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

3. REBRASTI GREDNI MOSTOVI

SADRŽAJ:

3. REBRASTI GREDNI MOSTOVI 0

3.1. OPĆENITO 1
3.2. PRORAČUN PLOČE KOLNIKA U POPREČNOM SMJERU 3
3.2.1. Proračun reznih sila 3
3.2.2. Proračun poprečnih sila 6
3.2.3. Poprečno prednaprezanje ploče kolnika 6
3.3. PRORAČUN GLAVNIH NOSAČA U UZDUŽNOM SMJERU 7
3.4. REBRASTI GREDNI MOSTOVI S JEDNIM GLAVNIM NOSAČEM 11
3.5. REBRASTI GREDNI MOSTOVI S DVA I VIŠE GLAVNIH NOSAČA 12
3.6. ARMATURA REBRASTIH GREDNIH MOSTOVA 18
3.6.1. Ploča kolnika 18
3.6.2. Glavni nosači 19
3.6.3. Poprečni nosači 20
3.7. PREDNAPREZANJE REBRASTIH GREDNIH MOSTOVA 21

Zagreb, veljača 2002.

3.1. Općenito

Pri rasponima grednih mostova srednjih raspona od 15 do 40 m u nas se najviše primjenjuju polumontažni rebrasti sklopovi. Izrađuju se najčešće sprezanjem montažnih prostih greda s naknadno betoniranom kolničkom pločom. S ekonomskog gledišta spadaju u najracionalniji oblik poprečnog presjeka ravnih mostova, posebno za preuzimanje pozitivnih momenata savijanja. Izvode se monolitno, polumontažno ili montažno. Izrada u montažnoj izvedbi nije se u praksi održala posebno zbog sve izraženije agresivnosti okoline (problem radnih reški).
Nosivost u uzdužnom smjeru osiguravaju glavni nosači - rebra, povezani kolničkom pločom koja osigurava nosivost u poprečnom smjeru i preraspodjelu opterećenja. Broj i razmak uzdužnih nosača ovisi o širini mosta i načinu izvedbe. Ovisno od visine iznad tla ili vode, montažne grede postavljaju se na stupove autodizalicama, plovnim dizalicama ili navlačnim rešetkama.

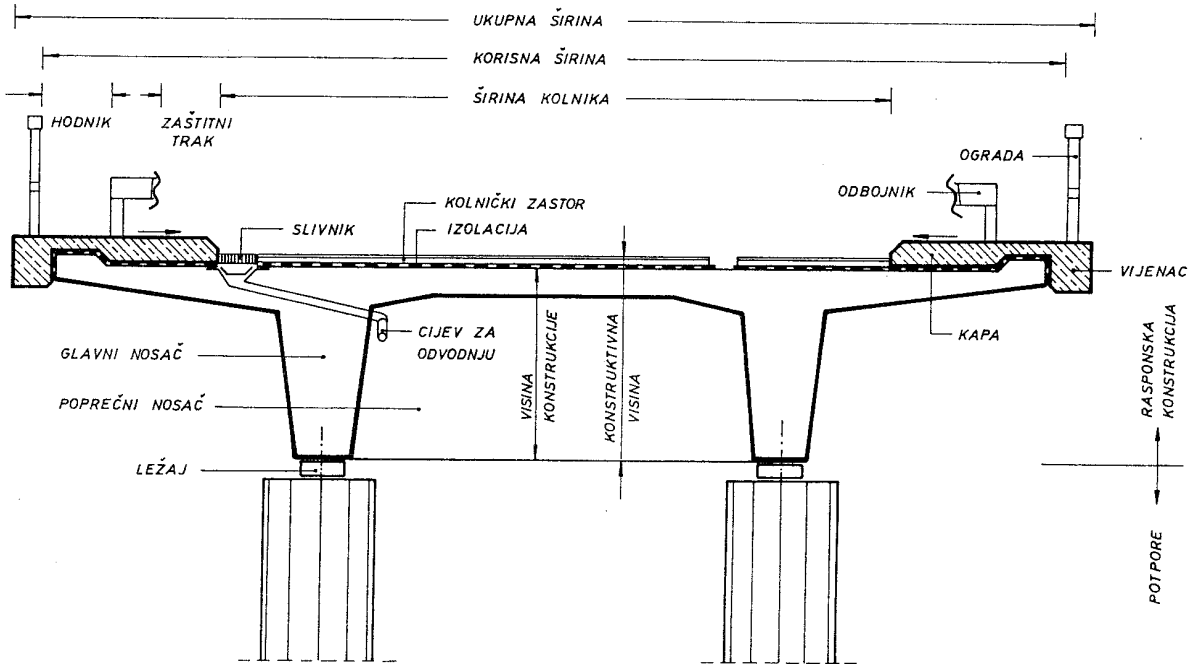
Da bi takva izvedba bila što trajnija potrebno je:
- upotrijebiti što manje prijelaznih naprava,
- upotrijebiti što manje ležaja,
- konstrukciju učiniti što manje osjetljivom na djelovanje soli,
- postići jednaku nosivost kao kod mostova betoniranih na licu mjestu.

Pri projektiranju rebrastih grednih mostova treba pripaziti na sljedeće:

1. Broj glavnih nosača

Broj glavnih nosača kreće se od 1 do 10 ovisno o širini mosta i načinu izvedbe. Ukoliko se rasponska konstrukcija betonira na skeli (što je rjeđi slučaj), primjenjuje se manji broj glavnih nosača na razmacima 5 do 8m. Kod montažnih glavnih nosača, razmak osi nosača kreće se od 2.5 do 3.5m. Vitkosti nosača (L/h) za kontinuirani statički sustav kreću se od:

15 – 25 - za prednapeti beton,
10 – 15 - za armirani beton.



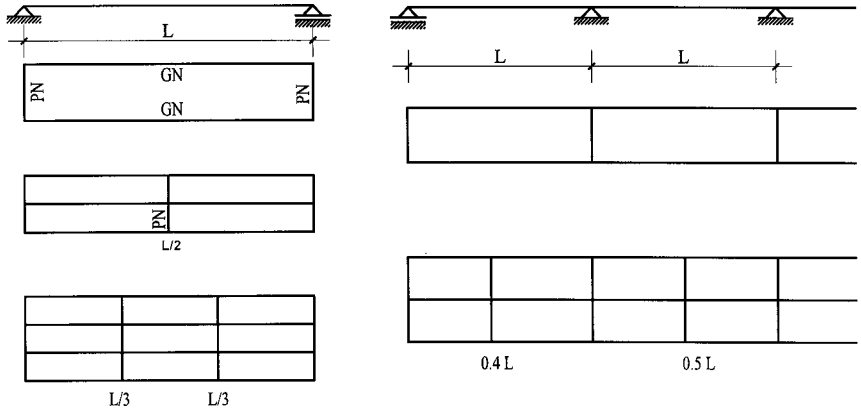
Slika 0.1. Poprečni presjek rebrastog grednog mosta - pojmovi i nazivi dijelova mosta.

2. Broj poprečnih nosača

Na svim osloncima rasponske konstrukcije (upornjaci i stupovi), potrebno je izvesti poprečni nosač. Poprečni nosač ima dvije važne uloge:

- torzijski ukrućuje glavne nosače i
- zajedno sa stupovima čini okvir za prijenos horizontalnih sila potresa i vjetra.

Poprečni nosač se može izbjeći, no u tom slučaju glavni nosači moraju biti upeti u stupove. Radi bolje raspodjele tereta može se izvesti jedan poprečni nosač u polovici raspona. Zbog složenosti izvedbe poprečni nosači u polju se rijetko izvode te se roštiljno djelovanje ostvaruje samo krutošću na savijanje kolničke ploče.



Slika 0.2. Primjeri rasporeda poprečnih nosača kod rebrastih mostova.

3. Debljina rebara glavnih nosača

Radi smještaja kabela ili glavne armature kod većeg razmaka glavnih nosača potrebno je izvesti deblja rebra. Kod manjeg razmaka glavnih nosača rebra su tanja i često imaju ojačan donji pojas. Debljina rebra ima utjecaj i na torzijsku krutost glavnih nosača koja određuje stupanj upetosti kolničke ploče.



Slika 0.3. Debljina rebra ovisi o konstruktivnim potrebama.

Kolnička ploča ima višestruku namjenu:

- prenosi prometno opterećenje na grede, i razdjeljuje teške pojedinačne terete na sve grede.
- djeluje kao gornji pojas grede
- djeluje kao plošni nosač disk za sve horizontalne sile
- pomiče težište poprečnog presjeka prema gore iznad h/2

Iz tog razloga u donjem pojasu glavnog nosača nastaju deformacije i naponi koji su mnogo veći nego u gornjem pojasu. Kod negativnih momenata savijanja, iznad stupova kontinuiranih nosača dolazi do povećanja tlačnih napona iznad dopuštene granice. U tom slučaju potrebno je podebljati rebro ili izvesti tlačnu ploču na donjem pojasu nosača u području ležaja.
Neovisno o obliku poprečnog presjeka razlikujemo dva globalna statička proračuna:

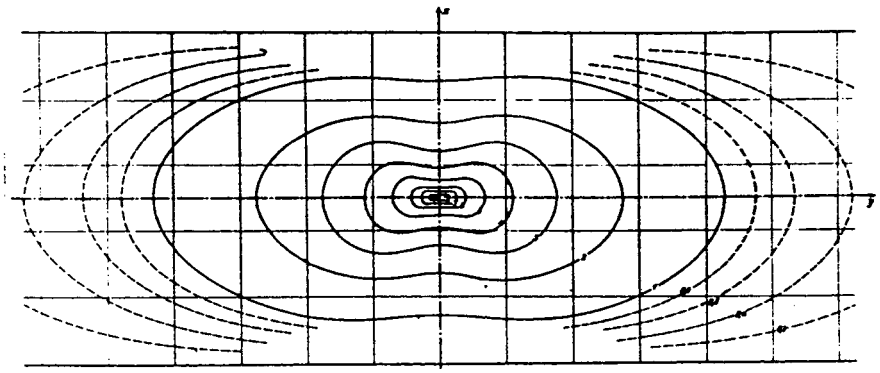
- proračun u poprečnom smjeru i
- proračun u uzdužnom smjeru.

