

OSNOVE PRORAČUNA MOSTOVA

II. dio

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.1 Uvod

Pogledamo li poprečni presjek sandučastoga sklopa mosta, vidjet ćemo da je njegov gornji dio **kolnička ploča**, koja se samo malo razlikuje od kolničke ploče rebrastoga sklopa.

Sandučasti sklop ima najmanje dva **hrpta**, što omeđuju jednu **klijetku** (komoru).

U širokih mostova male raspoložive visine sanduk ima **više** klijetaka (pa i hrptova).

Hrptovi su međusobno povezani **pojasnim pločama**, od kojih je jedna već spomenuta kolnička ploča.

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.1 Uvod

Sanduk kao sklop zatvorena presjeka odlikuje se velikom krutosti na savijanje i torziju, a zahvaljujući veliku kraku unutarnjih sila znatno su manje promjene naprezanja što ih izaziva prometno opterećenje nego u drugih sklopova.

Velika torzijska krutost pruža brojne prednosti ovih sklopova:

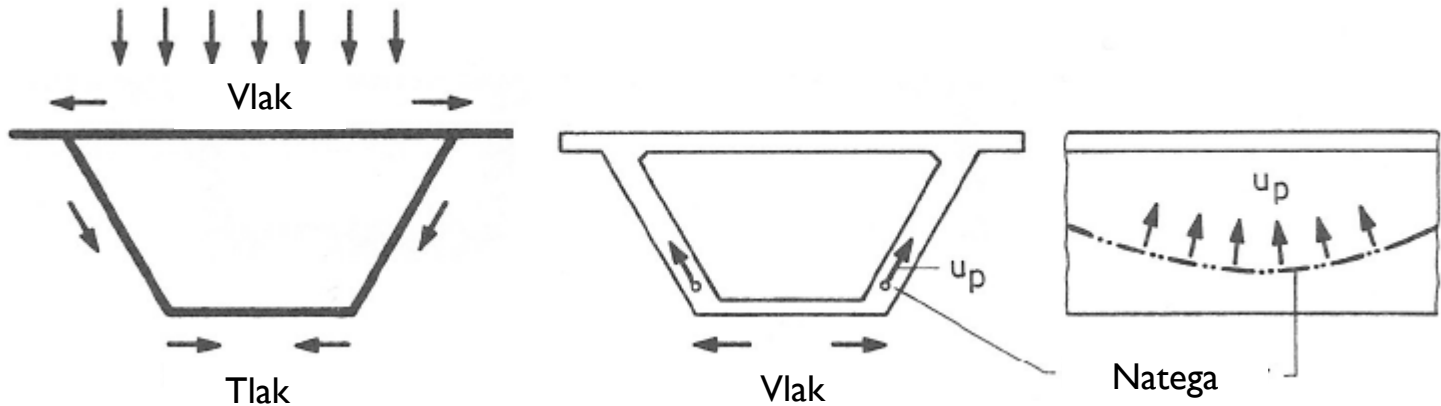
- Prijepusti kolničke ploče mogu biti veći.
- Sandučasti sklop može biti poduprt vitkim stupovima samo u osi (točkasti ležaj).
- Sandučasti je sklop nenadomjestiv u tlocrtno jako zakrivljenih mostova većeg raspona.

U sanduka s jednom klijetkom često su hrptovi nagnuti, čime se postiže manji raspon i manja debljina donje ploče, a i cijeli sklop izgleda vitkije.

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.1 Uvod

Međutim, ne smije se zaboraviti da se pri nagnutim hrptovima već od **vlastite težine** pojavljuju u kolničkoj ploči poprečne **vlačne sile**, a u donjoj ploči **tlačne sile** (slika 4.1).



Slika 4.1: Poprečni tlak i vlak u pojasnim pločama sandučasta nosača nagnutih hrptova

S druge strane, **skretne sile** natega u polju (područje +M) izazivaju pri nagnutim hrptovima poprečni **vlak** u donjoj ploči (ista slika).

Debljina donje ploče **mijenja se** u uzdužnom smjeru zavisno od **naprezanja**, što dovodi do **promjene položaja težišta**.

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.1 Uvod

Zbog toga sandučasti nosači stalne visine **nemaju pravu sustavnu os** (os što spaja težišta presjeka duž nosača).

Zbog toga je u *Bachmannovu* predlošku rešetke os donjeg pojasa blago **nagnuta**, što može utjecati na proračun djelovanja **poprečnih sila**.

Valja spomenuti da je, nasuprot tomu, sandučasti nosač **promjenjive** visine (što se povećava prema međupotporama) vrlo **učinkovit** pri djelovanju poprečnih sila.

U sandučastih sklopova mora se imati na umu da se, zbog **zagrijavanja kolničke ploče**, zrak u sanduku može zagrijati do 40°C , što može izazvati znatna **dodatna** naprezanja u sklopu.

Kako bi se ovo spriječilo, ostavljaju se otvori za **prozračivanje** u gornjem dijelu hrpta i na najnižemu mjestu donje ploče.

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.1 Uvod

Otvori u donjoj ploči služe i za ispuštanje nakupljene procjedne i druge **vode**.

4.2 Kolnička ploča

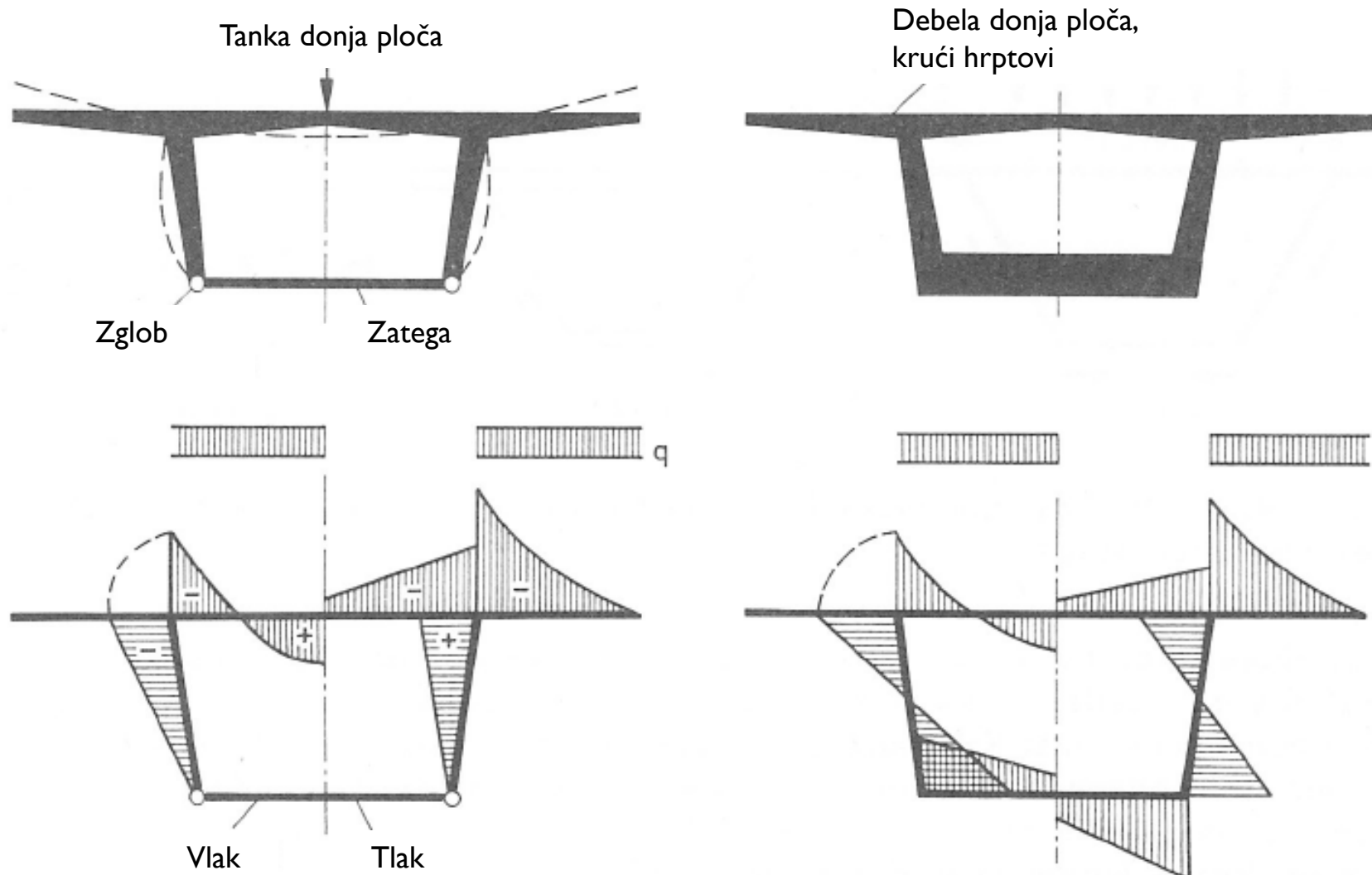
Za proračun, armiranje i prednapinjanje **kolničke ploče sandučastih** sklopova u poprečnom smjeru vrijedi uglavnom sve što je rečeno o kolničkoj ploči **rebrastih** sklopova.

