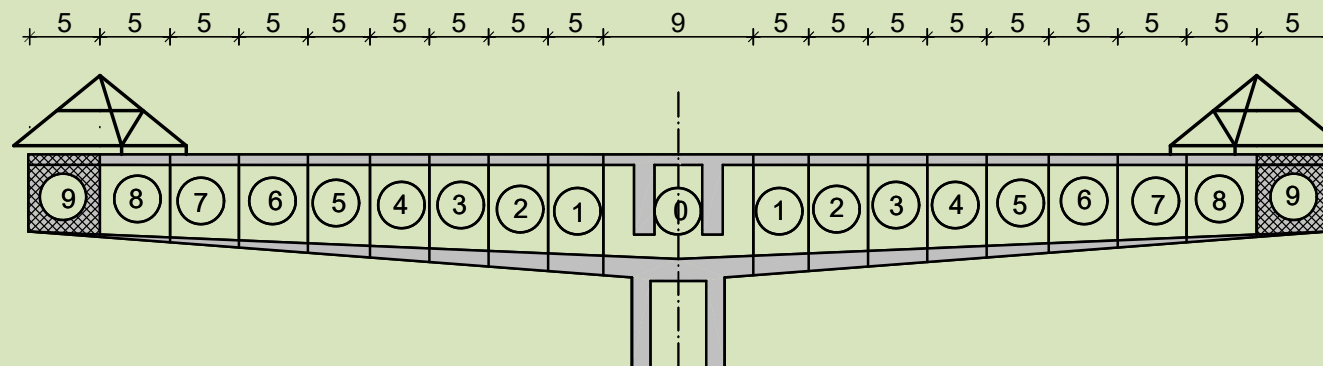
Konzolna gradnja i prikladan proračun

- način izradbe rasponskoga sklopa mosta redanjem odsječaka
- prednapinjanjem se svaki odsječak povezuje s prethodnim
- svaki od njih preuzima opterećenje od sljedećih, uz dodatno opterećenje od težine radne skele i oplate, koja se pri tome ne oslanja na tlo

a) konzolni postupak



b) balansno-konzolni postupak





Konzolna gradnja i prikladan proračun

Ovo je osobito pogodna gradnja:

- kada su vodene prepreke duboke ili široke
- kada su vodeni tokovi brzi, s mogućnošću pojave visoke vode
- kada su stupovi osobito visoki, odnosno prepreka naročito duboka
- kada postoji potreba za slobodnim odvijanjem prometa pod mostom tijekom gradnje

S obzirom na mjesto betoniranja segmenata:

- postavljanje gotovih segmenata konstrukcije (montažna)
 - Dugi vijadukti, mali i srednji rasponi, tipski poprečni presjeci
- izvedba nosača betoniranjem na mjestu gradnje (monolitna)
 - Veliki mostovi, neuobičajeni presjeci, vanstandardni rasponi



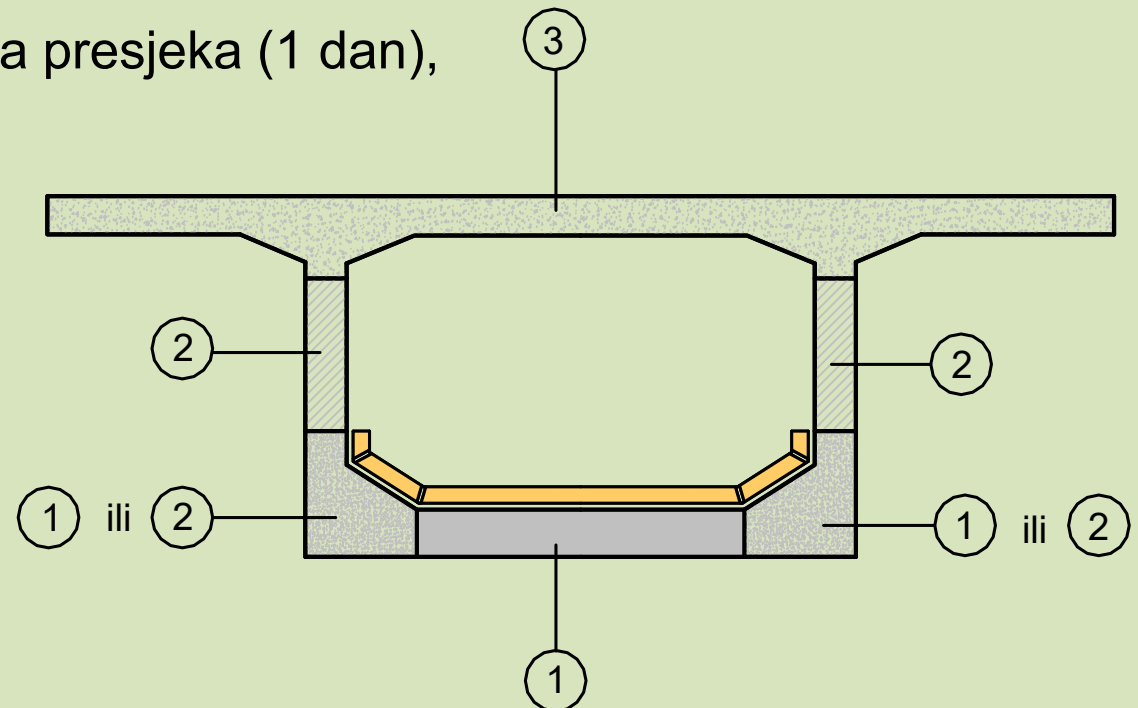


Monolitna konzolna izvedba

➤ Greda se izvodi i betonira na mjestu u pokretnoj radionici (krletki). Faze izvedbe jednog segmenta za $h > 3$ m:

- pomicanje i geodetsko namještanje krletke i oplate (pola dana),
- postavljanje armature donje ploče i hrptova, i zaštitnih cijevi kabela (1 dan)
- betoniranje donje ploče i pola visine hrpta (1 dan),
- postavljanje preostale armature hrpta i gornje ploče te zaštitnih cijevi kabela (1 dan),
- betoniranje preostalog dijela presjeka (1 dan),
- njega betona (2-3 dana),
- prednapinjanje kabela.

➤ za $h < 3$ m – armiranje i betoniranje odjednom

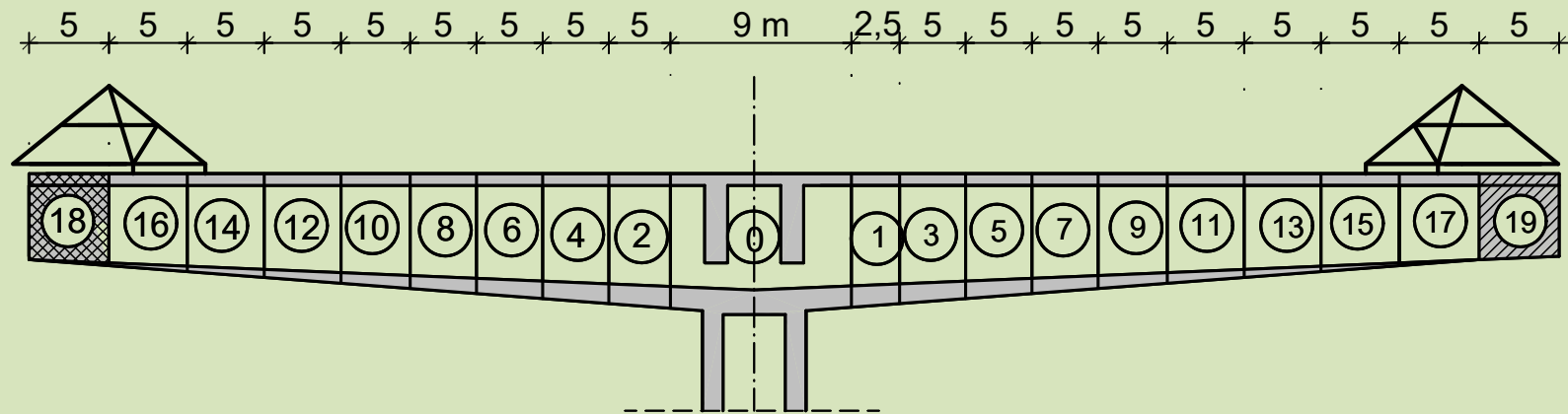




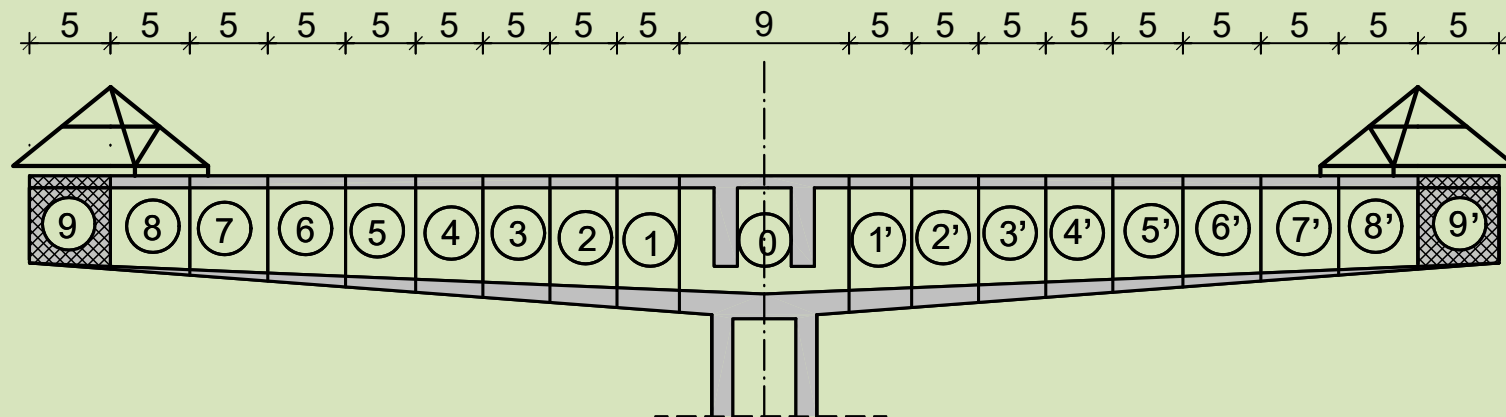
Monolitna konzolna izvedba

➤ S obzirom na duljinu prvog segmenta:

a) nesimetrična izvedba segmenata



b) simetrična izvedba segmenata





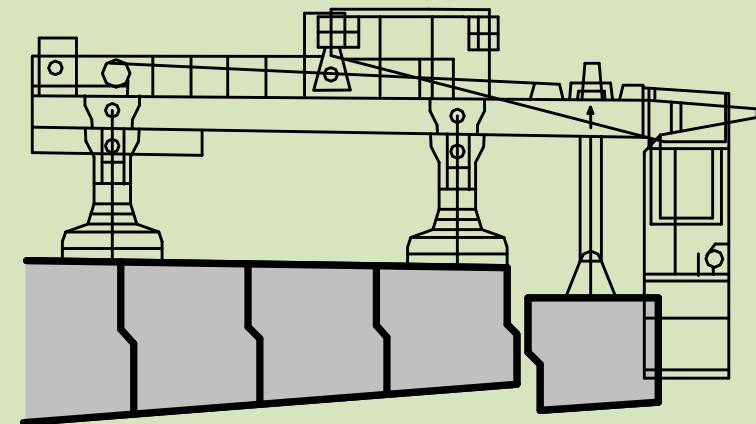
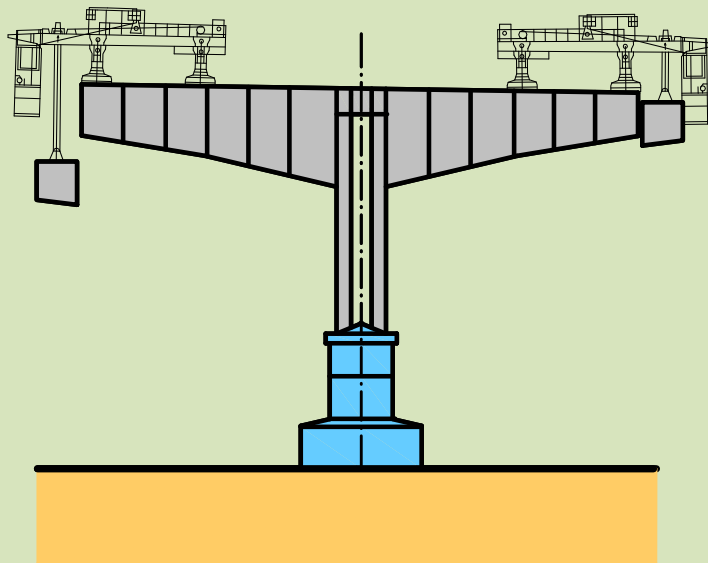
Monolitna konzolna izvedba





Montažna konzolna izvedba

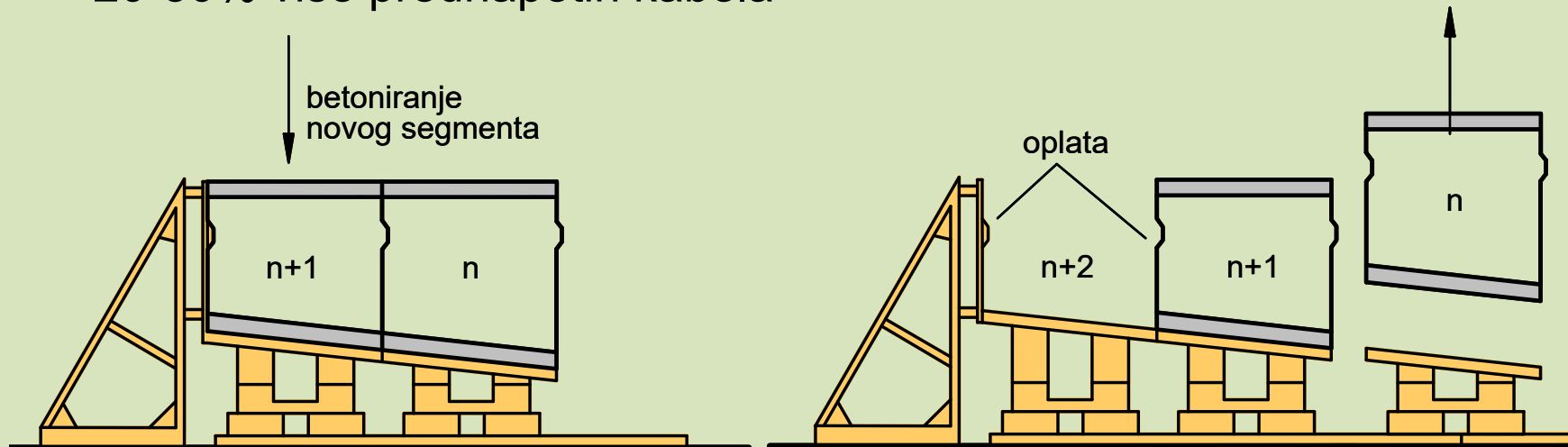
- PREDNOSTI u odnosu na betoniranje na licu mjesta
 - Betoniranje se obavlja u radionici
 - ⇒ moguća stroža kontrola kvalitete i bolja njega betona.
 - Odsječci su u trenutku montaže već dosegli dovoljnu starost ⇒ smanjuju se dugotrajne deformacije na mostu
 - Moguće je montirati više odsječaka dnevno ⇒ ubrzati gradnju