3.2. Proračun ploče kolnika u poprečnom smjeru

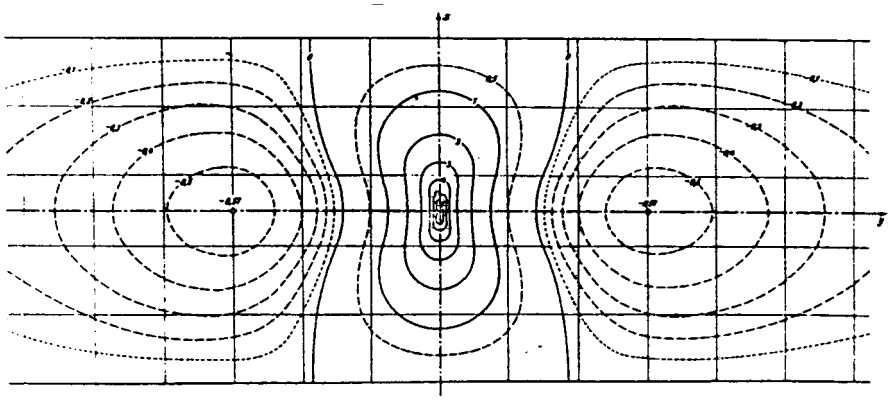
3.2.1. Proračun reznih sila

Momenti savijanja m_x,m_y i m_{xy}, kao i poprečne sile, određuju se pomoću utjecajnih ploha (Homberg, Rüsch), a koje su izračunate na osnovi teorije ploča. Ove utjecajne plohe izrađene su za dva granična slučaja oslanjanja:

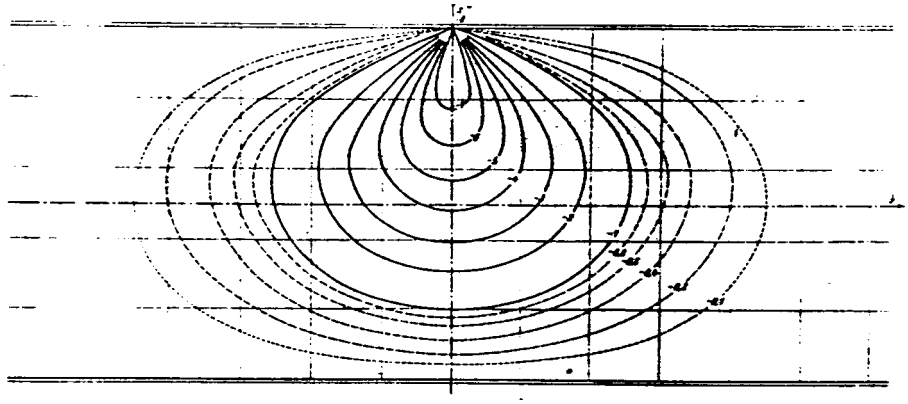
- za ploče slobodno oslonjene na rubovima i
- za ploče potpuno upete u rebra glavnih nosača



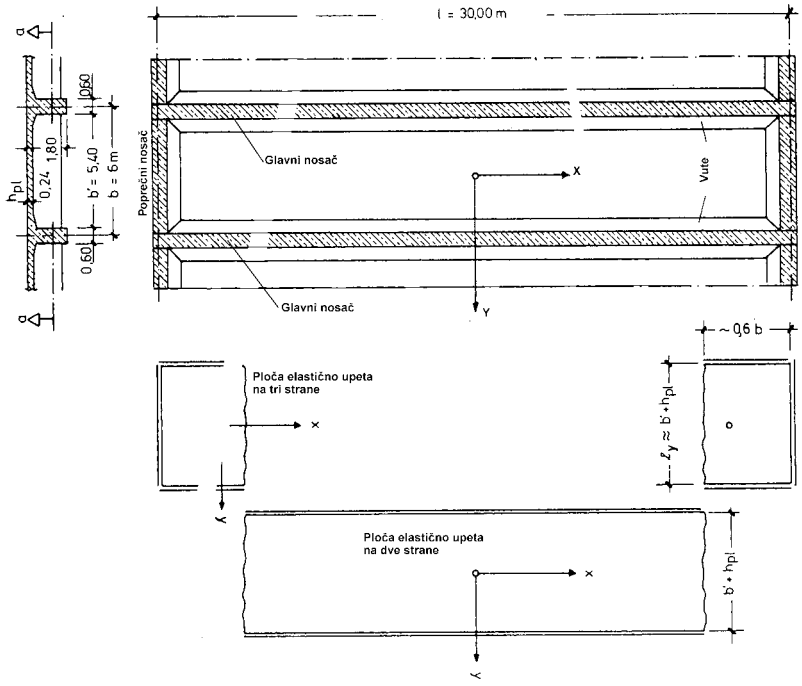
Slika 0.4. Utjecajna ploha za moment u polju m_x. Ploča slobodno oslonjena na dva ruba.



Slika 0.5. Utjecajna ploha za moment u polju m_y. Ploča slobodno oslonjena na dva ruba.



Slika 0.6. Utjecajna ploha za moment na ležaju m_x. Ploča upeta na dva ruba.



Slika 0.7. Rubni uvjeti ploče kolnika.

Stvarni stupanj upetosti potrebno je odrediti na osnovi torzijske krutosti glavnih nosača. Računske momente pri tom je potrebno interpolirati između ovih graničnih vrijednosti. Ploča je po dužini oslonjena na glavne nosače, a na osloncima i na poprečne nosače. Stupanj upetosti u rebra glavnih nosača ovisi o odnosu torzijske krutosti rebra naprema krutosti na savijanje ploče. Stupnjem upetosti α označava se odnos između stvarnog momenta i momenta pune upetosti:

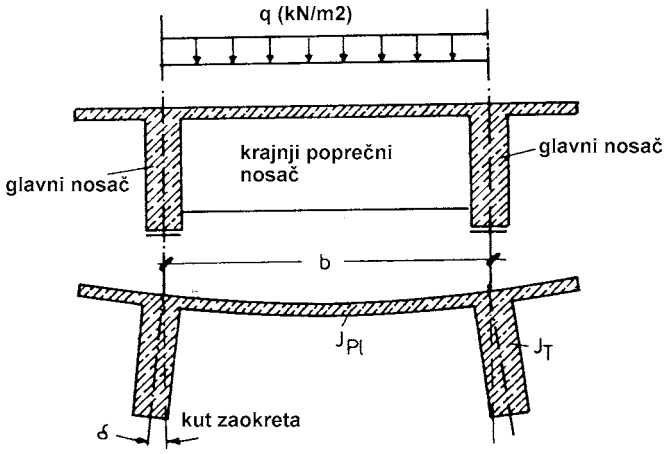
$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{0.62 \cdot L^2}{b} \cdot \frac{I_{pl}}{I_T}} \qquad (3.1)$$

gdje je:

I_{pl} - moment tromosti ploče [m^4/m] L - razmak poprečnih nosača

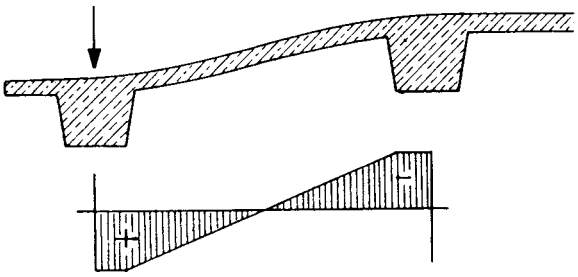
I_T - torzijski moment rebra [m^4] b - razmak glavnih nosača

Stupanj upetosti raste postavljanjem poprečnih nosača u polju. Na cijeloj dužini nosača može se računati s potpunom upetosti na ležaju ako se tako određeni momenti u polju povećaju za oko 10%. Granične vrijednosti momenata ploče oslonjene na 3 strane mogu se odrediti izravno iz tablica, jer je ovdje posve ispunjen uvjet potpune upetosti α=1.



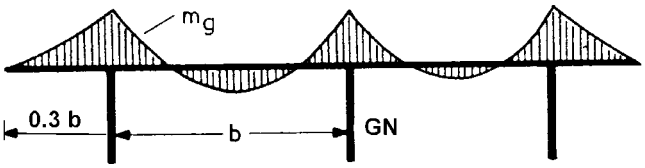
Slika 0.8. Uklještenje ploče kolnika u glavne nosače. Gore potpuno uklještenje. Dolje torziono zakretanje glavnih nosača.

Jednostrano nesimetrično opterećenje izaziva različite progibe glavnih nosača zbog kojih u ploči kolnika nastaju dodatni poprečni momenti savijanja. Ti momenti rastu smanjivanjem razmaka glavnih nosača i njihove krutosti na savijanje. Pri tom je potrebno obratiti pažnju na pozitivne momente savijanja u ploči iznad hrptova, gdje pod utjecajem tereta inače nastaju negativni momenti savijanja.



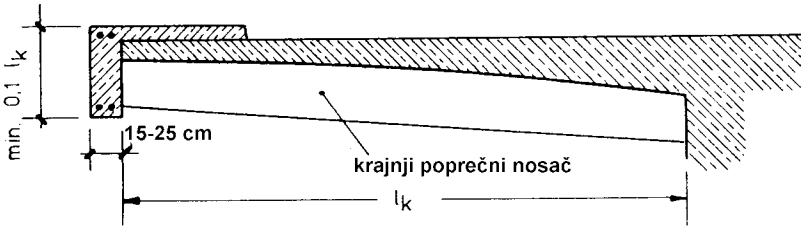
Slika 0.9. Momenti savijanja u ploči uslijed različitih progiba glavnih nosača.

Torziju glavnih nosača uslijed djelovanja vlastite težine nastoji se eliminirati izvedbom konstantnog razmaka glavnih nosača (b) i konzolom ploče kolnika duljine (0.3b). Momenti upetosti lijevo i desno od glavnog nosača na taj način se izjednačavaju, pa se torzija javlja samo uslijed djelovanja pokretnog tereta.

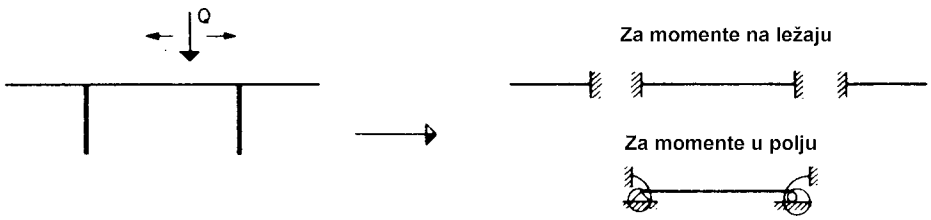


Slika 0.10. Dijagram momenata savijanja u ploči od vlastite težine.

Kod duljih konzola ploče kolnika, radi smanjenja progiba i opasnosti od vibracija potrebno je predvidjeti poprečni nosač za ukrućenje.