Zbog spriječena **zaokreta** hrptova stupanj **upetosti** kolničke ploče u hrbat u ovih je sklopova općenito **veći** nego u rebrastih.

Pri određivanju **stupnja upetosti**, te mjere **prijenosa** toga momenta preko hrpta u donju ploču, poprečni se presjek sandučasta sklopa promatra kao **zatvoreni okvir** (slika 4.2).

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.2 Kolnička ploča



Slika 4.2: Poprečni momenti u sandučastu nosaču ΔT gore/dolje izaziva uglavnom momente u hrptu
Lijevo: tanka donja ploča; desno: debela donja ploča

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.2 Kolnička ploča

Na potezu **tanke** donje ploče, mogu se na donjim krajevima hrptova pretpostaviti **zglobovi**, a sama ploča može se smatrati **zategom** (slika 4.2 lijevo).

S druge strane, na potezu gdje je donja ploča **debela** hrptovi su **upeti** i u donju ploču (slika 4.2 desno).

Toplinska razlika ΔT između gornje i donje ploče izaziva u kolničkoj ploči dodatne **uzdužne** (normalne) sile (u poprečnom smjeru), a u hrptovima velike poprečne **momente savijanja**.

Kolničku ploču sandučastih nosača napregnutih jakom **torzijom** treba između hrptova **dodatno armirati** ili **prednapeti** i u **uzdužnom** i u **poprečnomu** smjeru.

Međutim, u **tlačnom** području s obzirom na **savijanje** (gdje na kolničku ploču djeluje uzdužni **tlak**) može se uzdužna tlačna sila od $(g+p_{\infty}+q_T)$ **odbiti** od uzdužne vlačne sastavnice torzije.

Na potezu **vlačnog** pojasa, treba, međutim, **zbrojiti** vlačne sile.

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.2 Kolnička ploča

Ipak, moramo voditi računa o tomu je li vjerojatna **istodobna** pojava svih najnepovoljnijih djelovanja.

Jednako vrijedi za poprečnu **vlačnu** sastavnicu **torzije** pri “zbrajanju” s poprečnim **savijanjem** i za druga slična djelovanja.

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.3 Sandučasti sklop kao GN

Sandučasti se sklopovi općenito proračunavaju i dimenzioniraju po postupcima za štapne nosače.

Sanduk s jednom klijetkom promatra se kao štapast GN, s pripadnom krutosti na savijanje i torziju.

Pri savijanju računamo da je napregnuta samo sudjelujuća širina kolničke ploče, što se računa po propisima.

Torzijska se pak krutost računa po *Bredtovu* izrazu (slika 4.3). Pri tomu se prijepusti ploče zanemaruju.

$$M_T = \int \tau \cdot s \cdot dO \cdot a \quad \text{slika 4.3, m.crt.}$$

Uočimo da je: $0,5r \cdot dO = dA \rightarrow$ ploština trokuta, pa je:

$$M_T = \tau \cdot s \int 2dA, \text{ iz čega je:}$$

$$\tau = \frac{M_T}{2A \cdot s}$$

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.3 Sandučasti sklop kao GN

Primijenimo ovo na sandučasti nosač (slika 4.4):

$$MT = Q \cdot e$$

$$A_0 = b \cdot h$$

Iz uvjeta ravnoteže djelomičnih momenata torzije slijedi da je: Slika 4.4, moj crtež

$$\tau_1 \cdot s_1 = \tau_2 \cdot s_2 = \tau_3 \cdot s_3 = \frac{Q \cdot e}{2b \cdot h}$$

Na kraju se dobije:

$$\tau_1 = \frac{Q \cdot e}{2b \cdot h \cdot s_1}; \tau_2 = \frac{Q \cdot e}{2b \cdot h \cdot s_2}; \tau_3 = \frac{Q \cdot e}{2b \cdot h \cdot s_3}$$

Ovako jednostavan proračun torzije počiva na pretpostavci da se **oblik** poprečnoga presjeka sanduka **ne mijenja bitno** pod djelovanjem torzije.

U mostova od **PB**-a ova pretpostavka općenito vrijedi.

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

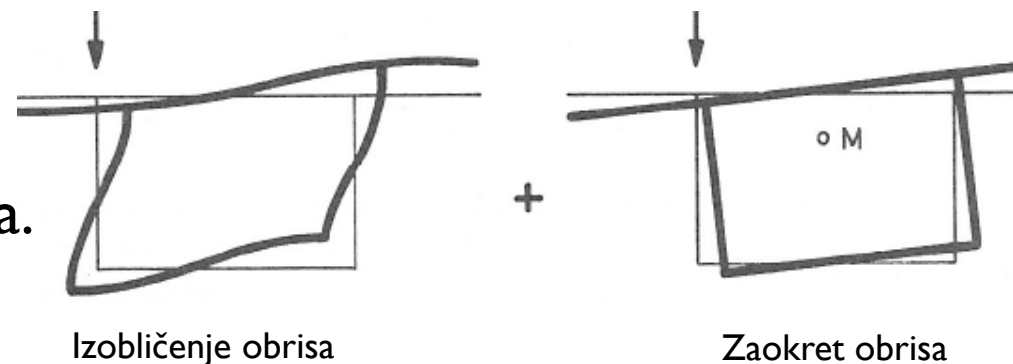
4.3 Sandučasti sklop kao GN

Ipak, moraju se poštovati ova dva pravila o ustroju sklopa:

- Nad ležajem sanduk mora biti ukrućen **preponom** (dijafragmom) ili dostatno krutim **okvirom**.
- U **protežnih** sklopova dostatna se krutost postiže **podebljavanjem** hrptova i donje ploče.

U tankostjenih sanduka osobito velika presjeka može izobličenje presjeka utjecati na momente u poprečnom okviru i na opterećenje hrpta.

Ipak, zanemarivanjem ovog učinka čini se pogriješka od svega nekoliko postotaka.



Slika 4.5: Učinak torzije na sandučasti nosač

Inače se učinak torzije raščlanjuje u dvije sastavnice (slika 4.5).

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.3 Sandučasti sklop kao GN

Vratimo se nakratko pitanju zanemarivanja izobličivanja obrisa tankostjenih sandučastih sklopova.

Njemački učenjak *A. Steinle* pokazao je da se poprečni momenti savijanja mogu zbog **izobličivanja** povećati i za 10÷20 % u odnosu na one na neizobličenom obrisu.

Međutim, to vrijedi za **neraspucalo stanje**, a glavnina tih momenata i potječe od **prisile** (od spriječenih pomaka).

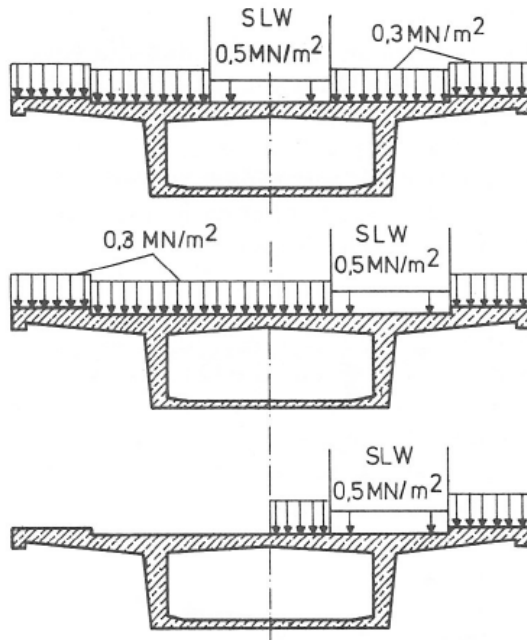
Već nakon pojave prvih **pukotina** ti momenti postupno **splašnjavaju**.

Čvorovi poprečnih okvira ionako su **jako armirani**, tako da zanemarivanje dodatnih momenata ne može izazvati nikakvu štetu **uporabnom ponašanju** sklopa.

Na sljedećoj slici predočena su tri položaja **prometnog opterećenja** iz kojih se računaju **mjerodavne rezne sile** sandučastoga sklopa kao štapnog nosača (slika 4.6).

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.3 Sandučasti sklop kao GN



Glavni prometni trak **u sredini**.
Najveći moment savijanja s pripad. poprečnom silom. Nema torzije.

Glavni prometni trak stoji **mimoosno**. **Cijeli sanduk** opterećen za najveći M_{sav} , te pripadne V i M_T .

Opterećena **polovica** mosta za najveći M_T , te pripadne M_{sav} i V .

Slika 4.6: Položaji opterećenja za najnepovoljnije rezne sile

Vidjeli smo da se sandučasti presjek odupire torzijskomu momentu tzv. **posmičnim tijekom**, što kola po obodu sanduka.

Taj se posmični tijek u jednomu hrptu **zbraja** s onim od poprečne sile, a u drugomu međusobno **dokida**.