Montažna konzolna izvedba

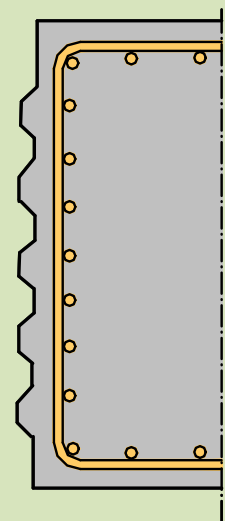
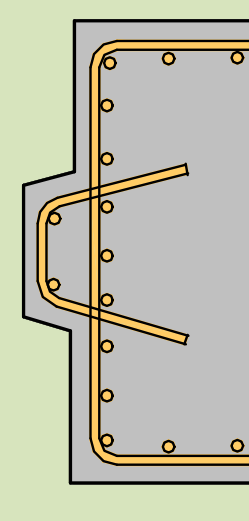
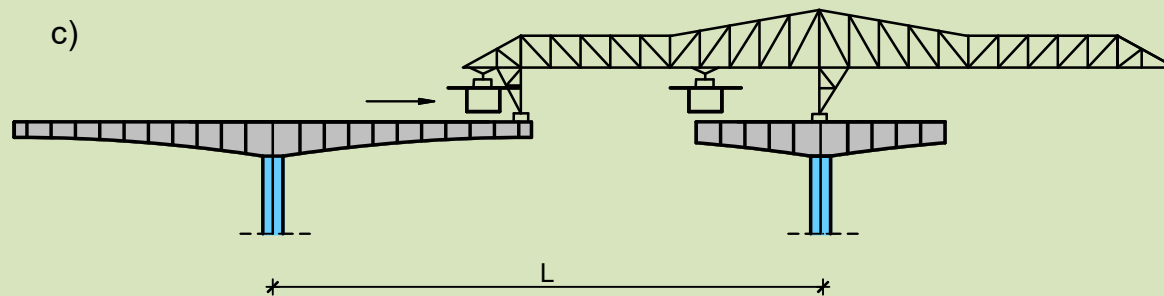
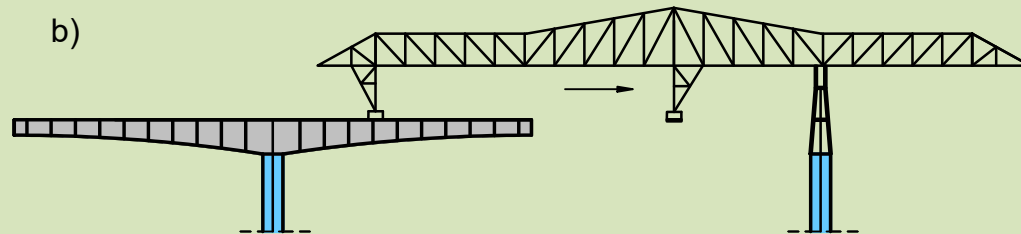
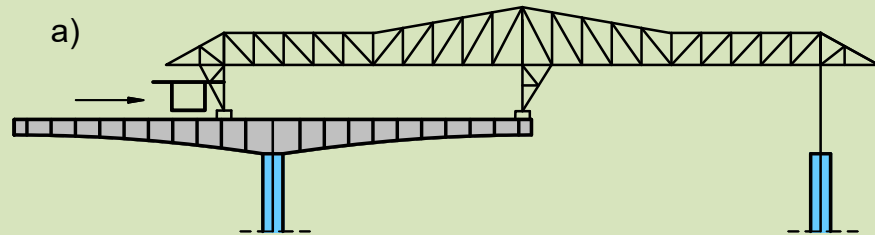
- MANE u odnosu na betoniranje na licu mjesta
 - Radne reške
 - slaba mjesta u konstrukciji
 - potrebno je koristiti vrlo kvalitetno polimerno ljepilo i nazubljenja
 - odsječci moraju savršeno pristajati a to nije lako ostvariti jer je poprečni presjek obično promjenjive visine
 - kod mostova u zavoju dodatne komplikacije geometrije
 - nejednolika temperature po visini presjeka $\Rightarrow$ mali broj velikih pukotina $\Rightarrow$ redukcija krutosti poprečnog presjeka
 - 20-30% više prednapetih kabela





Montažna konzolna izvedba

Jednostruko i vešestruko nazubljenje odsječaka:



Izvedba balansnim postupkom s lansirnim nosačem





Montažna konzolna izvedba



Most Rječina





Montažna konzolna izvedba



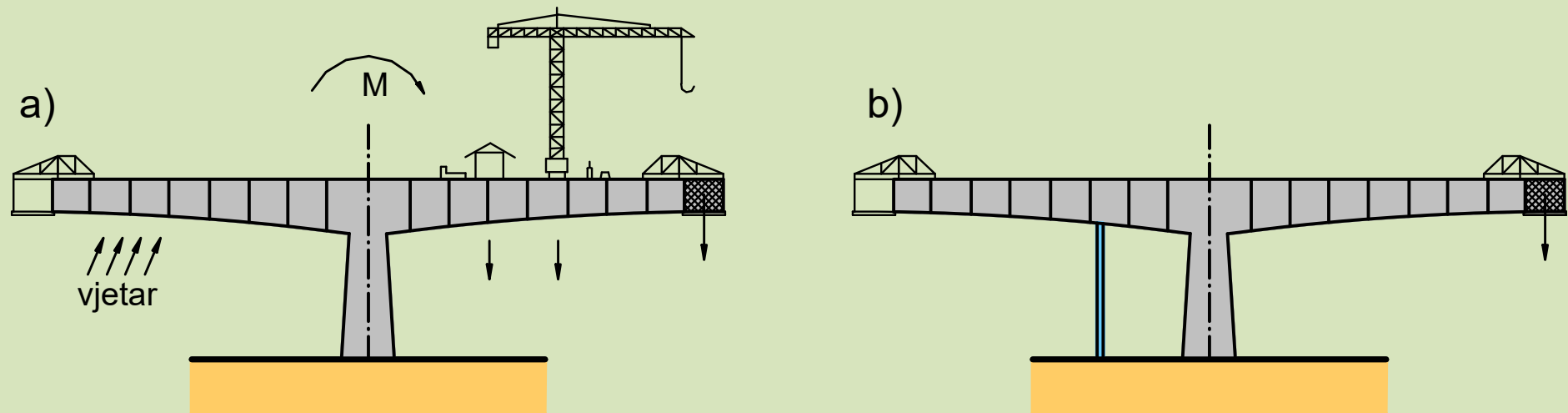
Most Hreljin





Osiguranje stabilnosti kod konzolne gradnje

- segmenti ne nastaju simetrično $\Rightarrow \Delta M$
- ako stup ne može izdržati razliku momenta savijanja, potrebno je predvidjeti privremene oslonce
- prednosti imaju:
 - simetrična izvedba jer je ΔM koji se predaje na stup manji
 - korištenje sustava s dvostrukim stupovima





Proračun nadvišenja rasponskog sklopa

- niveleta se korigira i izvodi prema nadvišenim točkama koje imaju oblik neke krivulje
- pri proračunu nadvišenja potrebno je u dogovoru s izvođačem sastaviti plan svih radova na mostu

$$\bar{f}_{nad} = f_{uk} - f_{izv}$$

potrebno nadvišenje konstrukcije

Suma svih pomaka:
vl.tež. odsječka, prednapinjanje,
sk+puz, otpuštanje privr.oslonaca,
slijeganja tla, opt.krletkom,
otpuštanje preše, skraćanja
stupova

pomak od svih do tada izvedenih
djelova konstrukcije

$$f_{nad} = \bar{f}_{nad} + f_{krl,x}$$

Konačno nadvišenje prilikom
geodetskog namještanja oplate za
izvedbu pojedinog segmenta grede

dobiveni pomak nadvišenja
potrebno je povećati za vrijednost
progiba krletke od svježeg betona
tog segmenta



Prednapinjanje sandučastih nosača građenih konzolnom gradnjom

➤ Dvije faze prednapinjanja:

1. FAZA – kablovi za faze izvedbe – ugrađuju se u gornji pojas kod slobodne konzolne gradnje
2. FAZA – kablovi za dodatno stalno i prometno opterećenje (eksploatacija mosta) – ugrađuju se u ostavljene cijevi u presjeku ili kao vanjski kablovi sa unutarnje strane sanduka kada je sanduk već izveden

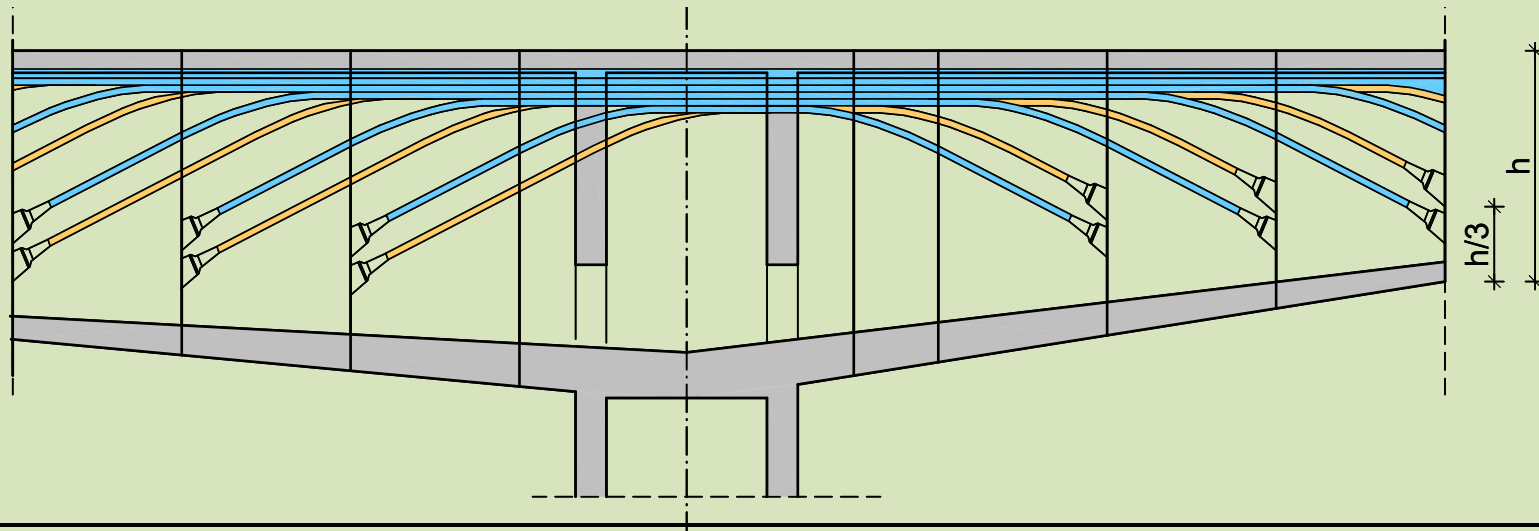




Prednapinjanje sandučastih nosača građenih konzolnom gradnjom

KABLOVI 1. FAZE ZA KONZOLNU GRADNJU SANDUKA:

- kablovi za faze gradnje (1. faza) se ugrađuju u gornji pojas
- na kraju svakoga segmenta - sidriti minimalno 2 kabela $\Rightarrow$ minimalan broj kabela prve faze dva puta veći od broja segmenata
- prostor za smještaj i vođenje tih kabela ograničen je većim brojem rupa potrebnih za sidrenje krletke $\Rightarrow$ dio kabela mora se smjestiti u hrptove
- zbog svoje vertikalne komponente, koja smanjuje dijagram poprečnih sila od vlastite težine, kabele hrpta se prvi sidre $\Rightarrow$ sidrenje je što niže, da vertikalna komponenta sile prednapinjanja bude što veća i nalazi se otprilike na $h/3$ od donjeg ruba poprečnog presjeka
- tijekom izvedbe najprije se ugrađuju samo zaštitne cijevi, u koje se postupno uvlače jedino oni kabele koji se prednapinju na kraju tog segmenta

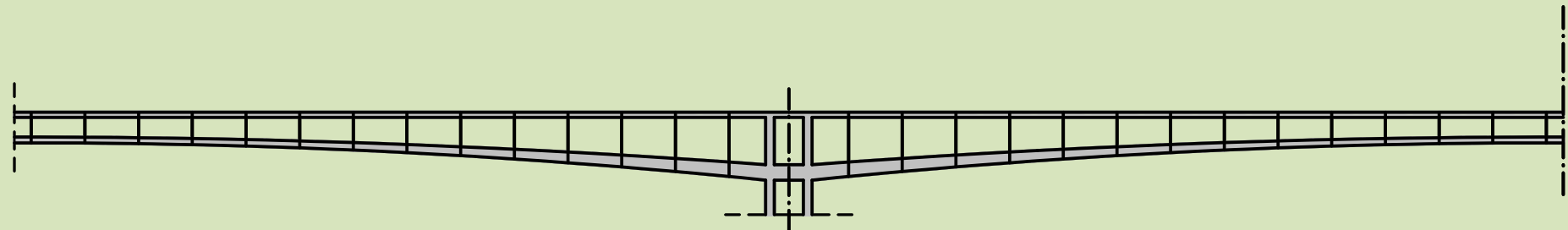
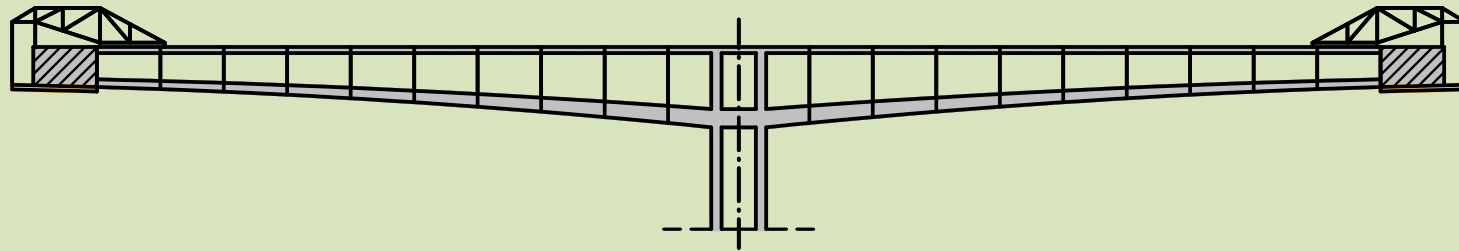




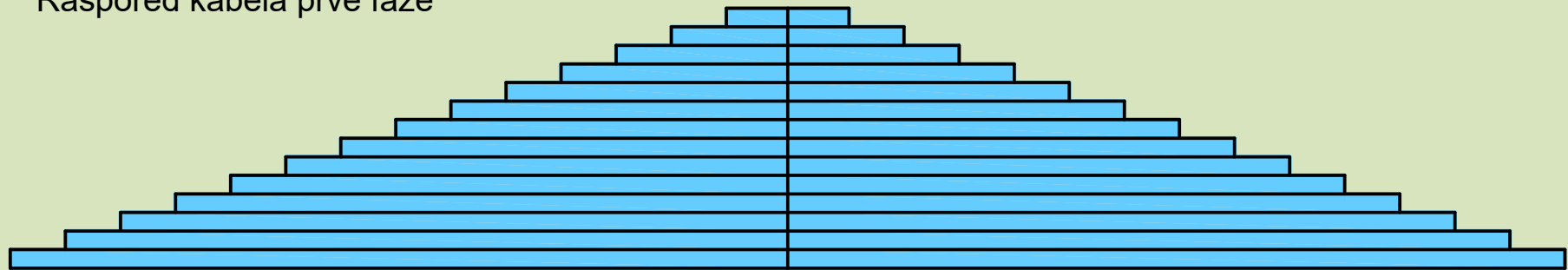
Prednapinjanje sandučastih nosača građenih konzolnom gradnjom

KABLOVI 1. FAZE ZA KONZOLNU GRADNJU SANDUKA:

Izvedba grede konzolno balansnim postupkom



Raspored kabela prve faze



Dijagram količina prednapetih kabela prve faze

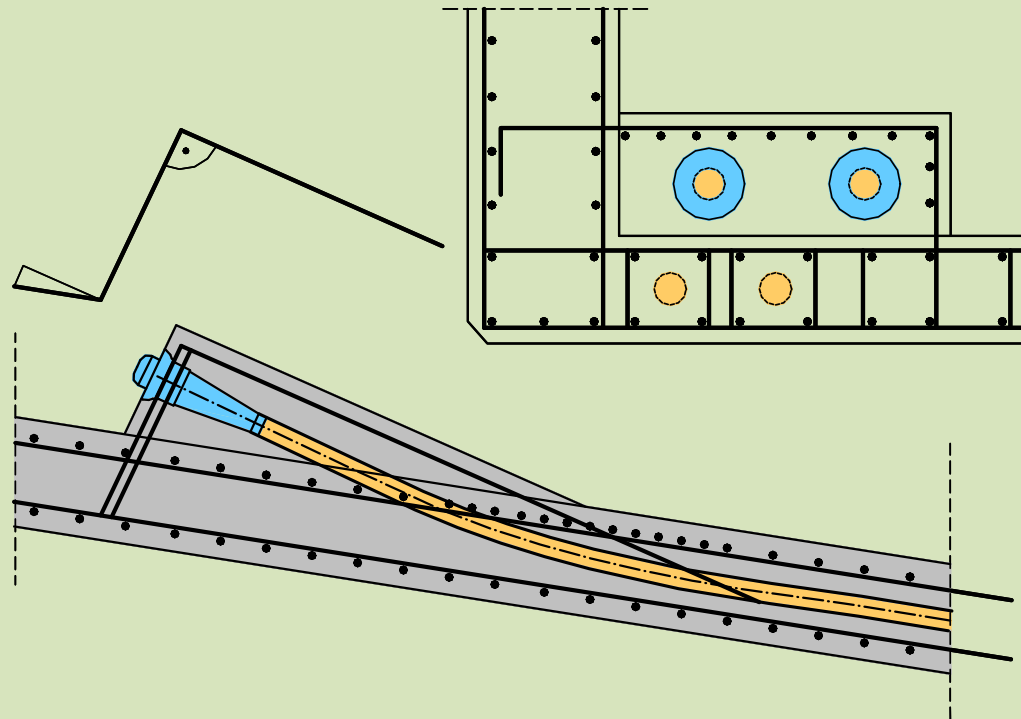




Prednapinjanje sandučastih nosača građenih konzolnom gradnjom

KABLOVI 2. FAZE ZA KONZOLNU GRADNJU SANDUKA:

- kabeli koji se prednapinju naknadno, kad je most već završen, uvlače se u prethodno ugrađene zaštitne cijevi i sidre u istakama ploče ili rebra s unutarnje strane nosača



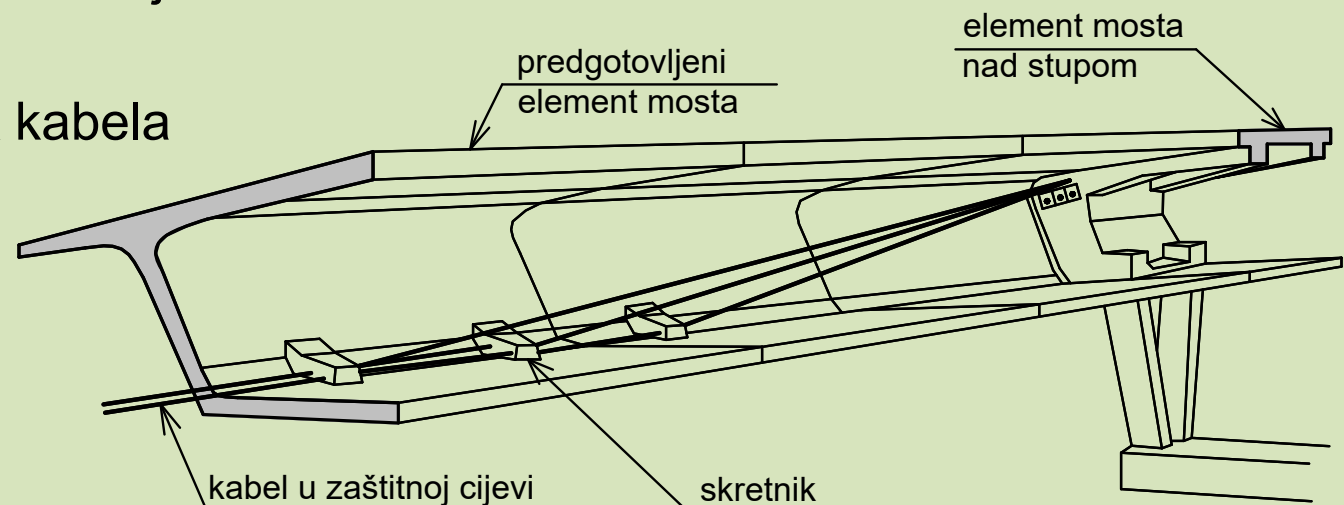


Prednapinjanje sandučastih nosača građenih konzolnom gradnjom

KABLOVI 2. FAZE ZA KONZOLNU GRADNJU SANDUKA:

VANJSKO PREDNAPINJANJE

- nakon spajanja konzola, ovi kabeli preuzimaju pozitivne momente savijanja od Δg i p
- glavne prednosti:
 - gubitci sile zbog trenja znatno su manji u odnosu na klasično prednapinjanje,
 - betoniranje je znatno olakšano jer nema zaštitnih cijevi unutar presjeka
 - injektiranje kabela je olakšano i lakše se kontrolira
 - mogućnost lakše sanacije ovakvih mostova
- Glavna mana
 - bitno veći utrošak kabela





Prednapinjanje sandučastih nosača građenih konzolnom gradnjom

KABLOVI 2. FAZE ZA KONZOLNU GRADNJU SANDUKA:

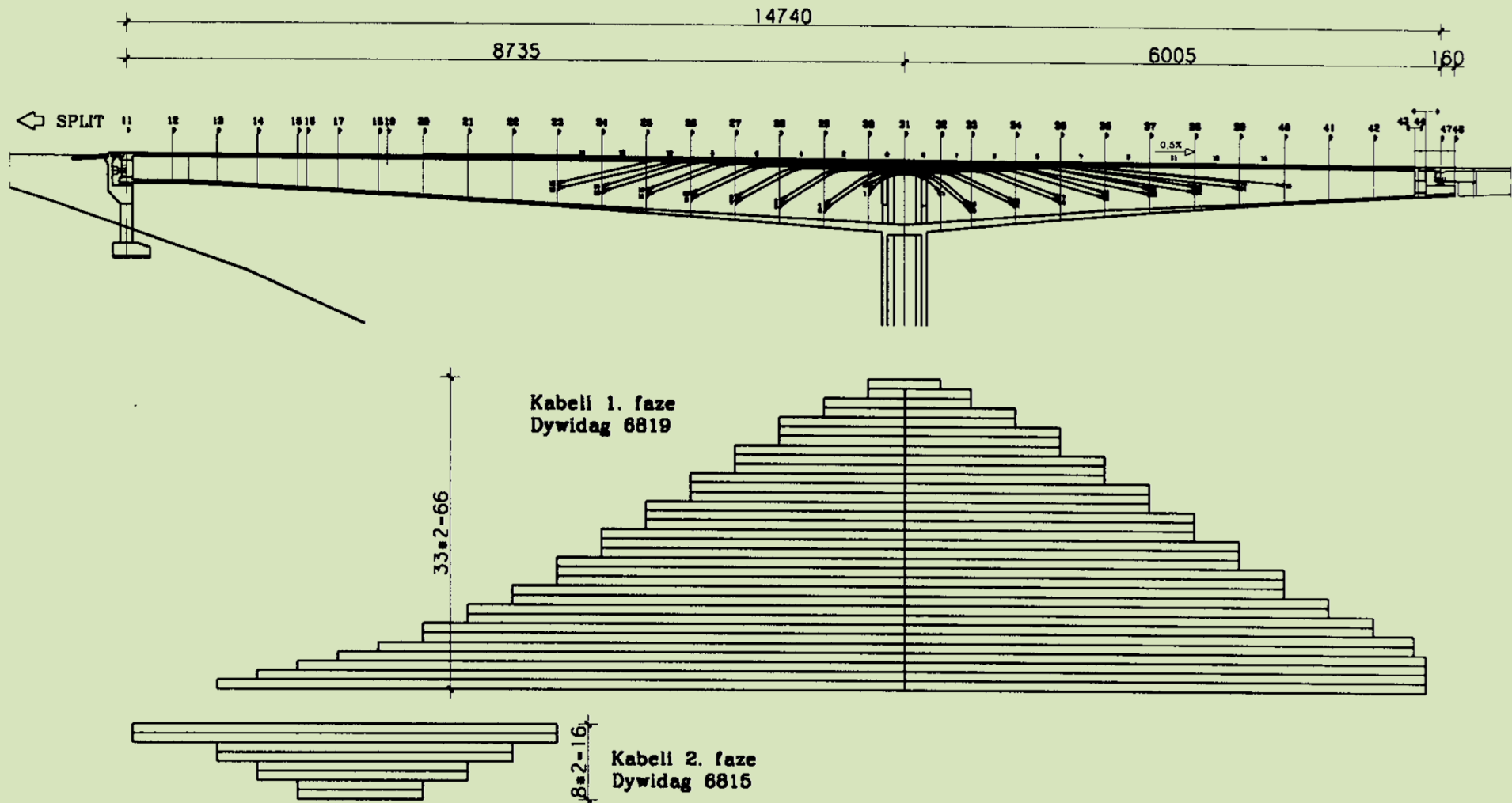
VANJSKO PREDNAPINJANJE





Prednapinjanje sandučastih nosača građenih konzolnom gradnjom

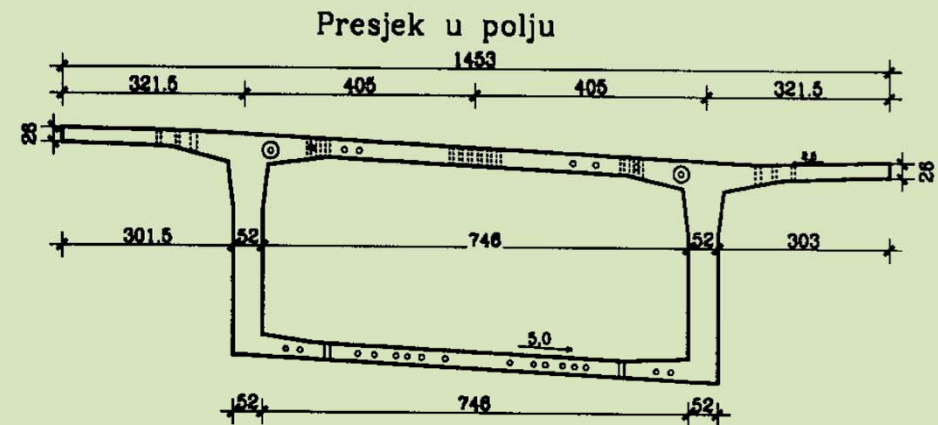
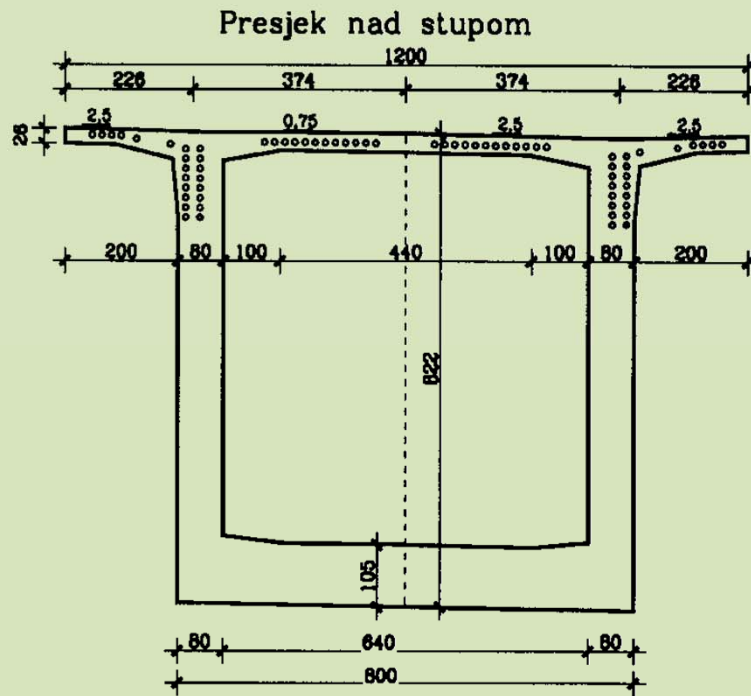
DUBROVAČKI MOST: raspored kabela 1. i 2. faze





Prednapinjanje sandučastih nosača građenih konzolnom gradnjom

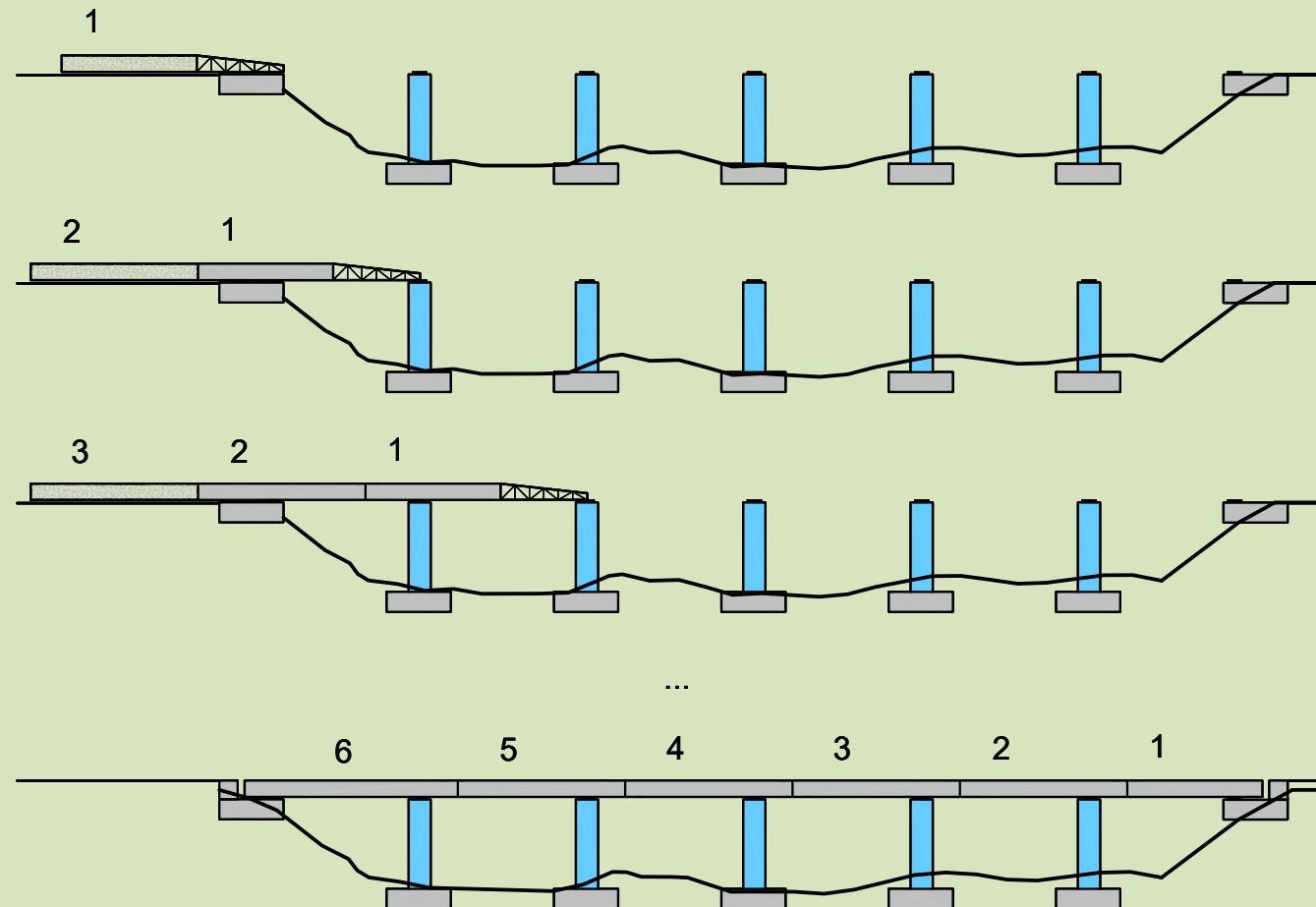
DUBROVAČKI MOST: raspored kabela 1. i 2. faze





Uzdužno potiskivanje i prikladan proračun

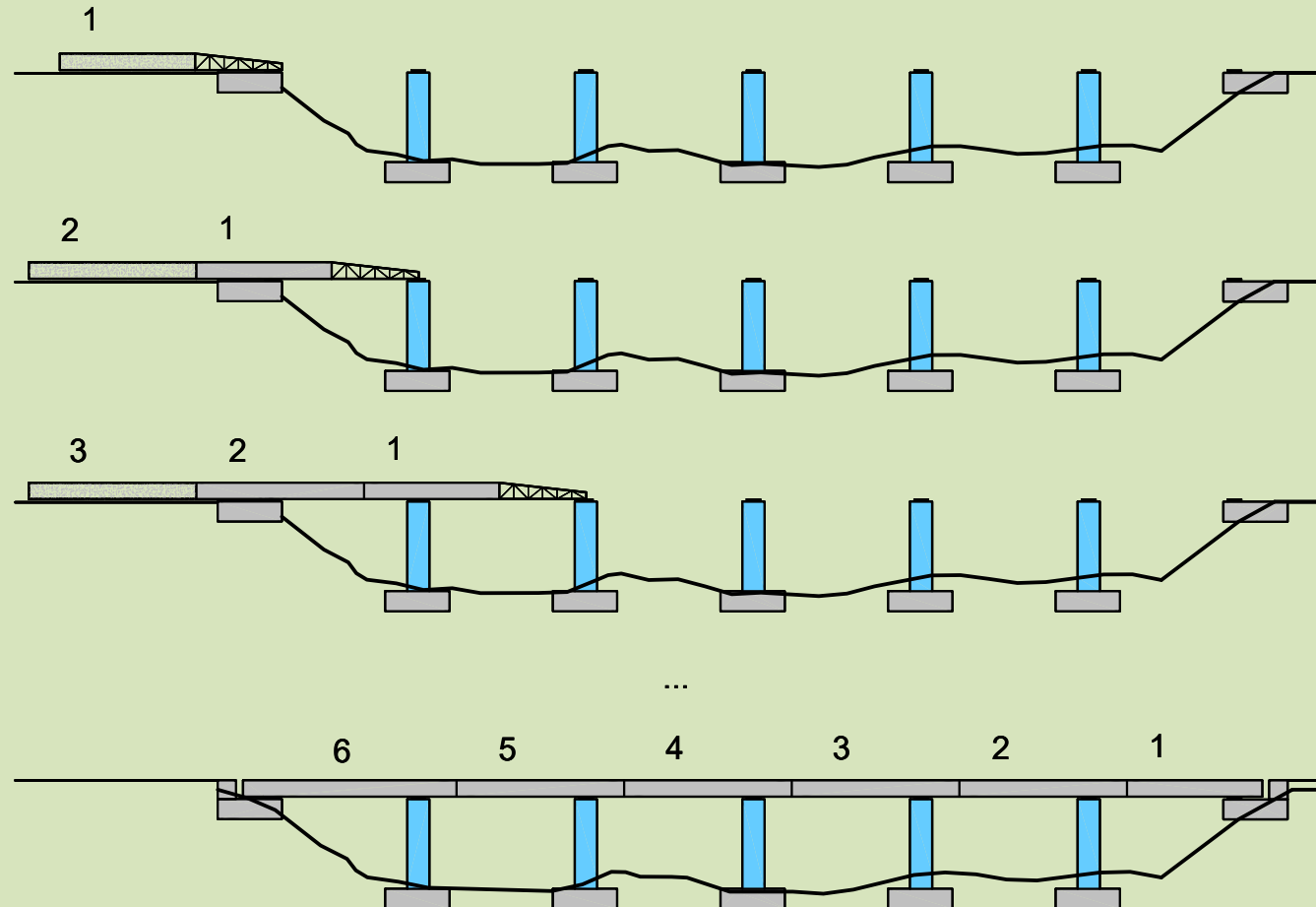
- na uređenom prostoru iza upornjaka, na pripremljenome platou i u jedinstvenoj oplati, betoniraju se odsječci grede duljine $L/6$ do $L/2$ – obično 12 m) koji se tada prešama potiskuju u raspon za svoju duljinu
- postupak se ponavlja dok krajnji poprečni nosač prvog odsječka ne nalegne na ležaje drugog upornjaka