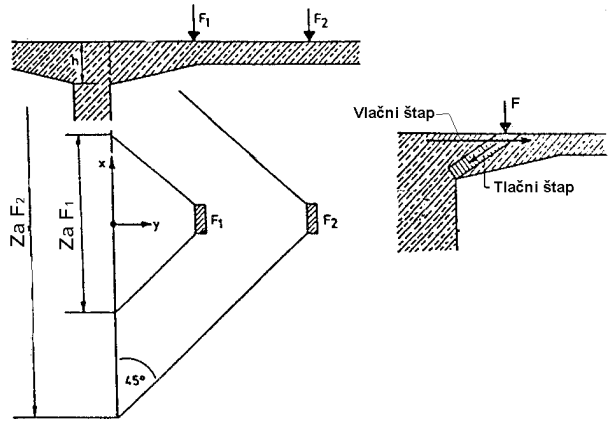
Slika 0.11. Konzolna ploča veće duljine.



Slika 0.12. Pojednostavljeni rubni uvjeti ploče kolnika.

3.2.2. Proračun poprečnih sila

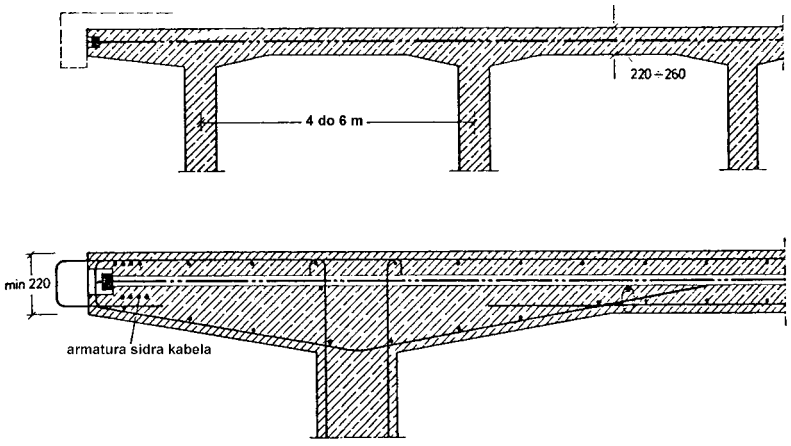
Pri određivanju vrijednosti poprečnih sila od pojedinačnih koncentriranih tereta (kotač vozila), može se računati sa širinom rasprostiranja pod kutom od 45° u tlocrtu. Opterećenja koja su od ruba rebra udaljena za manje od 1.2h ne izazivaju nikakve glavne kose vlačne napone, nego se poput kratke konzole, putem tlačne dijagonale predaju izravno na ležaj. Horizontalna vlačna komponenta pritom je prihvaćena gornjom armaturom ploče. U pravilu, u kolničkim pločama nikad nije potrebna posmična armatura.



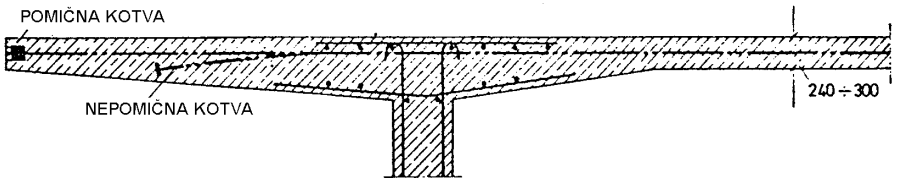
Slika 0.13. Lijevo - širine rasprostiranja od pojedinačnih tereta
Desno - pojedinačni tereti na dužini manjoj od 1.2h.

3.2.3. Poprečno prednaprezanje ploče kolnika

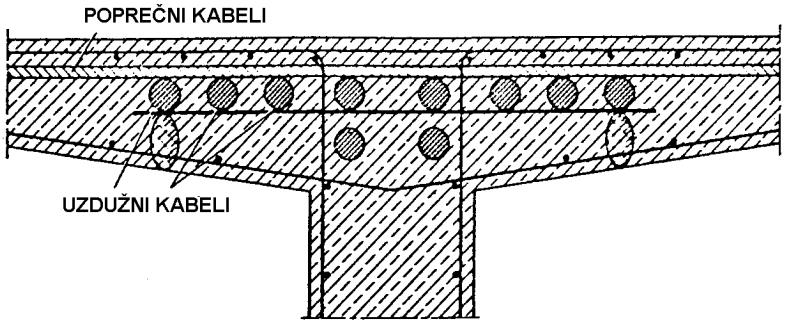
Kolničke ploče trebalo bi poprečno prednapinjati ako je širina mosta veća od 10m i kod većih razmaka glavnih nosača. Uz osnovna opterećenja (stalno i prometno) u ploči djeluju i opterećenja od temperature te puzanja i skupljanja betona, a koja mogu dovesti do pojave pukotina. Iz tog razloga poželjno 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 0.14. Vođenje kabela u prednapetoj ploči preko više polja



Slika 0.15. Sidrenje kabela kod konzola većih dužina



Slika 0.16. Poprečni kabeli u ploči kolnika vode se iznad uzdužnih kabela glavnog nosača

3.3. Proračun glavnih nosača u uzdužnom smjeru

Dijelovi glavnih nosača:

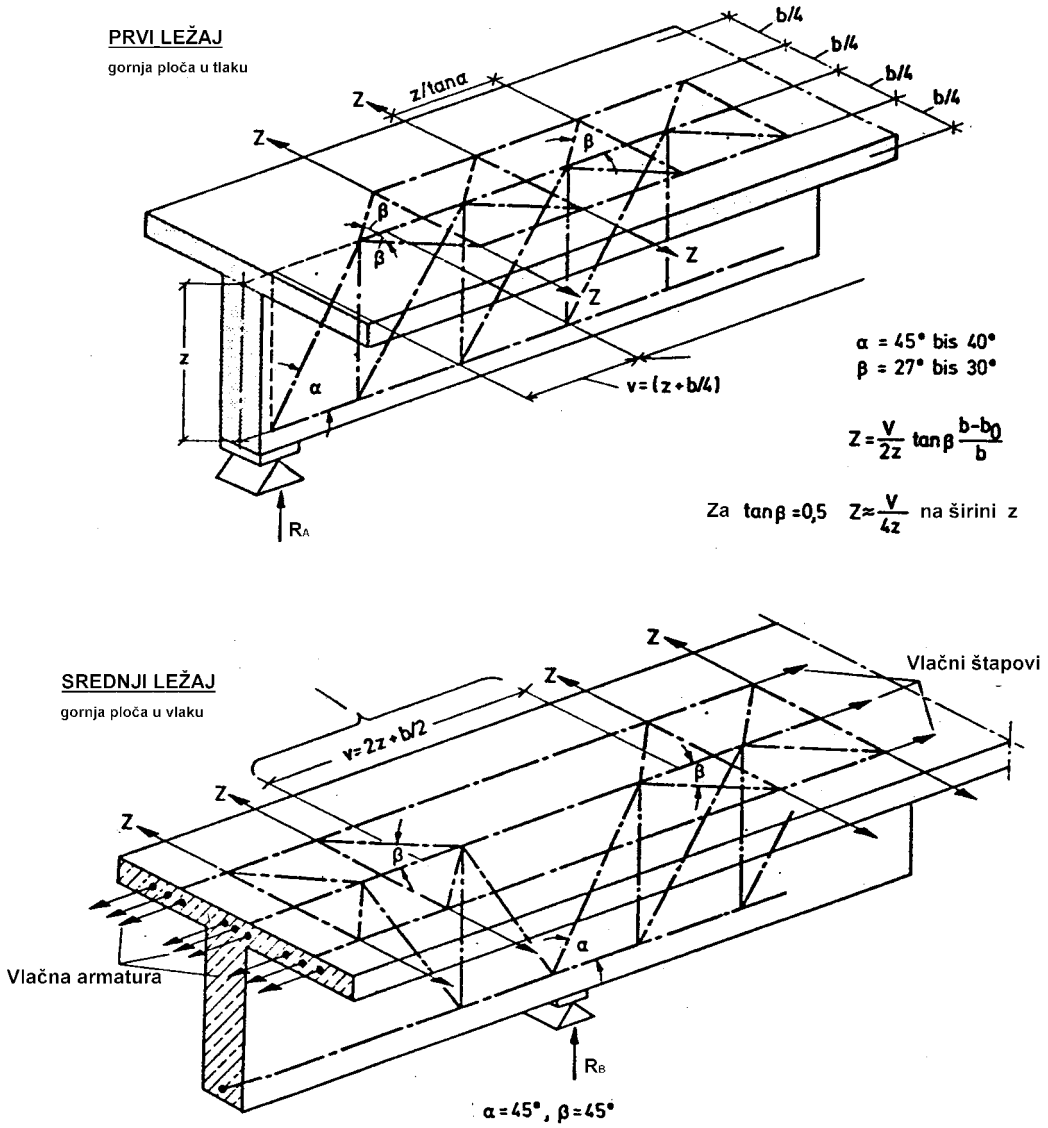
- gornji pojas (kolnička ploča sudjelujuće širine)
- rebro (hrbat, konstantne ili promjenjive debljine)
- donji pojas (ukoliko nije izražen - kao dio rebra visine 0.2h)

➢ ***Gornji pojas***

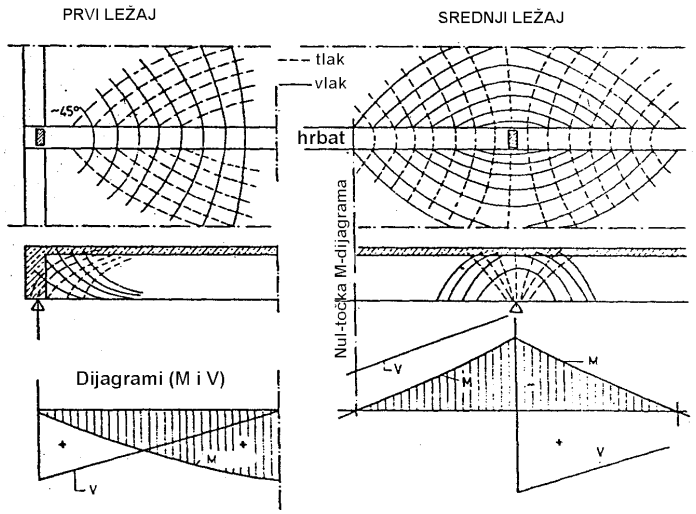
Gornji pojas kao ploča kolnika napregnut je na savijanje u dva međusobno okomita smjera. Trajektorije tlačnih napona pri ležaju mijenjaju smjer i nagnute su prema rebru. Okomito na trajektorije tlačnih napona djeluju glavni vlačni naponi. U području negativnih momenata savijanja gornji je pojas koso napregnut na vlak, koji se mora preuzeti uzdužnom i poprečnom armaturom. Pri tom je potrebno provjeriti posmik na spoju ploče i rebra. Model rešetke daje i za gornji pojas glavnog nosača ispravne vrijednosti. U tlačnom pojasu tlačni štapovi, dijagonale su nagnute pod kutom 30°, dok su u vlačnom pojasu tlačni štapovi nagnuti pod kutom 45°.
Ako je jedan glavni nosač jače opterećen nego drugi, gornji je pojas osim toga napregnut na posmik, jer će se jače opterećen pojas skratiti više od manje opterećenog.