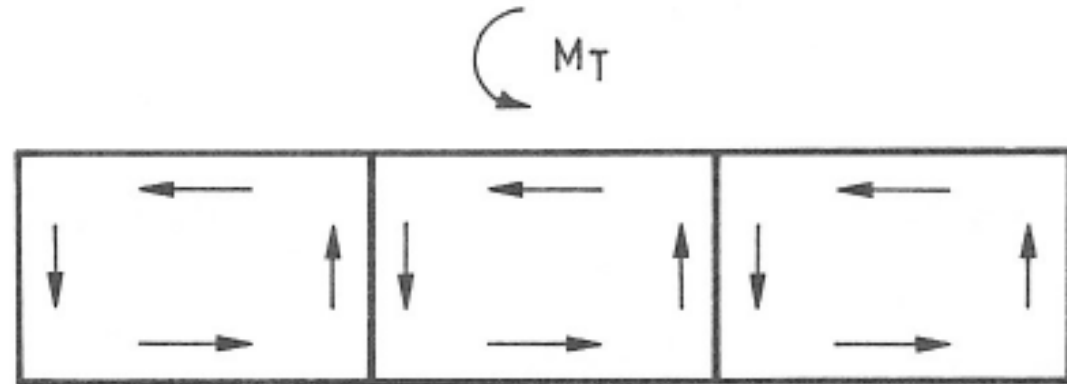
Valja samo voditi računa o tomu da se zbrajaju učinci $\max M_T$ i pripadne V , dotično $\max V$ i pripadnoga M_T .

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.3 Sandučasti sklop kao GN

U sandukâ s većim brojem klijetaka posmični se tijekovi od torzije u unutarnjim hrptovima međusobno poništavaju, tako da se ovi hrptovi mogu zanemariti kada rabimo *Bredtov* izraz (slika 4.7).

Slika 4.7: Tijekovi torzije poništavaju se na unutarnjim hrptovima sanduka



Pri provjeri hrptova ne smije se smetnuti s uma da se opterećenje donje ploče mora **objesiti** o gornji pojas sanduka.

Spomenuli smo kako se u jednom hrptu **zbrajaju** posmični tijekovi od **torzije** i **poprečne sile**. Međutim, to podrazumijeva da treba pojačati ne samo **poprečnu** nego i **uzdužnu** armaturu hrpta.

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.3 Sandučasti sklop kao GN

Pri proračunu **debljine** hrpta nije dobro uzeti kao mjerilo **glavna vlačna naprezanja**, jer bi se tako dobio nepotrebno **debeo** hrbat, u kojega su **drugotna** (sekundarna) naprezanja znatno **veća** nego u tankoga.

Najispravnije je određivati debljinu hrpta na osnovi **tlačnih** naprezanja od sila u **tlačnim člancima** (kosnicima) što se dobiju po predlošku rešetke za γ -struko opterećenje:

$$\sigma_c \leq 0,7f_{ck} \quad (f_{ck} - \text{tlačna čvrstoća betona})$$

Ako se dogodi da prekorači dopustivu mjeru, može se pomoći izborom **nagiba** poprečne armature (stremenova).

Naime, poznato je da su pri nagibu stremenova $45^\circ \div 60^\circ$ **sile u tlačnim člancima najmanje**.

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.3 Sandučasti sklop kao GN

Ako su u hrptu natege (kabeli) pri dokazu tlačnih naprezanja treba debljinu hrpta umanjiti za zbroj promjera natega u jednoj razini:

$$\text{red. } b_0 = b_0 - \Sigma \emptyset$$

Poprečnu armaturu u hrptu od velikih **poprečnih sila** treba računati tako da se uzme u obzir sudjelovanje tlačnog pojasa pri savijanju ili smanjeni nagib tlačnih članaka.

Poprečnu armaturu od **torzije** treba **pibrojiti** ovoj.

Ako se dobije vrlo velika ploština poprečne armature dobro je dio stremenova ugraditi **koso** (čime se smanjuje potrebna ploština).

Najmanji je razmak stremenova 8 cm.

Donedavna su hrptovi **prednapinjani**, ali danas više **ne**.

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.3 Sandučasti sklop kao GN

Za dimenzioniranje poprečne armature u hrptu velikih sandučastih nosača (razmak hrptova >5 m) obično je **mjerodavan** “zbroj” poprečnog **savijanja** hrpta i **posmika** od poprečne sile i torzije (slučajevi opterećenja predočeni na slici 4.6).

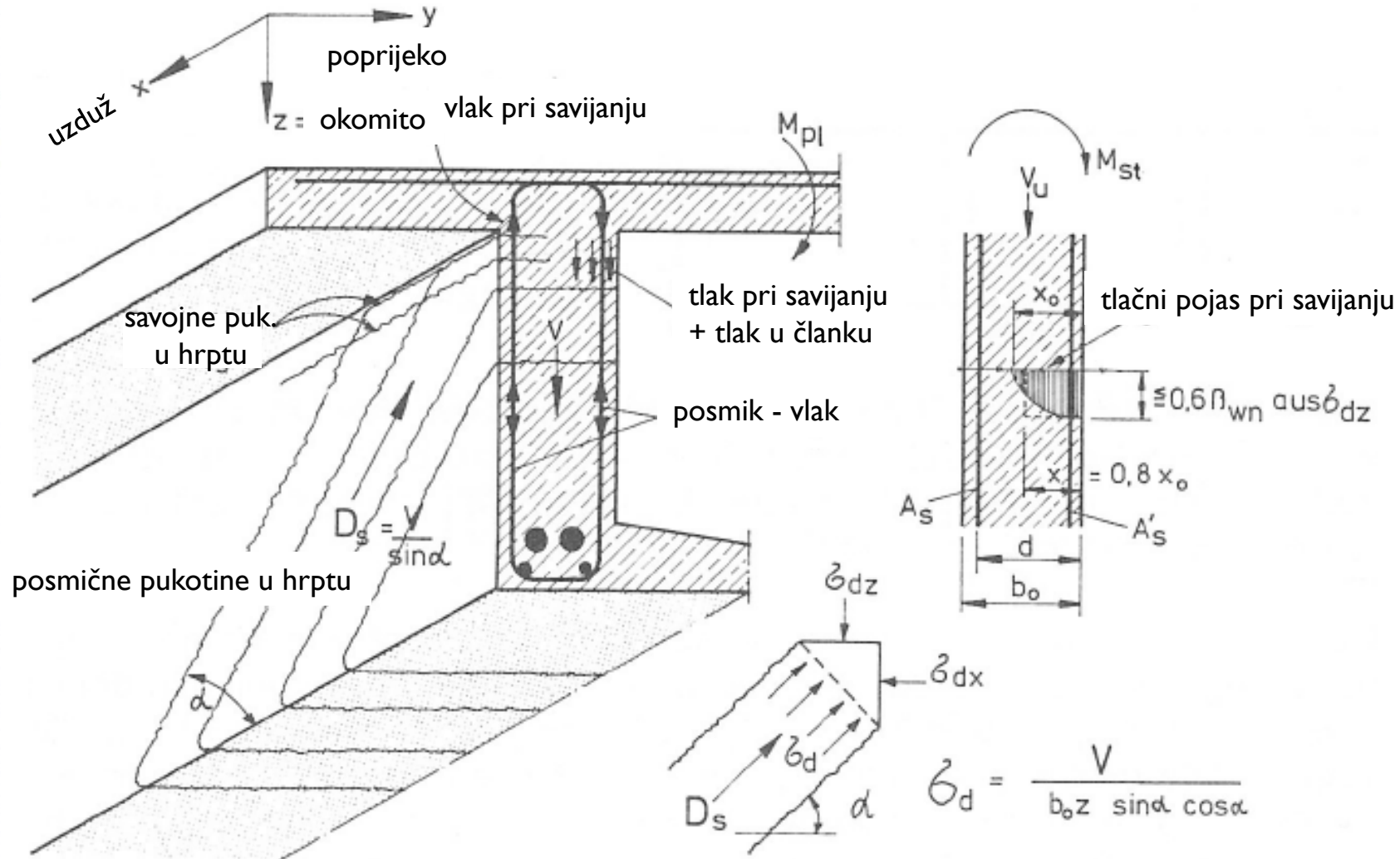
Polazi se od reznih sila za **GS nosivosti**, a stremenovi se u prvom redu dimenzioniraju na poprečnu silu i torziju.

Nastupi li pri tomu i poprečno savijanje, pojavit će se i odgovarajuće pukotine, koje će se sjeći s pukotinama od posmika (slika 4.8).

Od poprečnog savijanja stremenovi tako bivaju dodatno napregnuti na tlak i vlak.

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.3 Sandučasti sklop kao GN



Slika 4.8: Međudjelovanje vlačnih i tlačnih sila u hrptu od poprečne sile i torzije s poprečnim savijanjem u hrptu

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.3 Sandučasti sklop kao GN

Ploština presjeka tlačnoga članka D_s smanjuje se za visinu tlačnog pojasa x_0 pri savijanju hrpta.

Ova se ploština određuje iz momenta savijanja hrpta, M_{st} , uzdužne sile u tlačnom članku, V_u , i ploštine stremenova, A_s i A_s' .

Ako se unutar x_0 nađu natege $\emptyset \geq b_0/8$, mora se računati sa smanjenom vrijednosti:

$$\text{red } x_0 = x_0 - \Sigma \emptyset.$$

Pošto se odrede stremenovi u hrptu, nužni za preuzimanje poprečne sile i torzije, može se izračunati poprečni moment, M_s , što ga stremenovi mogu istodobno preuzeti uz dosegnuće granice popuštanja čelika ($\sigma_s = f_{sy}$).

