Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
predmet: MASIVNI MOSTOVI
Skripte uz predavanja

4. SANDUČASTI GREDNI MOSTOVI

SADRŽAJ:

4. SANDUČASTI GREDNI MOSTOVI 1
4.1. Poprečni presjek 2
4.2. Proračun sandučastog nosača u uzdužnom smjeru 7
4.3. Proračun u poprečnom smjeru 12
4.3.1. Ploča kolnika 13
4.3.2. Donja ploča 13
4.3.3. Rebro (hrbat) 14
4.4. Armiranje i prednapinjanje sandučastih nosača 14
4.4.1. Vođenje kabela u glavnim nosačima 14
4.4.2. Armiranje i prednapinjanje ploče kolnika 16
4.4.3. Armiranje i prednapinjanje rebara 17
4.4.4. Armiranje i prednapinjanje donje ploče sanduka 18
4.4.5. Poprečna ukrućenja sandučastih nosača 18

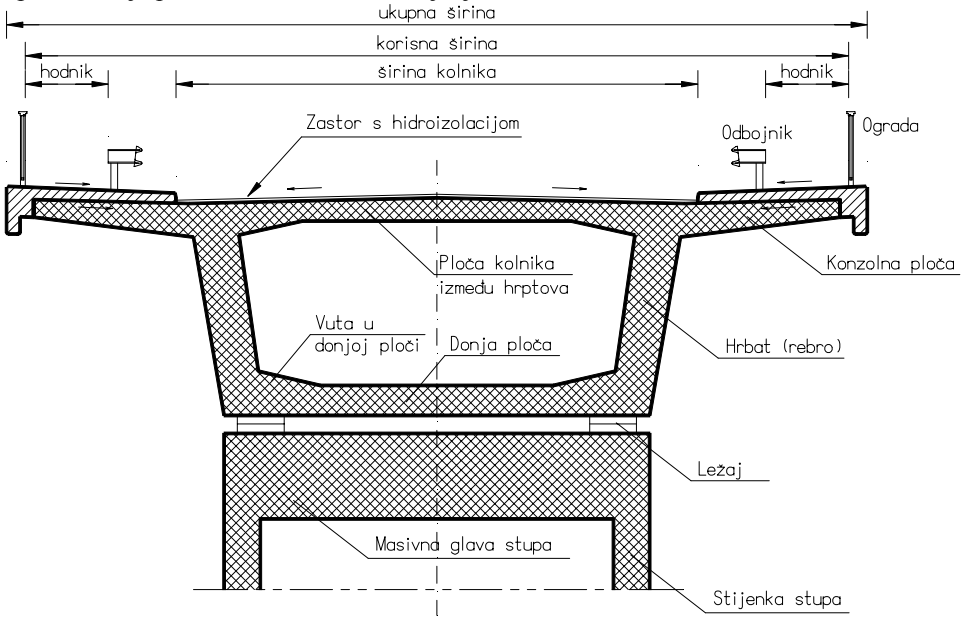
Zagreb, veljača 2002.

4.1. Poprečni presjek

Sandučasti nosač ima najmanje dva rebra (jednu komoru), a može imati i nekoliko rebara. Ova su rebra i s gornje i donje strane međusobno spojena pločama, koje tvore gornji i donji pojas sandučastog nosača. Debljine ovih pojasa ovise o:

- veličini tlačnih napona i
- potrebi smještaja prednapetih kabela i armature.

Ovakav poprečni presjek posebno je pogodan za kontinuirane rasponske sklopove prednapetih mostova, jer gornja i donja ploča preuzimaju podjednako dobro tlačne i vlačne sile, za razliku od rebrastih grednih mostova koji su bolje oblikovani za preuzimanje pozitivnih momenata savijanja.



Slika 0.1 Poprečni presjek grednog mosta sandučaste konstrukcije. Pojmovi i nazivi dijelova mosta.

Prednosti u odnosu na ostale tipove poprečnog presjeka su:

- povećana trajnost (manja površina izložena djelovanju agenasa,),
- mogu se postići velike vitkosti,
- mogućnost svladavanja znatno većih prepreka (Most Stolmasundet, Norveška, najdulji raspon 301 m),
- 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 jednoj strani kao kod rebrastog poprečnog presjeka,
- velika torzijska krutost poprečnog presjeka.

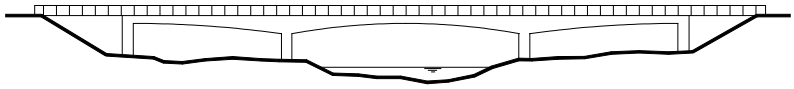
Zatvoren sanduk odlikuje se velikom krutosti na savijanje i torziju. A veliki krak unutarnjih sila znatno ublažava promjene u naponima izazvane pokretnim opterećenjem. Velika torzijska krutost nosača koristi se na različite načine:

- za velike konzole kolničke ploče,
- za podupiranje sanduka vitkim stupovima samo u njegovoj osi (točkasto oslanjanje) i
- za mostove u zavojima.

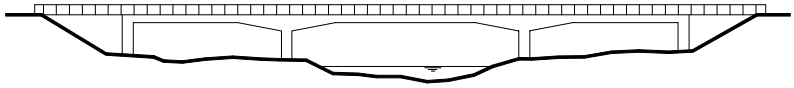
Ukupna visina sanduka odabire se prema rasponu mosta i postupku građenja. Stoga je bitno u postupku projektiranja predvidjeti tehnologiju izvedbe mosta i značajke statičkog sustava (gredni ili okvirni sustav).

Za mostove većih raspona koji se izvode u pravilu tehnologijom konzolne izvedbe poprečni presjek rasponskog sklopa nije konstantan. Vitkosti grede trebaju biti:

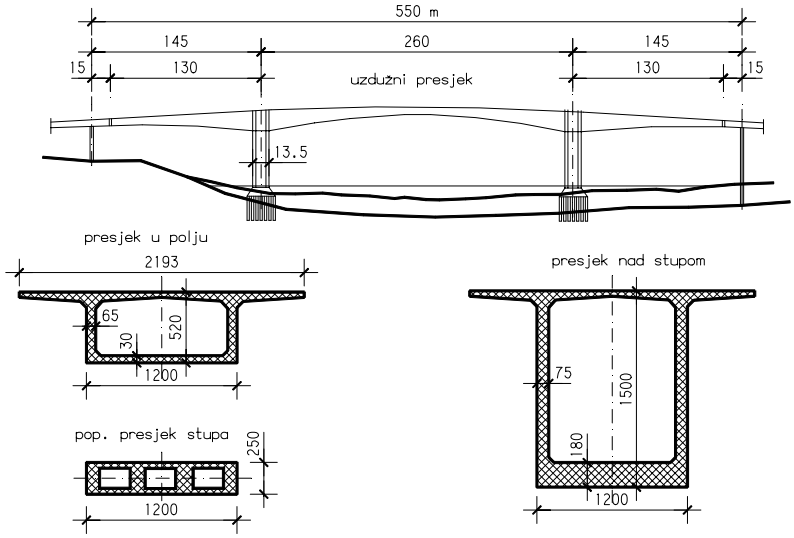
- L/h=18-22 (20) - za presjek nad ležajem
- L/h=30-60 (45) - za presjek u polju



Slika 0.2 Kontinuirana greda promjenjivog poprečnog presjeka.



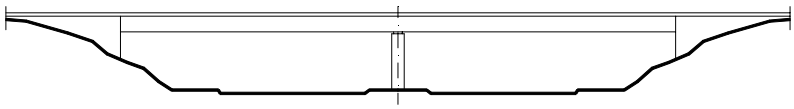
Slika 0.3 Kontinuirana greda s ravnim vutama.



Slika 0.4 Most Brisbane River.

Visina sanduka trebala bi biti takva da se omogući prohodnost unutar sanduka radi lakših pregleda i sanacija. Iz tog uvjeta za mostove na rasponima do 80 m, moguće je usvojiti konstantan poprečni presjek duž cijelog mosta. Vitkost tada treba biti u granicama:

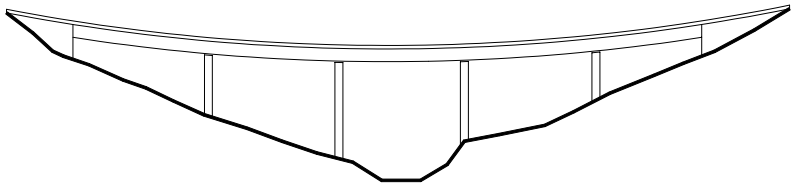
L/h=20-25 (20)



Slika 0.5 Kontinuirana greda konstantnog poprečnog presjeka s vodoravnom niveletom.

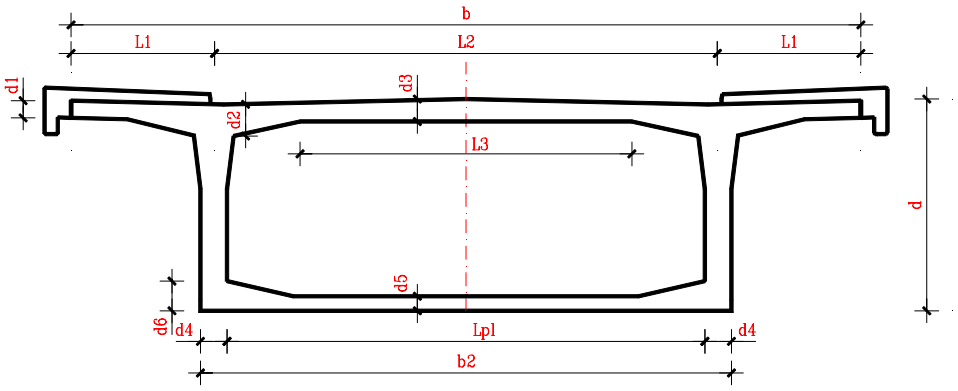


Slika 0.6Kontinuirana greda konstantnog poprečnog presjeka s niveletom u nagibu.



Slika 0.7 Kontinuirana greda konstantnog poprečnog presjeka s konkavnom niveletom.

Kod mostova raspona većih od 50 m, potrebno je podebljati donju ploču sanduka nad stupom. Ova linearna promjena debljine donje ploče izvodi se od 1/4L do 1/2L, ovisno o tehnologiji izvedbe.