Gornji pojas glavnih nosača dio je ploče kolnika koja ima zadaću da kao disk preuzima horizontalne sile u svojoj ravnini (vjetar i potres).

Naponi u ploči za svako od ova četiri djelovanja promatraju se uvijek odvojeno. Armaturu za savijanje u poprečnom smjeru i za posmik u istom smjeru potrebno je zbrojiti ako su slučajevi opterećenja isti.



Slika 0.17. Modeli rešetke prema Bachmannu daju točniju raspodjelu poprečne armature

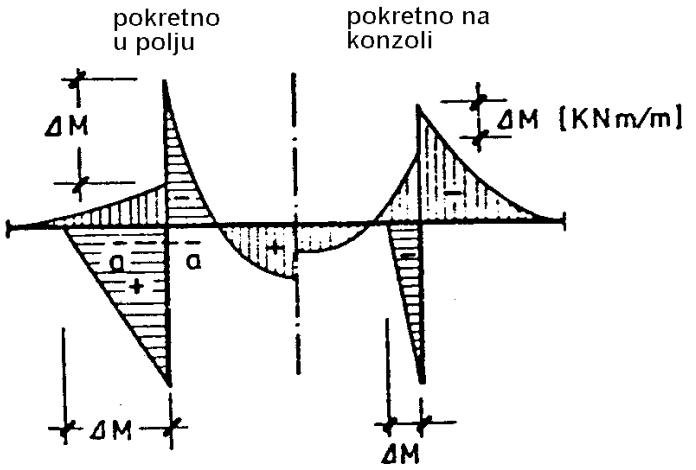


Slika 0.18. Trajektorije glavnih napona u ploči kolnika pri jednolikom opterećenju

➢ ***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 ploče u rebro. Ukoliko je na donjoj strani rebra obješen široki pojas ili konzolne ploče pješačkih staza, 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.

Kao i kod proračuna gornjeg pojasa sva četiri navedena slučaja naprezanja rebra zbrajaju se i zahtijevaju odvojen proračun i dimenzioniranje.



Slika 0.19. Momenti savijanja u poprečnom presjeku pri spriječenom zaokretanju gl. nosača

➢ ***Donji pojas***

U donjem pojasu pojavljuju se samo vlačne i tlačne sile. U blizini srednjih ležaja kontinuiranih nosača, zbog prekoračenja tlačne čvrstoće betona, donji pojas se može proširiti u obliku tlačne ploče koja se pruža od rebra do rebra. Rasprostiranje tlačne sile u donjem pojasu može se uzeti pod kutom od 35° prema rebru.

Momentni dijagram od vlastite težine na cijelom sustavu vremenski je promjenjiv, za razliku od ostalih opterećenja (dodatno stalno i pokretno) koje djeluju na konačnom kontinuiranom sustavu. Deformacije koje nastaju od puzanja i skupljanja betona, u statički neodređenim AB konstrukcijama izazvat će promjenu reznih sila i reakcija. Kod statički određenih AB konstrukcija reološka svojstva betona, zanimljiva su samo u graničnim stanjima uporabljivosti.

Ukupna deformacija nekog AB elementa sastoji se od tri dijela:

- elastične deformacije $\varepsilon_{c,el}$,
- deformacije puzanja $\varepsilon_{cc}(t)$ i
- deformacije skupljanja $\varepsilon_{cs}(t)$

$$\varepsilon_c(t) = \varepsilon_{c,el} + \varepsilon_{cc}(t) + \varepsilon_{cs}(t) = \frac{\sigma(t)}{E_c} + \int_{to}^{t} \frac{\varphi_n}{E_{c,28}} \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial \tau} \cdot \varphi(t, t_0) \cdot d\tau + \varepsilon_{cs}(t) \qquad (3.2)$$

Diferencira li se taj izraz po vremenu dobivamo Dischingerovu diferencijalnu jednadžbu, tj. jednadžbu kontinuiteta u nekom vremenskom intervalu "dt".

$$\frac{d\varepsilon_c(t)}{dt} = \frac{1}{E_c} \cdot \frac{d\sigma_c(t)}{dt} + \frac{\sigma_c(t)}{E_c} \cdot \frac{d\varphi}{dt} + \frac{d\varepsilon_{cs}(t)}{dt} \qquad (3.3)$$

Prilikom rješavanja ovakvih zadataka najbolji rezultati postižu se upotrebom algebarskog izraza po Trostu ili upotrebom odnosa između sile i pomaka po modificiranoj teoriji starenja.

Algebarski izraz za odnos između napona i deformacije po H. Trostu glasi:

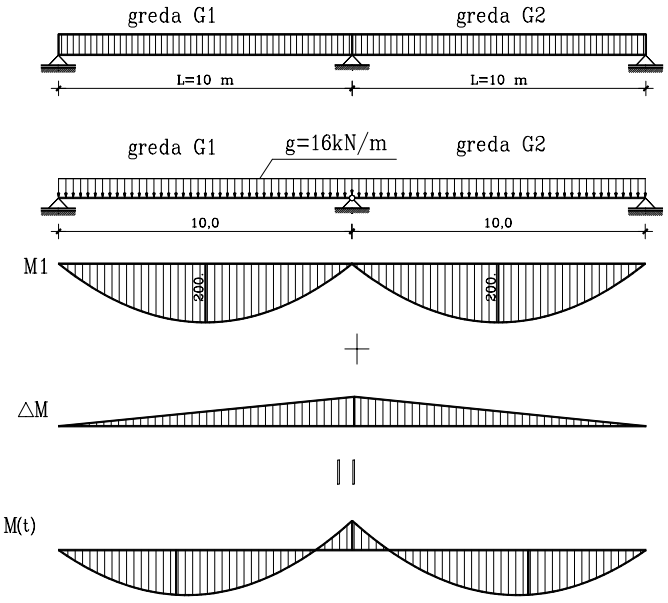
$$E_c \cdot \varepsilon_c(t) = \sigma_c(t_0) \cdot (1 + \varphi(t, t_0)) + (\sigma_c(t) - \sigma_c(t_0))(1 + \chi \cdot \varphi(t, t_0)) + \varepsilon_{cs}(t) \cdot E_c \quad (3.4)$$

Problem će se riješiti metodom sila, uz upotrebu algebarskog izraza za odnos između sile i pomaka po Trostu. Uzet će se da su grede jednakog raspona i krutosti.

Nepoznata sila $X_1(t)$ sastoji se od elastičnog dijela $X_{1,el}$, koji će se odrediti za početni uvjet $t=t_1$ i plastičnog dijela $\Delta X_1(t)$, vremenski promjenjivog, a koji nastaje zbog puzanja betona:

$$X_1(t) = X_{1,el} + \Delta X_1(t) \quad (3.5)$$

Na sljedećem primjeru prikazat će se primjena jednadžbe (3.4).



Slika 0.20. Promjena momentnog dijagrama u vremenu.

Grede G_1 i G_2 u ovom primjeru su montažne grede različite starosti. U trenutku $t = t_1$ grede se ponašaju kao dvije proste grede (moment na ležaju je jednak nuli). Nakon uspostavljanja kontinuiteta, vremenom se moment na ležaju povećava i asimptotski se približava onom na kontinuiranom sustavu.

Jednadžba kompatibilnosti u općem obliku glasi:

$$\delta_{1v}^{G1} \cdot \varphi_1 + \delta_{1v}^{G2} \cdot \varphi_2 + X_{1,el} \cdot \left[\delta_{11}^{G1} \cdot (1 + \varphi_1) + \delta_{11}^{G2} \cdot (1 + \varphi_2)\right] + \Delta X(t) \cdot \left[\delta_{11}^{G1} \cdot (1 + \chi_1 \cdot \varphi_1) + \delta_{11}^{G2} \cdot (1 + \chi_2 \cdot \varphi_2)\right] = 0 \quad (3.6)$$

$$X_{1,el} = 0 \quad (3.7)$$

Nepoznata sila $\Delta X_1(t)$ iznosi:

$$\Delta X(t) = -\frac{\delta_{1v}^{G1} \cdot \varphi_1 + \delta_{1v}^{G2} \cdot \varphi_2}{\delta_{11}^{G1} \cdot (1 + \chi_1 \cdot \varphi_1) + \delta_{11}^{G2} \cdot (1 + \chi_2 \cdot \varphi_2)} \quad (3.8)$$

$$\Delta X(t) = -\frac{\left(\delta_{1v}^{G1} + \delta_{1v}^{G2}\right) \cdot \overline{\overline{\varphi}}}{\left(\delta_{11}^{G1} + \delta_{11}^{G2}\right) \cdot (1 + \chi \cdot \overline{\varphi})} \quad (3.9)$$

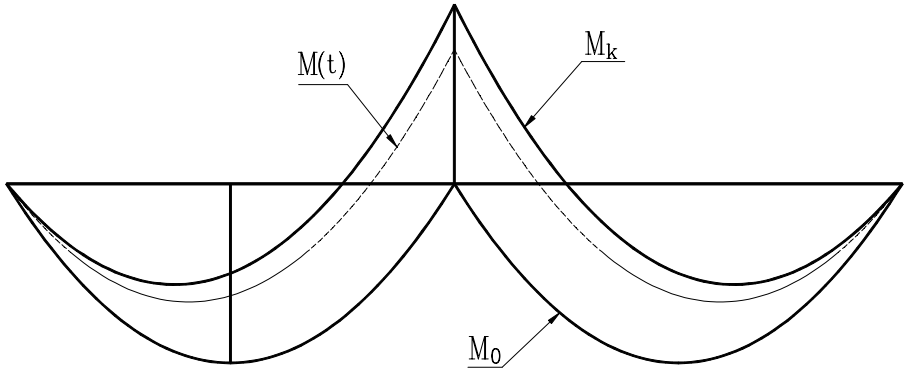
$$\Delta X(t) = X_{1,kont} \cdot \frac{\overline{\overline{\varphi}}}{(1+\chi \cdot \overline{\varphi})} \tag{3.10}$$

Moment na ležaju u nekom trenutku vremena:

$$M(t) = M_k \cdot \frac{\overline{\overline{\varphi}}}{(1+\chi \cdot \overline{\varphi})} \tag{3.11}$$

Momentni dijagram na gredi u nekom trenutku vremena:

$$\boxed{M(t) = M_0 + (M_k - M_0) \cdot \frac{\overline{\overline{\varphi}}}{(1+\chi \cdot \overline{\varphi})}} \tag{3.12}$$



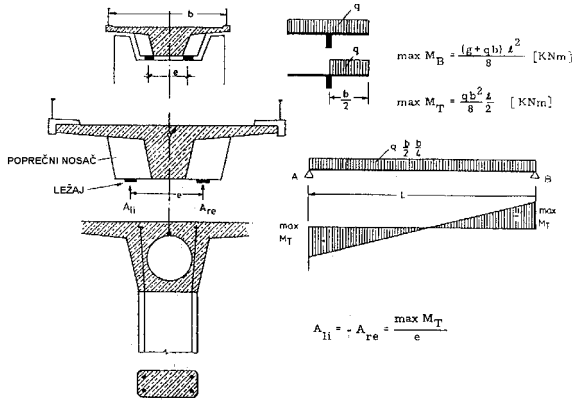
Slika 0.21. Promjena momentnog dijagrama u vremenu.

