

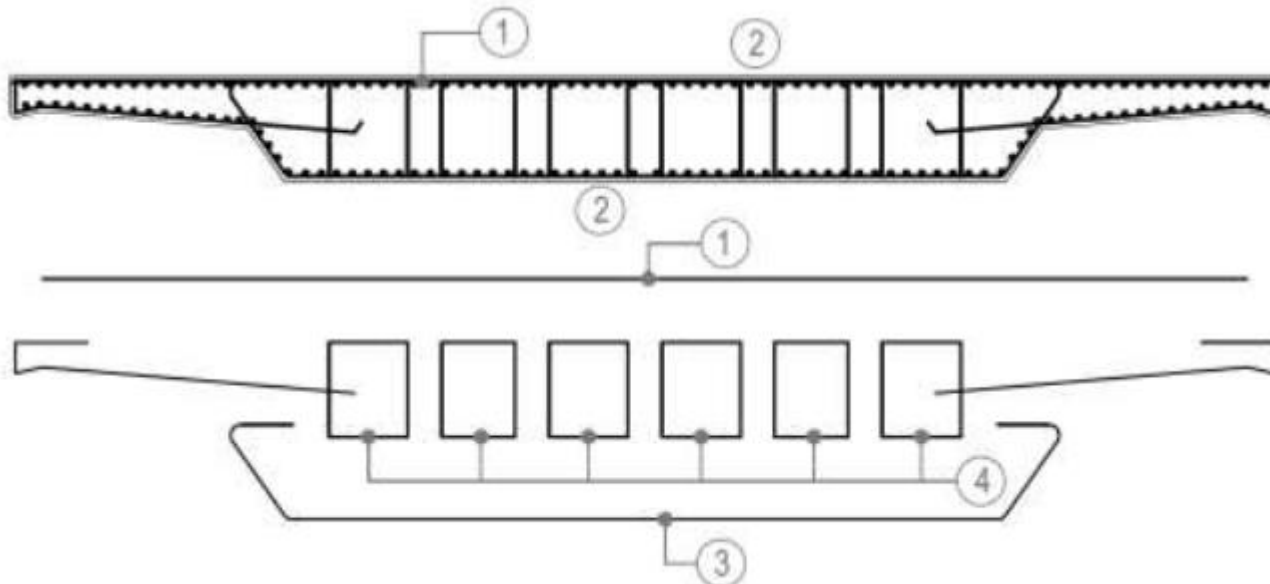
## PRINCIPI ARMIRANJA

Treba upotrebljavati tanje profile koji se ugrađuju na manjim međusobnim razmacima.

U području napona na zatezanje razmaci između profila moraju da budu manji od 15cm, a u području napona na pritisak manji od 20 cm.

Za rasponske konstrukcije nisu poželjne armaturne šipke deblje od 28 mm i tanje od 10 mm. Otvori armaturnih mreža moraju da budu  $\leq 15$  cm, a prečnik  $\geq 8$  mm.

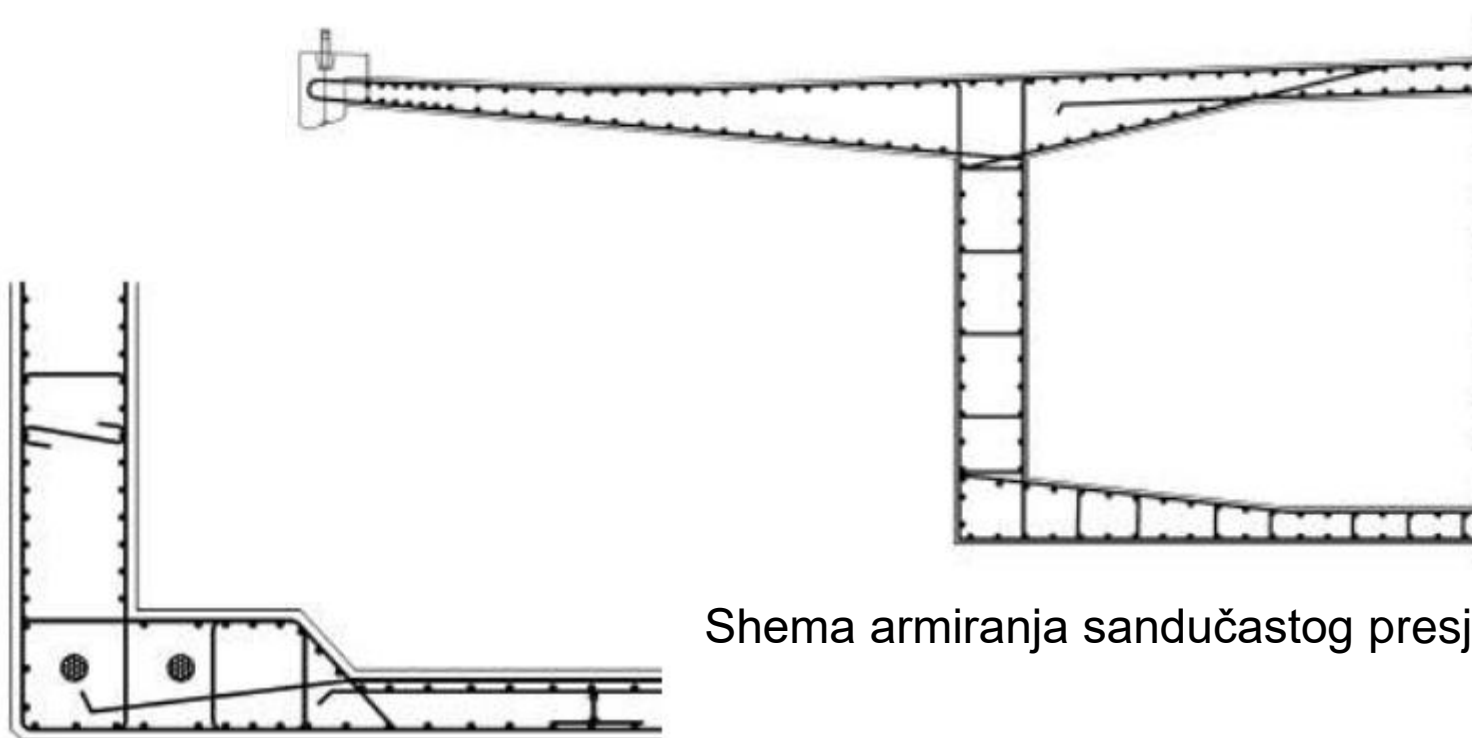
Na istim konstruktivnim elementima ne treba upotrebljavati više od 3 do 4 različita profila. Prilikom detaljnije obrade armature treba uzeti u obzir i redosled ugrađivanja.



Princip armiranja pločaste rasponske konstrukcije

Prilikom armiranja sandučastih presjeka obavezna je upotreba zatvorenih uzengija koje se preklapaju na mestima spoja donje ploče i rebara (donja ploča je obješena na rebra).

Horizontalna armatura rebara određuje se prema mogućim uzdužnim naponima koji nastaju uslijed savijanja, torzije i parazitnih uticaja (temperatura, skupljanje, nejednako slijeganje). Preporučuje se da uzengije rebara imaju profile od 14 do 20 mm na međusobnom razmaku od 8 do 20 cm



Shema armiranja sandučastog presjeka

Kod sandučastih rasponskih konstrukcija koje se grade po tehnologiji naguravanja krajevi donje ploče su zadebljani na 50 – 60 cm.