Uzdužno potiskivanje i prikladan proračun

- pogodan za raspone do 40-50 m (najviše 60 m) i duljine veće od 150 m
- primjenjivo kod mostova u pravcu ili kod mostova gdje je rasponski sklop u prostornoj krivulji konstantnog radijusa
- u smislu projektiranja i razrade detalja bolje je odabrati srednje raspone jednakih ili skoro jednakih duljina i krajnje raspone do 0,75 duljine standardnog raspona

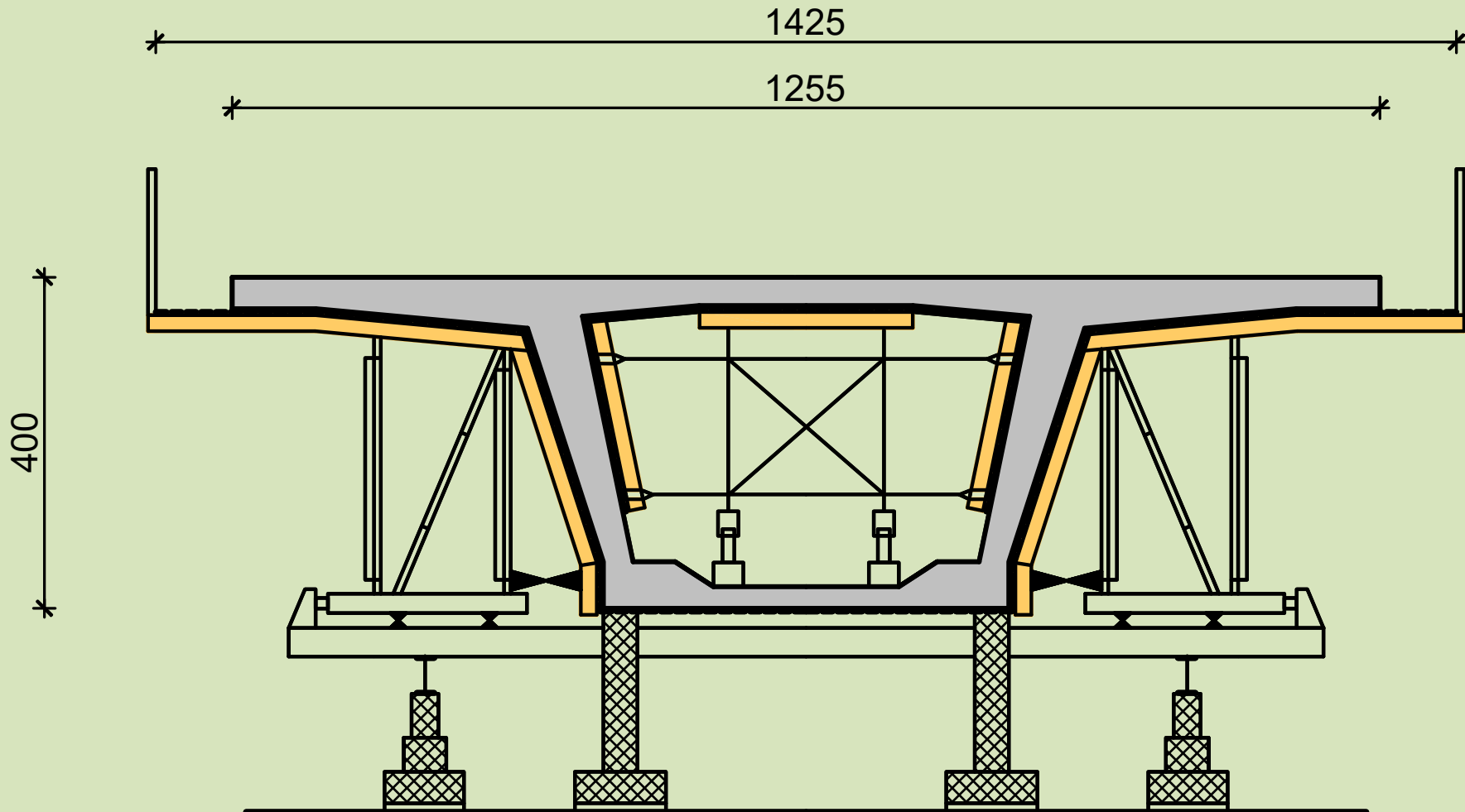




Uzdužno potiskivanje i prikladan proračun

- vitkost $L/h \leq 17$, uobičajeno $L/h = 12$ (dulji rasponi) – 15 (kraći rasponi)

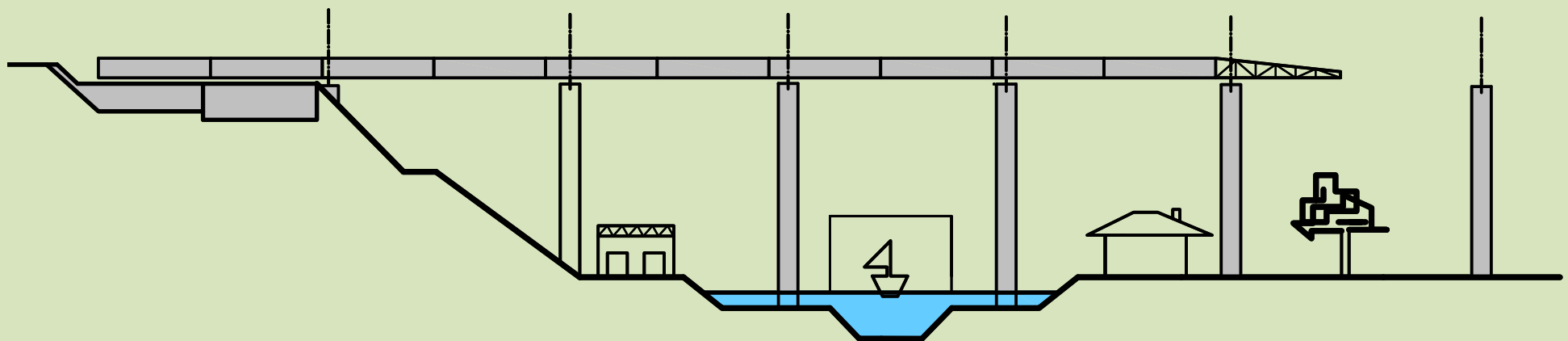
Oplata sandučastoga poprečnog presjeka namijenjenog za potiskivanje:





Uzdužno potiskivanje i prikladan proračun

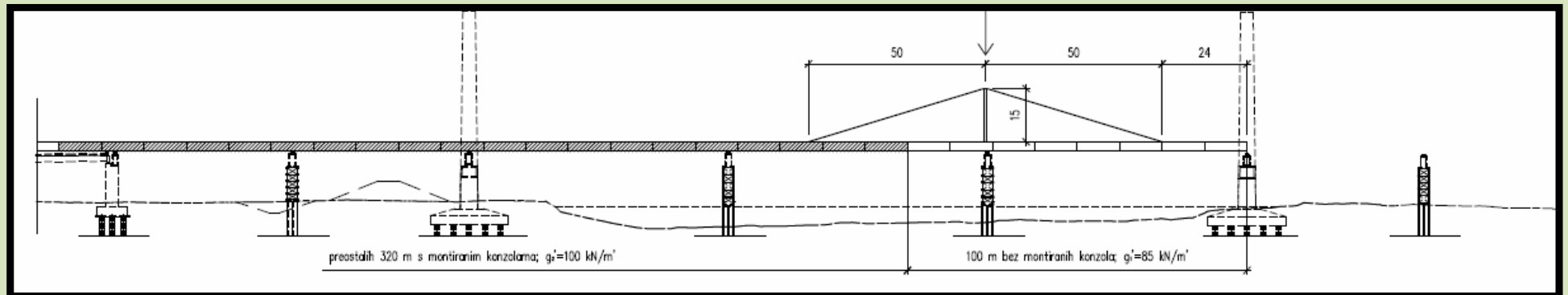
- bez skele, nemamo problema s preprekama ispod mosta
- Pogon za izvedbu odsječaka:
 - oplata, betonara, kran, skladišta, oprema za potiskivanje
 - uvijek je na istome mjestu $\Rightarrow$ precizna izvedba, snižava troškove proizvodnje i transporta.
- Radni ciklus se prilagođuje proizvodnji jednog segmenta na tjedan
- radne reške u nul-točke konačnog M dijagrama
- na mostu nema dilatacija jer je svaki sljedeći odsječak sljubljen na prethodni.





Uzdužno potiskivanje i prikladan proračun

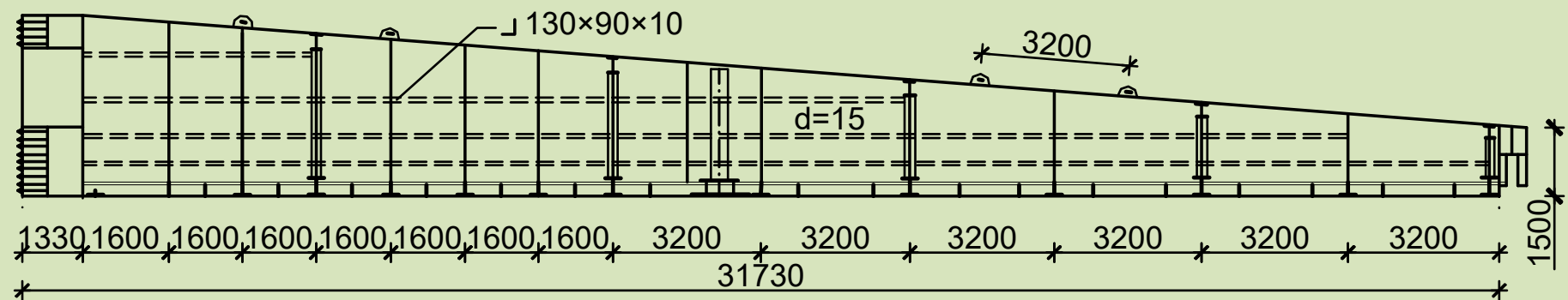
- kako bi se smanjili momenti konzole:
 - na konstrukciju se priključuje lagani kljun
 - ponekad se koriste pomoćni stupovi u rasponu
 - moguće i korištenje pilona sa zategama na prednjem dijelu koji povećava statičku visinu rasponskog sklopa (negativni moment konzole se preuzima zategama-vlak i sklopom-tlak)



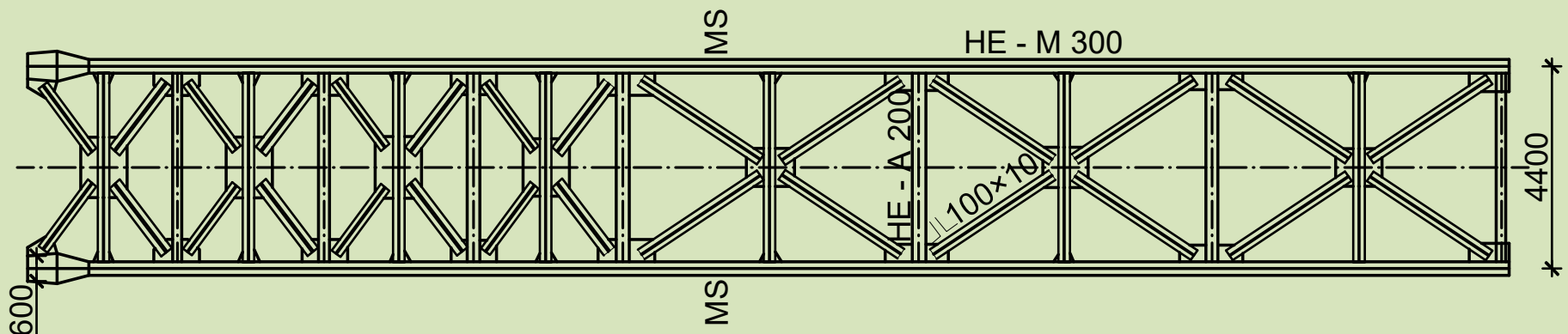


Uzdužno potiskivanje i prikladan proračun

- duljina kljuna $l = 0,6 L$ (najpovoljniji odnos između smanjenja unutarnjih sila rasponskog sklopa i neophodnih građevinskih troškova za izradu kljuna)
- kljun je izveden od čelika u punostijenoj ili rešetkasto izvedbi, visina mu je prilagođena proračunskim momentima savijanja
- količina utrošenog čelika: od 35 t ($L = 35$ m) do 75 t ($L = 55$ m)



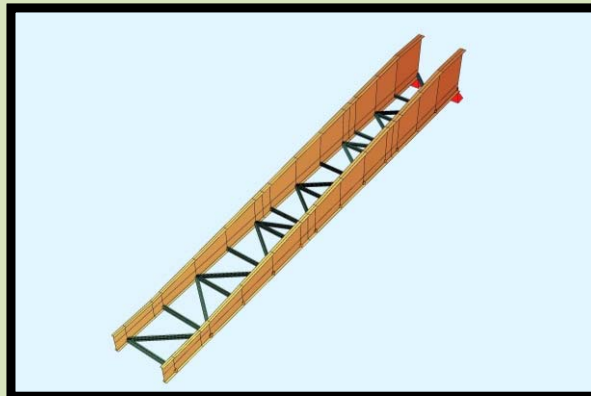
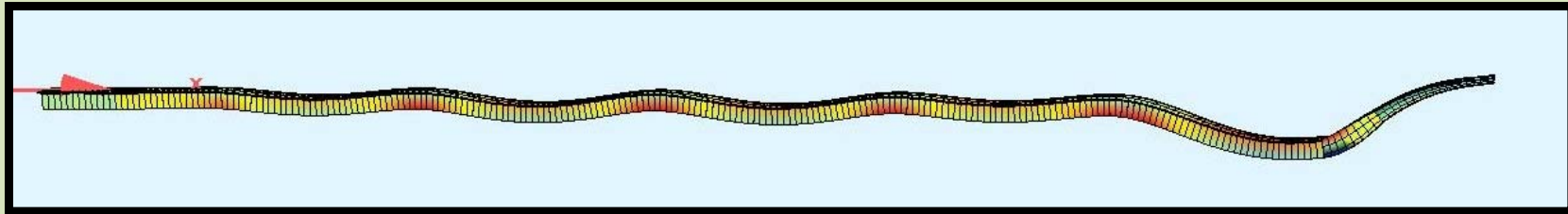
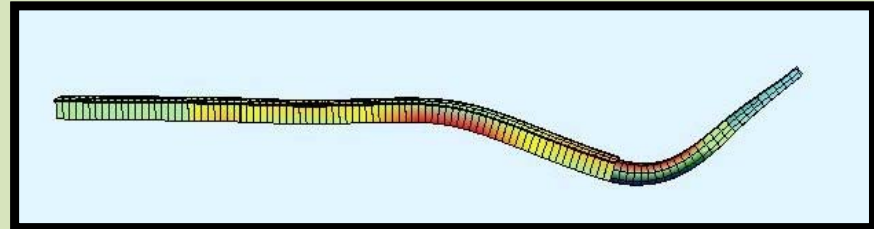
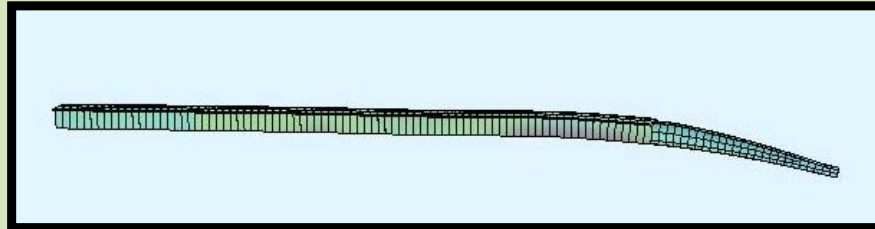
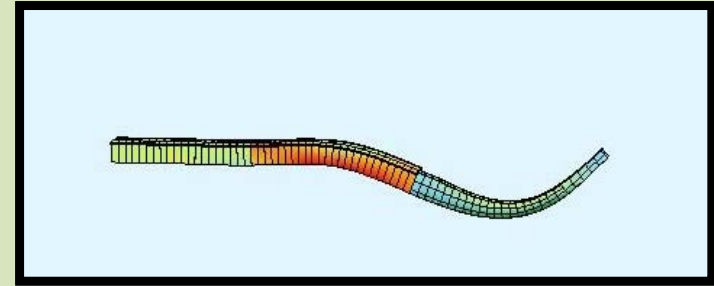
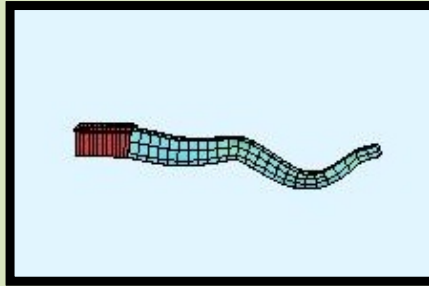
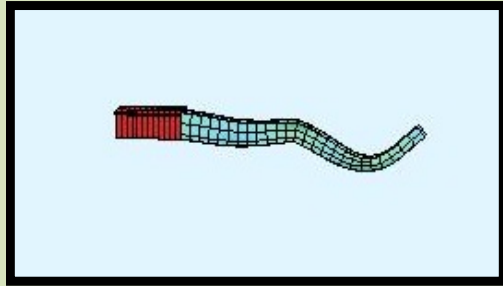
HORIZONTALNI PRESJEK