U slučaju da su krutosti i površine momentnog dijagrama od jedinične sile jednake ($\delta_{11}^{G1} = \delta_{11}^{G2}$), koeficijent $\overline{\varphi}$ i $\overline{\overline{\varphi}}$ možemo pisati kao aritmetičku sredinu:

$$\boxed{\overline{\varphi} = \overline{\overline{\varphi}} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}} \tag{3.13}$$

3.4. Rebrasti gredni mostovi s jednim glavnim nosačem

Ovakav oblik poprečnog presjeka prikladan je jedino za pješačke mostove i mostove na poljskim putevima širine do 7m. Rebro glavnog nosača mora biti veće debljine da bi moglo preuzeti momente torzije koji ovdje spadaju u glavne sile. Moment torzije na ležaju preuzimaju se dvostrukim ležajima smještenim na što većem međusobnom razmaku. U tu svrhu na svim ležajima potrebno je izvesti poprečne nosače.



Slika 0.22. Preuzimanje momenta torzije kod grednih mostova s jednim glavnim nosačem.

3.5. Rebrasti gredni mostovi s dva i više glavnih nosača

Glavni nosači izvode se kao proste ili kao kontinuirane grede. Pri određivanju sila u presjecima glavnih nosača mora se uzeti u obzir poprečna raspodjela (g i q) opterećenja.
Ukoliko pri modeliranju promatramo samo jedan od glavnih nosača potrebno je odrediti raspodjelu osnovnih opterećenja. Postupak se provodi pomoću linija poprečne raspodjele. Svaki od nosača ima drugačiju liniju poprečne raspodjele. Utjecajna linija poprečne raspodjele je zakrivljena i ima oblik deformacijske linije poprečnog presjeka opterećenog jediničnim opterećenjem kad jedinična sila stoji na mjestu glavnog nosača koji se promatra.

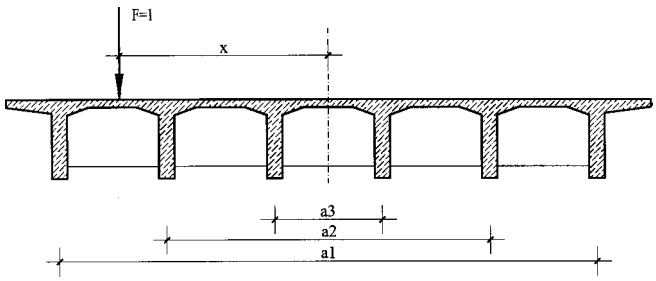
Proračun poprečne raspodjele po Courbonu
U slučaju kad je odnos raspona "L" i razmaka rubnih nosača "b", L/b≥2 može se uzeti da je poprečni nosač apsolutno krut i da se deformira po pravcu, pa se opterećenje koje otpada na pojedine glavne nosače može odrediti analogno naprezanju ravnog presjeka, uzdužnom silom i momentom savijanja prema izrazu:

$$\sigma = \frac{F}{A} \pm \frac{M \cdot \xi}{I} \tag{3.14}$$

gdje je:

I_i - moment tromosti nosača

S_i - opterećenje koje otpada na pojedini nosač



Slika 0.23. Metoda ekscentričnog pritiska

Ovakav postupak proračuna roštilja se često naziva i metodom ekscentričnog pritiska.
Kad se uvrsti da je

$$\sigma = \frac{S_i}{I_i}, \quad A = \sum_{i=1}^{n} I_i, \quad I = 2\sum I_i \left(\frac{a_i}{2}\right)^2, \quad M = F \cdot x \quad \text{i} \quad \xi = \frac{a_i}{2} \tag{3.15}$$

jednadžbu (3.14) možemo napisati:

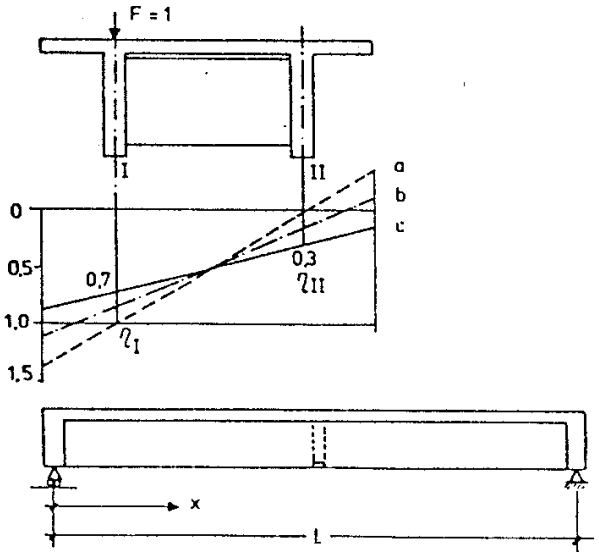
$$\frac{S_i}{I_i} = \frac{F}{\sum I_i} \pm \frac{F \cdot x}{2\sum I_i \left(\frac{a_i}{2}\right)^2} \cdot \frac{a_i}{2} \tag{3.16}$$

$$S_i = F\left(\frac{I_i}{\sum I_i} \pm \frac{I_i \cdot a_i \cdot x}{\sum I_i \cdot a_i}\right) \tag{3.17}$$

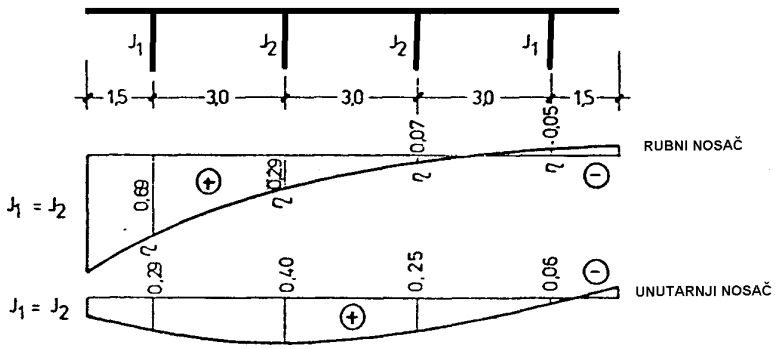
Za F=1 i I_i=const, dobiju se ordinate utjecajne linije:

$$\eta_i = 1 \cdot \left(\frac{1}{n} \pm \frac{a_i \cdot x_i}{\sum a_i}\right) \tag{3.18}$$

gdje je n=broj glavnih nosača.



Slika 0.24. Primjeri linija poprečne raspodjele pri različitim torzijskim krutostima.

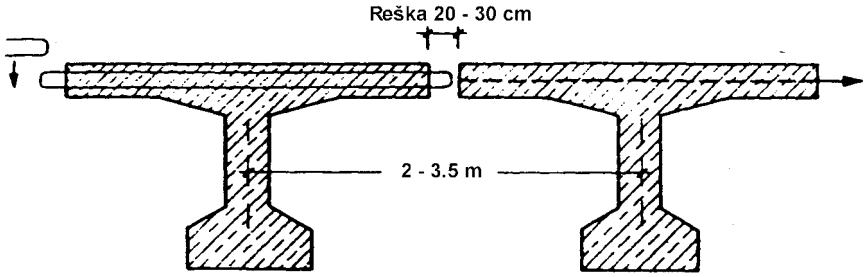


Slika 0.25. Utjecajne linije poprečne raspodjele s 4 glavna nosača.

Rebrasti gredni mostovi najprikladniji su za montažni način gradnje. Takvi mostovi se najčešće izvode od više istih predgotovljenih nosača koji se polažu jedan do drugoga s priljubljenim gornjim pojasnicama. U tom slučaju nije potrebna dodatna oprema za betoniranje kolničke ploče. Betoniranjem kolničke ploče na licu mjesta pojedini elementi povezuju se u jednu monolitnu nosivu konstrukciju. Na taj način ostvaruje se na neki način tzv. "roštiljno djelovanje" i bez izvedbe poprečnog nosača u polju. Pri proračunu treba obuhvatiti sva stanja kroz koju je konstrukcija prošla tijekom izvedbe.

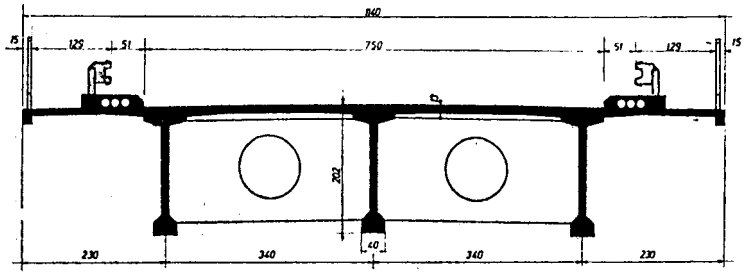
U poprečnom presjeku postoji nekoliko mogućnosti za obrazovanje ploče kolnika:

1. ***Nosači sa širokim gornjim pojasima i s uskom reškom betoniranom na mjestu gradnje.*** Poprečna armatura nastavlja se na prijeklop u obliku petlje, a ploča kolnika prednapinje se u poprečnom smjeru. Širine gornje pojasnice montažnih nosača ograničena je širinama elemenata u cestovnom prijevozu i pri montaži. Glavni nedostatak ovako obrazovane plohe kolnika je neravnost gornje plohe, jer se uslijed različite starosti i drugih mogućih utjecaja, svi elementi ne deformiraju jednako. Osim toga potrebna je velika točnost izrade, budući da se na gornju plohu pojasa nosača izravno postavlja cestovni zastor s izolacijom.



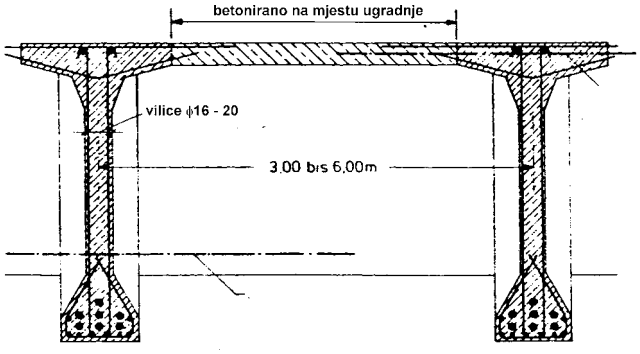
Slika 0.26. Nosači sa širokim gornjim pojasima i s uskom reškom betoniranom na mjestu gradnje.