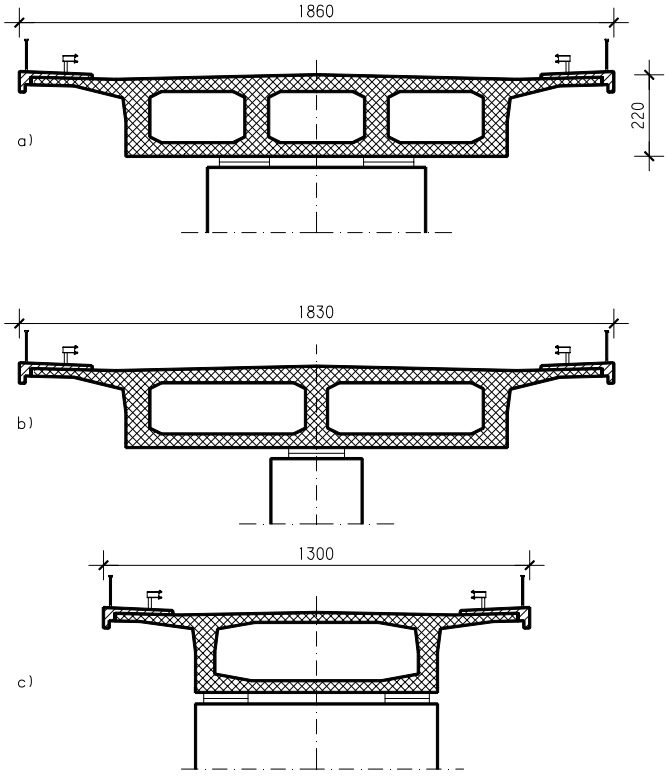


Slika 0.8 Parametri za oblikovanje poprečnog presjeka s vertikalnim hrptovima.

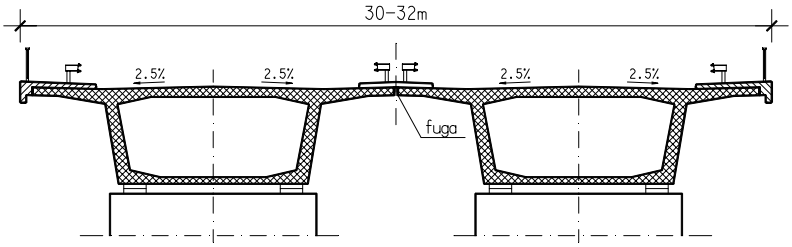
Ostale izmjere poprečnog presjeka sanduka:

- debljina donje ploče $d_3 \geq L_3/30$, ali ne manje od 20 cm.
- Vuta $L_v/L_{pl} < 0.2$
- debljina konzole $d_1/d_2 = 0.33 \ldots 0.5$
- debljina hrptova $d_4 = d/15$, odnosno 25 cm, a kod prednapetih hrptova 20 cm+ϕ ili 4*ϕ. ϕ-promjer vanjske zaštitne cijevi kabela.

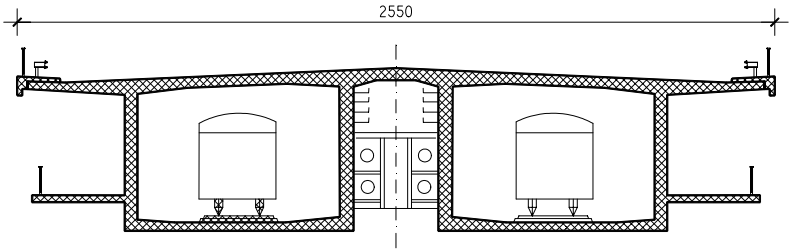
Duljina konzole uzima se 40 do 50% unutarnjeg raspona - radi simetričnog smještaja kabela i izjednačavanja momentnog dijagrama od vlastite težine u poprečnom smjeru. Kod mostova većih širina potrebno je smanjiti raspone gornje ploče u poprečnom smjeru i koristiti poprečne presjeke s više hrptova.



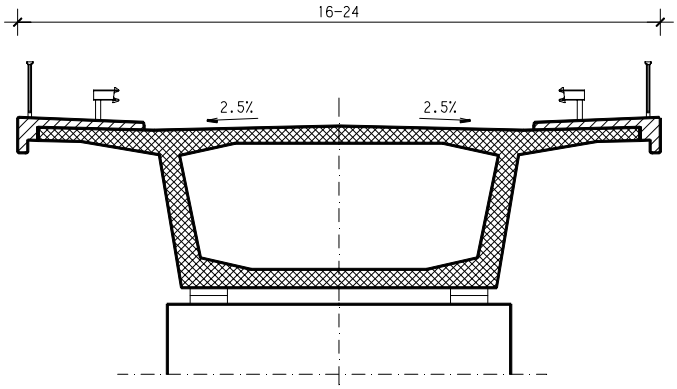
Slika 0.9 Poprečni presjeci sandučastih konstrukcija s tri, dvije i jednom komorom.



Slika 0.10 Poprečni presjek dvaju sandučastih konstrukcija mosta na autocesti odvojenih uzdužnom reškom.

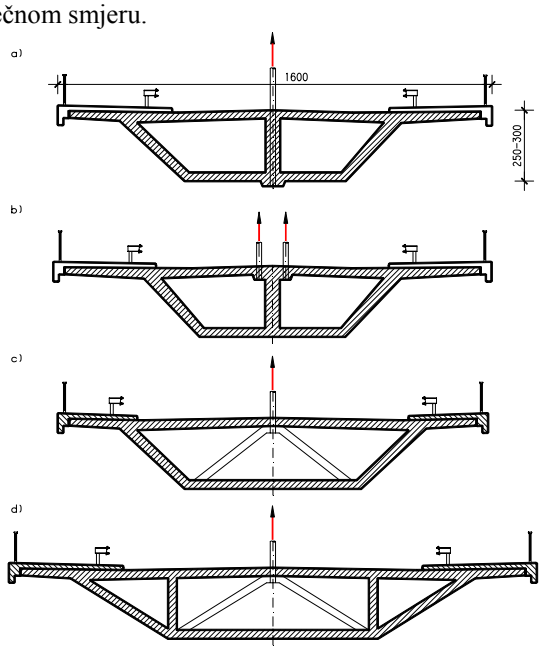


Slika 0.11 Poprečni presjek sandučaste konstrukcije nekog gradskog mosta.

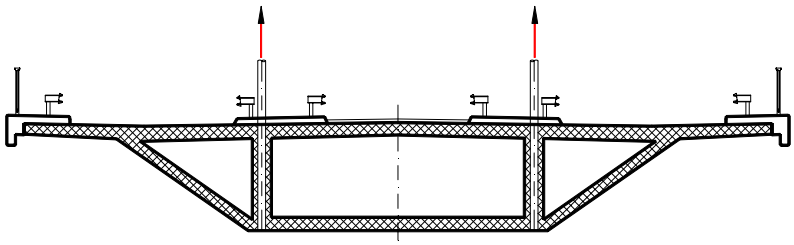


Slika 0.12 Tipičan poprečni presjek konstrukcije raspona 40-70 m za izvedbu potiskivanjem.

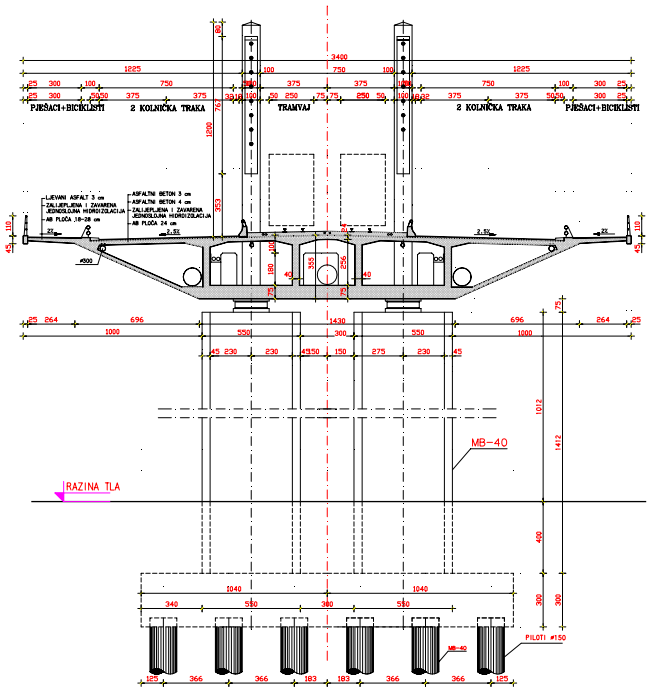
Mostovi s kosim hrptovima estetski su prihvatljiviji od onih s ravnim hrptovima , pogotovo za veće raspone ali je njihova izvedba kompliciranija (vibriranje betona u kosom hrptu) , a nagnutost hrptova izaziva u gornjoj kolničkoj ploči dodatne vlačne sile u poprečnom smjeru.



Slika 0.13 Poprečni presjeci sandučastih konstrukcija s tri ili četiri hrpta, ovješenih u jednoj ravnini.



Slika 0.14 Poprečni presjeci sandučastih konstrukcija ovješenih u dvjema ravninama.

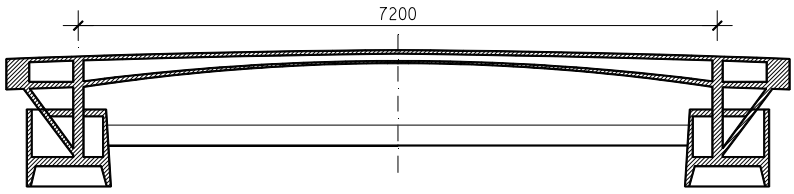


Slika 0.15 Poprečni presjek Domovinskog mosta u Zagrebu.

Tijekom uporabe mosta moguće su velike temperaturne razlike izvan i unutar sanduka (prostor unutar sanduka može se zagrijati i do +40°C), pa je potrebno predvidjeti otvore za prozračivanje. Ovi otvori služe i za izjednačavanje vlage. Uz ove otvore koji se nalaze u hrptovima potrebno je predvidjeti i otvore u najnižoj donjoj ploči sanduka za odvodnju procijednih voda.