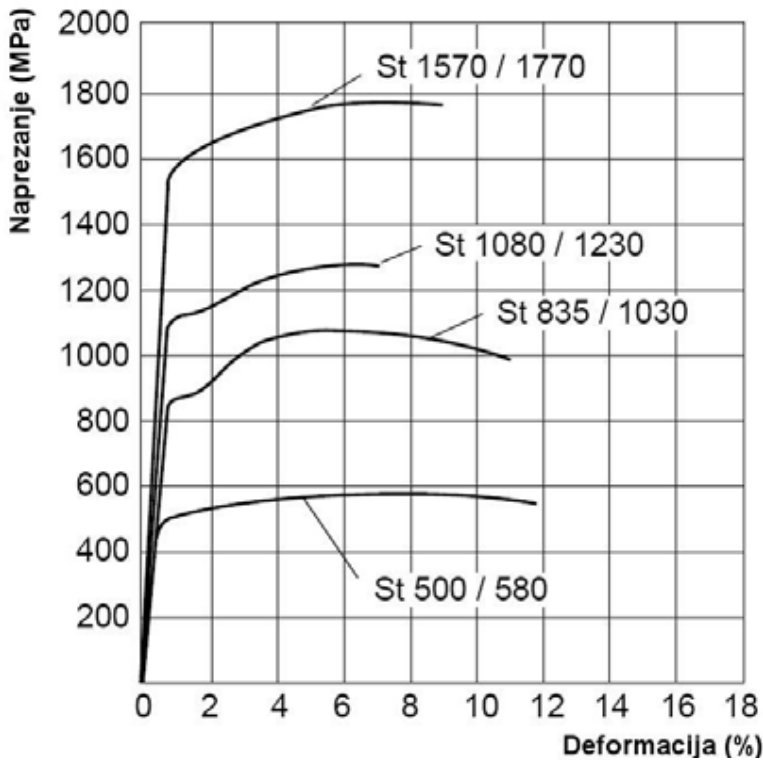
## PREDNAPREZANJE BETONSKIH MOSTOVA

Prednosti prednapregnutih konstrukcija:

- savladavanje velikih raspona uz veću vitkost i manju masu,
- povećana trajnost zbog izostanka pukotina,
- manji ugibi nosećih elemenata,
- veća otpornost na zamor zbog male varijacije naprezanja u čeliku za prednaprezanje,
- pukotine se nakon delovanja promenljivih i izvanrednih uticaja zatvaraju.

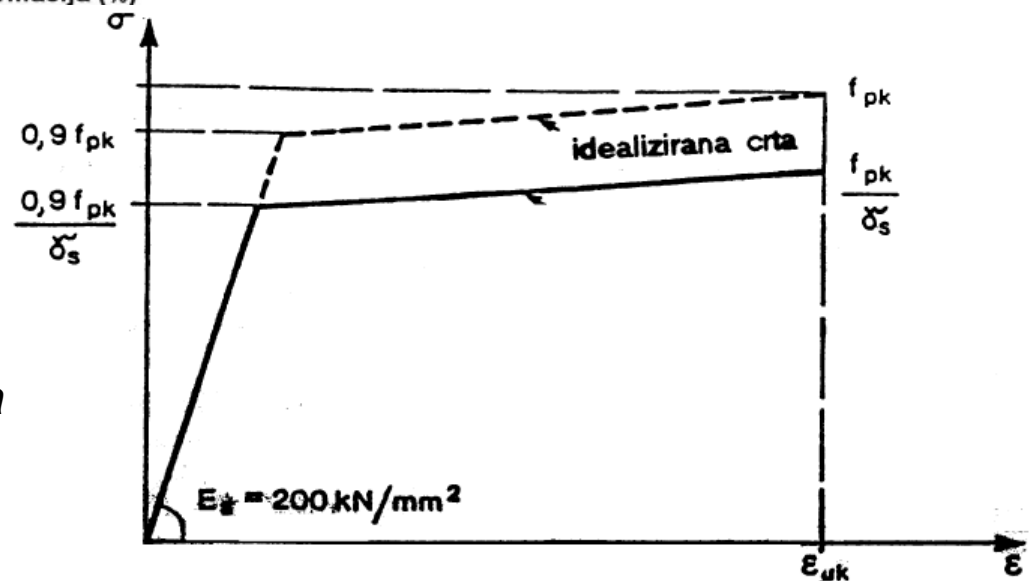
Nedostaci prednapregnutih konstrukcija:

- potrebna je stručna radna snaga zbog zahtevnijih radova,
- potrebna je posebna oprema,
- veća preciznost u projektovanju i izvođenju,
- skuplji materijal,
- posvećuje se više pažnje kvalitetu kontrole i nadzoru izrade prednapregnutog betona.



Kvalitet čelika može se opisati preko karakteristične čvrstoće na zatezanje  $f_{pk}$  i karakteristične granice naprezanja  $f_{p0.1,k}$  koja odgovara naprezanju s nepovratnom deformacijom od 0.1%.

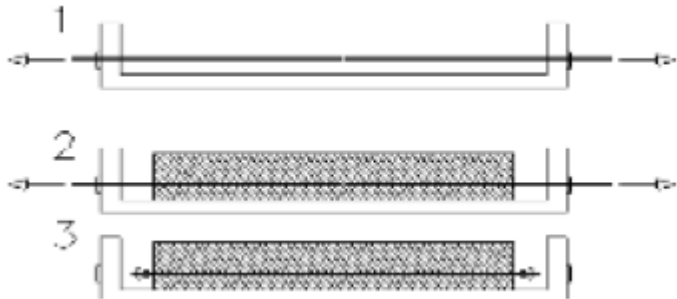
*Radni dijagrami armature i čelika za prednaprezanje*



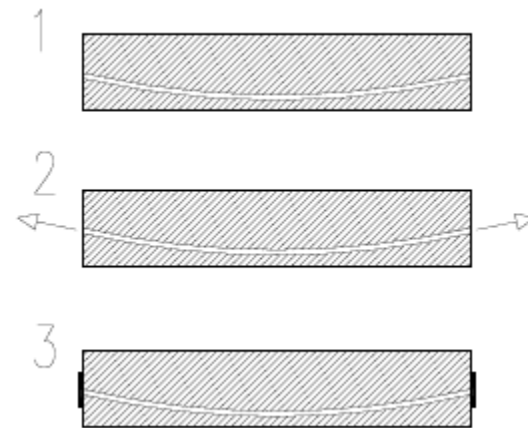
*Računski dijagram čelika za prednapinjanje*

## Prema načinu prednaprezanja razlikujemo:

- prethodno ili adhezivno prednaprezanje (naprezanje prije stvrdnjavanja betona),
- naknadno ili kablovsko prednaprezanje (naprezanje nakon stvrdnjavanja betona)



Prethodno ili adhezivno prednaprezanje



Naknadno ili kablovsko prednaprezanje

Maksimalni dopušteno naprezanje registrovano na presi  $\sigma_{p0}$  za postizanje početne sile prednaprezanja  $P_0$  ne smije preći:

$$\sigma_{p0} \leq \begin{cases} 0.80 \cdot f_{pk} \\ 0.90 \cdot f_{p0.1,k} \end{cases}$$