2. ***Nosači s uskim gornjim pojasima i s montažnom pločom kolnika.*** Prednost je u brzini izvedbe rasponske konstrukcije. Jedino se poprečni nosači betoniraju na mjestu gradnje, jer se na mjestima poprečnih nosača izvode ujedno i poprečni spojevi ploče kolnika. U poprečnom presjeku s tri glavna nosača uzdužni se spoj kolničke ploče izvodi iznad srednjeg nosača. Iznad rubnih nosača u ploči se na određenim mjestima ostavljaju otvori u koje ulazi armatura za vezu pojasa glavnih nosača i montažnih ploča. Nakon postavljanja ploča ovi se otvori zabetoniraju i na taj način se formiraju moždanici koji osiguravaju djelovanje T-presjeka. Ploča kolnika armira se običnom armaturom. Glavni nedostatak ovakve konstrukcije je velika neravnost plohe kolničke ploče, do koje dolazi uslijed netočnosti izvedbe i nosača i ploča, te od deformacija uslijed puzanja.



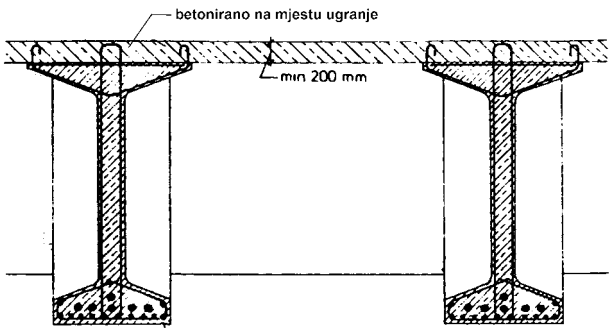
Slika 0.27. Poprečni presjek konstrukcije kolnika mosta kopno-otok Krk. Montažni nosači i ploča kolnika

3. ***Nosači s uskim gornjim pojasima i sa širokom trakom između, betoniranom na mjestu gradnje.*** Prednosti su ovog poprečnog presjeka konstrukcije da razmak između nosača može biti veći i da im je težina manja, jer je bitno proširena traka koja se betonira na mjestu gradnje. Pogreške u izvedbi kao i izobličenja uslijed puzanja montažnih elemenata i ovdje se odražavaju na ploči kolnika ali u znatno manjoj mjeri.

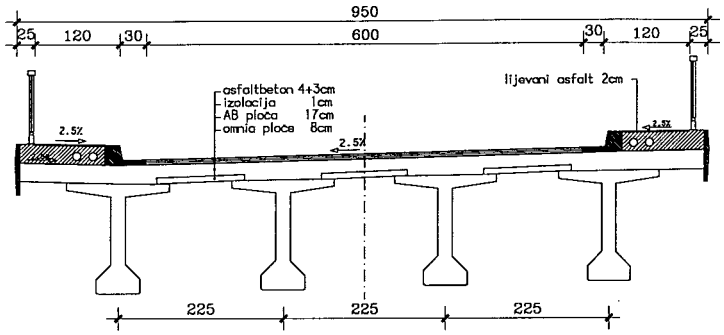


Slika 0.28. Nosači s uskim gornjim pojasima i sa širokom trakom između, betoniranom na mjestu gradnje.

4. ***Nosači s uskim gornjim pojasima i s pločom kolnika povrh, betoniranom na mjestu gradnje.*** Polumontažni način gradnje s ovako koncipiranom rebrastom konstrukcijom danas je najčešće primijenjen u građenju mostova raspona 30-50 m. Težina montažnih nosača kreće se i do 2000 kN. Ploča kolnika, debljine najmanje 20 cm, obično se armira mekom armaturom, a može se izvesti i kao prednapeta. Betoniranjem ploče na mjestu gradnje lako se ispravljaju pogreške u geometriji montažnih glavnih nosača, koje mogu nastati zbog grešaka u izvedbi, ili uslijed puzanja betona do trenutka montiranja nosača (negativni progibi). Oplata ploče betonirane na mjestu gradnje može biti klasična, ili se može izraditi od gotovih tankih elementa OMNIA-ploča. Ako se umjesto drvene oplate izrađuju montažne tanke ploče, tada je racionalno da se u njih odmah smjesti sva armatura koja je potrebna za preuzimanje ukupnih pozitivnih momenata u ploči od djelovanja stalnog i prometnog opterećenja. Kad se umjesto klasične izrađuje oplata od betonskih ploča, tada treba predvidjeti izvedbu rasponske konstrukcije bez poprečnih nosača. Ovakvi poprečni presjeci konstrukcije mosta zahtijevaju nešto jače glavne nosače, ali je izvedba mnogo jednostavnija, pa se u ukupnim troškovima ovakva rješenja mogu pokazati ekonomičnija.

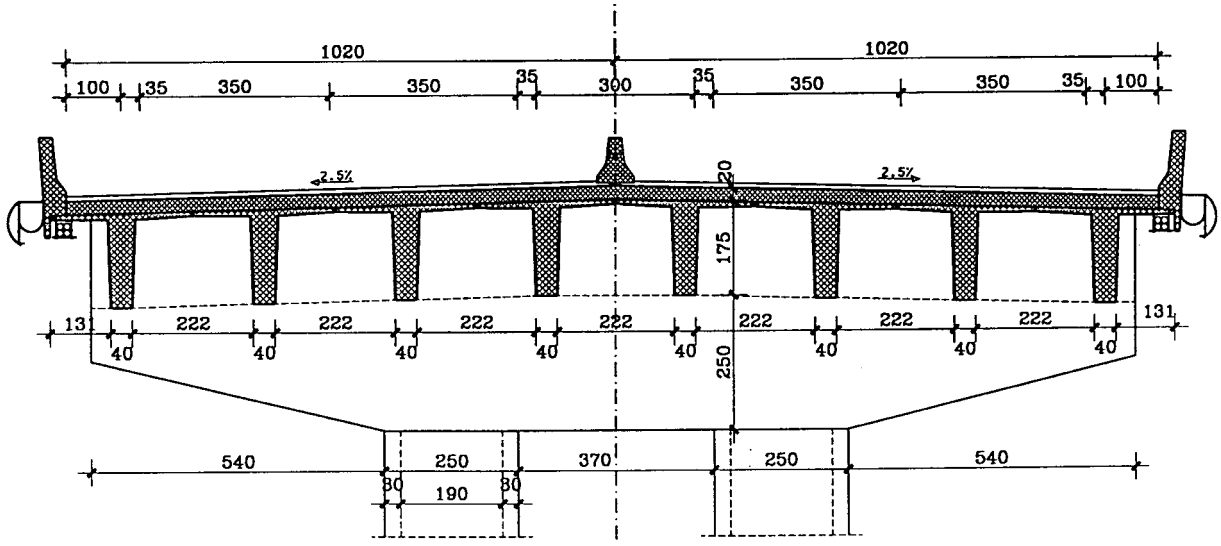


Slika 0.29. Nosači s uskim gornjim pojasima i s pločom kolnika povrh, betoniranom na mjestu gradnje. Klasična oplata.

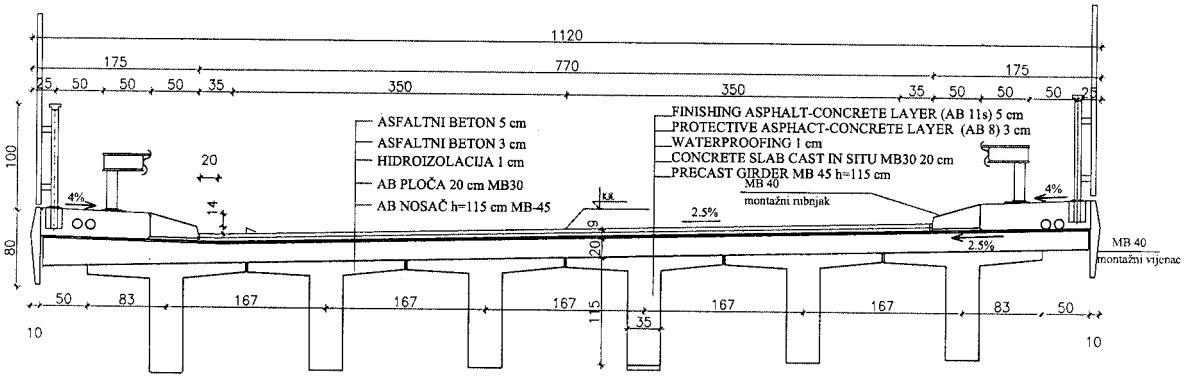


Slika 0.30. Nosači s uskim gornjim pojasima i s pločom kolnika povrh, betoniranom na mjestu gradnje. Oplata od gotovih OMNIA ploča.

5. ***Nosači s priljubljenim gornjim pojasima i s pločama kolnika povrh, betoniranom na mjestu gradnje.*** Ovakvi poprečni presjeci konstrukcije mosta ne zahtijevaju niti upotrebu oplate za ploču kolnika, a nije potrebno izvesti ni poprečne nosače. Za tipizaciju i racionalizaciju grednih mostova raspona do 40 m, to su najprikladniji oblici poprečnog presjeka montažnih rebrastih konstrukcija.

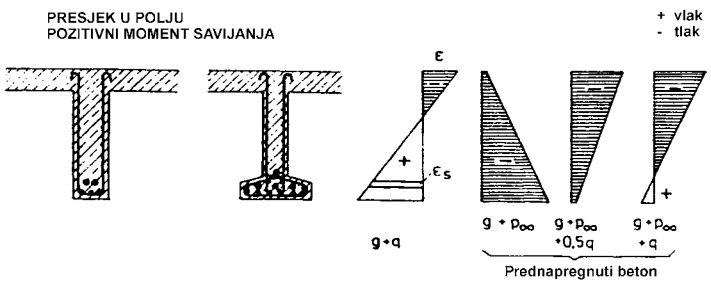


Slika 0.31. Poprečni presjek nadlučnog sklopa Masleničog mosta. Nosači s priljubljenim gornjim pojasima i s pločom kolnika betoniranom na mjestu gradnje.