Pri tomu se u tlačnom pojasu hrpta s pravokutnim tijekom naprezanja, uz $x = 0,8x_0$, dopušta najveće naprezanje u betonu:

$$\max \sigma_c = 0,6\beta_{wn} \approx 0,7f_{ck}.$$

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.3 Sandučasti sklop kao GN

Ako je poprečni moment savijanja na gornjem rubu hrpta:

$$M_{hrpta} > M_s$$

Tada treba ploštinu stremenova povećati za:

$$\Delta A_s = \frac{M_{hrpta} - M_s}{\left(d - \frac{x}{2}\right) f_{sy}}$$

pri čemu je f_{sy} – granica popuštanja čelika.

Bude li ΔA_s činilo više od 30 % ploštine stremenova, A_s , nužne samo za posmik, može se dio ΔA_s što potječe od uporabnog opterećenja smanjiti do 30 % ako je mala vjerojatnost istodobna nastupa promatranih slučajeva opterećenja.

Prevladava li poprečni moment savijanja u **jednomu** smjeru (npr. u dugih prijepusta) hrbat se može armirati **nesimetrično**, s dodatnom armaturom među stremenovima.

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.3 Sandučasti sklop kao GN

Donja je ploča, kao pojas GN-a opterećena ovako:

1. Savijanje u poprečnomu smjeru od vlastite težine i uporabnog opterećenja, koje se uzima s najmanje 1,0 kN/m.
2. Pri savijanju GN-a i pod djelovanjem poprečnih sila u donjoj se ploči pojavljuje uzdužni vlak od pozitivnih M_{sav} , a tlak od negativnih M_{sav} . Kut nagiba silnica glavnih naprezanja prema hrptu zavisi od poprečne sile. Tako se u donjoj ploči pri rastućim $+M_{sav}$ javlja poprečna sastavnica **vlačne** sile, a **tlačne** pri rastućim $-M_{sav}$.
3. Od **torzije** GN-a u donjoj se ploči javljaju glavna vlačna i glavna tlačna naprezanja pod kutovima 45° i 135° , što se međusobno sijeku.
4. Prednapinjanjem GN-a pretlačuju se samo **uzdužna** vlačna naprezanja, a iznimno i poprečna od **torzije** u donjoj ploči.

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.3 Sandučasti sklop kao GN

5. U **tankih** donjih ploča uz debele hrptove javljaju se znatna **dodatna** naprezanja od toplinskih djelovanja, te skupljanja i puzanja betona. Ni u jednom drugom dijelu PB mosta **ne razlikuju se** toliko **stvarna** naprezanja od **računskih** kao u donjoj ploči sandučasta nosača.

Na mnogim su se mostovima pojavile **pukotine** u donjoj ploči, gdje su po proračunu trebala biti **tlačna** naprezanja i do $3\div 4$ N/mm².

Zbog toga je iznimno važno predvidjeti armaturu za **ograničavanje širine pukotina** u donjoj ploči.

Na potezu $+M_{sav}$ donja ploča treba biti što **tanja**, kako bi joj se **smanjila vlastita težina**.

Ipak ona ne treba biti tanja od **15** cm, dotično $\ell_{pl}/25$, pri čemu je ℓ_{pl} razmak krajeva vuta.

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.3 Sandučasti sklop kao GN

Treba biti oprezan s dopustivim **tlačnim** naprezanjima u **tankoj** donjoj ploči (npr. pri prednapinjanju).

Naime, ona nisu **jednoliko** raspodijeljena po širini ploče, a ni **gustoća** betona nije posvuda jednaka, a moguć je i **mimoosan** (ekscentričan) položaj natege, što sve skupa može dovesti do **izbočavanja** ploče.

Izbočavanje prednapete donje ploče uzrokovalo je **rušenje** jednog mosta!

Ako dio uzdužnih **natega** GN-a leži u donjoj ploči, njezina **debljina** mora na tomu mjesti biti min $3\varnothing_c$.

Ipak ove natege treba smjestiti što **bliže** hrptu.

Na potezu $-M_{sav}$ debljina je donje ploče primjerena **tlačnim silama** u donjem pojasu.

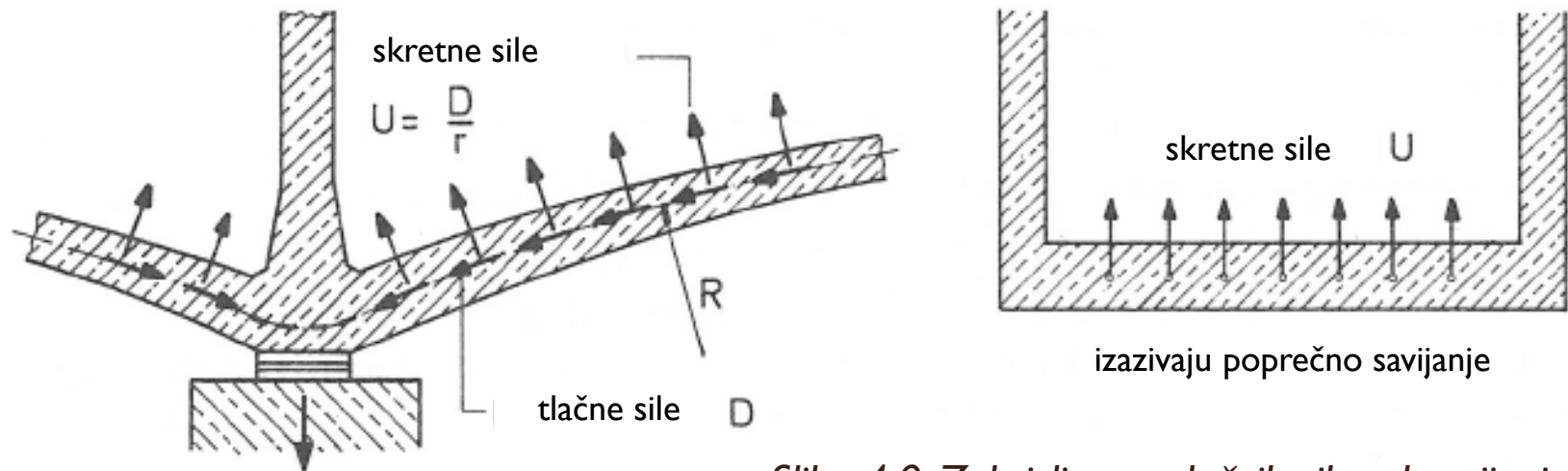
U **velikih** mostova s **uskim** sanducima ona može biti i $> 1,0$ m.

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.3 Sandučasti sklop kao GN

U takvim slučajevima mora se voditi računa o **hidratacijskoj toplini** pri vezanju cementa, ali i o **skupljanju** i **puzanju betona** kasnije.

U protežnih nosača zaobljena donjeg pojasa javljaju se u donjoj ploči **skretne sile** usmjerene prema gore (slika 4.9).



Slika 4.9: Zakrivljenost tlačnih sila od savijanja u donjoj ploči sanduka izaziva poprečne momente savijanja u sanduku

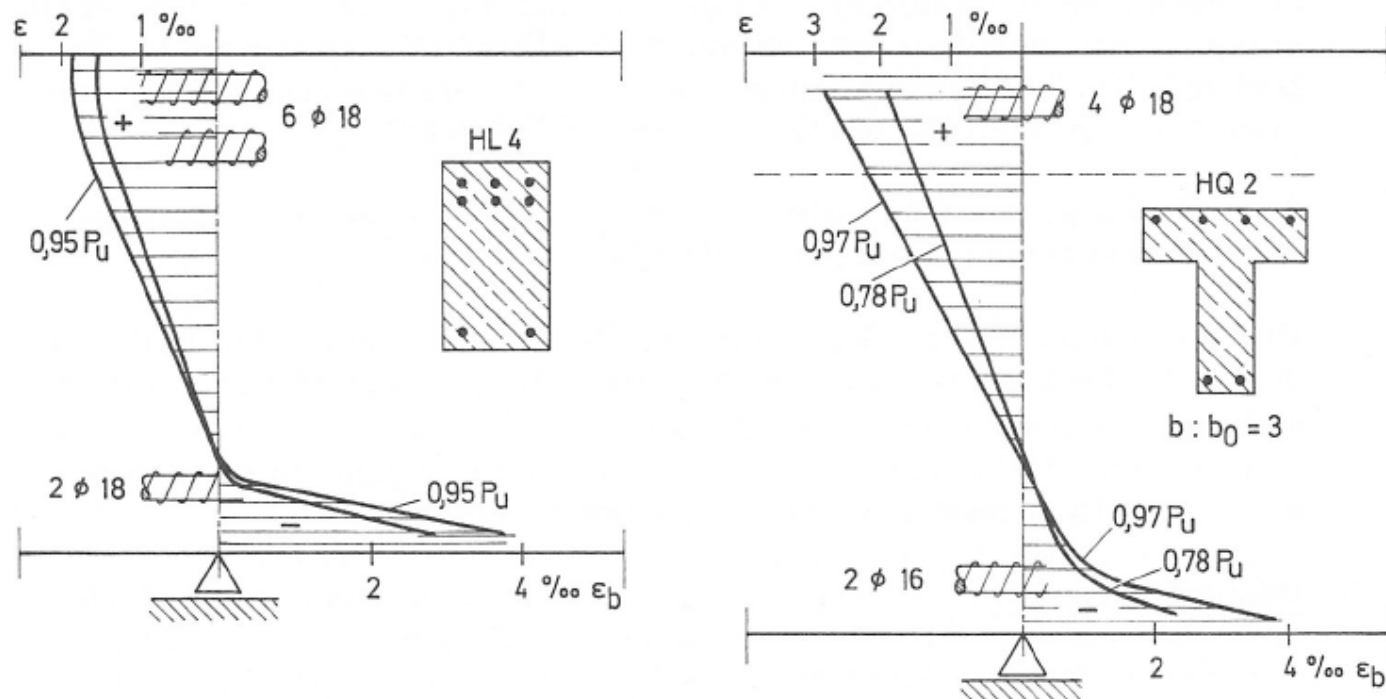
Ove sile izazivaju poprečno savijanje suprotno onom od vlastite težine donje ploče.