Neposredno nakon unošenja sile u beton i uklanjanja prese maksimalno dopušteno naprezanje, kod prednaprezanja poslije stvrdnjavanja, odnosno kod prednaprezanja prije stvrdnjavanja nakon gubitaka sidrenjem, ne smije preći:

$$\sigma_{pm,0} \leq \begin{cases} 0.75 \cdot f_{pk} \\ 0.85 \cdot f_{p0.1,k} \end{cases}$$

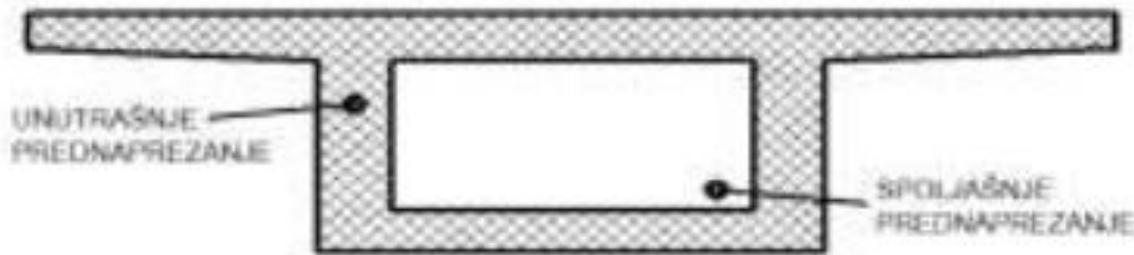
Naknadno kablovsko prednaprezanje može da bude:

- **prema položaju kablova u odnosu na betonski presjek:**

- unutrašnje prednaprezanje, kabl se nalazi u presjeku (češća upotreba) ili
- spoljašnje prednaprezanje, kabl se nalazi izvan presjeka.

- **prema sprezi sa presjekom:**

- prednaprezanje sa sprežanjem sa presjekom (postiče se ubrizgavanjem cementnom injekcijskom masom) ili
- prednaprezanje bez sprežanja sa presjekom – spoljašnje prednaprezanje (injektiranje kabla je sa mastima).



Unutrašnje i spoljašnje prednaprezanje

Sila unošenja proračunava se po izrazu:

$$P_{m,0} = \sigma_{pm,0} \times A_p$$

gdje je  $A_p$  nazivna površina kabla.

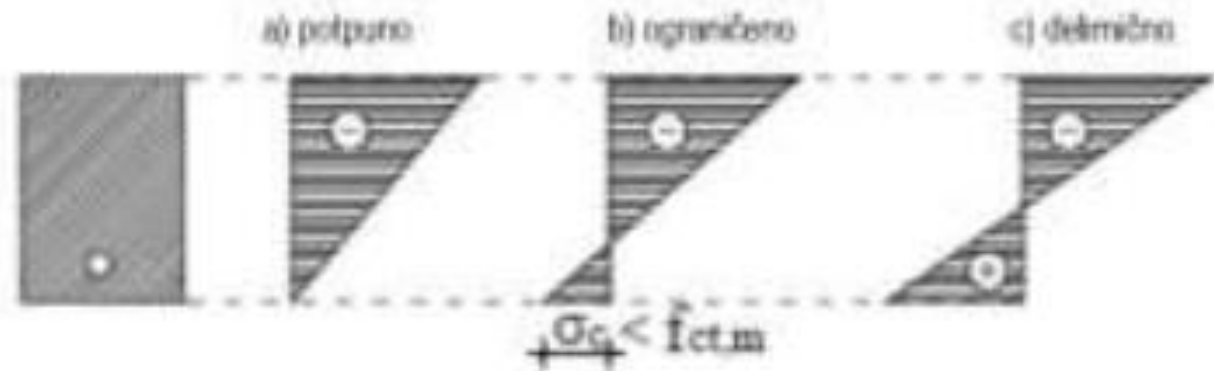


**Prema stepenu prednaprezanja** razlikujemo:

- potpuno prednapregnuti beton  $k=1$ ,
- ograničeno i delimično prednapregnuti beton  $0 < k < 1$ ,
- armirani beton  $k=0$

gde je  $k$  odnos momenta dekompresije i ukupnog momenta:

$$k = \frac{M_{dek}}{M_{g+\Delta g+q}}$$

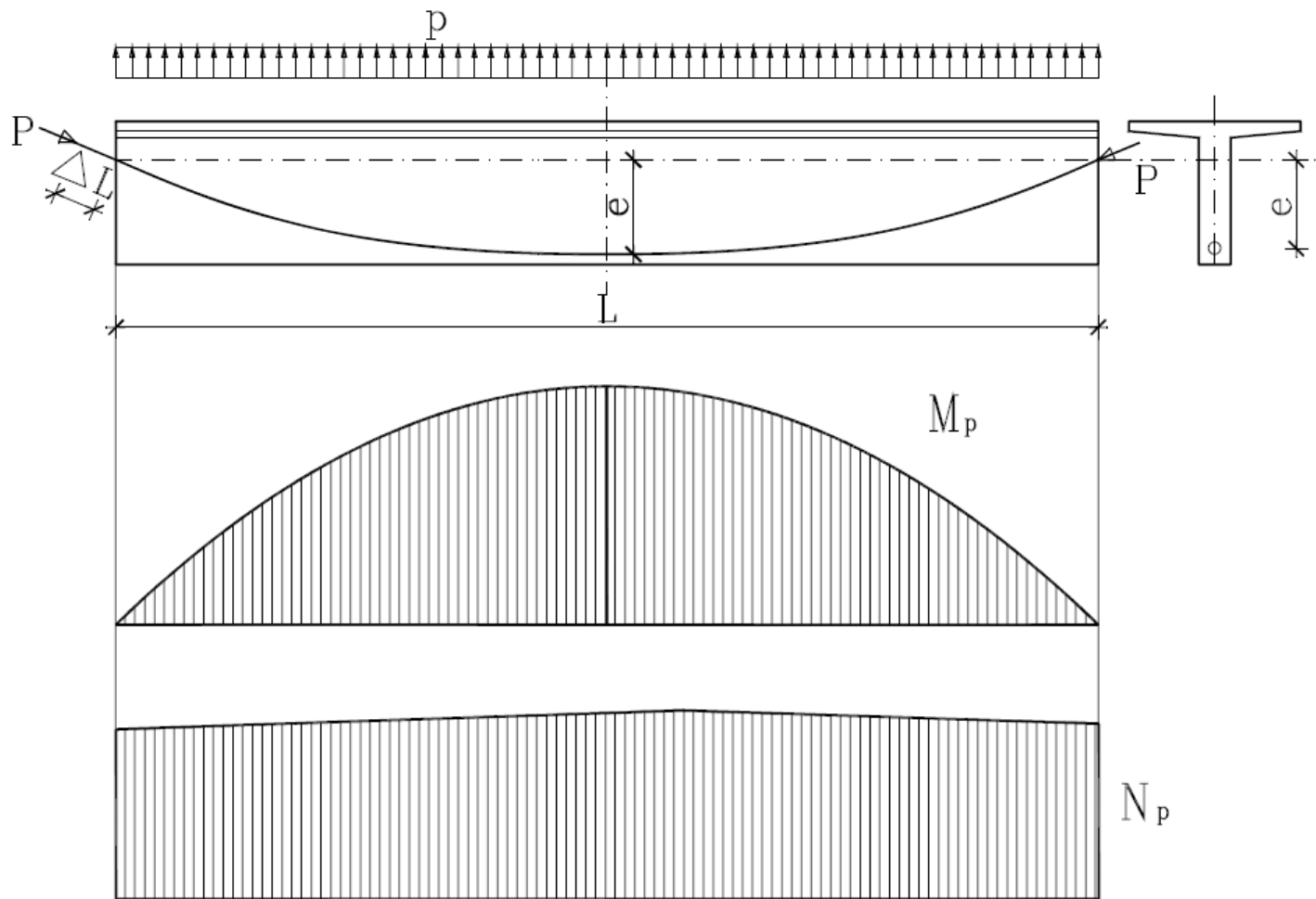


Moment dekompresije je moment savijanja izazvan spoljašnjim opterećenjem koji je po veličini i smjeru takav da na zategnutoj ivici poništava naprezanja izazvana silom prednaprezanja.

Potpuno prednapeti elementi su oni u kojima u najnepovoljnijoj kombinaciji djelovanja u betonu nema zatezanja. Za njih je stepen prednaprezanja 1.0.

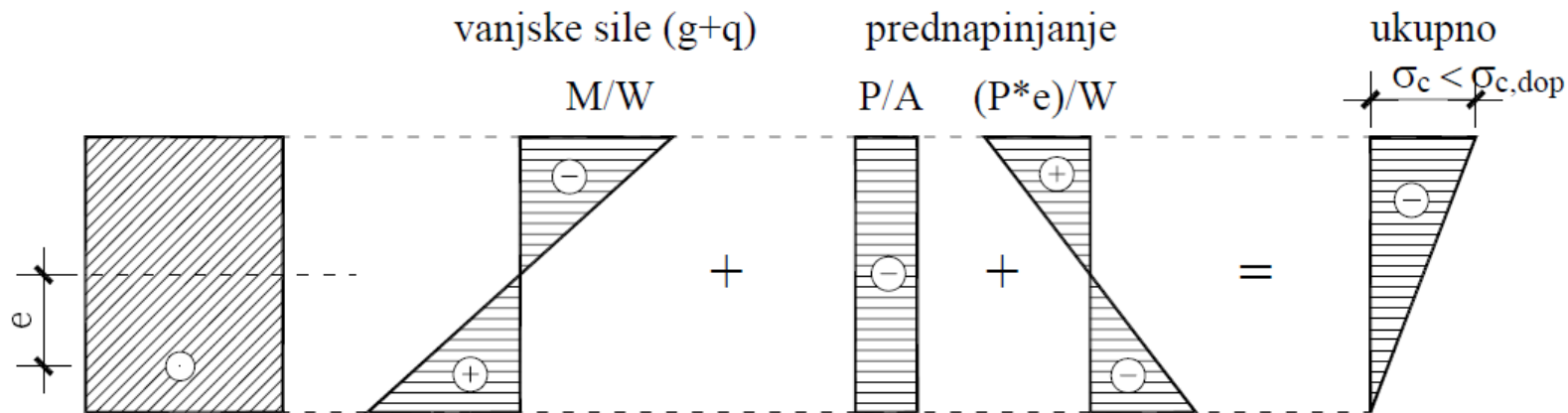
U ograničeno prednapregnutim elementima može da dođe do pojave napona zatezanja, ali koji su manji od dozvoljenih. Kod njih je stepen prednaprezanja manji od 1.0.

Kod delimično prednapregnutih elemenata pri određenoj kombinaciji djelovanja mogu da se pojave pukotine, ali njihove karakteristične širine moraju da budu manje od propisanih. Stepenn prednaprezanja im je između 0.4 i 0.7.



*Dijagrami unutarnjih sila od prednaprezanja na statički određenom sistemu*





*Dijagram normalnih naprezanja u poprečnom presjeku određuje se metodom superpozicije*

Moment od prednapinjanja na statički određenom sustavu određuje se prema:

$$M_p = P \cdot e$$

Gdje je:

P- sila u kabelu

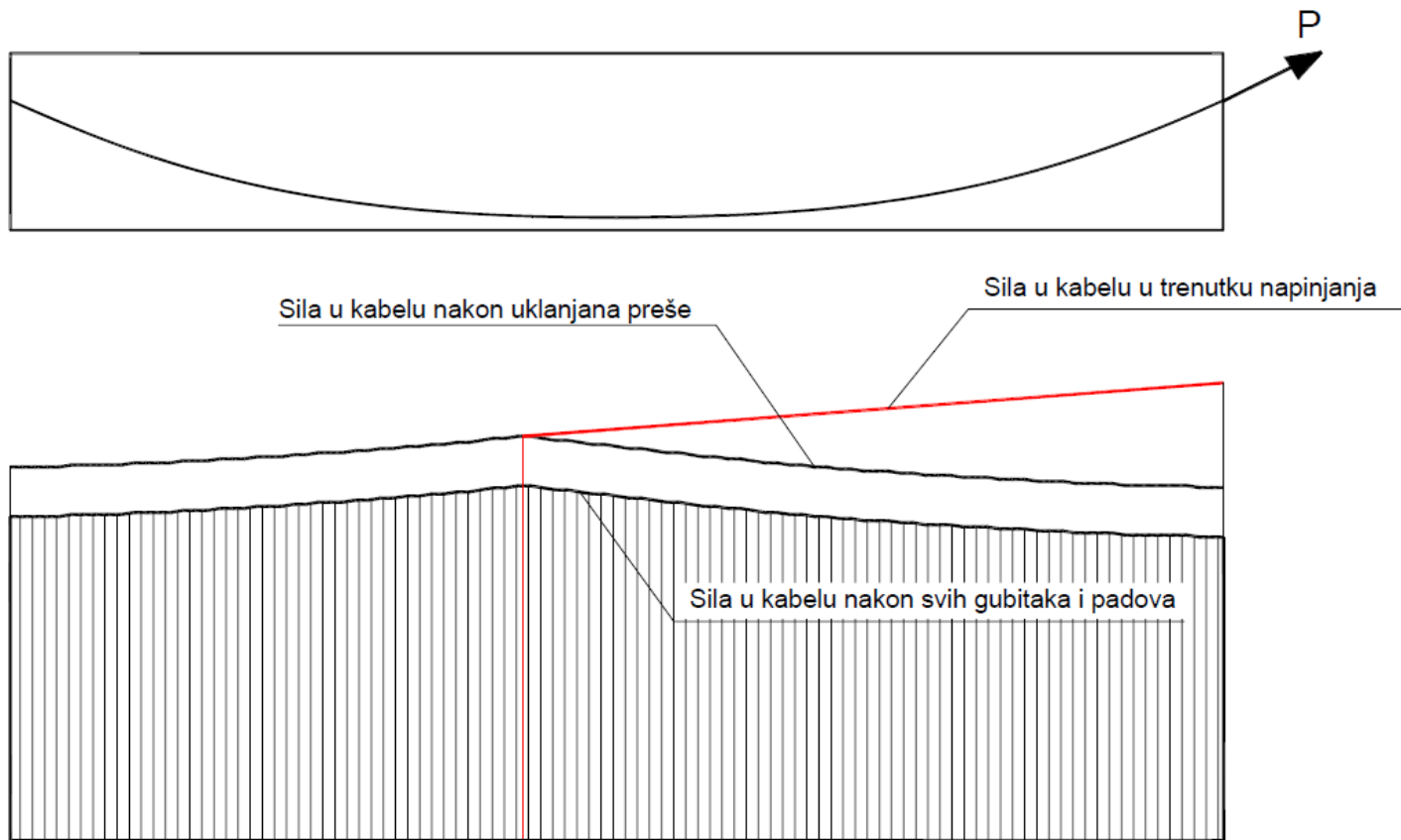
e- udaljenost težišta kabela od težišta idealnog poprečnog presjeka.