Uzdužno potiskivanje i prikladan proračun

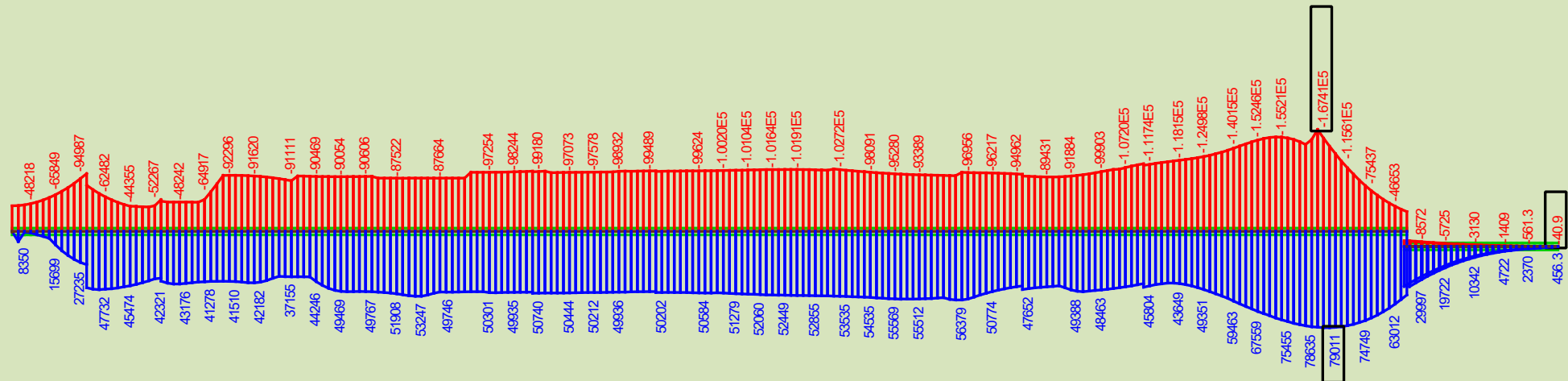
- Faze proračuna naguravanja – svaki presjek prolazi kroz najveće pozitivne i negativne momente savijanja





Uzdužno potiskivanje i prikladan proračun

- Faze proračuna naguravanja – svaki presjek prolazi kroz najveće pozitivne i negativne momente savijanja





Uzdužno potiskivanje i prikladan proračun



Vijadukt Bajer





Most Kuk





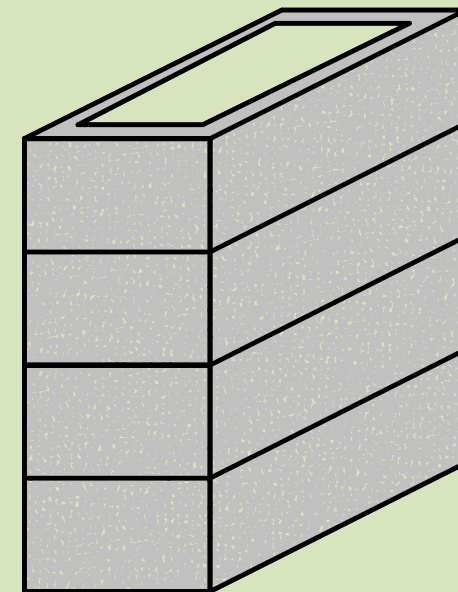
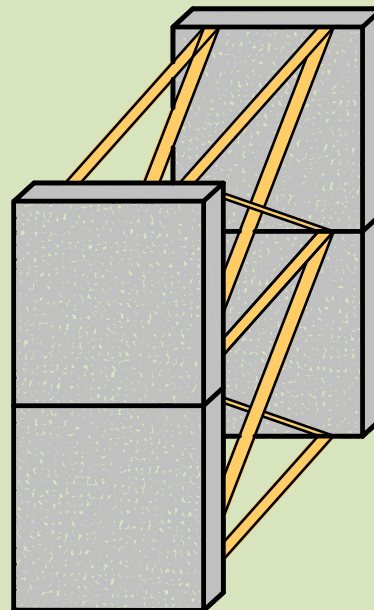
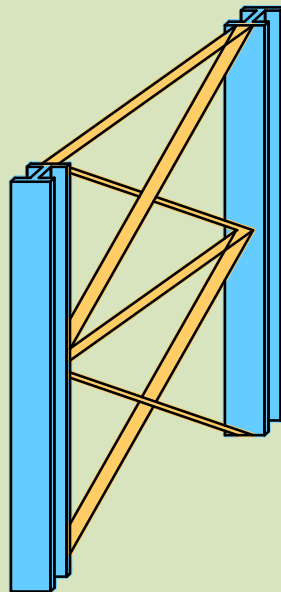
Most Kuk





Uzdužno potiskivanje i prikladan proračun

- kod $L > 50$ m i velikih vitkosti L/h često se koristi izvedba privremenih stupova $\Rightarrow$ smanjenje centričnog prednapinjanja $\Rightarrow$ ublažavanje inače potrebnog značajnog povećanja ugrađenog materijala kod velikih raspona
- Oblikovanje privremenih stupova:
 - ovisi o visini ($H > 40$ m $\Rightarrow$ racionalni samo u iznimnim slučajevima, praktično ih treba izvesti od predgotovljenih elemenata)
 - da li se predviđaju za ponovnu upotrebu (čelik) ili se uništavaju pri uklanjanju (AB), moguće kombinacije (spregnuti stupovi - čelične cijevi ispunjene betonom *CFST*)





Uzdužno potiskivanje i prikladan proračun

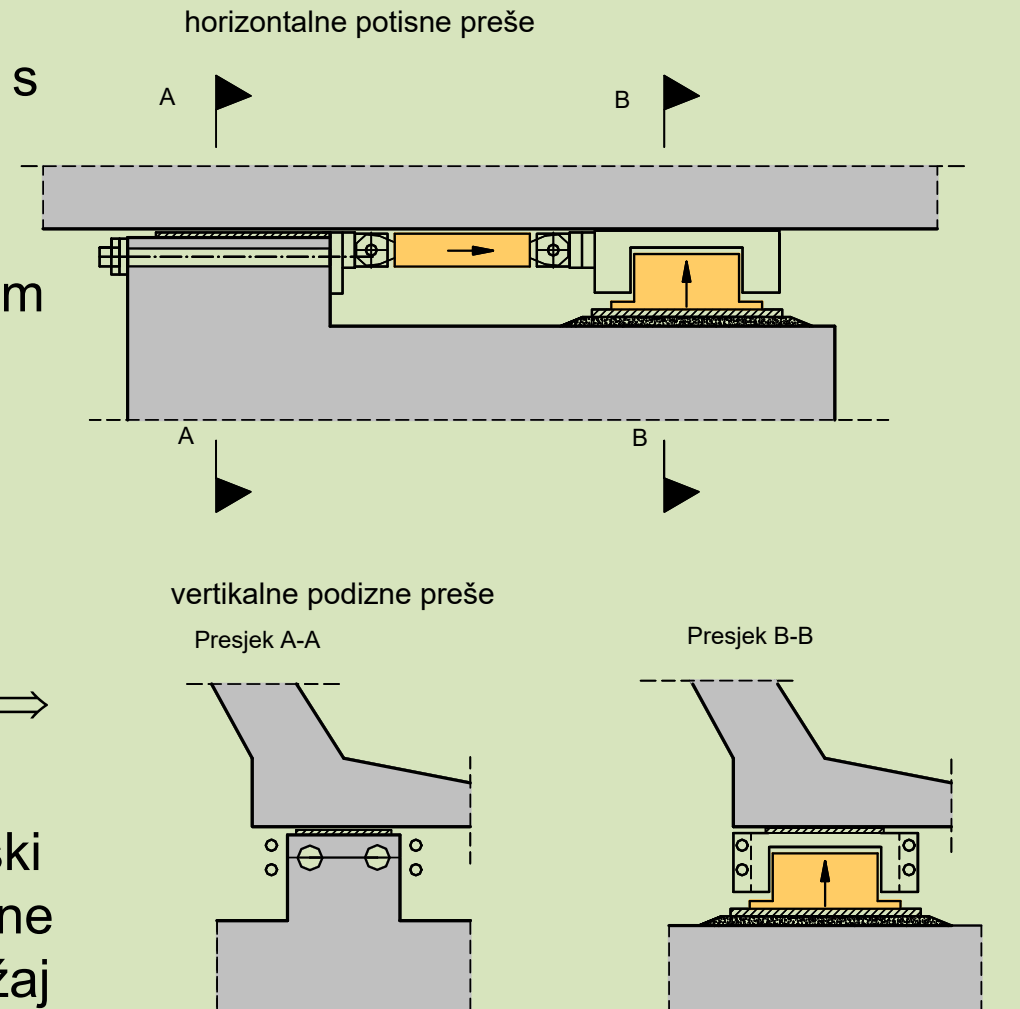
- uređaj za potiskivanje s hidrauličkim prešama za potiskivanje i podizanje smješten je pri upornjaku
- preše sidrimo i opiremo o upornjak ili posebne temelje
- brzina samog pomaka prema naprijed je od 3 do 6 m/h, ovisno o tipu preše i pumpi





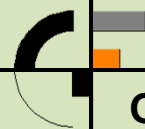
Uzdužno potiskivanje i prikladan proračun

- najčešći i najbrži postupak - potiskivanje trenjem, dva sustava preša:
- horizontalne koje potiskuju konstrukciju (potisne preše) i
 - vertikalne koje trenjem prenose silu potiskivanja u rasponski sklop (podizne preše)
1. podiznom prešom greda se podigne s kočnog bloka
 2. potisne preše (hod 250 mm) guraju podizne preše po kliznoj plohi s malim koeficijentom trenja
 3. na glavu podizne preše prema rasponskom sklopu pričvršćene su naborane čelične ploče koje osiguravaju koeficijent trenja od otprilike 0,75 između ploče i betona $\Rightarrow$ rasponski sklop se pomiče naprijed.
 4. otpuštanjem podiznih preša rasponski sklop se spušta na kočni blok i potisne preše vraćaju sustav u početni položaj





Uzdužno potiskivanje i prikladan proračun





Uzdužno potiskivanje i prikladan proračun

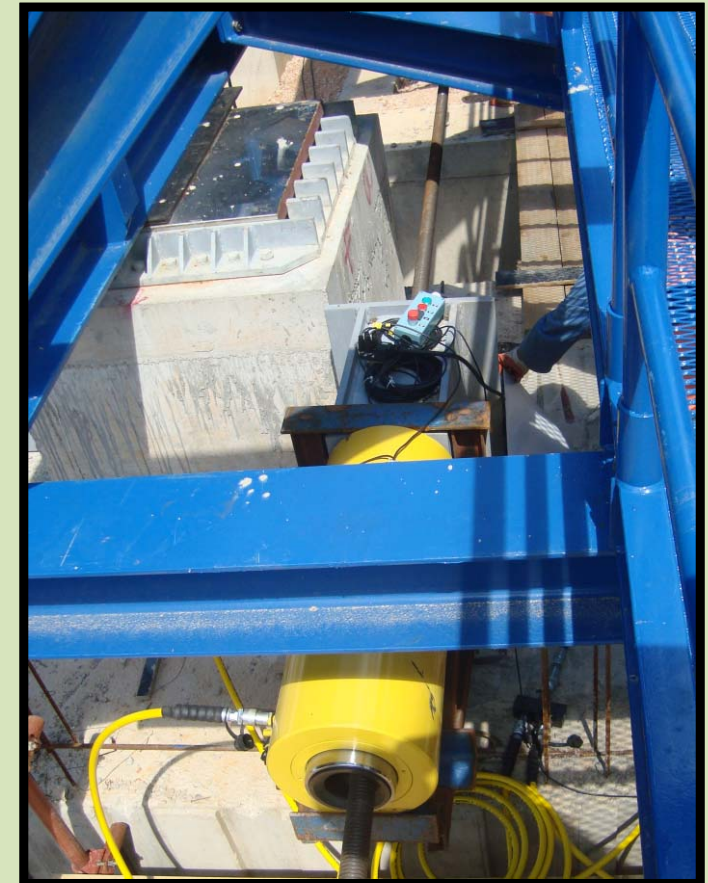




Uzdužno potiskivanje i prikladan proračun

Za klizanje na stupovima koristi se privremeni klizni ležaji ili klizne površine na konačnim ležajima i poprečne vodilice – klizna površina je teflonska:

- betonski blok pomoćnog ležaja obično je izveden iz betona visoke čvrstoće i prednapete krom-čelik-ploče
- gornja površina betonskog bloka mora biti takvog oblika da se klizne ploče mogu umetnuti bez poteškoća

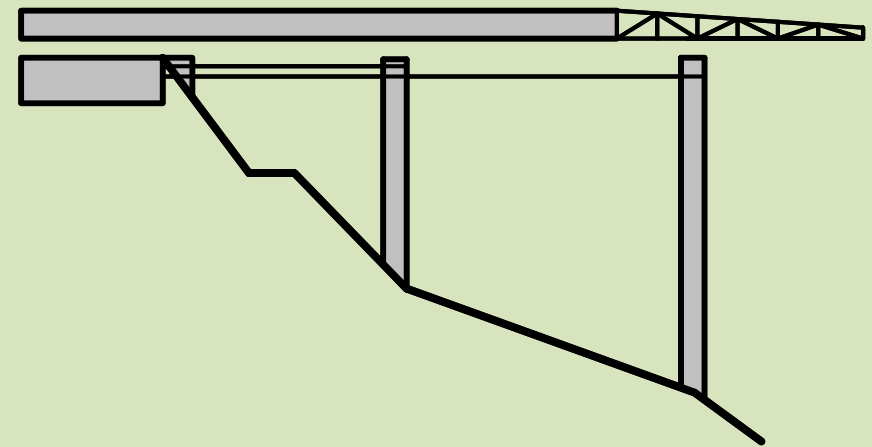
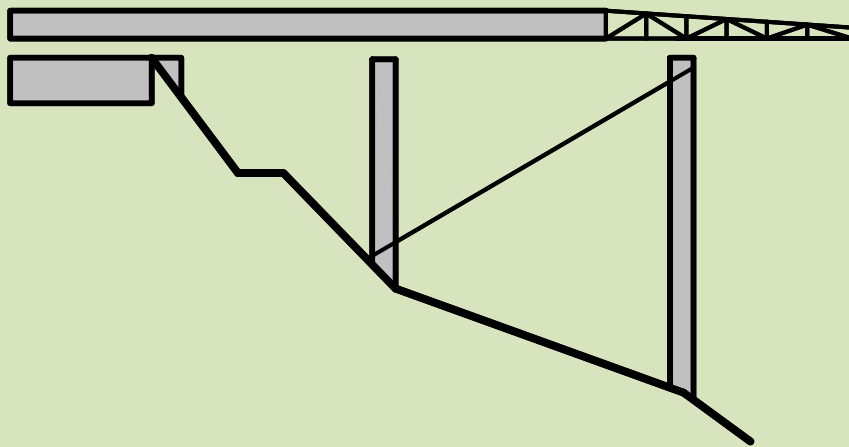