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.3 Sandučasti sklop kao GN

U debelih ploča što služe kao **tlačni pojas** svakako se može do kraja iskoristiti **tlačna čvrstoća** betona (f_{ck}/γ_m).

Ipak, mora se imati na umu da **tijek ϵ -a** u presjeku nad međupotporom **nije pravocrtan** zbog djelovanja **poprečnih sila** (slika 4.10). Valja uočiti da ϵ_c dosiže **4 6 ‰** prije sloma!



Slika 4.10: Izmjerena skraćenja na međupotpori protežnog nosača

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.4 Armiranje i prednapinjanje sandučastih GN

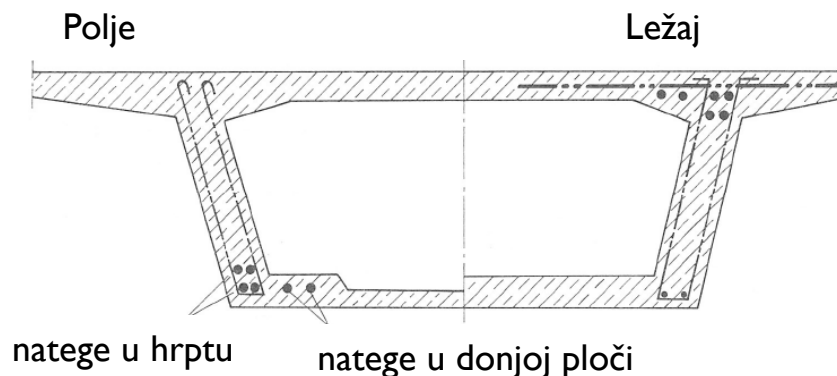
Za armiranje i prednapinjanje kolničke ploče **sandučastih GN**-a vrijedi sve što je rečeno o kolničkoj ploči **rebrastih GN**-a.

Općenito nije nužno prednapinjanje kolničke ploče – dostatno je rasporediti glavnu armaturu po cijeloj širini ploče po pravilima za ograničavanje širine pukotina i povezati ju s armaturom hrptova.

4.4.1 Vođenje natega u GN-ima

U mostova manjih i srednjih raspona (do ~ 60 m) natege se ugrađuju u dostatno široke hrptove, kako se to čini i u rebrastih mostova.

Međutim, kako ne mogu sve natege stati u hrbat, dio ih se ugrađuje u pojasnu ploču (slika 4.11).



Slika 4.11: Raspored natega protežnog nosača

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

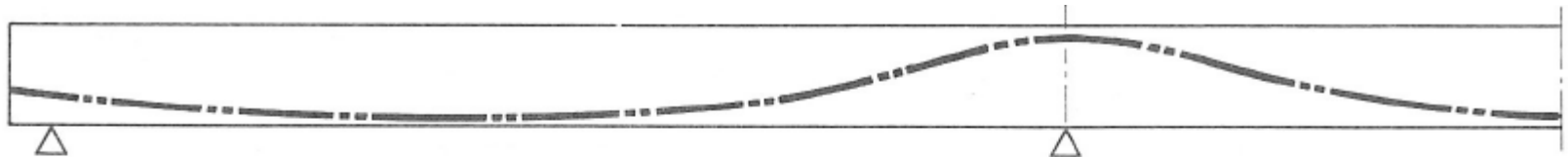
4.4 Armiranje i prednapinjanje sandučastih GN

4.4.1 Vođenje natega u GN-ima

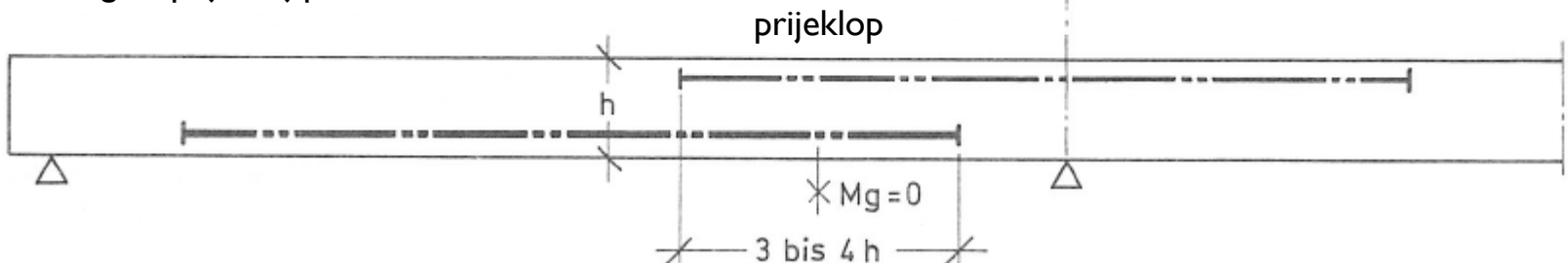
Duljina ovih natega određuje se na osnovi obilato pomaknuta tijekom vlačnih sila.

U protežnih nosača natega u gornjoj i donjoj ploči moraju se preklapati najmanje $3 \div 4 h$ (slika 4.12) ako zbog momenata od prometnog opterećenja nije nužno još dulje preklapanje.

Natega u hrptu



Natega u pojasnoj ploči



Slika 4.12: Uzdužni raspored natega protežnog nosača

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.4 Armiranje i prednapinjanje sandučastih GN

4.4.1 Vođenje natega u GN-ima

U velikih sandučastih GN-a danas se natege uglavnom polažu u pojasne ploče, a hrptovi su slobodni.

Pri tomu su redovito nužna najmanje dva reda natega od I 600 kN, zbog čega se ploča mora podebljati.

Na slici 4.13 predočen je raspored natega nad potporom mosta preko Guduče na AC Zagreb – Split.

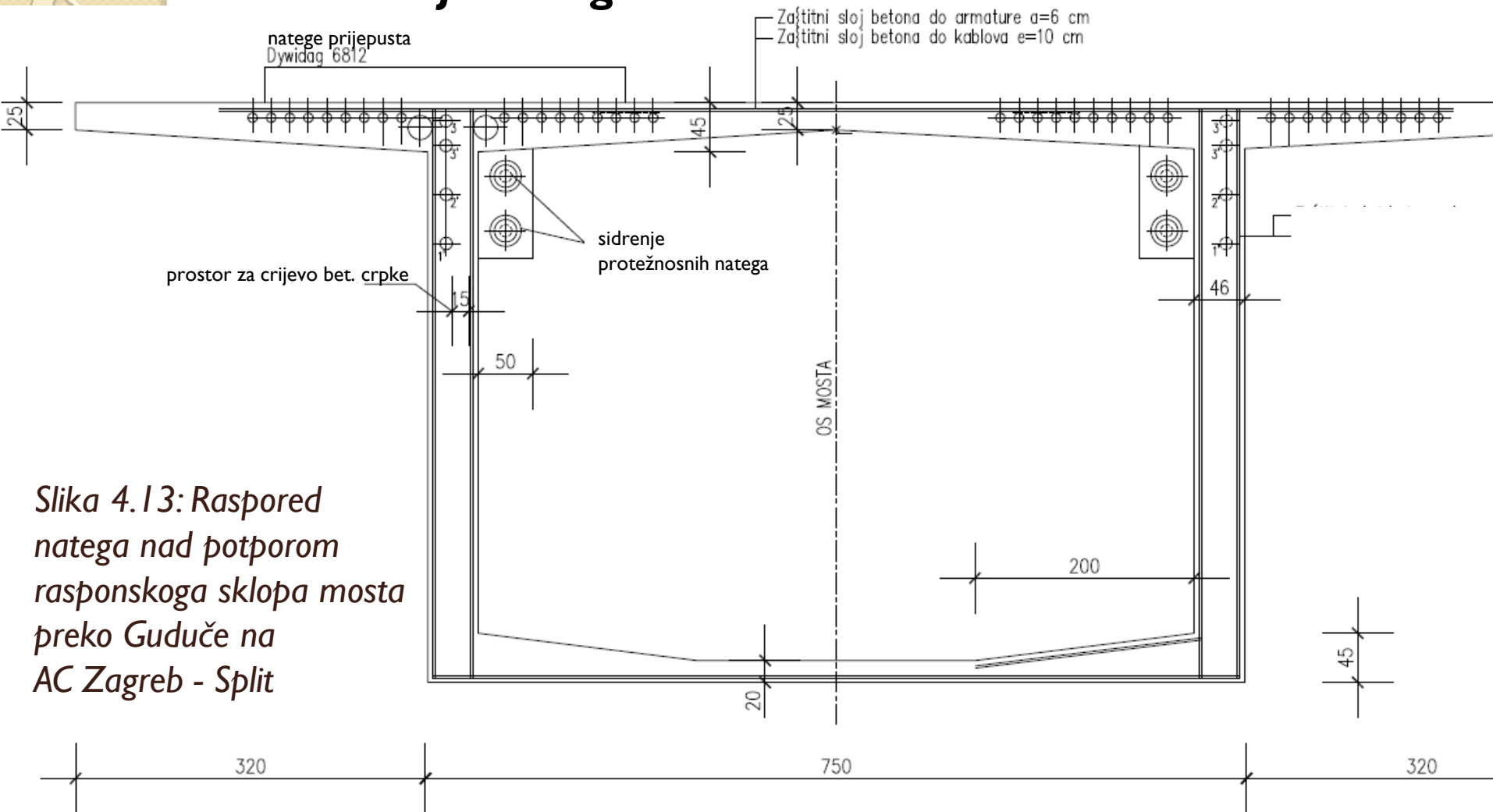
Natege se napinju i sidre u tzv. “bradavicama” (slika 4.14).