S obzirom na spoj grede sa stupovima razlikujemo dva osnovna statička sustava:

1. **grede** - opterećenje rasponskog sklopa prenosi se preko ležaja na elemente donjeg ustroja,
2. **okviri** - rasponski sklop je kruto spojen s elementima donjeg ustroja.



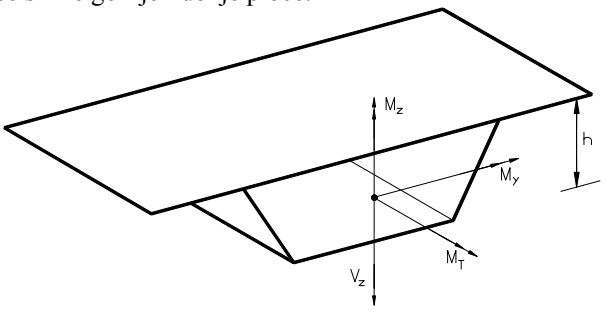
Slika 0.16 Most preko Spree u Berlinu, okvir sa stupovima u obliku trokuta štapova.

Neovisno o obliku poprečnog presjeka razlikujemo dva globalna statička proračuna:

- proračun u poprečnom smjeru i
- proračun u uzdužnom smjeru.

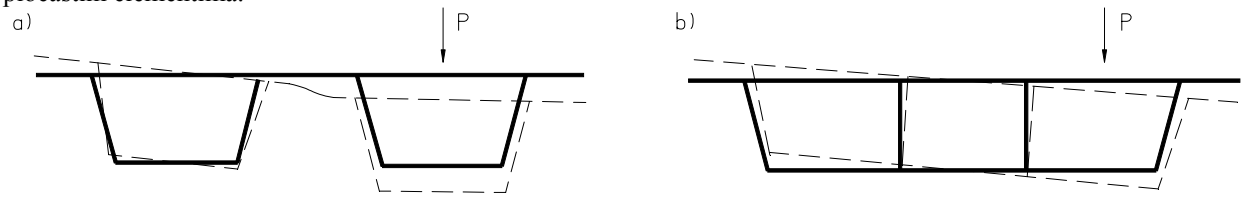
4.2. Proračun sandučastog nosača u uzdužnom smjeru

Sandučasti nosači se proračunavaju i dimenzioniraju metodom statike štapova. Sanduk s jednom komorom modelira se s jednim štapnim elementom sa svojom aksijalnom, savojnom i torzijskom krutošću. Pri dimenzioniranju potrebno je odrediti sudjelujuće širine gornje i donje ploče.

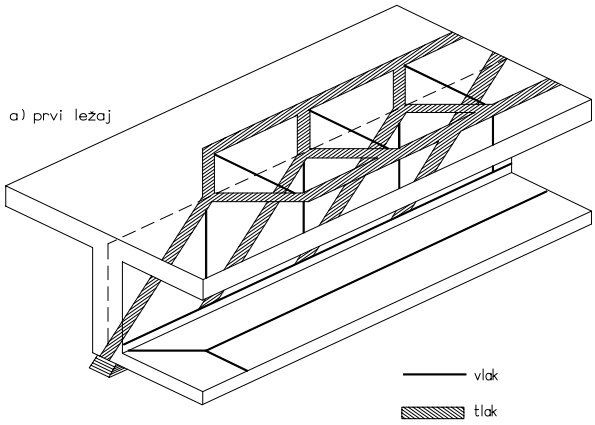


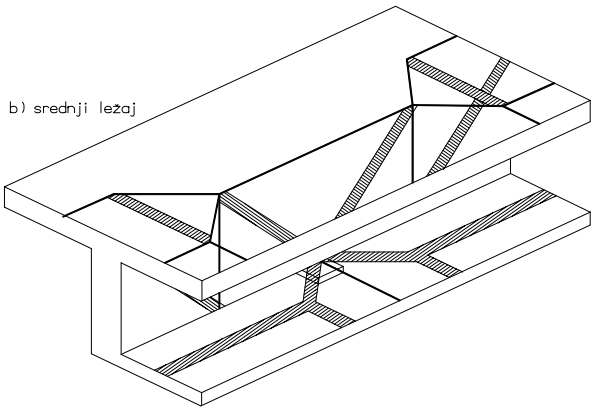
Slika 0.17 Rezne sile u rasponskom sklopu sandučastog poprečnog presjeka. Štapni model za proračun konstrukcije u uzdužnom smjeru.

Ukoliko je odnos B/h>6 statički model s jednim štapom ne daje ispravne rezultate, jer se konstrukcija ponaša po teoriji ploča a ne po teoriji štapova. Stoga se takve konstrukcije modeliraju kao roštilji ili ako je to moguće s pločastim elementima.



Slika 0.18 Poprečna razdioba sila.





Slika 0.19 Rešetkasti model sanduka nad osloncima.

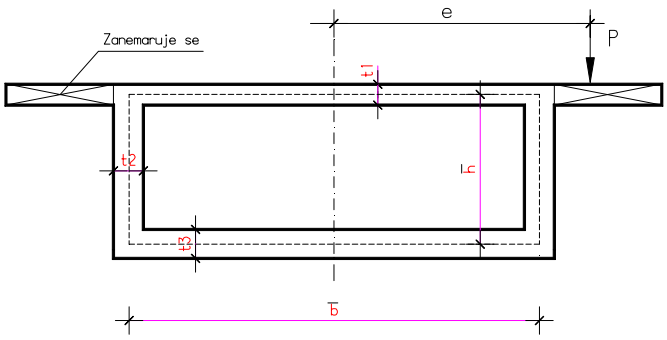
Torzijska krutost poprečnog presjeka određuje se po Bredtovoj formuli. Utjecaj konzola sanduka izvan rebara može se zbog malog doprinosa zanemariti.

Bredtova formula za određivanje napona od torzije glasi:

$$M_T = \int \tau \cdot t \cdot r \cdot du \tag{4.1}$$

$$dA = \frac{r \cdot du}{2} \tag{4.2}$$

$$M_T = \tau \cdot t \cdot 2 \int dA \tag{4.3}$$



Slika 0.20 Torzijska krutost sandučastog poprečnog presjeka.

Moment torzije izaziva u presjeku posmične napone koji se prema St. Venartu računaju kao za homogen i elastičan materijal.

$$\tau = \frac{M_T}{2 \cdot \overline{A} \cdot t} \tag{4.4}$$

$$M_T = P \cdot e \tag{4.5}$$

$$\overline{A} = \overline{b} \cdot \overline{h} \tag{4.6}$$

$$T_B = \tau_1 \cdot t_1 = \tau_2 \cdot t_2 = \tau_3 \cdot t_3 = \frac{P \cdot e}{2 \cdot \overline{b} \cdot \overline{h}} = \frac{M_T}{2 \cdot \overline{A}} \tag{4.7}$$

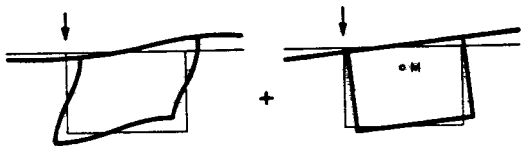
$$\tau_1 = \frac{P \cdot e}{2 \cdot \overline{b} \cdot \overline{h} \cdot t_1}, \quad \tau_2 = \frac{P \cdot e}{2 \cdot \overline{b} \cdot \overline{h} \cdot t_2}, \quad \tau_3 = \frac{P \cdot e}{2 \cdot \overline{b} \cdot \overline{h} \cdot t_3} \tag{4.8}$$

Torzijska krutost sandučastog poprečnog presjeka:

$$I_T = \frac{4 \cdot \overline{A}^2}{\int \frac{ds}{t}} = \frac{4 \cdot \left(\overline{b} \cdot \overline{h}\right)^2}{\sum_i \frac{s_i}{t_i}} = \frac{4 \cdot \left(\overline{b} \cdot \overline{h}\right)^2}{\frac{\overline{b}}{t_1} + 2 \cdot \frac{\overline{h}}{t_2} + \frac{\overline{b}}{t_3}} \tag{4.9}$$

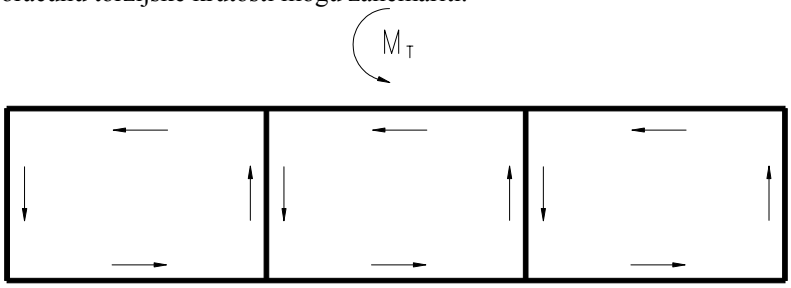
Osnova za ovakav pojednostavljen postupak proračuna je u pretpostavci da poprečni presjek sanduka ostaje nepromjenjiv, tj., uslijed djelovanja torzije ne mijenja bitno svoj oblik. Kod mostova od prednapetog betona ova pretpostavka je ostvarena kad je sanduk na ležajima ukrućen poprečnim dijafragmama, ili dovoljno krutim okvirom. Kod kontinuiranih nosača obično je dovoljna krutost ostvarena podebljanjem rebara i donje ploče.

Kod tankostjenih poprečnih presjeka osobito velikih sandučastih nosača, deformacije poprečnog presjeka uslijed djelovanja momenata torzije izazivaju dodatne poprečne momente savijanja okvira sanduka. Ove momente zbog malih vrijednosti možemo radi jednostavnijeg proračuna zanemariti.



Slika 0.21 Deformacije poprečnog presjeka od djelovanja momenta torzije.

Kod šupljih sanduka s više komora, posmična se naprezanja od torzije u unutrašnjim rebrima poništavaju, tako da se unutarnja rebra pri proračunu torzijske krutosti mogu zanemariti.

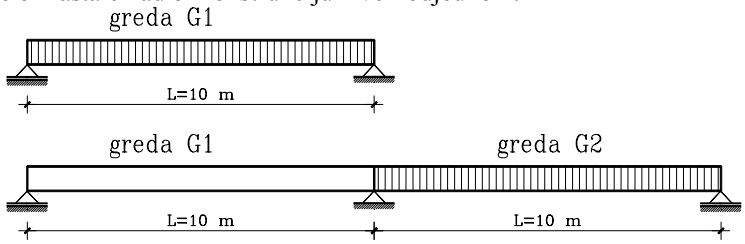


Slika 0.22 Posmik od torzije u unutrašnjim rebrima sandučastog nosača.