Uzdužno potiskivanje i prikladan proračun

STABILNOST STUPOVA:

- stupovi mosta opterećeni su horizontalnom silom od trenja u razini ležaja u smjeru potiskivanja
- stabilnost stupova mora biti osigurana odgovarajućim oblikovanjem ili privremenim pridržanjem:
 - kosim zategama (sidre se u temelj prethodnog stupa ili direktno u tlo geotehničkim sidrima), gdje su rasponi i duljina mosta mali
 - horizontalnim sidrenjem u upornjak svaki vrh stupa mora se posebno pridržati, inače bi deformacije stupova bile kumulativne i postale bi prevelike

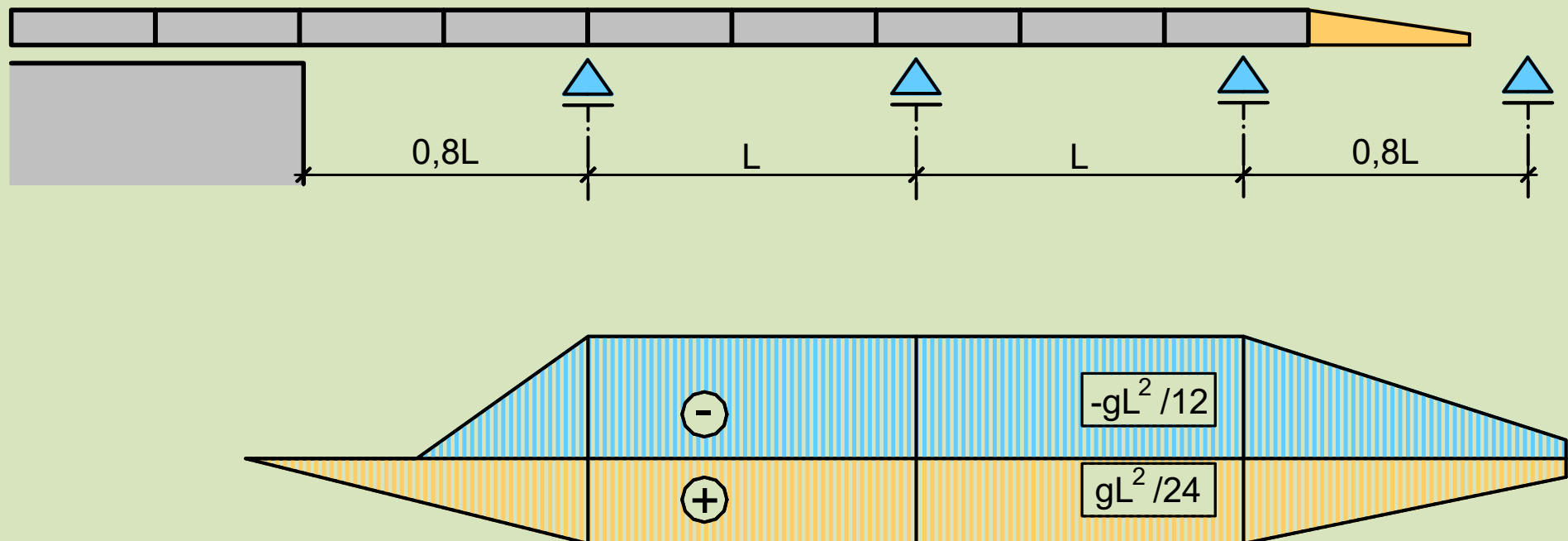




Uzdužno potiskivanje i prikladan proračun

PRORAČUN U UZDUŽNOM SMJERU

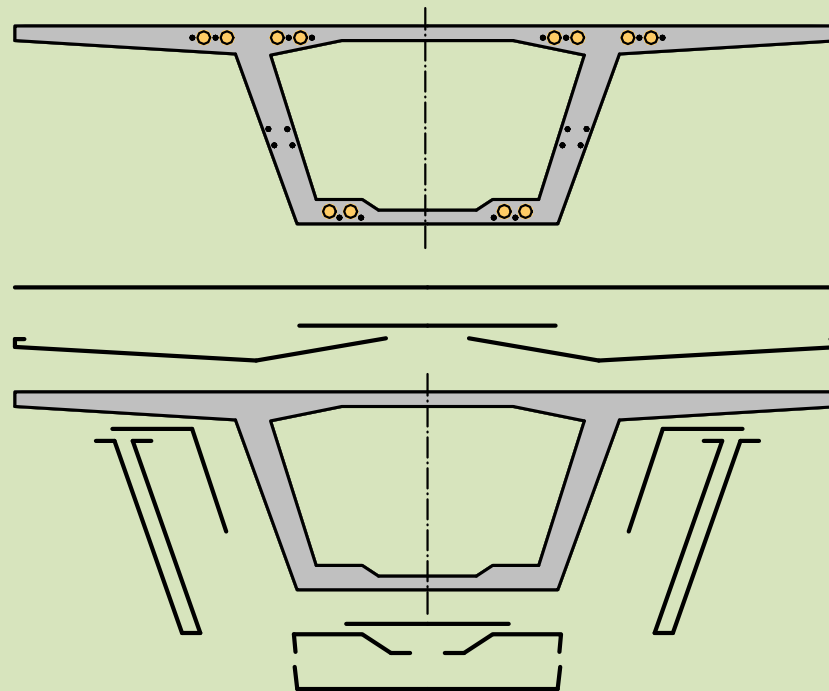
- približna anvelopa momenata od vlastite težine
- vlačna naprezanja se naizmjenice javljaju na gornjem i donjem rubu konstrukcije $\Rightarrow$ za vrijeme izvedbe gredu je potrebno centrično prednapeti





Prednapinjanje sandučastih nosača građenih uzdužnim potiskivanjem

- 1. FAZA – TIJEKOM IZGRADNJE – CENTRIČNO PREDNAPINJANJE
 - kabelima položenim u gornjoj i donjoj ploči sanduka
 - preuzimaju se istodobno negativni i pozitivni momenti savijanja
 - nastavljane na radnim reškama
 - tanje donje ploče potrebno je podebljati na mjestima nastavljanja.



- Moguće je i vanjsko centrično prednapinjanje kod velikih L ili L/h pomoću kablova u istakama, ti kablovi se uklanjaju za konačno stanje



Prednapinjanje sandučastih nosača građenih uzdužnim potiskivanjem

➤ 1. FAZA – TIJEKOM IZGRADNJE – CENTRIČNO PREDNAPINJANJE





Prednapinjanje sandučastih nosača građenih uzdužnim potiskivanjem

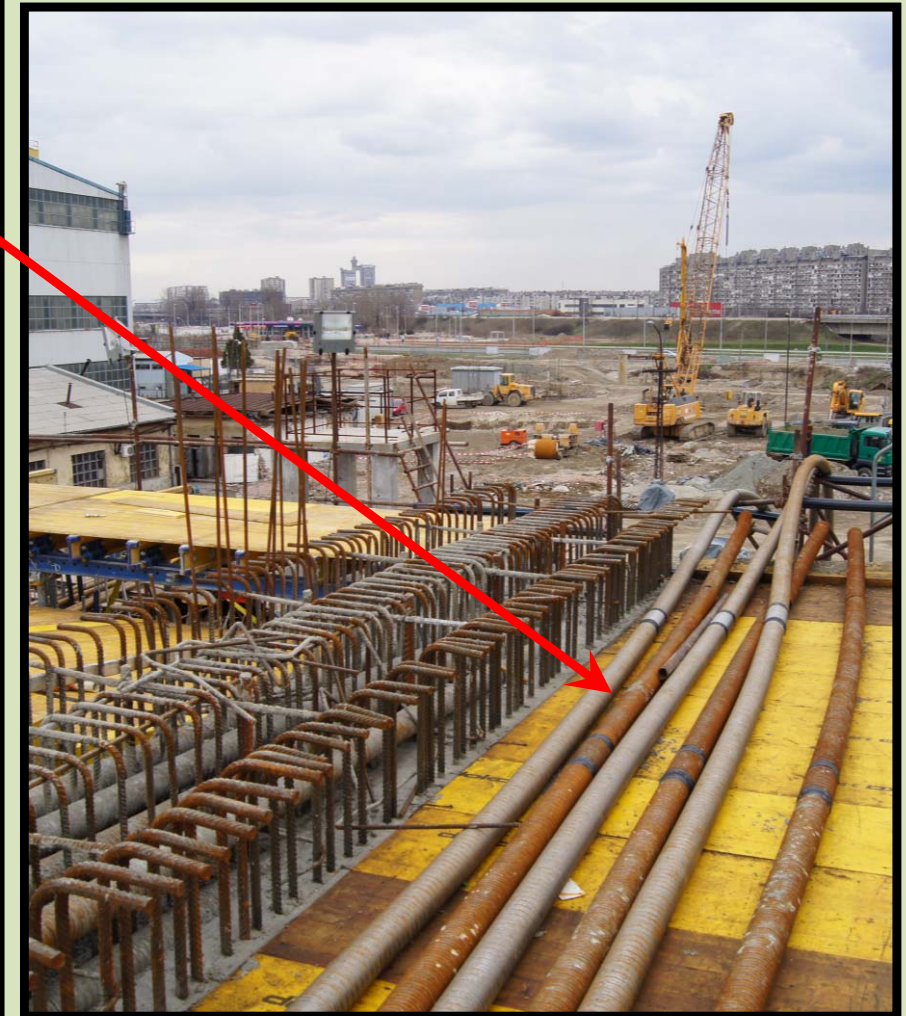
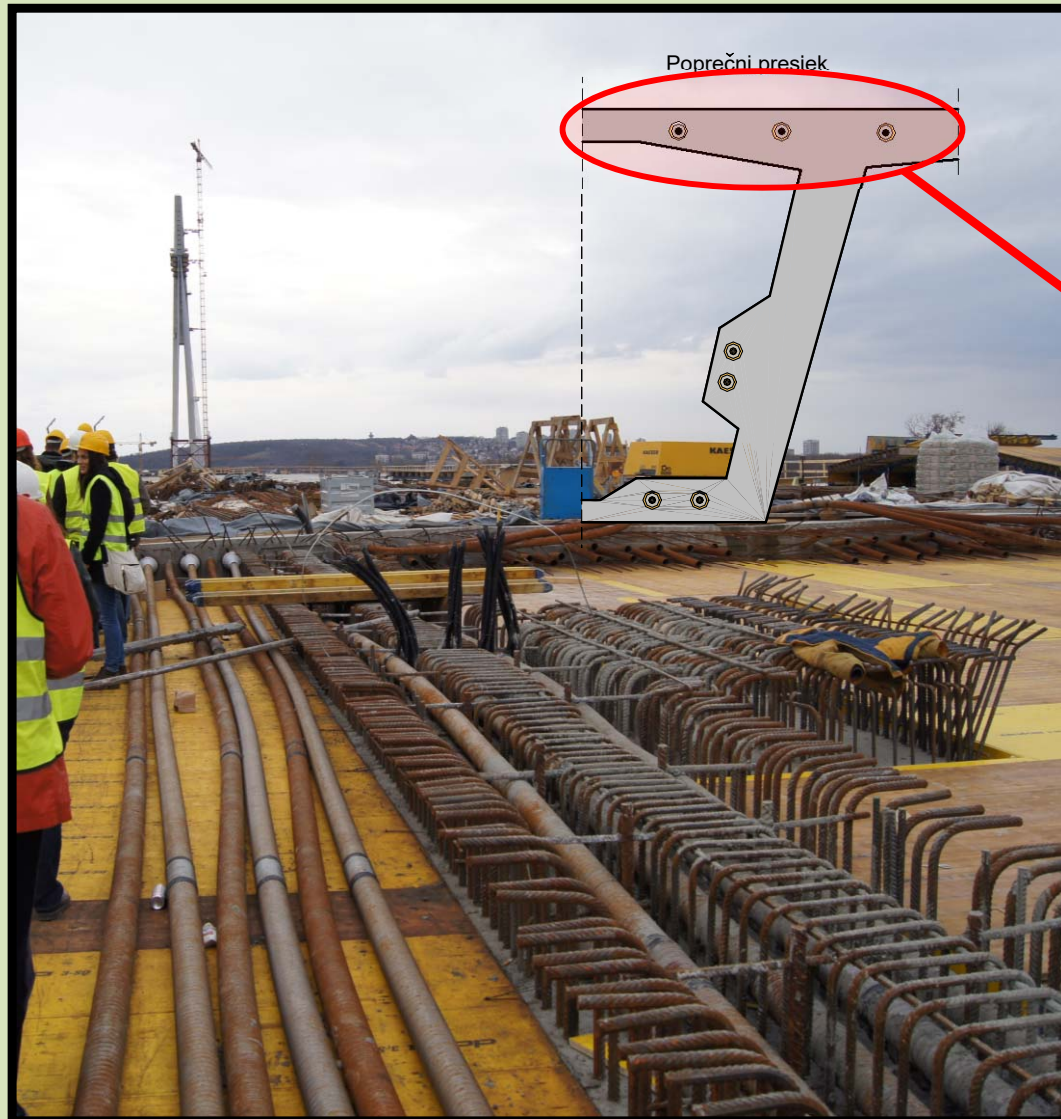
➤ 1. FAZA – TIJEKOM IZGRADNJE – CENTRIČNO PREDNAPINJANJE