Kabel možemo promatrati kao vanjsko opterećenje. On djeluje na nosač preko skretnih sila i preko sila na sidru.

$$M_p = P \cdot e = \frac{p \cdot L^2}{8}$$

Skretna sila:

$$P = \frac{8 \cdot P \cdot e}{L^2}$$



*Dijagram sile u kabelu za slučaj prednapinjanja s jedne strane*

**Gubitak sile prednapreznja zbog trenja**

**Gubitak napreznja zbog prokliznuća klina**

**Gubitak napreznja zbog elastičnih deformacija betona**

**Pad napreznja zbog skupljanja, tečenja betona i relaksacije čelika**

## Visokovrijedni čelik za prednaprezanje

Razlikuju se tri glavne podgrupe proizvoda izrađenih od čelika za prednaprezanje: žice, užad i šipke.

Čelik za prednaprezanje obuhvaćen je normama EN 10138-;2;3;4.

Žice se označavaju:

- brojem norme EN 10138-2
- nazivom čelika koji sadrži:
- slovo y za čelik za prednaprezanje
- nazivna čvrstoća na zatezanje u MPa (1770 MPa)
- slovo C za hladno vučenu žicu
- nazivnim prečnikom žice u mm (koji se kreće od 3 do 100 mm)
- slovom I ako se radi o profilisanom čeliku

Primjer: EN 10138-2-Y1770 C-5, 0-I

Užad se označavaju:

- brojem norme EN 10138-3
- nazivom čelika koji sadrži:
- slovo y za čelik za prednaprezanje
- nazivna čvrstoća na zatezanje u MPa
- slovo S za užad
- oznakom 3 i 7 za broj žica u užetu
- slovo G označava zatvoreno uže
- nazivnim prečnikom užeta u mm (od 5,2 do 18 mm)
- razredom A ili B
- slovom I – ako se radi o profilisanom čeliku

Primjer: EN 10138-3 Y1860S7-16,0-A

# SASTAV SISTEMA ZA PREDNAPREZANJE

Sastavni delovi svakog sistema za prednaprezanje su:

- visokovredni čelik za prednaprezanje,
- kotve,
- cijevi,
- oprema za prednaprezanje.

Čelik za prednaprezanje je najčešće u sledećim oblicima:

- žica (*wire*) – je pojedinačni element od čelika  $\phi$  5 i  $\phi$  7 mm,
- užad (*strand*) je ispletena od 2, 3 ili 7 žica,
- kabl (*tendon*) – pojedinačni – predstavlja užadi ili žica objedinjene u cijevi,
- grupa kablova (zatega) (*cable*) – upotrebljava se kod spoljašnjeg prednaprezanja,
- šipka (*bar*) je pojedinačna čelična šipka čiji je prečnik daleko veći od prečnika žice.

Za prednaprezanje objekata dozvoljava se upotreba čelika koji ima karakterističnu otpornost na zatezanje  $f_{p,0,1k}/f_{pk} = 1670/1860$  MN/m<sup>2</sup> ili  $f_{p,0,1k}/f_{pk} = 1570/1770$  MN/m<sup>2</sup> u skladu sa tehničkim odobrenjem sistema za prednaprezanje.

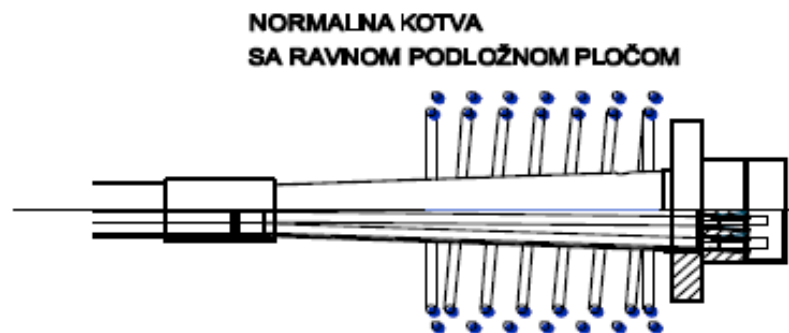
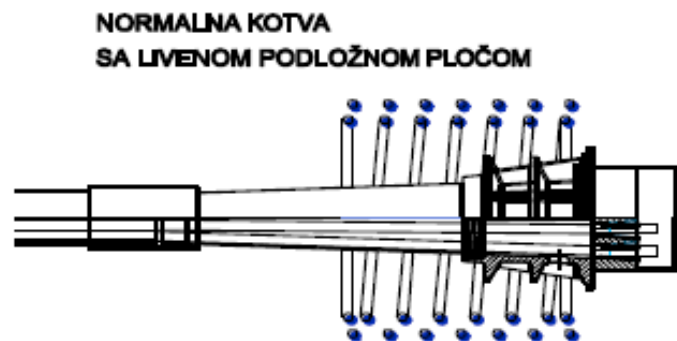
Za prednaprezanje AB objekata mora da se upotrebi čelik sa niskom relaksacijom koja iznosi 2,5 % gubitaka nakon 1000 sati, odnosno u konačnoj vrednosti  $3 \times 2,5 \% = 7,5 \%$  gubitaka od 500.000 sati. Bez obzira na certifikate proizvođača čelika, u Projektima mora da se uzme u obzir vrednost od 7,5 %.

Kod upotrebe svih sistema za prednaprezanje (SPB SUPER, BBR, Dywidag, Freyssinet) i drugi certifikovani sistemi, mora da se dokaže kompatibilnost svih sastavnih elemenata sistema za prednaprezanje.

## Kotve

Prema funkciji koju obavljaju kotve su podeljene na:

- normalne (aktivne i pasivne) kotve,
- fiksne kotve i
- kotve za produžavanje.