Vodoravno skretanje ovih natega izaziva poprečni vlak u ploči.

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.4 Armiranje i prednapinjanje sandučastih GN

4.4.1 Vođenje natega u GN-ima



Slika 4.13: Raspored natega nad potporom rasponskoga sklopa mosta preko Guduče na AC Zagreb - Split

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.4 Armiranje i prednapinjanje sandučastih GN

4.4.1 Vođenje natega u GN-ima

Još jedan slide posvećen nategama na Guduči (sa slikama).

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.4 Armiranje i prednapinjanje sandučastih GN

4.4.1 Vođenje natega u GN-ima

Vođenje i sidrenje natega zavisi od načina građenja.

Još jedan ili dva slidea o postupnom navlačenju i o bet. polje po polje, ali i o postup. prepuštanjem.

Spomenuti i vanjske natege.

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.4 Armiranje i prednapinjanje sandučastih GN

4.4.2 Armiranje hrptova

Općenito **nije nužno prednapinjati** i hrptove prednapetih sandučastih GN-a, jer se rijetko pojavljuju pukotine od posmika u uporabnom stanju.

Ako se pukotine i pojave, **naprezanja** u stremenovima ostaju **niska**, a širina **pukotine** vrlo **mala**, pa i pri **ponovljenim** opterećenjima, što su pokazala dugotrajna ispitivanja obavljena u Münchenu.

Važno je da stremenovi budu na **malenu** razmaku (8 – 20 cm) i od **tankih** šipaka (\varnothing 12 – 18 mm).

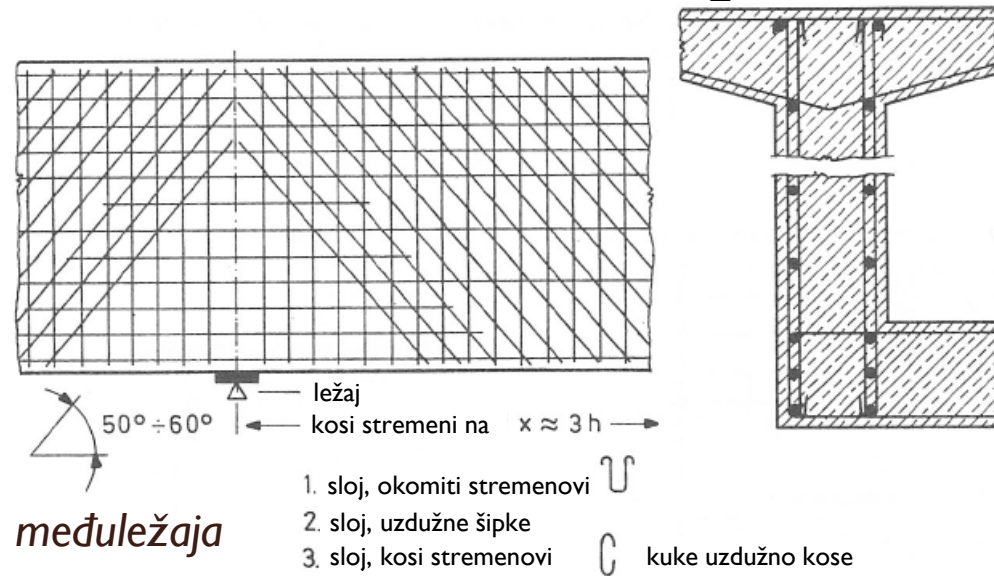
Nagnuti stremenovi (50 – 60 prema vodoravnoj osi) zgodni su radi pojave većega broja **manjih pukotina**, ali osobito radi **manjih sila u tlačnim člancima**. Zato razmak stremenova može biti veći.

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.4 Armiranje i prednapinjanje sandučastih GN

4.4.2 Armiranje hrptova

U većih sandučastih GN-a rado se rabe i okomiti i nagnuti stremenovi (slika 4.1*).



Slika 4.1*: Armatura hrpta u okolišu međuležaja

Uzdužne se šipke odabiru sukladno naprezanjima od savijanja i torzije, ali i drugotnim naprezanjima: od toplinskih djelovanja, skupljanja i puzanja betona, te slijeganja potpora.

Mali razmaci šipaka potrebni su radi ograničavanja **širina pukotina**, osobito na potezu $+M$, gdje se n.o. može pomaknuti prema gore.

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

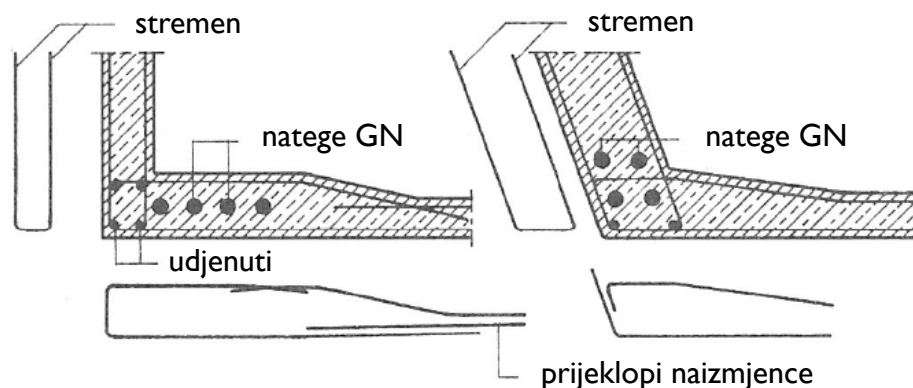
4.4 Armiranje i prednapinjanje sandučastih GN

4.4.2 Armiranje hrptova

Na spoju hrpta s debelom donjom pločom nužno je gusto razmjestiti uzdužne šipke na visini $1m$ ili $h/3$ kako bi se ublažile pukotine od toplinskih djelovanja.

4.4.3 Armiranje donje ploče

Ako je GN jako napregnut torzijom armatura donje ploče mora se preklopiti sa stremenovima hrptova tako da tvore petlju (slika 4.1* lijevo).



Slika 4.1*: Preklapanje armature donje ploče i hrpta sanduka

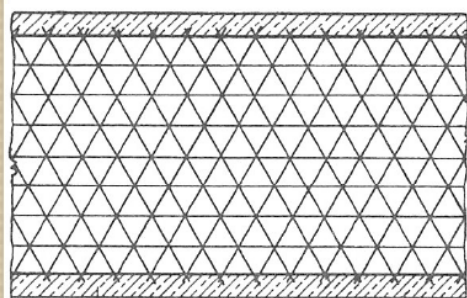
To je, međutim, moguće samo ako na dnu hrpta nema natega. Inače treba gornju poprečnu armaturu podići (slika 4.1* desno).

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

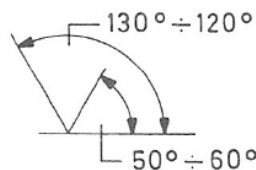
4.4 Armiranje i prednapinjanje sandučastih GN

4.4.3 Armiranje donje ploče

Ako na GN djeluju veliki torzijski momenti promjenjiva smjera (npr. protežan sanduk poduprt pojedinačnim stupovima u osi mosta) učinkovita je kosa armatura, položena pod kutom 50° – 60° u odnosu na uzdužnu os uz laganu uzdužnu armaturu (slika 4.1*).



hrbat



Slika 4.1*: Kosa armatura donje ploče
za jaku torziju

Torzijske će pukotine biti vlasaste, tako da će torzijska krutost i nakon raspucavanja biti dostatna, jer će se tlačni članci protezati i preko pukotina.