Prednapinjanje sandučastih nosača građenih uzdužnim potiskivanjem

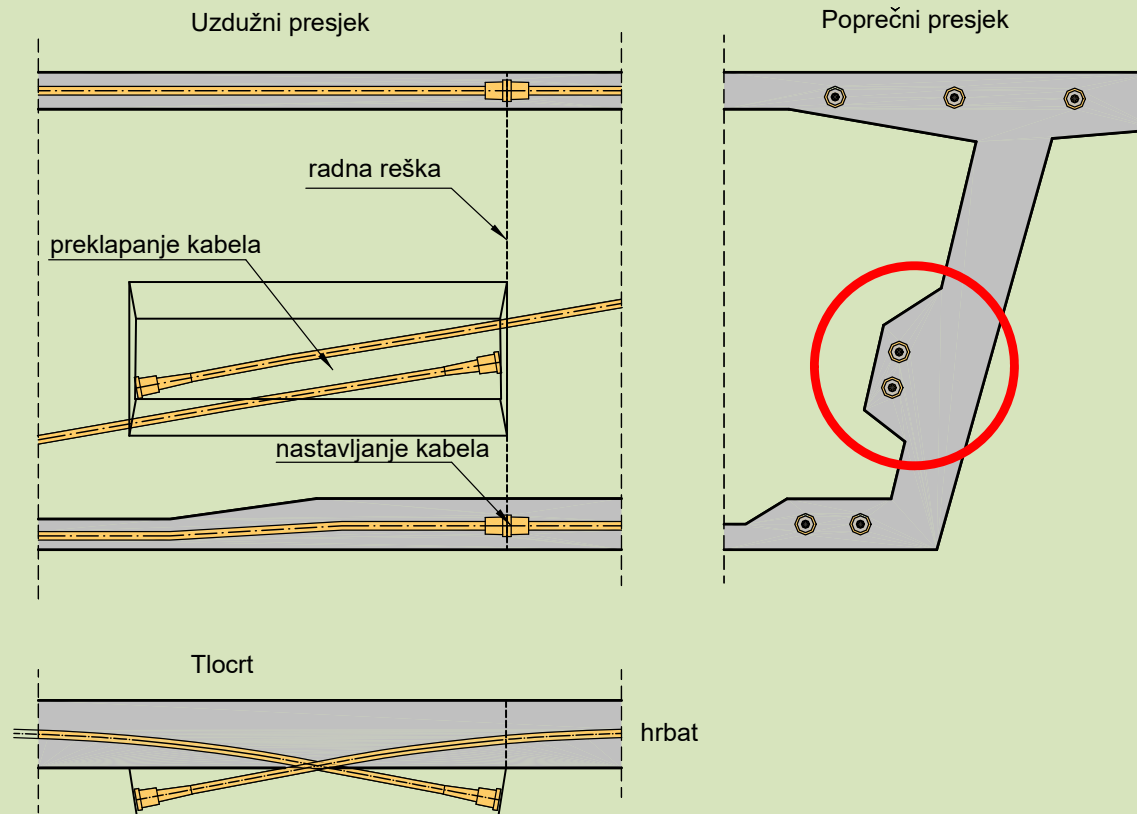
➤ 1. FAZA – TIJEKOM IZGRADNJE – CENTRIČNO PREDNAPINJANJE





Prednapinjanje sandučastih nosača građenih uzdužnim potiskivanjem

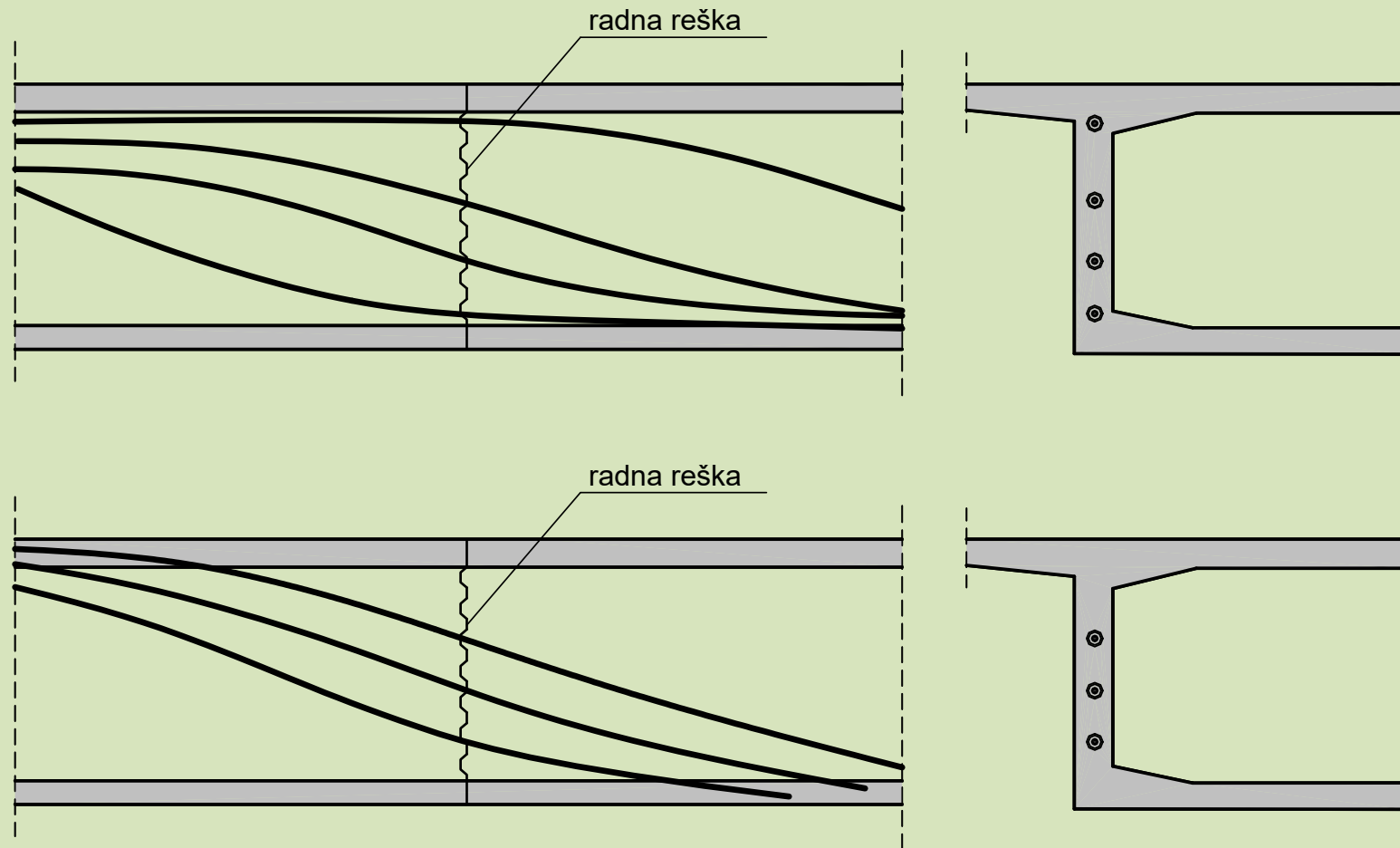
- 2. FAZA – KONAČNO STANJE – KONTINUITETNO PREDNAPINJANJE
 - uvlače se u ugrađene zaštitne cijevi u hrptovima sanduka nakon što je konstrukcija potisnuta u konačni položaj i prednapinju
 - mogu se protezati kroz više polja (3-4)
 - prednapinjanje i preklapanje (nastavljanje) se vrši na istakama u hrptovima





Prednapinjanje sandučastih nosača građenih uzdužnim potiskivanjem

- 2. FAZA – KONAČNO STANJE – KONTINUITETNO PREDNAPINJANJE
 - raspodjela kabela preko čitave visine rebra sandučastog nosača





Prednapinjanje sandučastih nosača građenih uzdužnim potiskivanjem

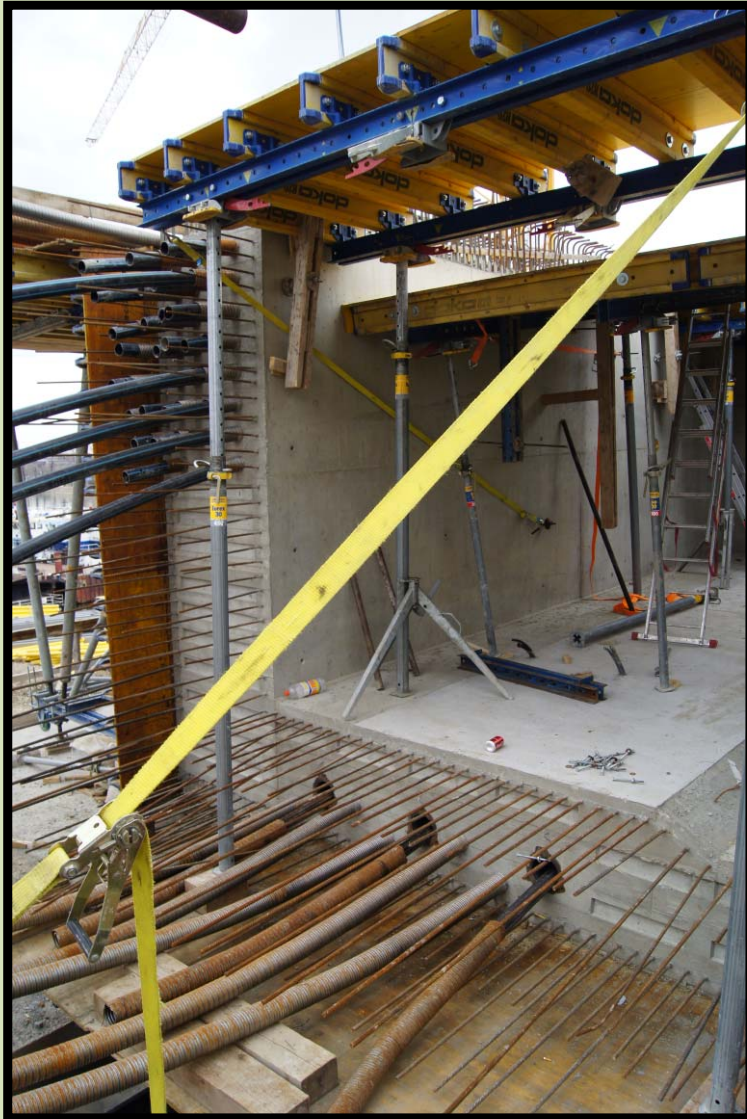
➤ 2. FAZA – KONAČNO STANJE – KONTINUITETNO PREDNAPINJANJE





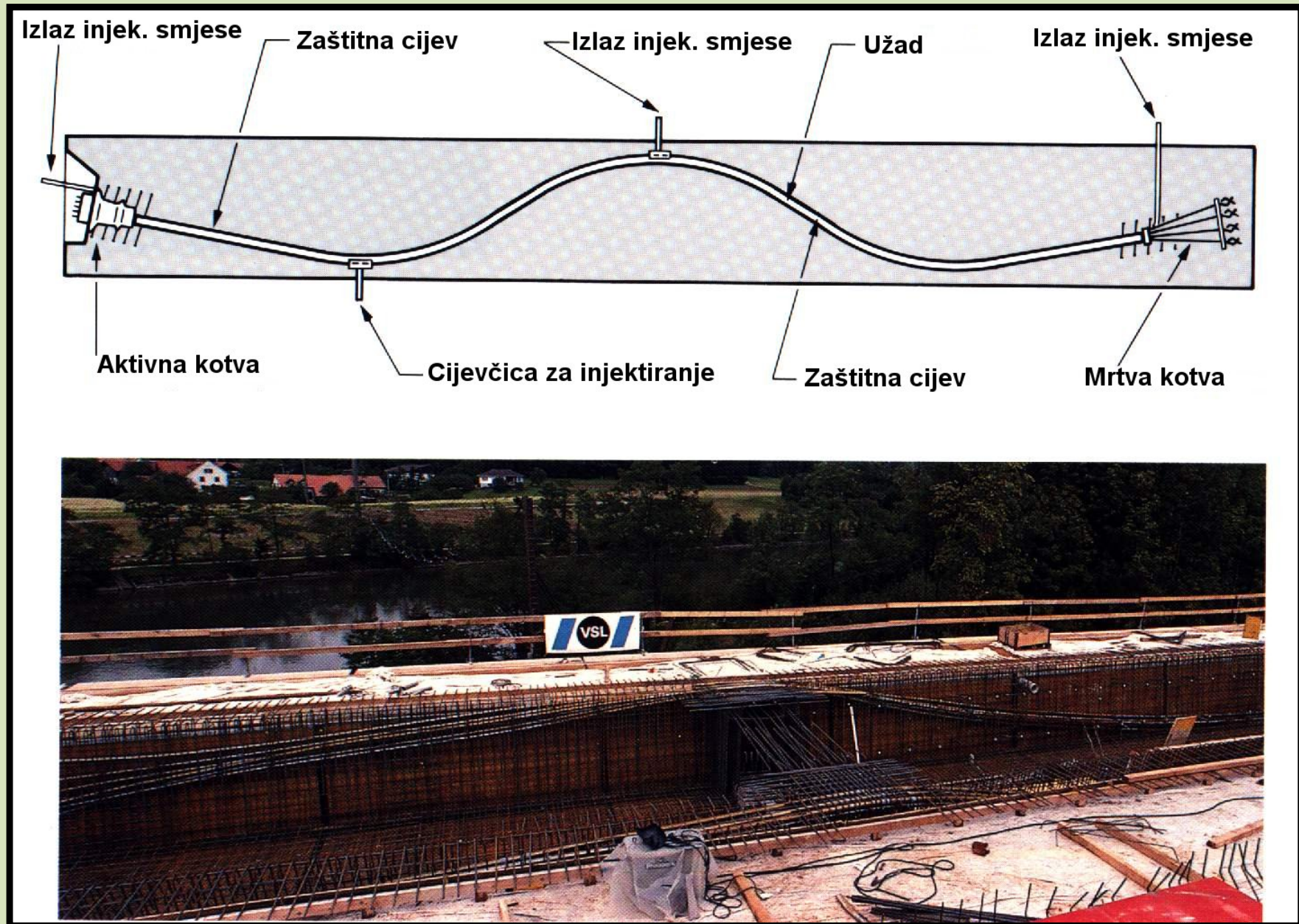
Prednapinjanje sandučastih nosača građenih uzdužnim potiskivanjem

➤ 2. FAZA – KONAČNO STANJE – KONTINUITETNO PREDNAPINJANJE





Prednapinjanje sandučastih nosača građenih na skeli





Prednapinjanje sandučastih nosača građenih na skeli





Prednapinjanje sandučastih nosača građenih na skeli





Armiranje gornjeg pojasa i kolničke ploče

- Uzdužna armatura raspoređuje se u gornjoj zoni nosača na čitavoj sudjelujućoj širini.
- Debljinu šipaka prema van od rebra treba postupno smanjivati.
- Neposredno iznad i ispod hrpta potrebno je smjestiti veće profile (npr. 5 Ø 28) i voditi ih duž cijelog mosta neovisno o količini potrebne armature.
- Poprečna armatura u gornjoj zoni ploče mora biti na razmacima manjim od 15 cm zbog sprečavanja uzdužnih pukotina od skretanja tlačne sile u blizini oslonaca (armatura za spoj ploče i rebra).
- Kolničke ploče trebalo bi poprečno prednapinjati ako je širina mosta veća od 10 m i kod većih razmaka glavnih nosača
- Stupanj poprečnog prednaprezanja treba odabrati tako da pri opterećenju $g + 0,3 q$ u ploči nema vlačnih napona u poprečnom smjeru.





Armiranje gornjeg pojasa i kolničke ploče

Pravila armiranja:

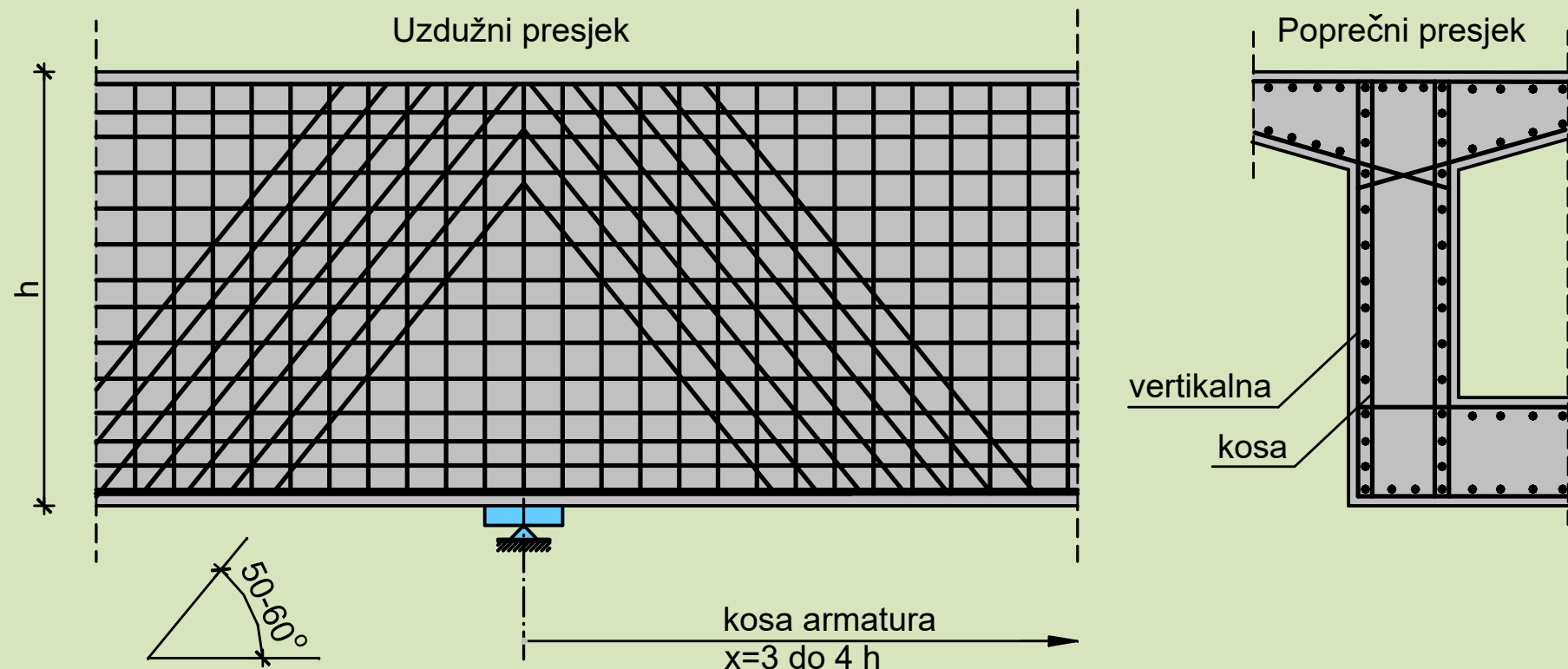
- vlačna područja: razmaci ≤ 15 cm
- širina pukotina $\leq 0,2$ mm
- tlačna područja: razmaci ≤ 20 cm





Armiranje hrptova

- Pri odabiru armature hrptova važno je koristiti tanje profile armature ($\varnothing 12 - \varnothing 18$ mm)
- U području većih posmičnih napona povoljnije je koristiti kombinaciju vertikalnih i kosih vilica
- Uzimaju se profili vilica od 16 mm ($h < 3,0$ m) i 20 mm ($h < 5,0$ m)