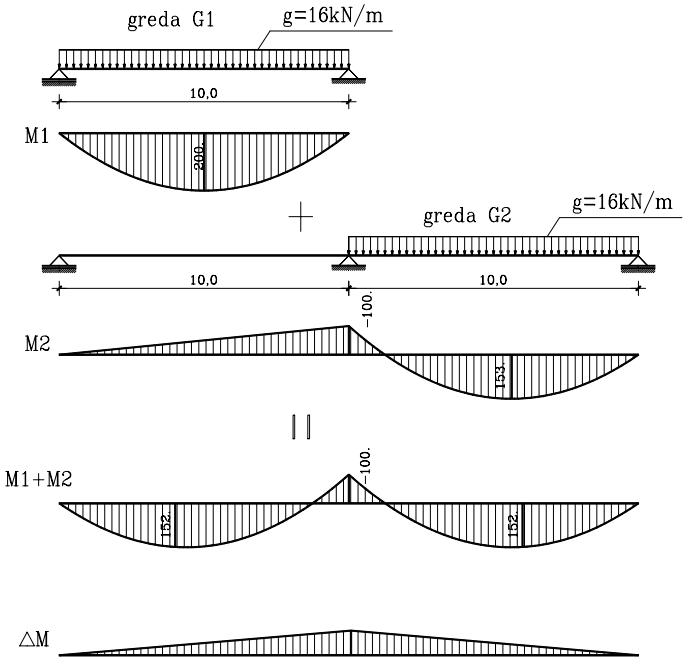
Anvelopu unutarnjih i vanjskih sila od prometnog opterećenja potrebno je napraviti postavljajući opterećenje u tri različita položaja u poprečnom presjeku. Kod simetričnog poprečnog presjeka, torzijski momenti mogu biti pozitivni i negativni. Posmik od torzije T i od pripadne poprečne sile V potrebno je zbrojiti u oba rebra.

Posebnu pažnju treba posvetiti proračunu konstrukcije u svim fazama gradnje, jer su ova stanja tijekom gradnje najčešće mjerodavna za dimenzioniranje nekih elemenata konstrukcije. U izvedbenom dijelu projekta potrebno je izraditi detaljan protokol s opisom i redoslijedom aktivnosti u postupku građenja, kako bi se ispunile sve pretpostavke statičkog proračuna.

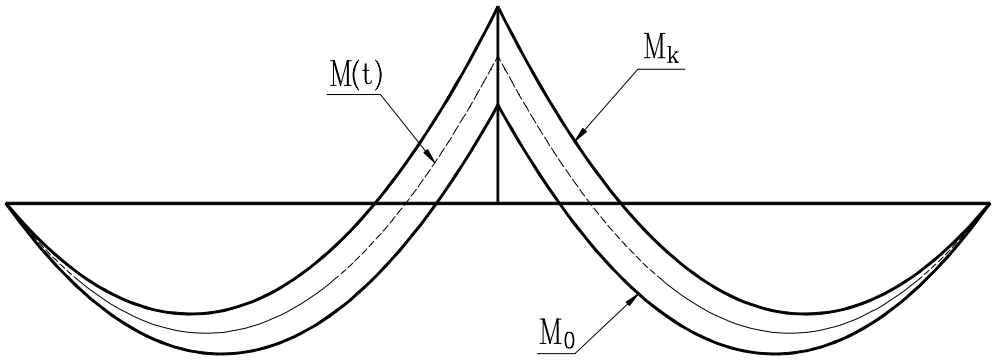
Rijetko koja AB konstrukcija nastaje betoniranjem odjednom. Vlastita težina pojedinih dijelova konstrukcije djeluje na različitim statičkim sustavima. Superpozicijom svih tih sustava dobivamo početne dijagrame reznih i vanjskih sila (reakcija). Te su vrijednosti uslijed reoloških svojstava betona vremenski promjenjive i u beskonačnosti teže onim vrijednostima koje bi nastale kad bi konstrukciju izveli odjednom.



Slika 0.23 Izvedba nosača betoniranjem u dvije faze.



Slika 0.24 Promjena momentnog dijagrama u vremenu.



Slika 0.25 Nakon uspostavljanja kontinuiteta, vremenom se moment na ležaju povećava i asimptotski se približava onom na kontinuiranom sustavu

M_0 -moment - suma faza građenja; (montažnih stanja)

M_k -moment - na konačnom sustavu

M_t -moment u nekom trenutku vremena

$$M(t) = M_0 + (M_k - M_0) \cdot \alpha_M \tag{4.10}$$

Koeficijent α_M prema Trostu iznosi:

$$\alpha_M = \frac{\overline{\varphi}}{1 + \chi \cdot \overline{\varphi}} \tag{4.11}$$

Koeficijent starenja χ kreće se u granicama od 0.647 do 0.928. Po prijedlogu H. Ruscha može se uzeti χ =0.8.

Koeficijent α_M prema rješenju Dischingerove diferencijalne jednadžbe:

$$\alpha_M = 1 - e^{-\overline{\varphi}} \tag{4.12}$$

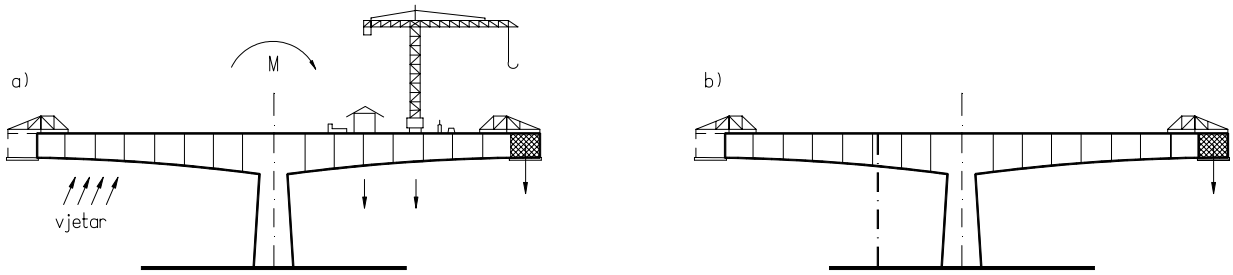
Preostale vrijednosti koeficijenata puzanja za prvu i drugu gredu

$$\varphi^{G1}(t, t_1) = \varphi_1 \tag{4.13}$$

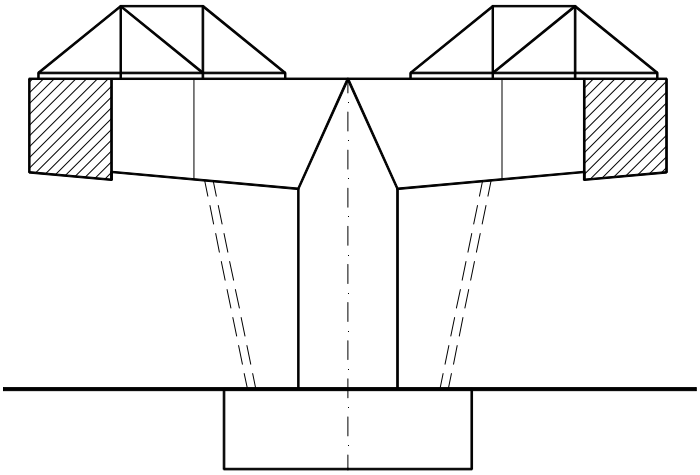
$$\varphi^{G2}(t', t_0') = \varphi_2 \tag{4.14}$$

Srednja vrijednost koeficijenta puzanja

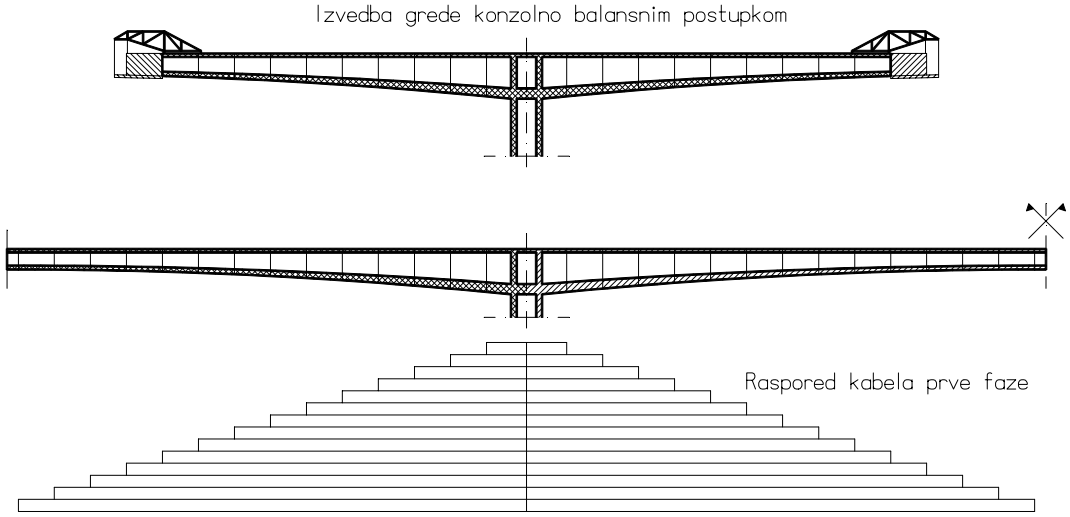
$$\overline{\varphi} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}$$



Slika 0.26 a) slučaj opterećenja u fazi izvedbe grede .
b) osiguranje stabilnosti u vrijeme gradnje pomoću privremene podupore.



Slika 0.27 Balansni postupak. Osiguranje stabilnosti u vrijeme gradnje pomoću privremenih podupora.



Slika 0.28 Izvedba konzolne grede balansnim postupkom i dijagram količina prednapetih kabela.

Kod rebara treba pripaziti da se opterećenje od donje ploče mora objesiti o gornji pojas sanduka. Torzija može utjecati na smjer glavnih napona, Pri jakoj torziji ovi naponi mogu imati suprotni smjer od onih izazvanih poprečnim silama. Stoga je potrebno kod velikih torzijskih momenata postaviti jaču horizontalnu armaturu u rebrima.