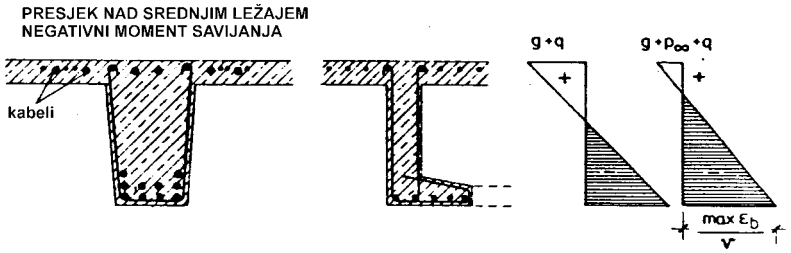
Slika 0.32. Nosači s priljubljenim gornjim pojasima i s pločom kolnika betoniranom na mjestu gradnje.

Kod svih rebrastih konstrukcija s montažnim nosačima potrebno je pripaziti da tlačni naponi u prednapetom vlačnom pojasu za djelovanje stalnog tereta i prednapinjanja nisu preveliki, jer će se grede izobličiti prema gore uslijed puzanja. Stoga je za ovakve konstrukcije pogodnije djelomično prednaprezanje. Kod mostova od prednapregnutog betona širina vlačnog pojasa može se odrediti i tako da za opterećenje g+0.5q ostane rezerva tlaka u prednapetom vlačnom pojasu.



Slika 0.33. Naponi od pozitivnih momenata savijanja.

Ovakvi presjeci težište imaju podignuto visoko gore pa mogu samo ograničeno preuzeti negativne momente savijanja.

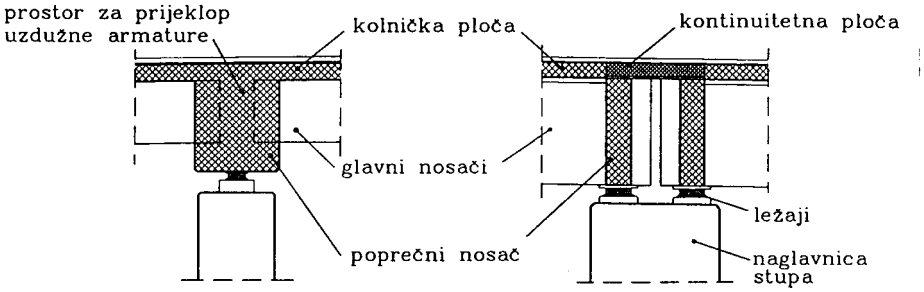


Slika 0.34. Naponi od negativnih momenata savijanja.

Kod mostova preko više polja potrebno je ostvariti kontinuitet na ležaju. To se može izvesti na nekoliko načina:

- Uspostavljanjem potpunog kontinuiteta rasponske konstrukcije za opterećenja (Δg+q). Paralelno s betoniranjem ploče kolnika izvodi se i betoniranje poprečnih nosača na osloncima. Pri tom se ležajni negativni momenti savijanja prihvaćaju ili običnom armaturom ili kabelima.

- Uspostavljanjem kontinuiteta rasponske konstrukcije pomoću armirano betonske elastične ploče – "kontinuitetna ploča". Proste grede i nakon izvedbe kontinuitetne ploče djeluju kao slobodno oslonjene. Kontinuitetna ploča je prvenstveno napregnuta od zakretanja glavnih nosača na ležaju.

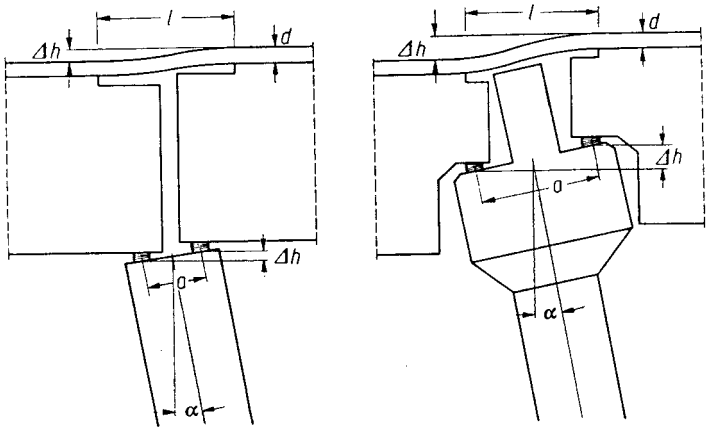


Slika 0.35. Kontinuiteti na osloncima. Lijevo-potpuni kontinuitet.
Desno-kontinuitet pomoću betonske elastične ploče.

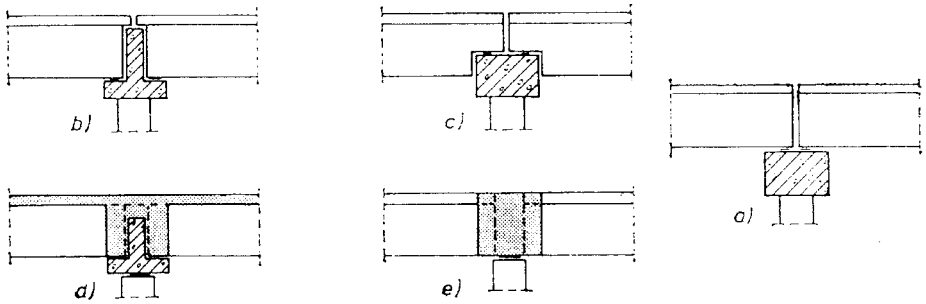
Naponi koji se pojavljuju u kontinuitetnoj ploči pojavljuju se uslijed:

- dodatnog stalnog opterećenja,
- prometnog opterećenja,
- puzanja i skupljanja betona,
- elastičnog otpuštanja neoprenskog ležaja,
- diferencijalnog slijeganja stupa i
- zakretanja vrha stupa.

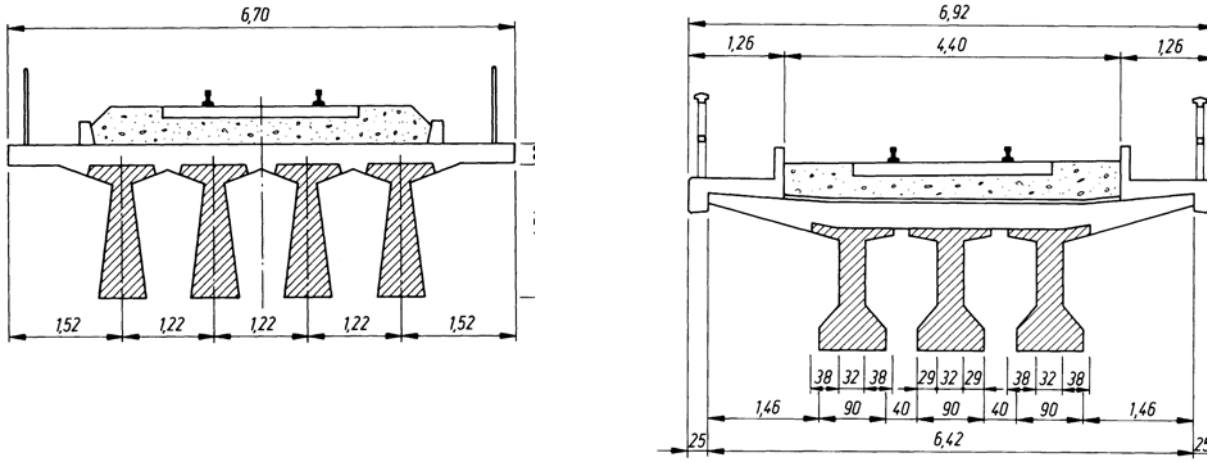
Pozitivni momenti u polju kontinuitetne ploče pojavljuju se od izravnog opterećenja (kotač vozila, vl. težina).



Slika 0.36. Naponi u kontinuitetnoj ploči uslijed zakretanja vrha stupa.



Slika 0.37. Različite varijacije oslanjanja greda na stupove.



Slika 0.38. Poprečni presjeci željezničkih mostova.

3.6. Armatura rebrastih grednih mostova

3.6.1. Ploča 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).

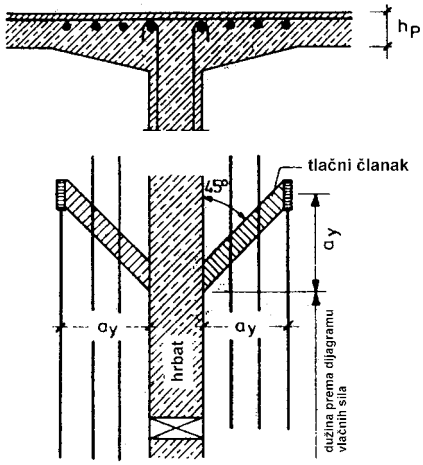
3.6.2. Glavni nosači

⇨ *Donja 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. Minimalna debljina rebra je b_w=20 cm. Radi povoljnijeg smještaja donje armature rebro se može pri dnu proširiti u obliku donjeg pojasa. Armatura se u nosaču smanjuje postupno prema dijagramu vlačnih sila pomaknutog za iznos 0.7d.

⇨ *Gornja 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.)

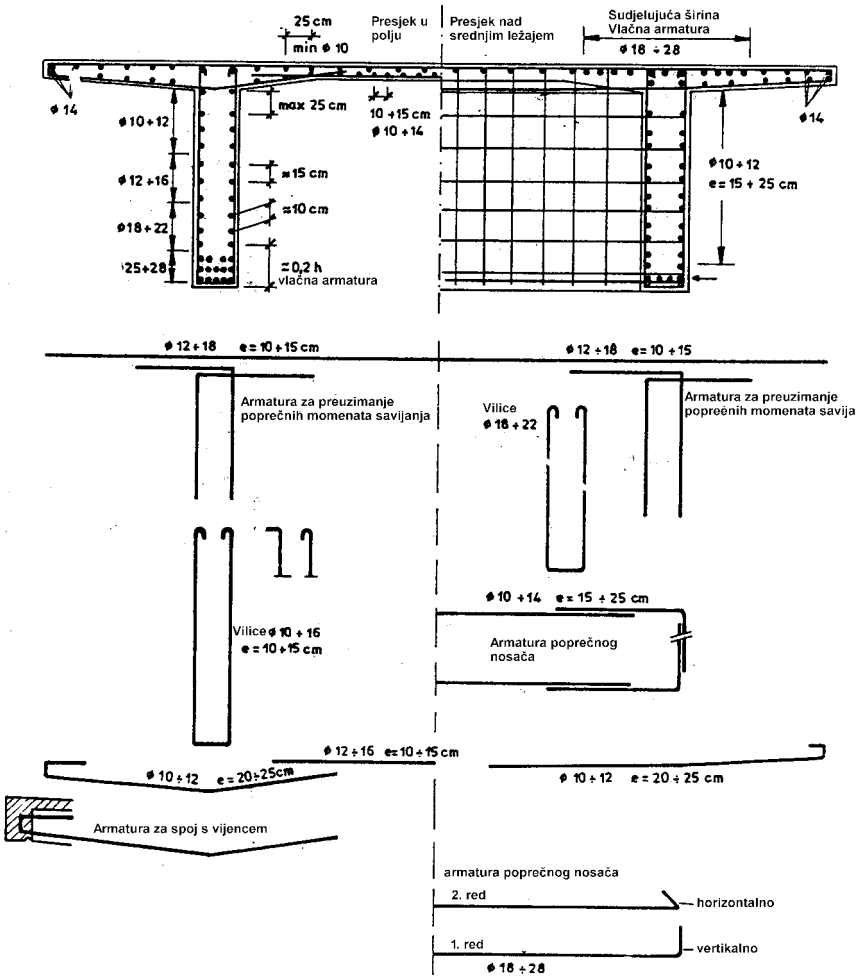


Slika 0.39. Armatura smještena u pojasu sidri se s dodatnom dužinom a_y.