Poprečna ukrućenja i dijafragme

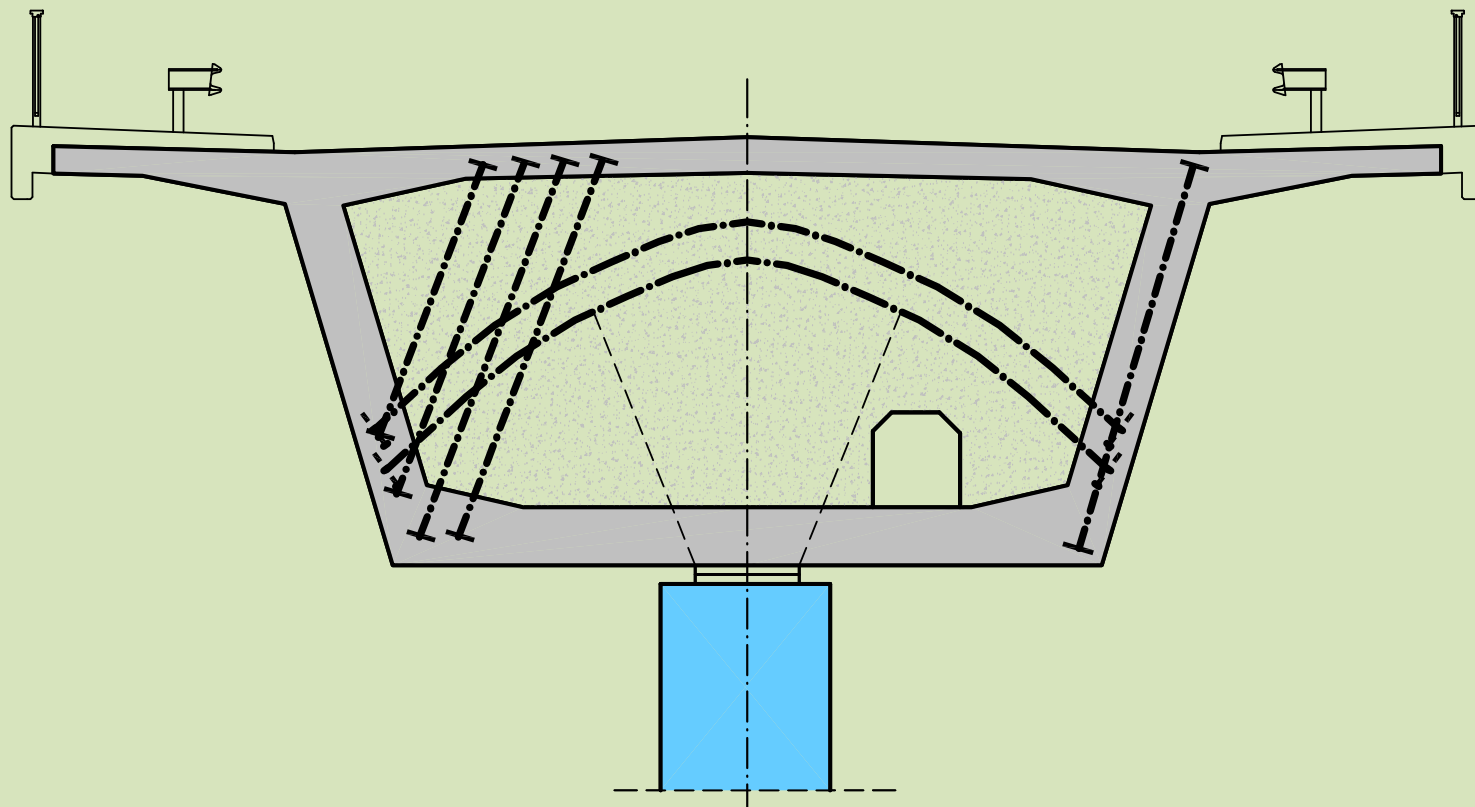
- poprečni nosači, dijafragme ili poprečni okviri izvode se u pravilu samo na ležajima da:
 - spriječe uvijanje (krivljenje) poprečnog presjeka i
 - predaju momente torzije i poprečne sile na ležajeve
- oslanjanje
 - direktno na hrptove – debljina pop. nosača 30-50 cm
 - indirektno preko poprečnog nosača – debljina pop. nosača 50-80cm
- debeli elementi:
 - donja ploča ($\text{širina/debljina} < 10$) $\Rightarrow$ dovoljno uz hrptove izvesti zadebljanje ploče koja preuzima ulogu poprečnog nosača
 - hrptovi ($\text{visina/debljina} < 7$) i donja ploče, $\Rightarrow$ poprečni nosač može se potpuno izostaviti (krutost sanduka dovoljna)





Poprečna ukrućenja i dijafragme

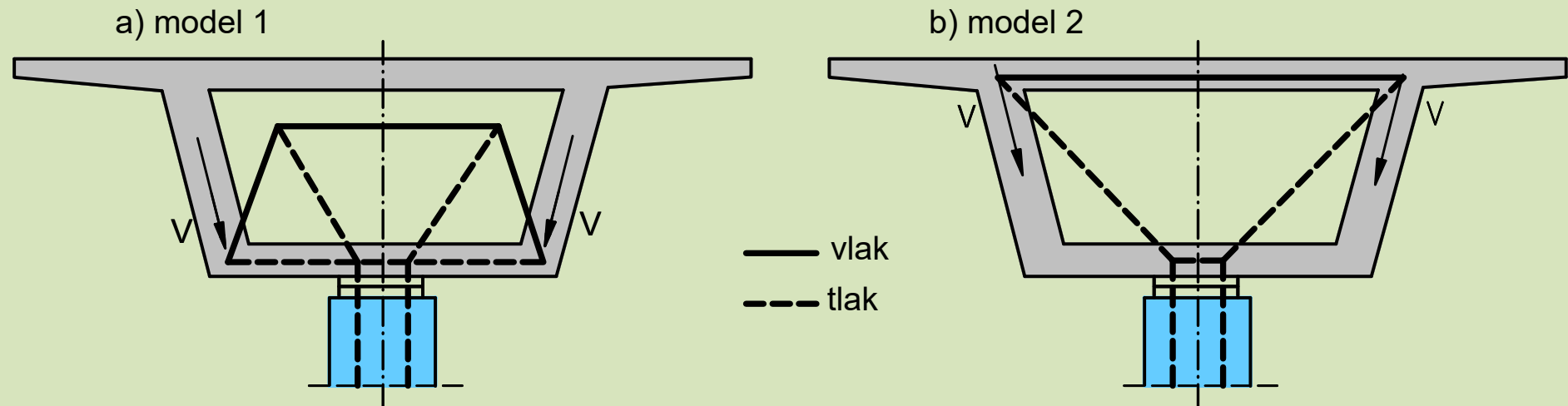
- kod indirektnog oslanjanja jedan se dio prijenosa sila preuzima kabelima u poprečnom nosaču $\Rightarrow$ sidre se s vanjske strane hrptova nosača u blizini donjeg pojasa
- kako je prostor za sidrenje i smještaj kabela ograničen i uglavnom nedovoljan za potpuno prednapinjanje, može se 40% do 60% ležajne reakcije preuzeti armaturom obješenom o gornji pojas poprečnog nosača





Poprečna ukrućenja i dijafragme

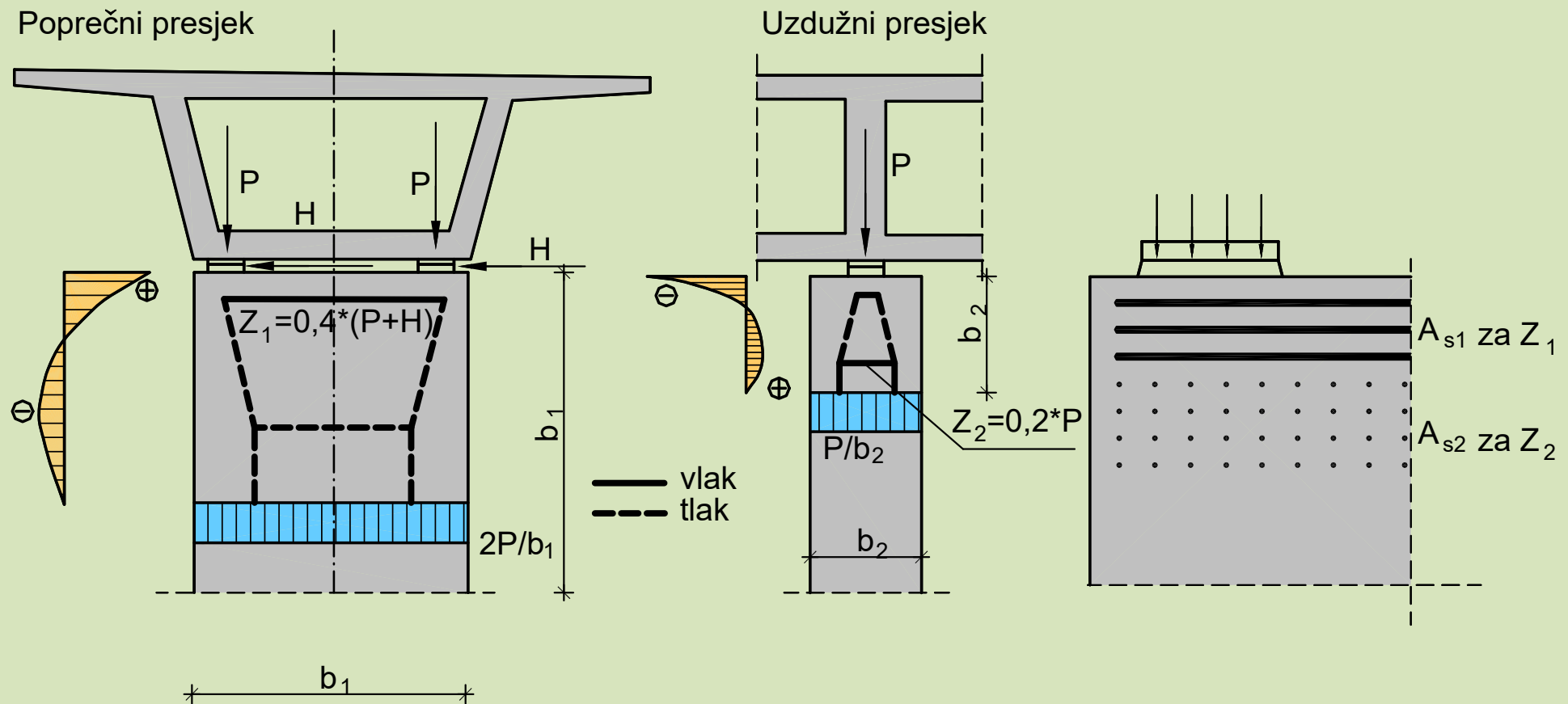
- Rešetkasti modeli za lokalne statičke proračune:





Poprečna ukrućenja i dijafragme

- Velike reakcije na oslonce – prihvaćanje sila cijepanja u stupu:





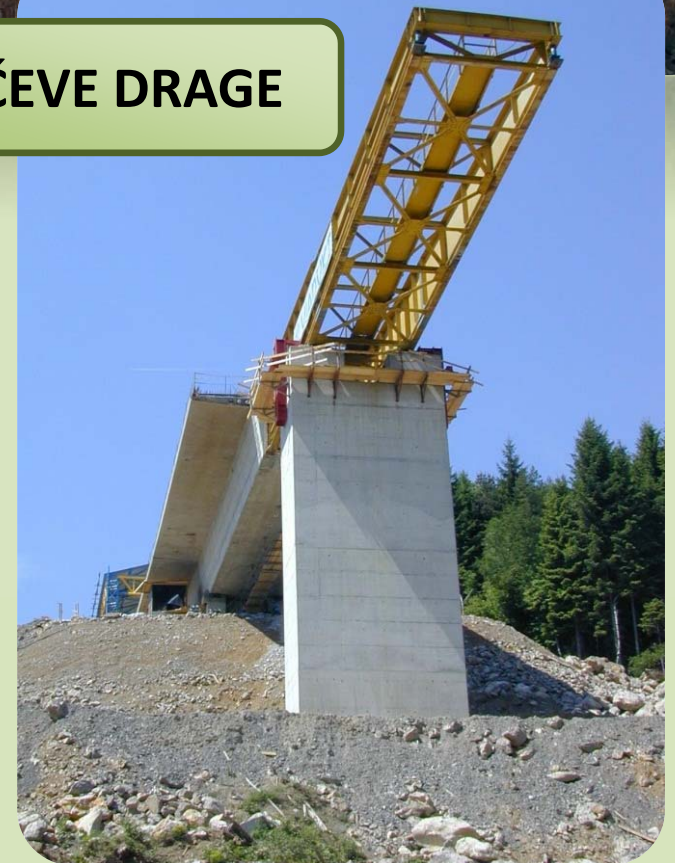
KAMAČNIK

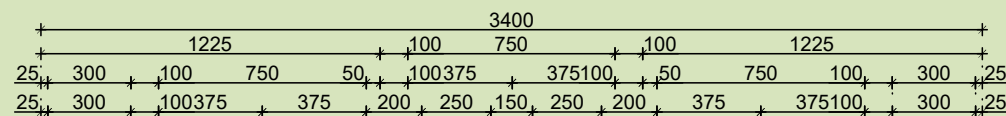
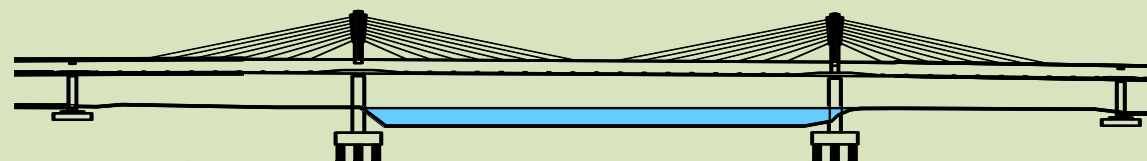


ZEČEVE DRAGE

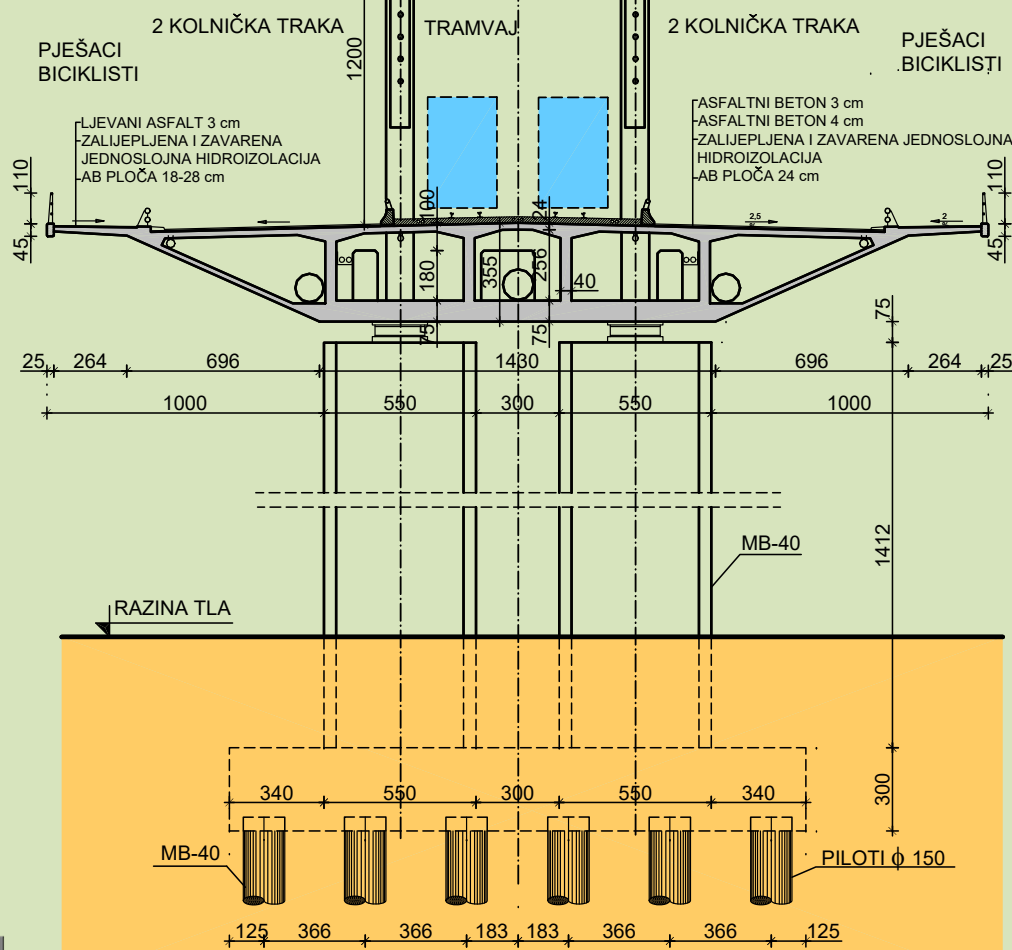


DUBROVNIK





48 + 6x60 + 72 + 120 + 72 + 2x60 + 48



**Poprečni presjek
Domovinskog mosta u
Zagrebu – vanjsko
prednapinjanje**