Pri odabiru debljine rebra, nije potrebno ograničiti glavne vlačne napone, jer bi se tako dobilo nepotrebno debelo rebro, kod kojeg su opasni sekundarni naponi znatno veći nego kod tanjih rebara. Najopasnije pukotine u rebrima mnogih mostova nastale su upravo od sekundarnih napona u debelim rebrima. Debljina rebra bit će najispravnije odabrana tako da se naponi u tlačnim dijagonalama (analogija s rešetkom) ograniče na veličinu $\sigma_c \le f_{ck}$.

Ako su u rebru postavljeni kabeli za prednapinjanje, debljina rebra tada ovisi o debljini zaštitne cijevi kabela, o njihovom međusobnom razmaku i o zaštitnom sloju betona. Pri dokazu napona u tlačnim dijagonalama tada se mora računati s reduciranom debljinom rebra:

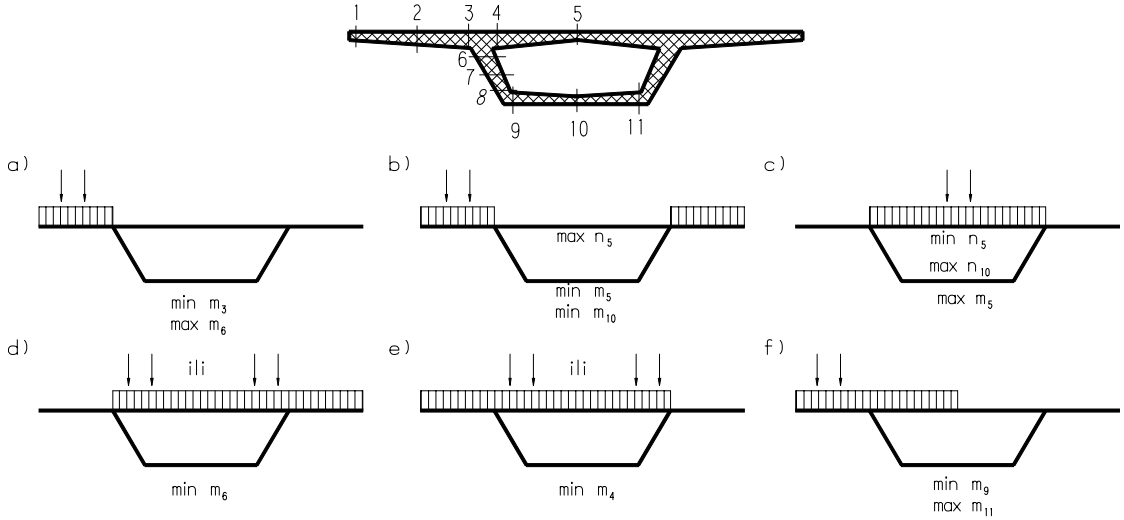
$$b_{w,red} = b_w - \frac{2}{3}\sum \Phi \qquad (4.15)$$

Kod visokog stupnja posmične armature, preporučuje se kombinacija vertikalnih i kosih vilica. Najmanji razmak vilica iznosi 8 cm. Prednapinjanje rebra poduzima se samo u slučaju kad opterećenje djeluje na donjem pojasu npr. debele donje ploče ravnih sanduka.

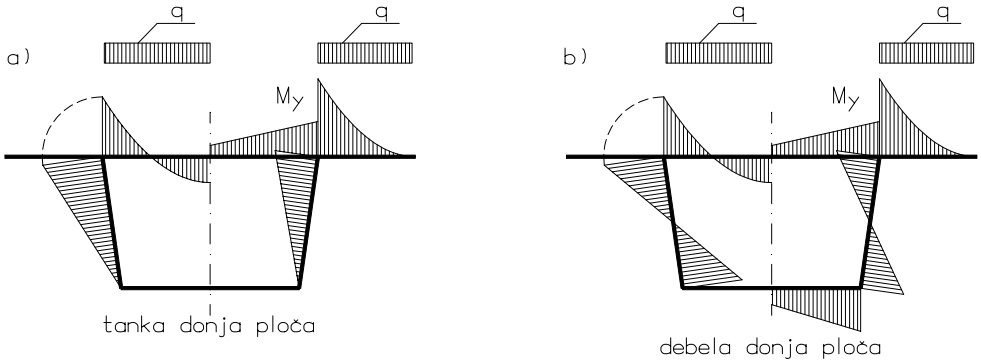
Prevladava li poprečni moment savijanja samo u jednom smjeru, rebro se može armirati nesimetrično, dodatnom armaturom između vilica.

4.3. Proračun u poprečnom smjeru

Kod proračuna u poprečnom smjeru postoji nekoliko statičkih modela. Prvi i najjednostavniji model je zatvoren okvirni sustav na elastičnim oprugama (slika).

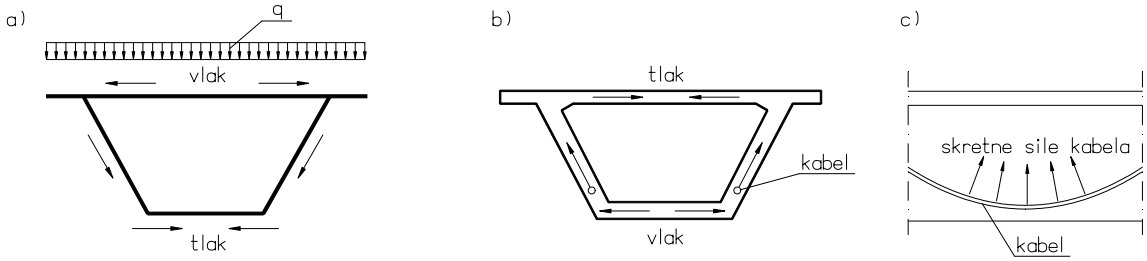


Slika 0.29 Položaji pokretnog opterećenja za proračun sanduka u poprečnom smjeru.



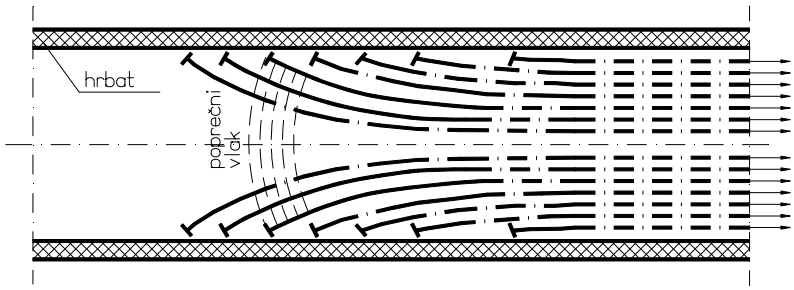
Slika 0.30 a) Poprečni momenti savijanja u sandučastom nosaču s tankom donjom pločom. b) Poprečni momenti savijanja u sandučastom nosaču pri debeloj donjoj ploči.

Kod sanduka s jednom komorom često se primjenjuju nagnuta rebra čime se ostvaruje manji raspon i manja debljina donje ploče, a nosač i vitkije izgleda. Međutim kod nagnutih rebara potrebno je računati s time da se već kod opterećenja vlastitom težinom u gornjoj ploči pojavljuju vlačne sile u obliku poprečnog vlaka, a u donjoj ploči tlačne sile u obliku poprečnog tlaka.



Slika 0.31 Poprečni vlak i poprečni tlak u gornjem i donjem pojasu sandučastog nosača s nagnutim rebrima.

Kabeli se prednapinju i sidre u radnim reškama. Pri tom ih je poželjno voditi prema rebru i sidriti u području vuta. Pri izvedbi mosta konzolnim postupkom ovo vođenje kabela je otežano zbog velikog broja rupa u pločama potrebnih za pridržanje pokretne skele. Uslijed skretanja kabela u pločama se pritom pojavljuje poprečni vlak.



Slika 0.32 Kabeli u polju u donjoj ploči postupno se povijaju spram rebra i sidre u njegovoj blizini. Skretanje kabela izaziva poprečni vlak u donjoj ploči.

4.3.1. Ploča kolnika

Zbog spriječenosti zakretanja rebara 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.

Temperaturne razlike *dt* između gornje i donje ploče izazvat će u ploči kolnika dodatne normalne sile, a u rebrima velike poprečne momente savijanja.
Kod sandučastih nosača koji su jako opterećeni na torziju, ploču kolnika između rebara potrebno je dodatno armirati ili prednapeti u poprečnom smjeru.

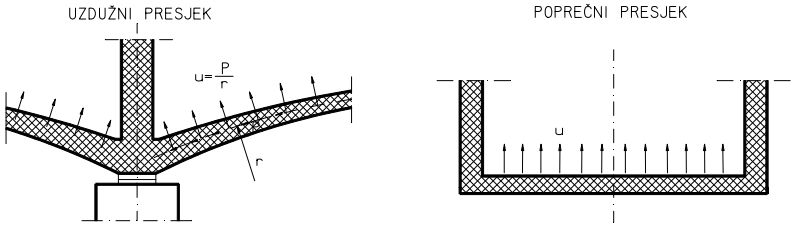
4.3.2. Donja ploča

Donja ploča je opterećena na slijedeći način:
1. Savijanje u poprečnom smjeru uslijed vlastite težine i korisnog opterećenja. Koristan teret uzeti najmanje s 1,0 kN/m^2.
2. Uslijed momenata savijanja glavnog nosača i djelovanja poprečnih sila u donjoj ploče se pojavljuju tlačni ili vlačni naponi.
3. Uslijed momenta torzije glavnih nosača u donjoj ploči pojavljuju se glavni vlačni i tlačni naponi koji se križaju pod kutom od 45/135.
4. Uslijed vođenja kabela u donjoj ploči pojavljuju se skretne sile
5. 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 prihvaćaju se prednapinjanjem a poprečni vlak armaturom.
Niti u jednom drugom elementu mostova od prednapetog betona, stvarna se naprezanja ne razlikuju u tolikoj mjeri od proračunatih, kao kod donje ploče sanduka. Na mnogim su se mostovima u donjim pločama pojavile poprečne pukotine, na mjestima gdje su proračuni ukazivali na tlačne napone i do 3-4 Mpa. Zbog toga je posebno važno da se donje ploče sanduka armiraju minimalnom armaturom za ograničavanje širina pukotina.