U tankih donjih ploča nužna je jaka uzdužna armatura radi ublaživanja raspucavanja od drugotnih djelovanja (ΔT , δ).

Pri određivanju ove armature valja pretpostaviti da djeluje samo polovica računskih tlačnih naprezanja od $g+p_\infty$.

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.4 Armiranje i prednapinjanje sandučastih GN

4.4.3 Armiranje donje ploče

Uzdužna se armatura razmješta približno **podjednako** u gornji i donji pojas ploče i **sva** se može uzeti u obzir pri dokazu **GS nosivosti**.

Na potezima visoka **uzdužnoga tlaka** mora se donja ploča prošiti stremenovima: oko 9 krakova po m², pri čemu treba svu donju armaturu obuhvatiti.

U sandukâ s više klijetaka napregnutih jakom torzijom preporučljivo je **poprečno prednapinjanje** donje ploče radi sprječavanja prekomjerna raspucavanja od toplinskih djelovanja.

Sidra poprečnih natega trebaju biti što bliže **vanjskoj** strani hrpta, a ne treba zazirati ni od vidljivih **bradavica** s vanjske strane.

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.4 Poprečne ukrute sandučastih GN

Pri uvriježenim debljinama hrptova i pojasnih ploča dostatne su ukrute radi očuvanja oblika presjeka **samo** nad potporama.

Kako bi poprečna ukruta (**prepona** iliti dijafragma) obavila svoju zadaću dosta je da bude debela 30 50 cm.

Naprezanja u preponama **ne smiju se** računati po teoriji **savijanja** štapastih nosača nego kao visokostjeni nosači ili, još bolje, po približnim postupcima.

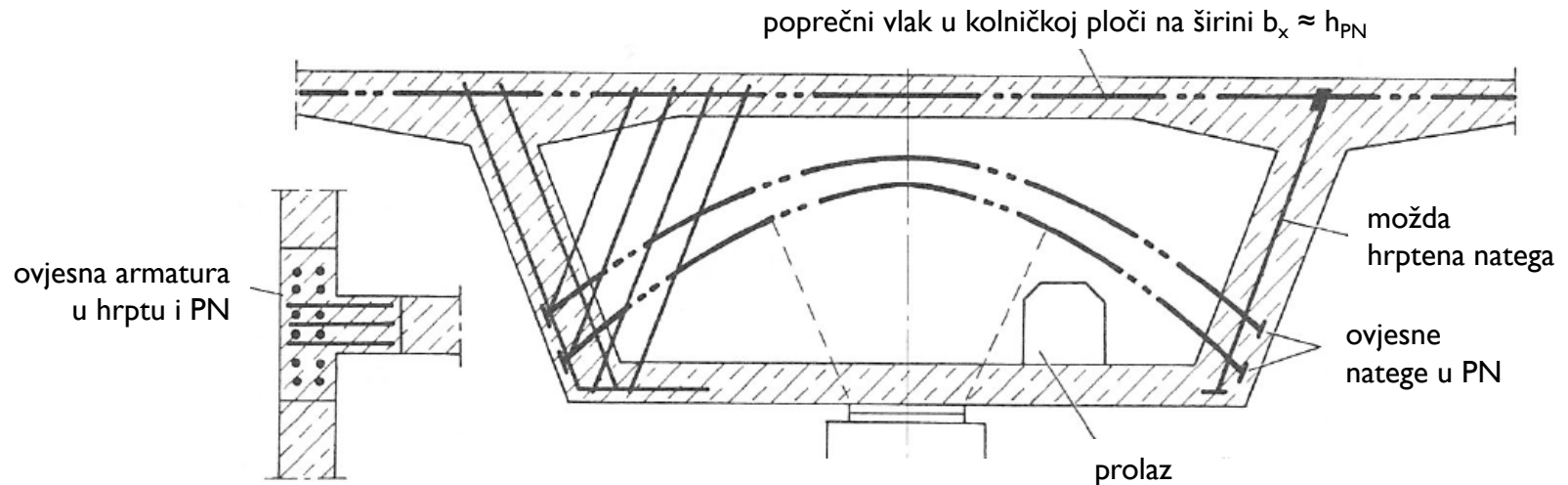
Osim ukrućivanja sanduka, zadaća je prepone prenijeti na ležajeve **sile** iz donje ploče od djelovanja vjetra, torzije i toplinskih utjecaja (npr. od zagrijavanja jednoga hrpta).

Pri neizravnom podupiranju (slika 4.1*) nužno je da prepona bude deblja (50 80 cm) jer moraju prenijeti poprečne sile iz hrptova GN na ležajeve.

Armiranje i prednapinjanje prepona zavisi u prvom redu od načina oslanjanja.

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

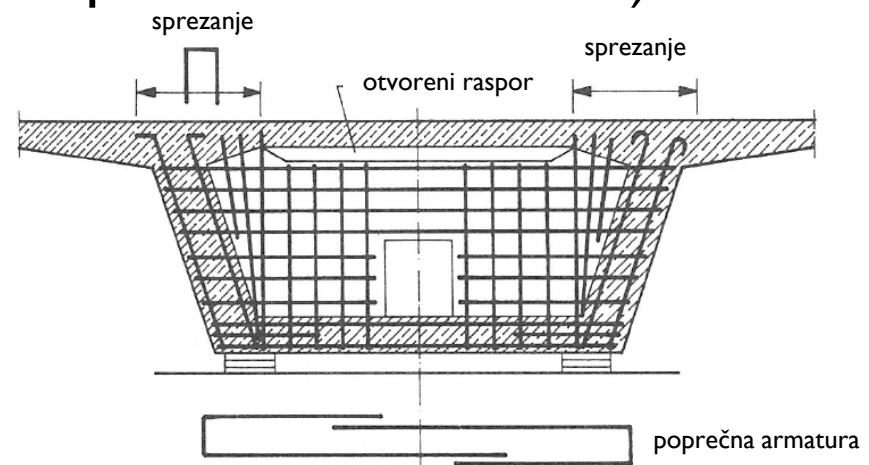
4.4 Poprečne ukrute sandučastih GN



Slika 4.1*: Armatura ili natega ležajnoga PN pri posrednom oslanjanju u osi sanduka

Pri izravnom oslanjanju (ležajevi pod hrptovima GN-a) dostatna je vodoravna armatura u obliku ukosnica koja obavija okomitu armaturu hrpta (slika 4.1*).

Donja se ploča priključuje stremenovima.



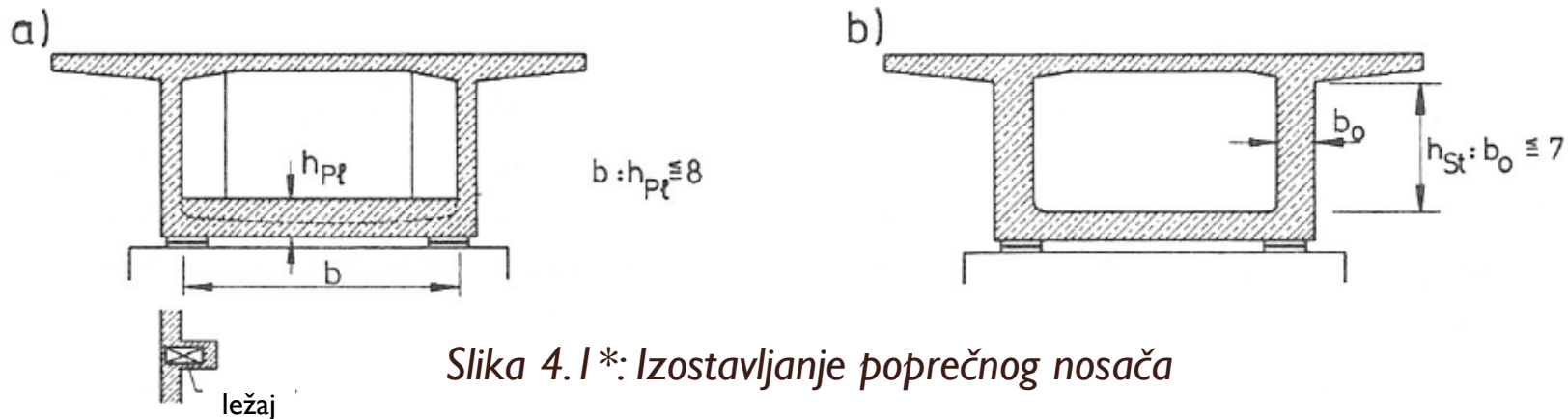
Slika 4.1*: Armatura ležajnoga PN pri ležajevima pod hrptovima

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.4 Poprečne ukrute sandučastih GN

Obično se u preponi i u donjoj ploči ostavlja otvor za prolaz i pristup ležajevima radi pregleda.

Valja spomenuti da je u slučaju debelih donjih ploča dostatno samo izvesti okomito rebro uz hrbat (slika 4.1* a), a ako su i hrptovi debeli može se odustati i od ovih rebara (slika 4.1*b).