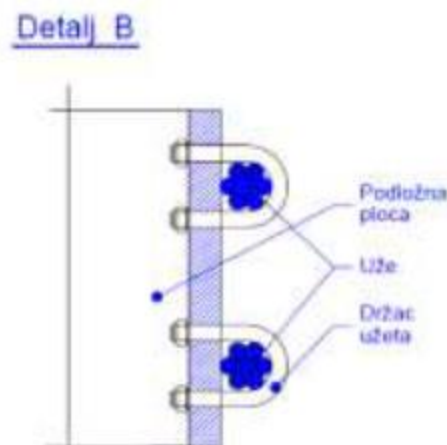
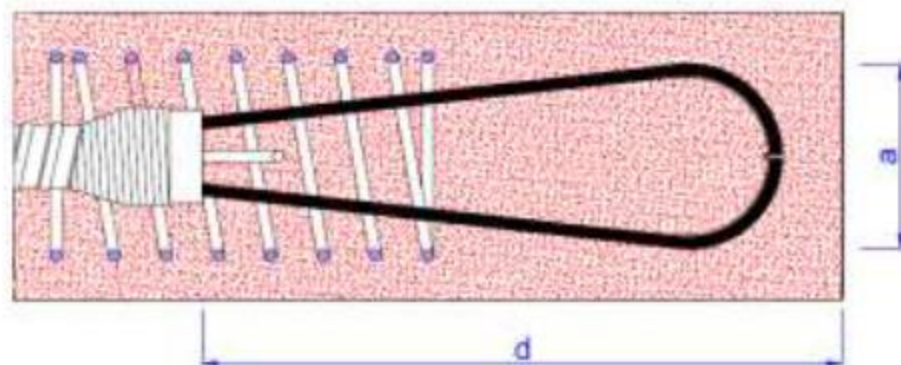
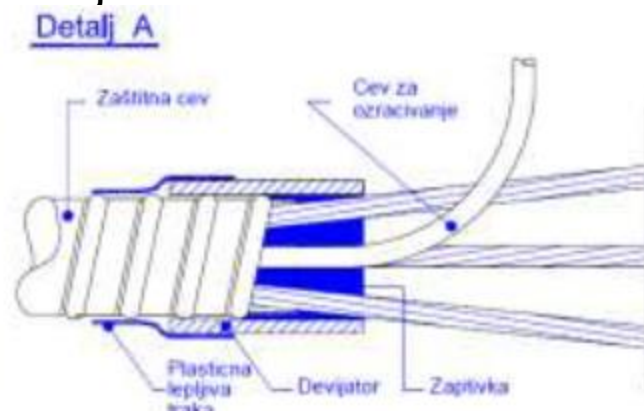
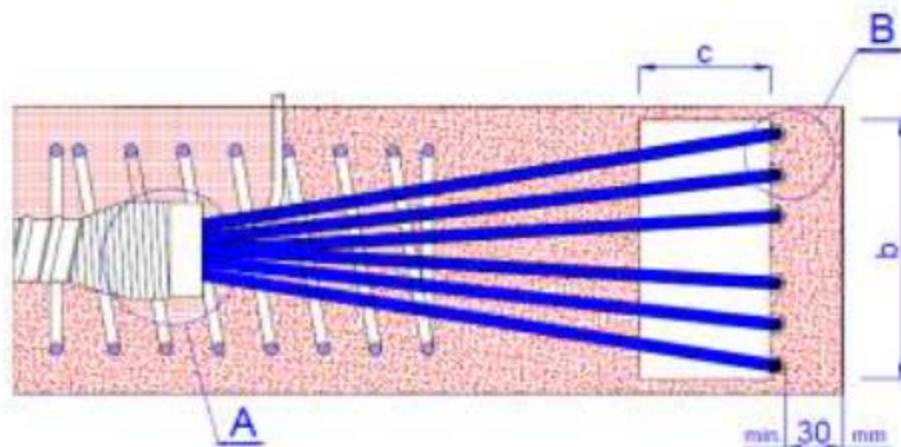


Normalna kotva – aktivna ili pasivna

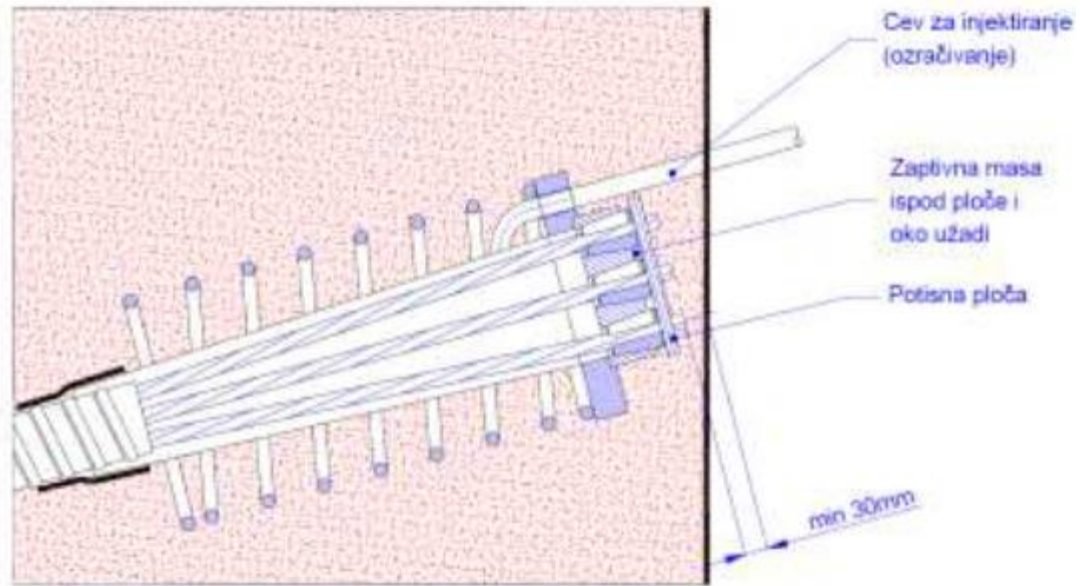
Normalna kotva je aktivna kada se preko nje vrši prednaprezanje kabla, a pasivna kada ima ulogu fiksne kotve.

Fiksna kotva se koristi kada je moguće prednaprezanje sa jedne strane i kada za to postoje statičko-konstruktorski uslovi. Njena cijena je znatno niža.

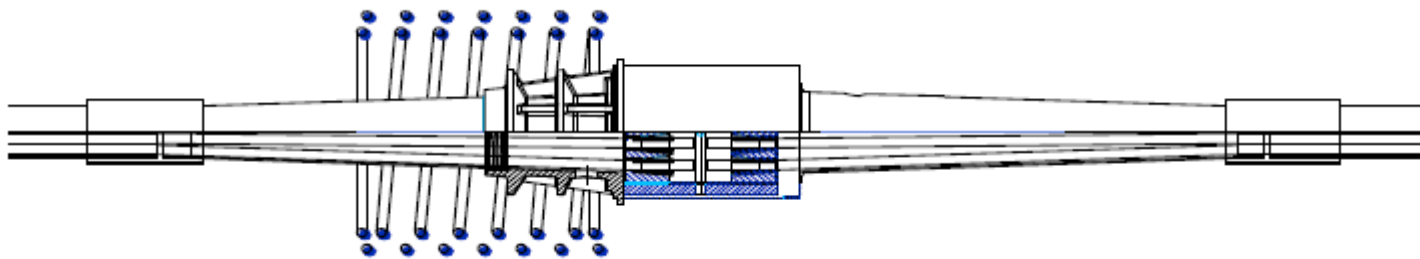
Kotva za produžavanje služi za produžavanje već prednapregnutog kabla ili za produžavanje kabla koji će tek da se prednapreže. Obično se produžavaju kablovi istog tipa ali je moguća i redukcija sa većeg na manji.



Fiksna kotva sa previjanjem užadi



Fiksna kotva kao normalna



Nepomična kotva za produžavanje



## **Cijevi**

Sprovođenje kablova kroz konstrukciju može da se vrši preko kanala i otvora ostavljenih u betonu na bilo koji način.