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).



Slika 0.40. Armatura rebrastog grednog mosta. Lijevo presjek u polju Desno presjek na ležaju.

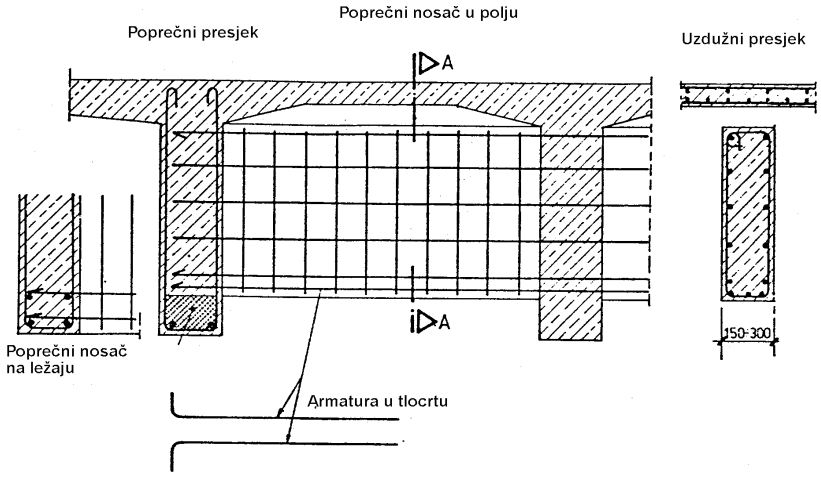
3.6.3. Poprečni nosači

- Poprečni nosač u polju

U istim presjecima poprečnih nosača u polju pojavljuju se momenti savijanja različitih predznaka. Horizontalna armatura usidrena je u hrptove glavnih nosača. Gornja armatura iznosi oko 1/3 donje armature, jer negativne momente u poprečnom nosaču preuzima prvenstveno poprečna armatura kolničke ploče. Za preuzimanje posmika promjenjivog predznaka u poprečnom nosaču potrebne su guste vilice.

- Poprečni nosači na ležajima

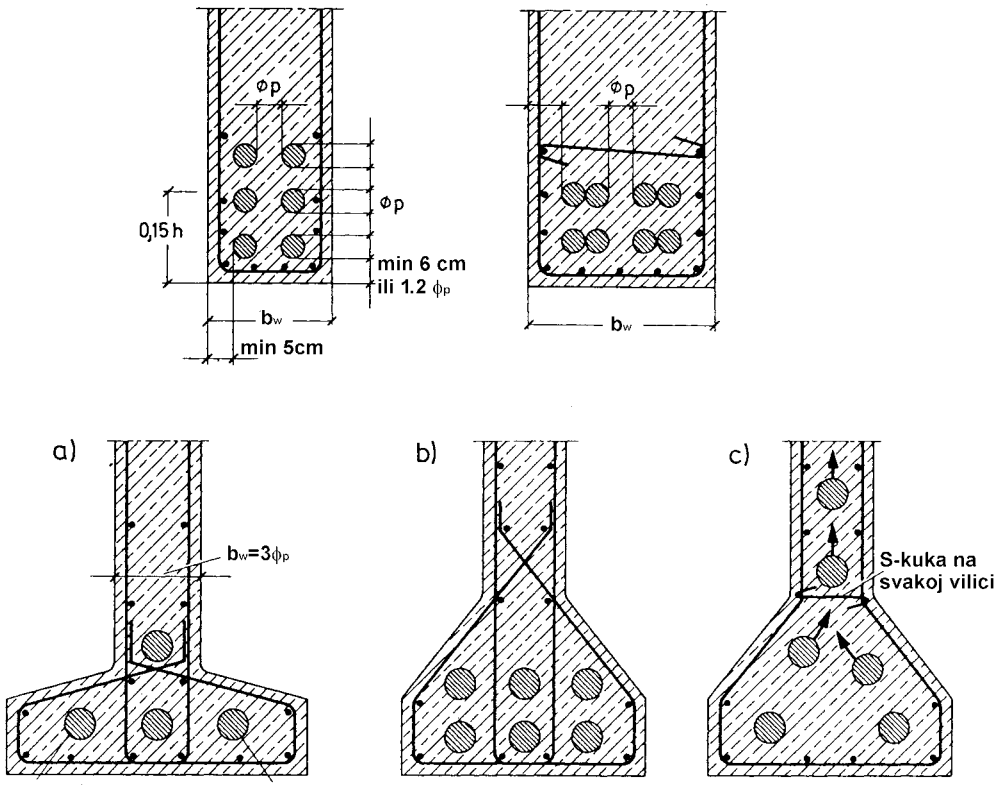
Imaju manja posmična naprezanja i ne tako guste vilice kao poprečni nosači u polju. Ovdje je važna horizontalna armatura s kojom se prihvaćaju torzijska djelovanja glavnih nosača i horizontalne sile od spriječenih pomaka konstrukcije.



Slika 0.41. Armatura poprečnog nosača u polju i na ležaju.

3.7. Prednaprezanje rebrastih grednih mostova

Poželjno je da se veličina sile po jednom kabelu kreće u granicama od 300 do 600 kN. Kotve takvih kabela nisu prevelike pa ih je lakše smjestiti u rubove kolničkih ploča uobičajenih debljina.



Slika 0.42. Kabeli u donjem pojasu glavnih nosača i oblikovanje vilica.

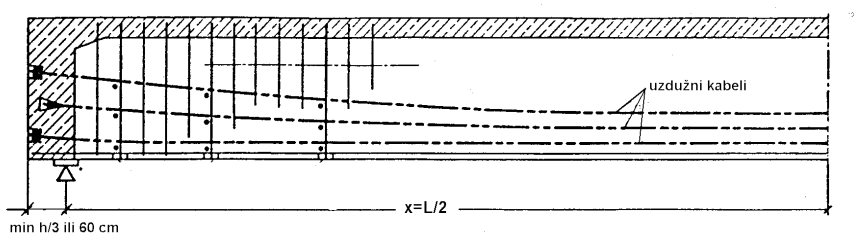
Veličinu sile prednapinjanja treba odabrati tako da glavni nosač bude prednapet s najmanje 3 kabela, jer zakazivanje jednog kabela tada još uvijek neće prouzročiti rušenje. Kabeli se kod prostih greda u L/2 polažu što je moguće niže, ali treba poštivati pravila o njihovim minimalnim udaljenostima i o zaštitnom sloju betona. Ako se nosači izrađuju s proširenim donjim pojasom tada se mora voditi računa da kabeli koji se nalaze izvan vilica hrpta ne mogu poviti u hrbat, nego se moraju usidriti u području donjeg pojasa. Ako se ovi kabeli žele voditi prema gore tada

se u području u kojem se kabeli povijaju poprečno vilice moraju oblikovati prema slici 3.42 (S-kuka na svakoj vilici).
Postotak uzdužne armature vlačnog pojasa u srednjoj trećini raspona nosača mora iznositi

0.6% - potpuno prednaprezanje

0.9% - ograničeno prednaprezanje

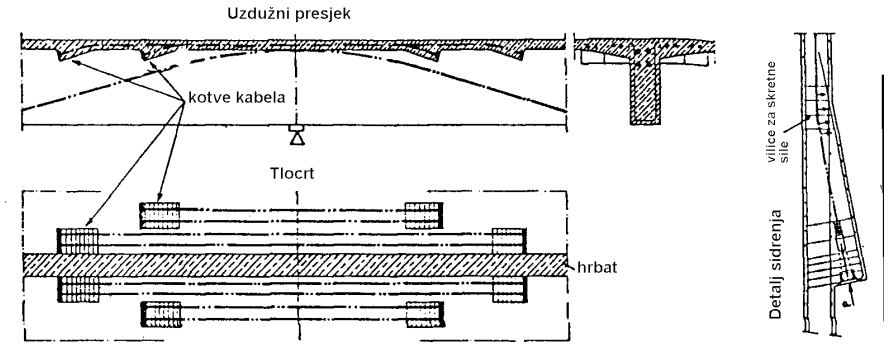
Radi uvođenja u nosač sile i ležajne reakcije kraj grede mora se produžiti preko osi ležaja najmanje za h/3 ili 60 cm (Slika 3.43.).



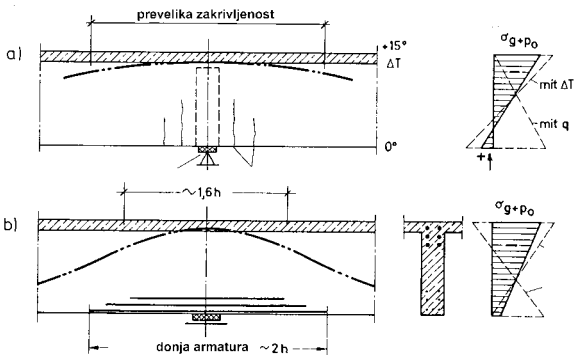
Slika 0.43. Vođenje kabela u glavnom nosaču. Usidrenje na krajevima grede.

Kod prostih greda kabeli se mogu predvidjeti s naizmjenično postavljenim pokretnim i nepokretnim kotvama. Svi kabeli moraju se učvrstiti posebno oblikovanom armaturom da prilikom betoniranja i vibriranja zadrže projektirani položaj.

Na mjestima uvođenja sila prednaprezanja krajevi greda moraju se armirati na osnovi sila cijepanja i skretnih sila. Vlačni pojas napregnut visokim tlačnim naponima u stanju prednaprezanja mora se obuhvatiti dodatnim vilicama ili S-kukama povrh kabela kako bi se spriječilo uzdužno cijepanje pojasa.



Slika 0.44. Prednaprezanje kontinuiranih nosača iznad srednjih oslonaca. Paziti na pomak dijagrama vlačnih sila.



Slika 0.45. Vođenje kabela iznad srednjih oslonaca.