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 3ϕ zaštitne cijevi kabela. Tanje ploče treba ukrutiti poprečnim rebrima.
Kabele glavnih nosača u donjoj ploči potrebno je postaviti što bliže rebru. 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. U tim slučajevima potrebno je obratiti pozornost na djelovanje hidratacijske topline u vrijeme stvrdnjavanja cementa, te na puzanje i skupljanje betona.

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.



Slika 0.33 Skretne sile u zaobljenom donjem tlačnom pojasu sandučastog nosača izazivaju poprečne momente savijanja u sanduku.

4.3.3. Rebro (hrbat)

Glavna je zadaća rebra da preuzme posmične sile između dvaju pojasa. U rebru se pojavljuju glavni naponi koji proizlaze od djelovanja momenata savijanja i poprečnih sila u uzdužnom smjeru te poprečni momenti savijanja od upetosti ploča u rebro. Kako se na donjoj strani rebra nalazi donja ploča, rebro je još dodatno napregnuto na vlak u vertikalnom smjeru. Stoga svi dijelovi konstrukcije koji leže ispod težišne linije rebra skupa s opterećenjem koje na nju djeluju moraju biti obješeni za tlačni pojas. Sva četiri navedena slučaja naprezanja rebra zbrajaju se i zahtijevaju odvojen proračun i dimenzioniranje.

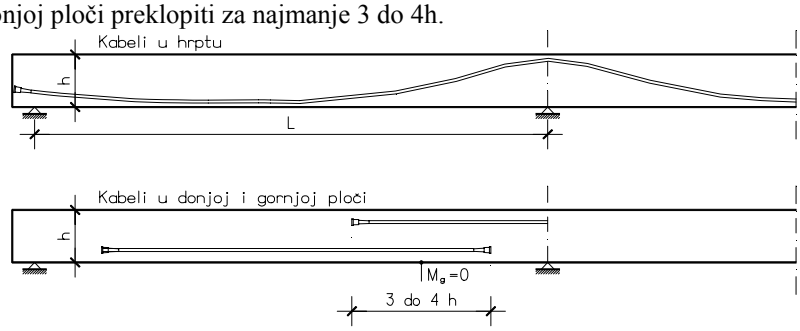
4.4. Armiranje i prednapinjanje sandučastih nosača

Ovisno o rasponima mosta sandučasti nosači se mogu izvoditi i bez prednapinjanja. Vođenje i sidrenje kabela ovisi prvenstveno o načinu izvedbe mosta.

4.4.1. Vođenje kabela u glavnim nosačima

Kod mostova manjih i srednjih raspona (do ~60 m) kabeli se polažu u dovoljno široka rebra. Kako u rebra ne može stati veći broj kabela, jedan dio se polaže u pojasne ploče uz rebra.

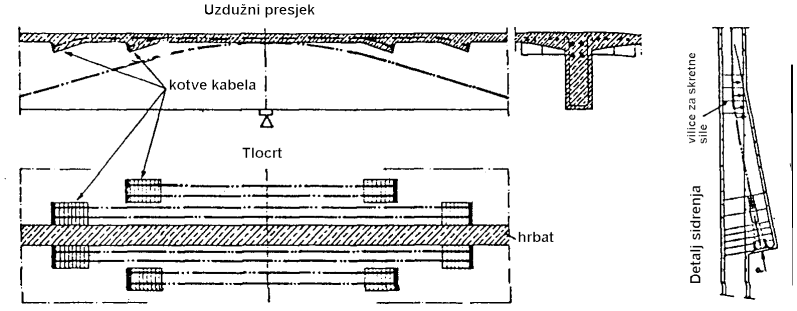
Duljina ovih kabela određuje se prema pomaknutom dijagramu vlačnih sila. Kod kontinuiranih nosača potrebno je kabele u gornjoj i donjoj ploči preklopiti za najmanje 3 do 4h.



Slika 0.34 Položaj kabela u jednom kontinuiranom nosaču u uzdužnom presjeku.

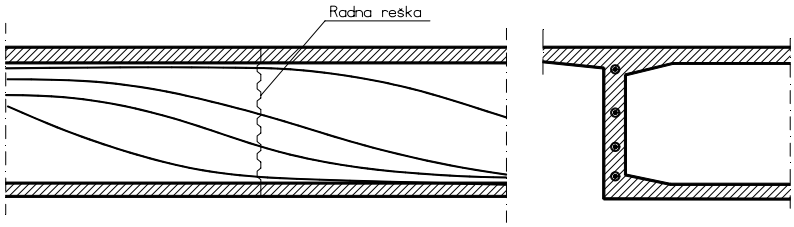
Kod mostova većih raspona, koje je potrebno prednapeti i s većom silom, najpovoljnije je kabele postaviti što dalje od težišta poprečnog presjeka, odnosno u gornju i donju ploču sanduka. Isto tako poželjno je rebra osloboditi velikih kabela. Takvo vođenje kabela primijenio je Esquillan 1955. Godine na željezničkom mostu u La Voulteu preko Rhone.

Kabele koje prednapinjemo naknadno, kad je most već završen, uvlače se u prethodno ugrađene zaštitne cijevi i sidre u istakama ploče ili rebra (bradavicama) s unutrašnje strane nosača.

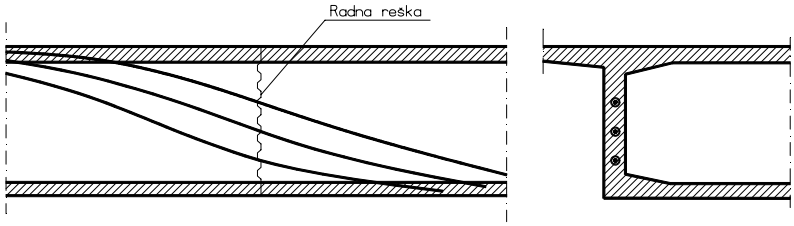


Slika 0.35. Prednaprezanje kontinuiranih nosača iznad srednjih oslonaca. Paziti na pomak dijagrama vlačnih sila.

Pri izvedbi potiskivanjem nosač se u fazi potiskivanja najprije prednapinje centrično, kabelima položenim u gornjoj i donjoj ploči sanduka.



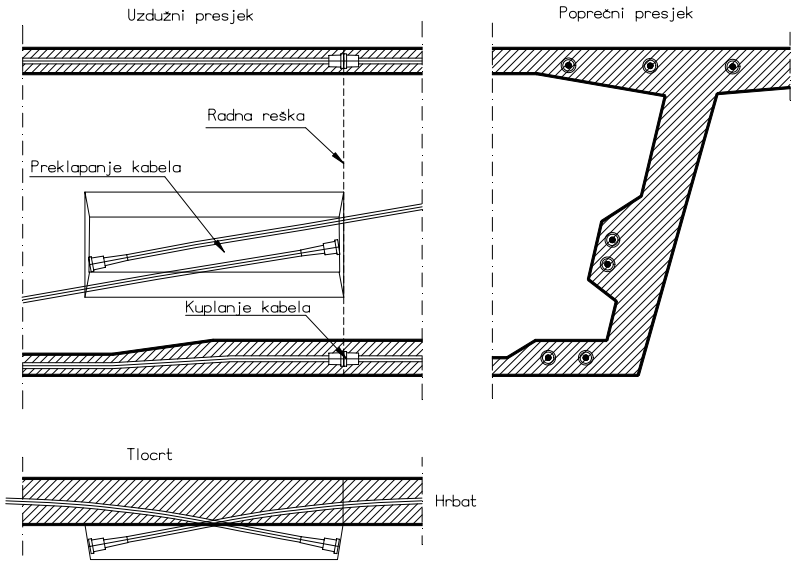
Slika 0.36 Razdioba kabela preko čitave visine rebra jednog sandučastog nosača.



Slika 0.37 Kod izvedbe potiskivanjem kabeli leže u pojasnim pločama i rebrima, tako da je samo u manjim područjima potrebna dodatna armatura spojne reške, ponajprije u konzolnim pločama.

Centričnim prednapinjanjem preuzimaju se istodobno negativni i pozitivni momenti savijanja koji se pojavljuju u konstrukciji tijekom potiskivanja. Prednapinjanje i nastavljanje ovih kabela obavlja se na radnim reškama. Tanje donje ploče potrebno je podebljati na mjestima nastavljanja.

U ugrađene zaštitne cijevi u hrptovima sanduka, nakon što je konstrukcija potisnuta u konačni položaj uvlače se i prednapinju kabeli druge faze. Ovakvi kabeli mogu se protezati kroz više polja (3-4). Na mjestima preklapanja nastavljaju se na mjestima hrptova.

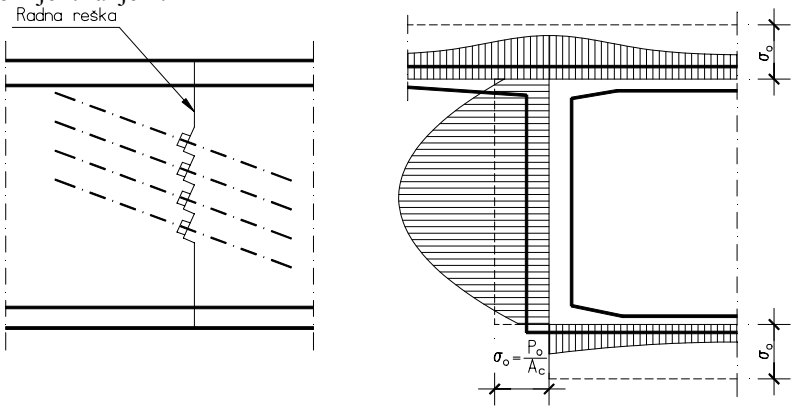


Slika 0.38 Nastavak naknadno uvučenih kabela u hrptu pri potiskivanju. Pri konstruiranju proširenja hrpta valja voditi računa o mogućnosti nesmetanog premještanja unutrašnje oplate.