Kablovi se najčešće postavljaju u zaštitne cijevi koje mogu da budu:

- rebraste od tankog lima,
- glatke metalne tankih zidova,
- rebraste plastične i
- glatke plastične.

Postoji tendencija da se za kablove upotrebljavaju plastične cijevi.

## **Oprema za prednaprezanje**

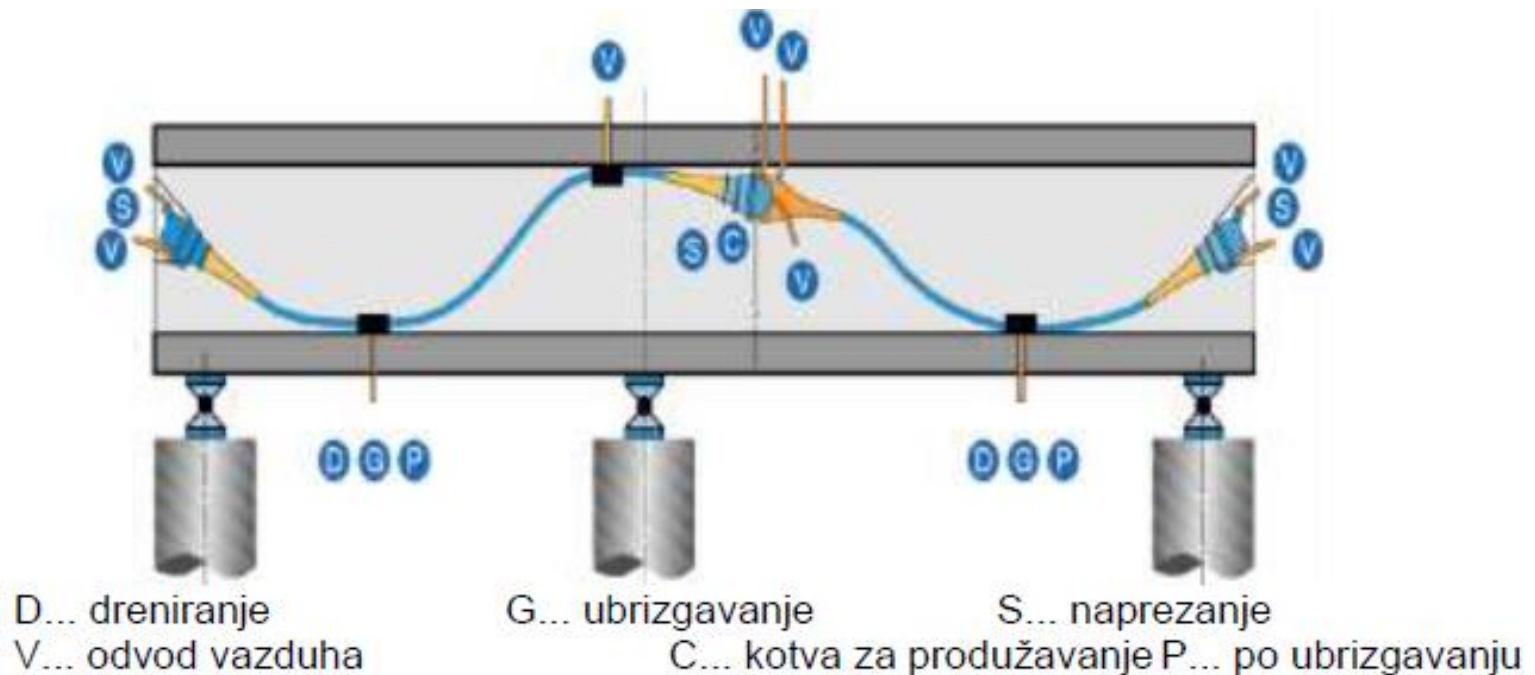
Oprema za prednaprezanje se sastoji od, presa i pumpi, te od opreme za zaštitu kablova.

Prese i pumpe treba da budu racionalno usaglašene sa tipovima kablova i zavise od veličine sile kabla, broja i prečnika užadi ili žica. Sinhronizovanim radom prese i pumpe obavljaju se sve radne operacije: hvatanje, istezanje, zaklinjavanje, vraćanje prese u početni položaj i oslobađanje zahvata.

## Tehnologija izrade, montaže i zaštite kablova

Treba se pridržavati sljedećih vremenskih intervala bez dodatnih zaštitnih mjera:

- kod kablova, koji su izrađeni u fabrici: do 12 nedelja između izrade i injektiranja
- kod kablova, koji se izrađuju na gradilištu: do šest nedelja između postavljanja kablova u konstrukciju i injektiranja.



Šematski prikaz djelova kabla i postupka naprezanja i ubrizgavanja

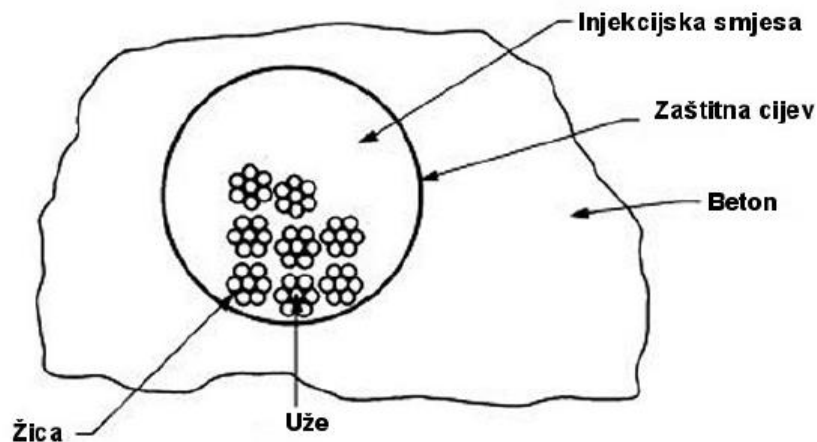
Cementna smesa smrzava se na temperaturi između  $-2^{\circ}\text{C}$  i  $-5^{\circ}\text{C}$ . Da bi se izbjeglo smrzavanje injekcionu masu treba održati na  $+5^{\circ}\text{C}$  tri naredna dana poslije injektiranja.

Na niskim temperaturama treba koristiti specijalne aditive za smjesu i grijanjem obezbjediti uslove za njeno očvršćavanje. U regionima sa temperaturama iznad nule u većem delu godine ne treba da se vrši zaštita kablova kada je temperatura ispod  $-5^{\circ}\text{C}$ .

U oblastima sa niskim temperaturama problem zaštite mora da bude posebno ispitan i riješen.

Cjevčice za ubrizgavanje služe da cementna smjesa pumpanjem ispuni sav slobodni prostor u cijevima, kotvama i poklopcima.

Cjevčice za odvod vazduha su potrebne da bi vazduh, voda i deo emulzije mogao da izađe napolje. Najmanji unutrašnji prečnik ovih cjevčica treba da bude 20 mm i da imaju mogućnost zatvaranja (zaptivanja) tokom ubrizgavanja.