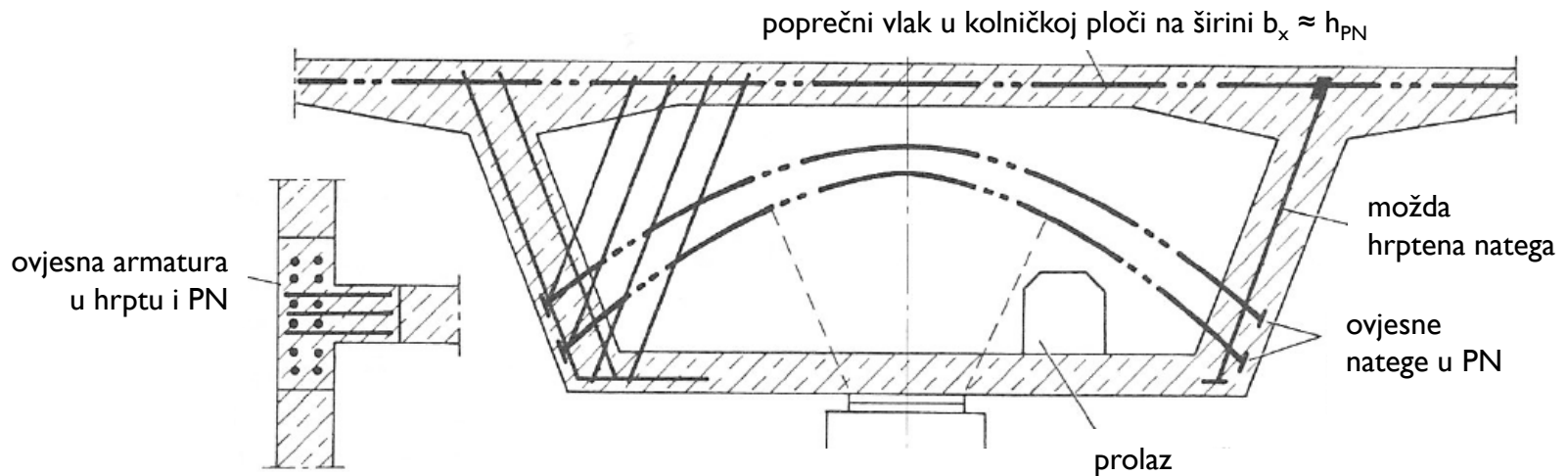
Kolnička ploča spregnuta je na potezu poprečnih vuta s preponom s pomoću ukosnica, što je dostatno za preuzimanje posmika od torzije.

Između vuta ploča može ostati nespregnuta kako bi se izbjegli negativni momenti savijanja u ploči.

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.4 Poprečne ukrute sandučastih GN

Pri neizravnom oslanjanju (ležaj u osi sanduka) uputno je dio ovješnja povjeriti zakrivljenim nategama u preponi sa sidrima blizu donjeg pojasa hrptova GN-a (slika 4.1*).



Slika 4.1:* Armatura ilili natege ležajnoga PN pri posrednom oslanjanju u osi sanduka
Međutim, natege mogu biti i u obliku pravih štapova (desni hrbat na istoj slici).

Kako pri dnu hrpta obično nema mjesta za veći broj natega, može se 40 60 % ležajne pridržajne sile bez straha preuzeti ovjesnom armaturom usidrenom u gornji pojas GN-a.

4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.4 Poprečne ukrute sandučastih GN

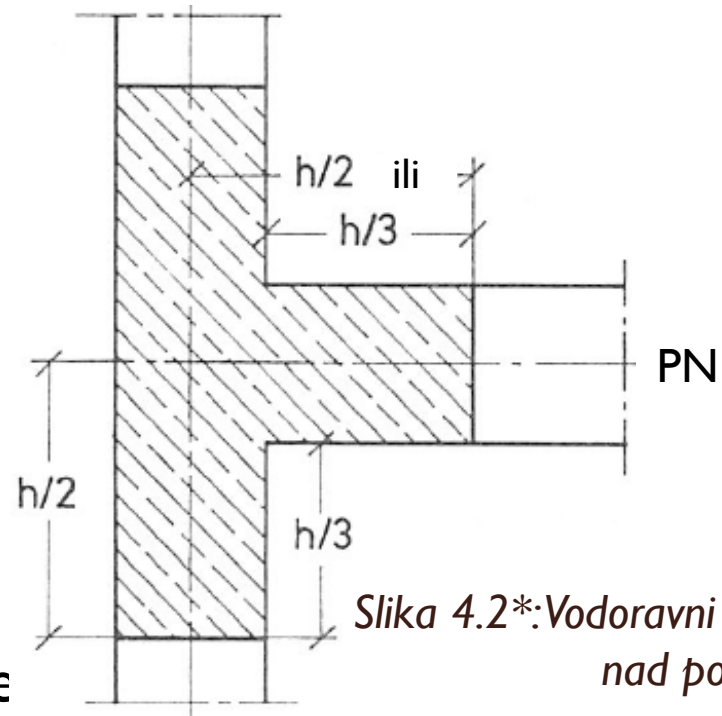
Ovu armaturu treba rasporediti po dijelu hrpta GN-a što seže na potezu predočenu na slici 4.2*, te na odgovarajućem potezu prepone.

Na ovom potezu nije potrebna dodatna poprečna armatura.

Ovdje je svrhovito da se prepona priključi na kolničku ploču po cijeloj širini, čime se poprečni vlak u gornjem pojasu prenosi na širi pojas kolničke ploče ($b_x \approx h_{PN}$).

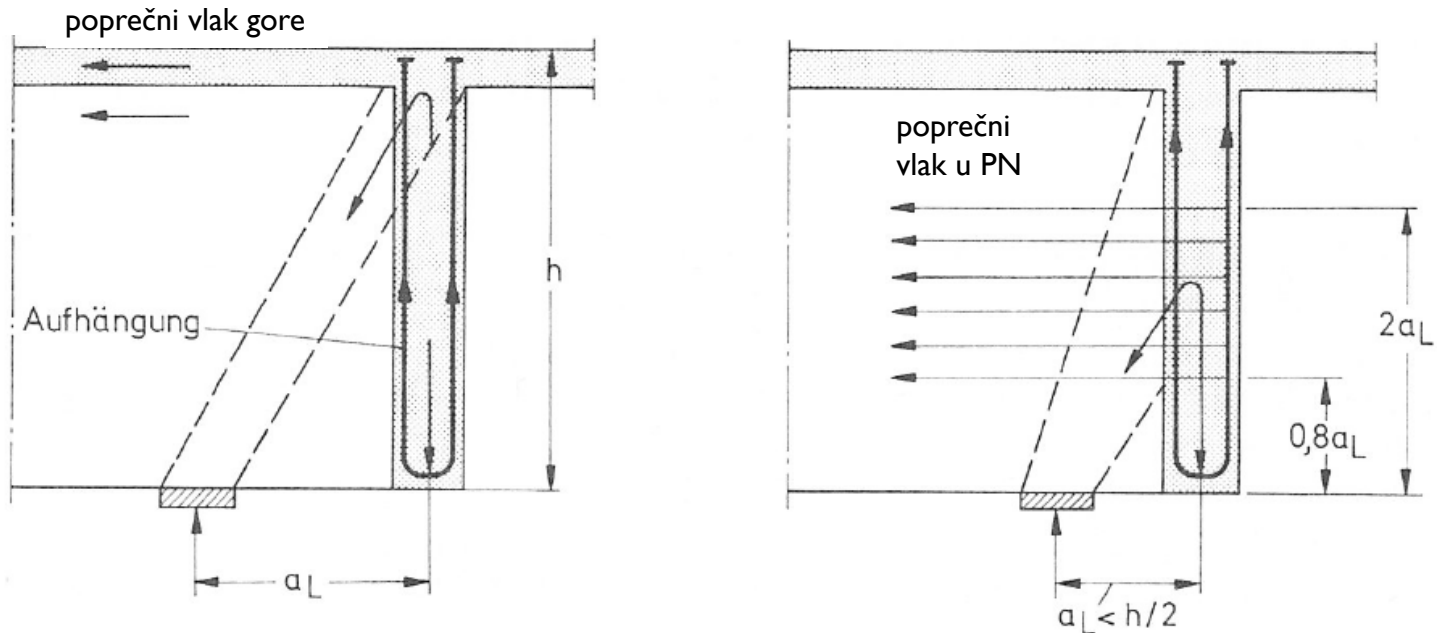
Ovdje je h_{PN} - visina prepone

Ovješnje (ovjesnu armaturu) GN-a nužno je dimenzionirati na cijelu ležajnu pridržajnu silu (reakciju) samo onda kada je: $a_L > 0,5h$ (slika 4.2* lijevo).



4 Proračun i armiranje sandučastih sklopova

4.4 Poprečne ukrute sandučastih GN



Slika 4.2*: Ovjесna i poprečna armatura pri neizravnom oslanjanju

Ako je $a_L < 0,5h$ ležajna se pridržajna sila može umanjiti množenjem stvarne sile izrazom $2a_L/h$, a u tom je slučaju nužna jaka vodoravna armatura za preuzimanje poprečnoga vlaka na potezu između $0,8a_L$ i $2a_L$ (slika 4.2* desno).

U prvom se slučaju (slika 4.2* lijevo) ta armatura smješta u gornju ploču i pri vrhu prepone.