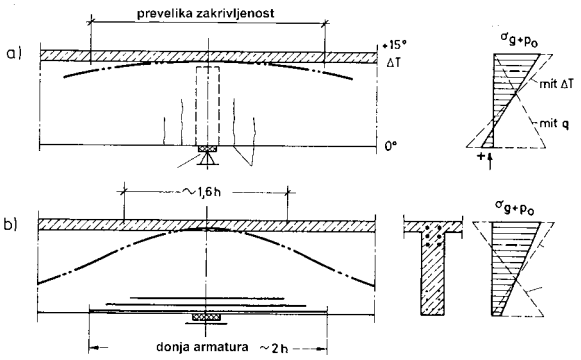
Kod mostova koji se betoniraju na pokretnoj skeli polje po polje, kabeli se ugrađuju zajedno s cijevima, a prednapinju se i nastavljaju na radnim reškama.

Kod konzolnog načina izvedbe najprije se ugrađuju samo zaštitne cijevi, u koje se postepeno uvlače jedino oni kabeli koji će se prednapeti na krajevima dvaju konzolnih segmenata betoniranih u tom taktu.

Kod mostova većih raspona danas se primjenjuju i vrste obješenih kabela koji se polažu s unutarnje strane hrpta, provlače kroz otvore u vertikalnim poprečnim rebrima uz hrbat.
Između rebara kabeli se postavljaju jedan do drugog bez zaštitnih cijevi. Na mjestima skretanja snopovi kabela međusobno se odvajaju kliznim sedlima, kako bi se svaki snop mogao pojedinačno prednapinjati. Ovakav način prednapinjanja omogućuje izvedbe tanjih hrptova i smanjuje trenje kabela. Nakon prednapinjanja kabeli se pomoću posebno konstruiranih vilica povezuju s hrptom i zaštićuju sitnozrnim betonom. Na ovaj način se ostvaruje bolje sprezanje kabela nego injektiranjem.



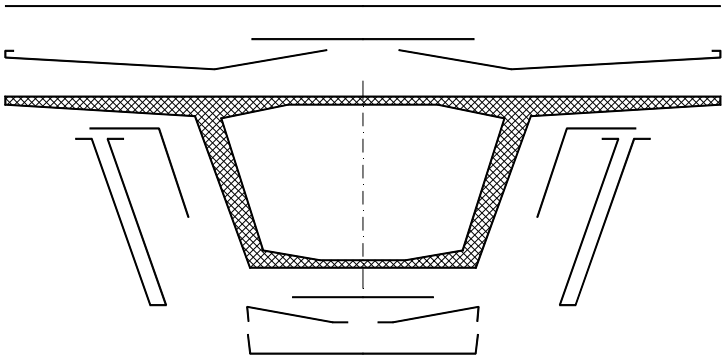
Slika 0.39 Vlastiti naponi u jednoj spojnoj reški na kojoj su spojena sidra koncentrirana u rebru pri M=0. U području sidra pritisak je jako povećan, dok su naponi u području pojasa smanjeni, pa postoji opasnost pojave pukotina.



Slika 0.40. Vođenje kabela iznad srednjih oslonaca.

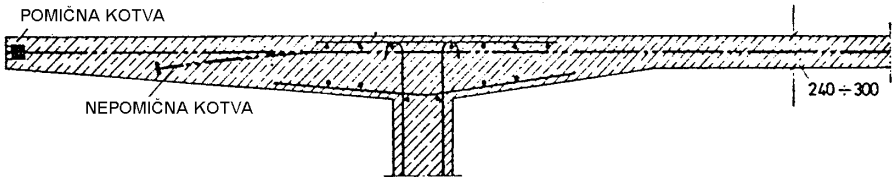
4.4.2. Armiranje i prednapinjanje ploče kolnika

U području najvećih vlačnih napona glavna armatura ne smije biti na većim razmacima od 15 cm. Dopuštena širina pukotina iznosi 0.2 mm. U tlačnim područjima razmaci armature mogu iznositi do najviše 30 cm. Najmanji profil šipki armature iznosi ϕ12. Poprečna armatura u gornjoj zoni ploče mora biti na razmacima manjim od 15 cm zbog sprečavanja i uzdužnih pukotina od skretanja tlačne sile u blizini oslonaca (armatura za spoj ploče i rebra).

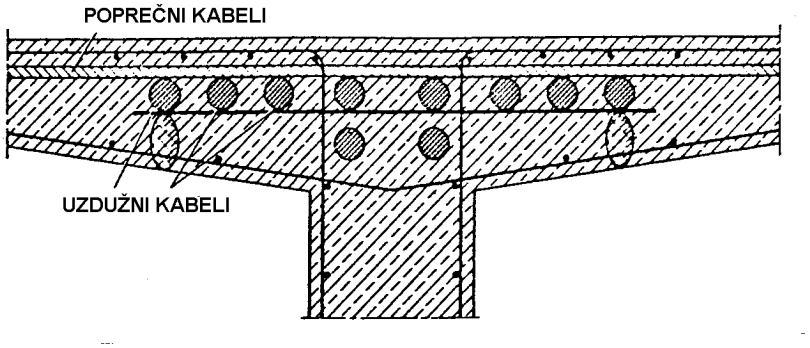


Slika 0.41 Armatura u jednom sandučastom nosaču za gradnju potiskivanjem.

Kolničke ploče trebalo bi poprečno prednapinjati ako je širina mosta veća od 10m i kod većih razmaka glavnih nosača. Uz osnovna opterećenja (stalno i prometno) u ploči djeluju i opterećenja od temperature te puzanja i skupljanja betona, a koja mogu dovesti do pojave pukotina. Iz tog razloga poželjno je lagano poprečno prednaprezanje. Da bi smanjili progibe ploče, pojavu pukotina većih od dopuštenih i smanjili promjenu napona u čeliku, stupanj prednaprezanja treba odabrati tako da pri opterećenju g+0.3q u ploči nema vlačnih napona u poprečnom smjeru.



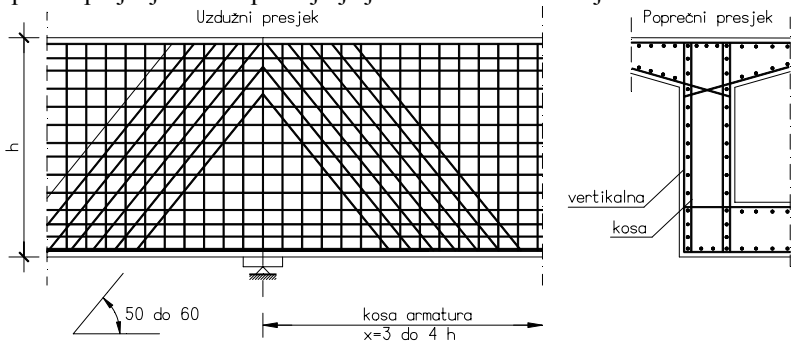
Slika 0.42. Poprečno prednapinjanje ploče kolnika. Sidrenje kabela kod konzola većih duljina.



Slika 0.43. Poprečni kabeli u ploči kolnika vode se iznad uzdužnih kabela glavnog nosača.

4.4.3. Armiranje i prednapinjanje rebara

Pri odabiru armature rebara važno je odabrati tanje profile armature (ϕ12-ϕ18mm). U području većih posmičnih napona, da bi izbjegli prednapinjanje rebara povoljnije je koristiti kombinaciju vertikalnih i kosih vilica.



Slika 0.44 Armatura rebra za visoka posmična naprezanja blizu oslonaca. Kose vilice u kombinaciji s uspravnim vilicama i uzdužnom armaturom.

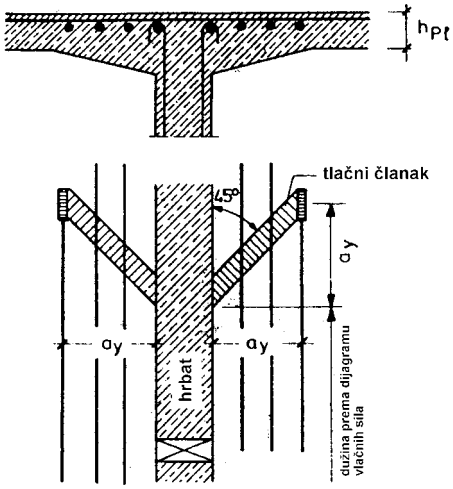
Donja uzdužna armatura

Profili uzdužne armature ne bi smjeli biti veći od ϕ28mm. Sva uzdužna armatura postavljena u donjem pojasu nosača na visini 0.2h može se uzeti u obzir pri dokazu graničnog stanja nosivosti. Armatura se u nosaču smanjuje postupno prema dijagramu vlačnih sila pomaknutog za iznos 0.7d.

Gornja uzdužna armatura

Uzdužna armatura raspoređuje se u gornjoj zoni nosača na čitavoj sudjelujućoj širini. Debljinu šipaka prema van od rebra treba postupno smanjivati. Veće profile treba smjestiti u rebro (npr. ϕ28), a manje profile (ϕ16 do ϕ20) izvan rebra. Prilikom pokrivanja dijagrama vlačnih sila profili smješteni izvan rebara moraju se na svakom kraju izvesti

dulji za $\Delta l=a_y$, jer se ovi profili priključuju na tlačne članke koji su nagnuti prema rebru pod kutom od 45°. (Slika 3.39.)



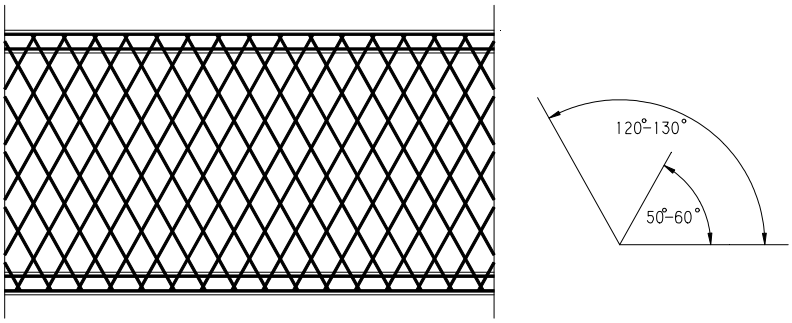
Slika 0.45. Armatura smještena u pojasu sidri se s dodatnom dužinom a_y.

Uzdužnu armaturu za torziju u rebru potrebno je razdijeliti ravnomjerno po čitavoj visini rebra, voditi do kraja grede i tamo usidriti.

Poprečna armatura u rebru
Poprečna armatura za preuzimanje poprečne sile i momenta torzije ima oblik vilica koje s donje strane obuhvaćaju uzdužnu armaturu, a s gornje strane su usidrene u ploču kolnika. Razmak vilica ovisi o ograničenju širina pukotina od glavnih vlačnih napona. U području velikih posmičnih napona vilice treba uzeti na razmacima 10 do 15 cm, a u području manjih napona od 20 do 30 cm. Profil vilica ne treba birati veći od 16mm kod greda visine h<3m, i manji od 20mm kod greda visine h<5m, jer s gornje strane vrlo često nisu na raspolaganju dovoljne dužine sidrenja. Dodatna armatura za preuzimanje upetosti ploče kolnika u rebro može se postaviti u obliku šipki. Ovakva armatura završava se otprilike oko polovice visine nosača (h/2).

4.4.4. Armiranje i prednapinjanje donje ploče sanduka

Armatura donje ploče mora se preklapati s vilicama rebara u obliku petlje. U područjima s visokim uzdužnim tlačnim naponima gornji i donji red armature treba povezati s oko 9 vilica/m^2, pri čemu sva donja uzdužna armatura treba biti obuhvaćena vilicama.



Slika 0.46 Kosokutna armatura donje ploče pri velikim torzijskim naponima.

4.4.5. Poprečna ukrućenja sandučastih nosača

Poprečni nosači, dijafragme ili poprečni okviri izvode se u pravilu samo na ležajima. Međutim oni i na ležaju mogu otpasti ako gornja i donja ploča skupa s hrptovima ima dovoljno veliku krutost kao zatvoren okvir.
Uloga poprečnog nosača je da:

- spriječi izobličenje 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). Napone u poprečnim nosačima potrebno je računati prema teoriji visokostjenih nosača. Kod indirektnog oslanjanja poprečni nosači zahtijevaju veću debljinu (50 do 80 cm), jer na ležaje trebaju predati poprečne sile iz rebara glavnih nosača.

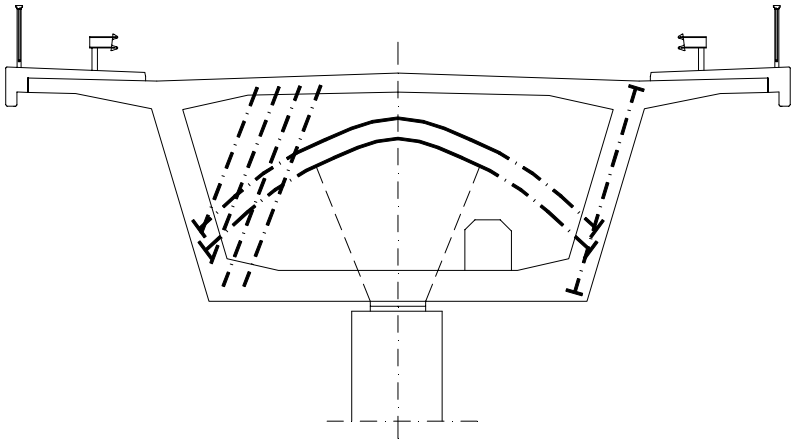
Armiranje i prednapinjanje poprečnih nosača ovisno je stoga prvenstveno o načinu oslanjanja. Kod direktnog oslanjanja (ležaji su ispod hrptova) dovoljna je horizontalna armatura, koja u obliku ukosnica mora obavijati vertikalnu armaturu hrpta:

U poprečnom nosaču potrebno je predvidjeti otvor za prolaz kroz sanduk. Donja ploča i hrptovi monolitno su spojeni s poprečnim nosačem, dok u slučaju sprezanja s gornjom pločom postoje dva pristupa:

- sprezanje po cijeloj duljini i
- sprezanje samo u području vuta.

Između vuta ploča može ostati slobodna da bi se izbjegli negativni momenti savijanja u ploči.

U slučaju debele donje ploče (širina/debljina<10), dovoljno je uz hrptove sanduka izvesti dva rebra koja preuzimaju ulogu poprečnog nosača.

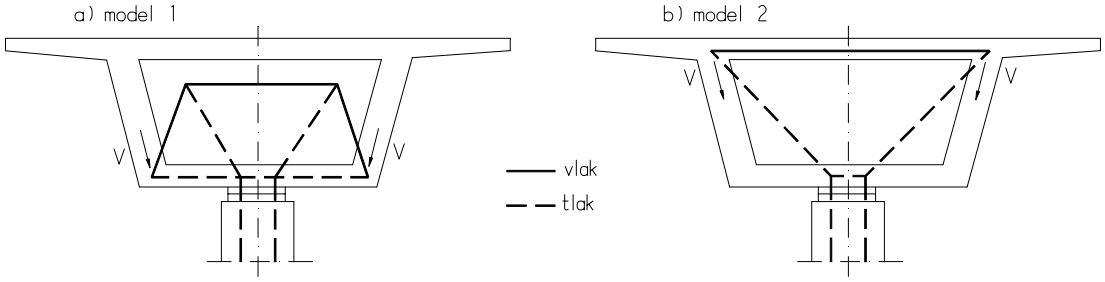


Slika 0.47 Armiranje ili prednaprezanje poprženog nosača na ležaju pri indirektnom oslanjanju u uzdužnoj osi sanduka.

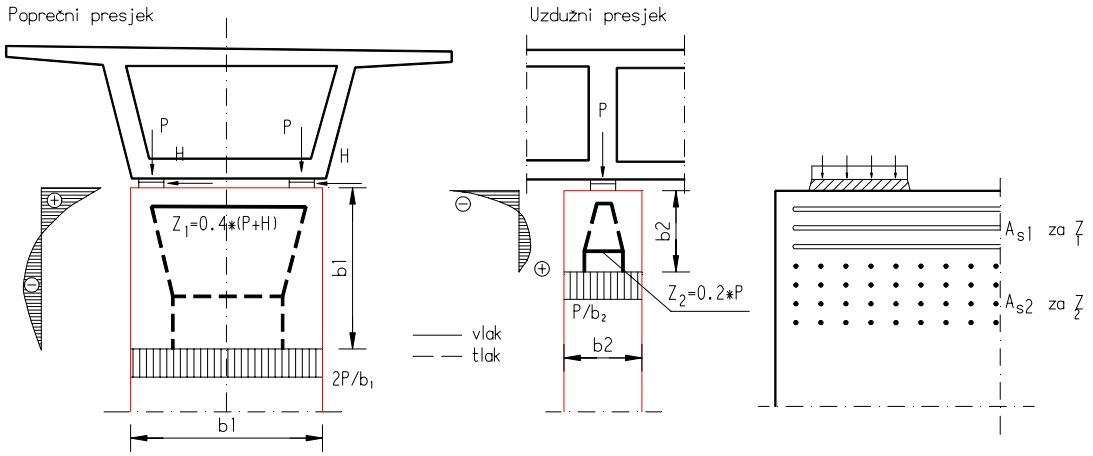
Kod debljih hrptova (širina/debljina<7) i debele donje ploče, poprečni nosač može se potpuno izostaviti, jer je krutost takvog sanduka sasvim dovoljna.

Kod indirektnog oslanjanja, uobičajeno je jedan dio prijenosa sila preuzeti kabelima u poprečnom nosaču. Ovi kabeli sidre se s vanjske strane hrptova nosača u blizini donjeg pojasa.

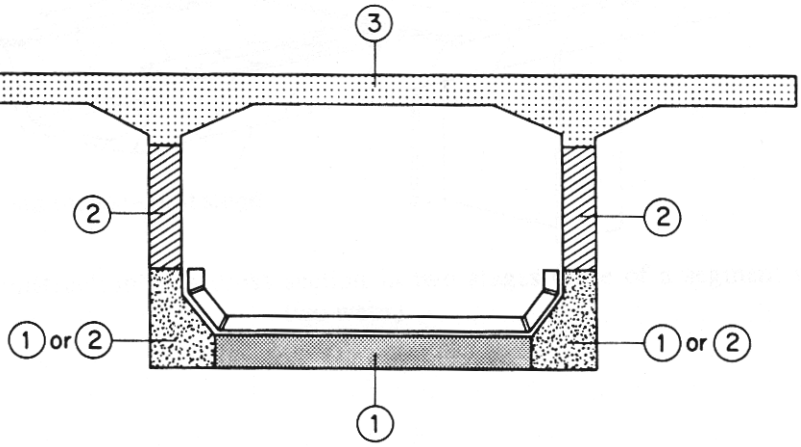
Kako je prostor za sidrenje i smještaj kabela ograničen i uglavnom nedovoljan za potpuno prednapinjanje može se 40% do 60% ležajne reakcije preuzeti armaturom obješenom o gornji pojas poprečnog nosača. U ovom slučaju, indirektnog oslanjanja potrebno je poprečni nosač spojiti s kolničkom pločom po cijeloj širini.



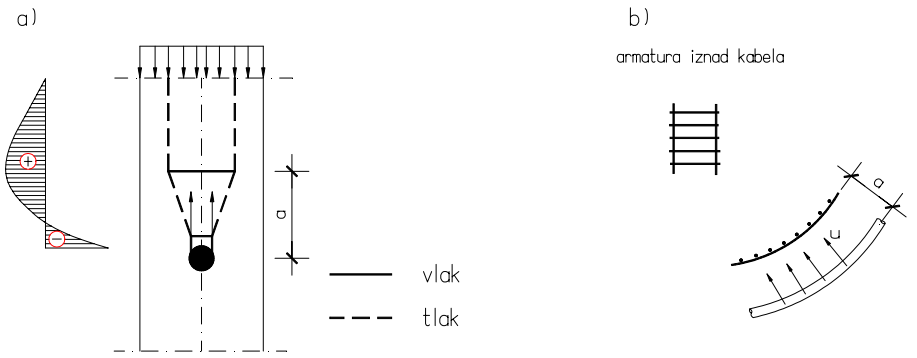
Slika 0.48 Statički model za točkasto oslanjanje sanduka na ležaju.



Slika 0.49Unos sile u stupove.



Slika 0.50 Faze betoniranja sanduka.



Slika 0.51 Opasnost od cijepanja betona uslijed skretnih sila kabela u hrptu sanduka.