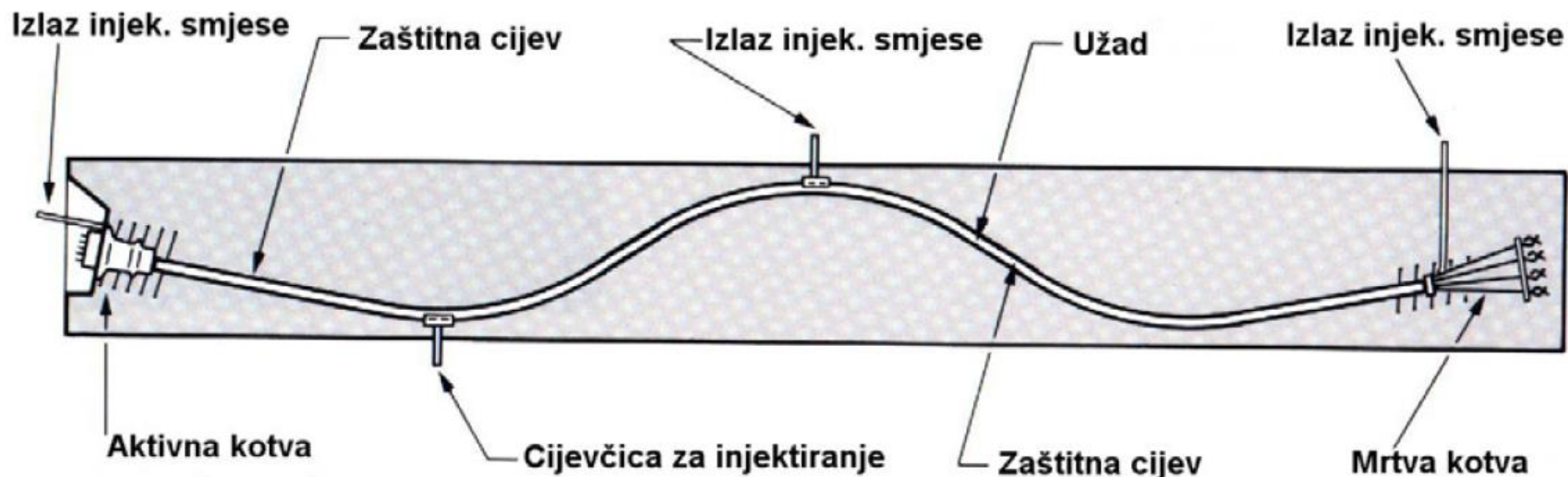
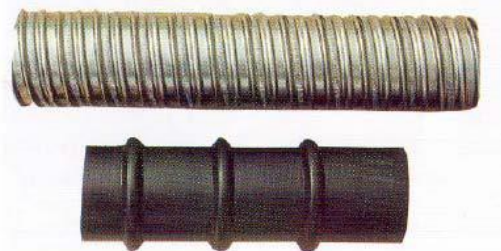


Svojstva cementnog morta za injektiranje u postupku potvrđivanja sukladnosti ispituju se normiranim

postupcima (HRN EN 446). Ispituju se:

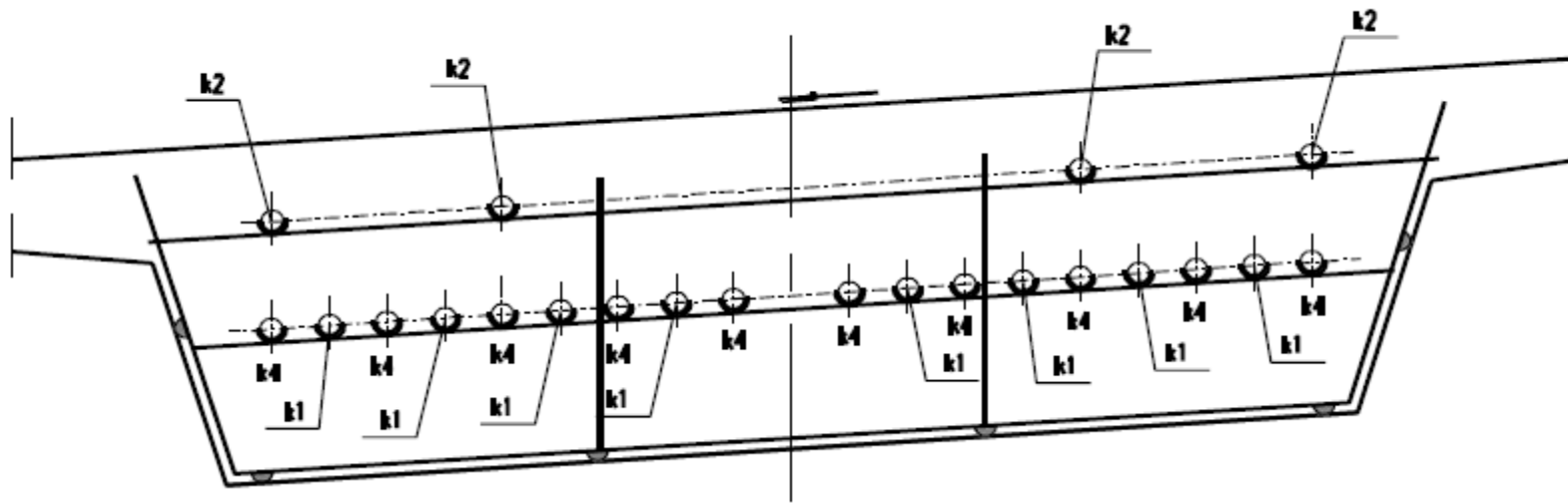
- kohezija,
- izlučivanje vode,
- promjena volumena,
- čvrstoća

*Poprečni presjek kabela za prednaprežanje*

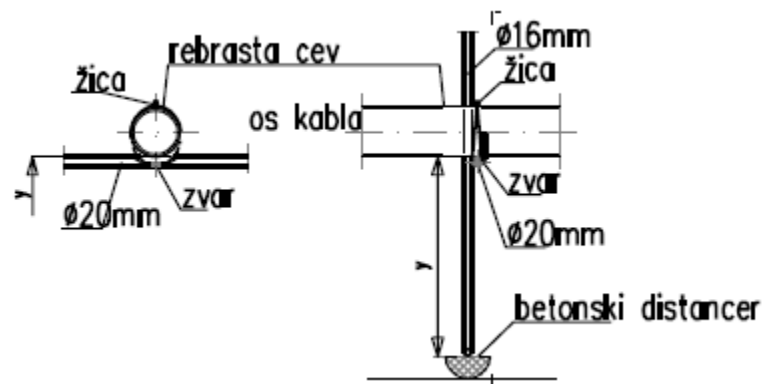


*Uzdužni presjek prednapregnute grede*

## Nosač kablova



Nosači kablova su nezavisni od armaturnih koševa. Ugrađuju se na razmacima koji sprečavaju lokalne deformacije kablova (oko 1,0 m). Prečnik armature za nosače kablova zavisi od težine kablova, a mora da bude takav da sprečava pojavu izvijanja (uklona) i deformacija (za visinu do 1,0 m iznad oplatae  $\phi$  16, a za visine veće od 1 m  $\phi$  20 mm). Odstojanje nosača kablova od oplatae reguliše se distancerima na isti način kao i kod armature. Kod nosača kablova zaštitni sloj mora da bude isti kao i kod armature.



Detalj nosača kablova

Potrebno je da se provjere svi elementi opreme za prednaprezanje i sve faze u postupku prednaprezanja :

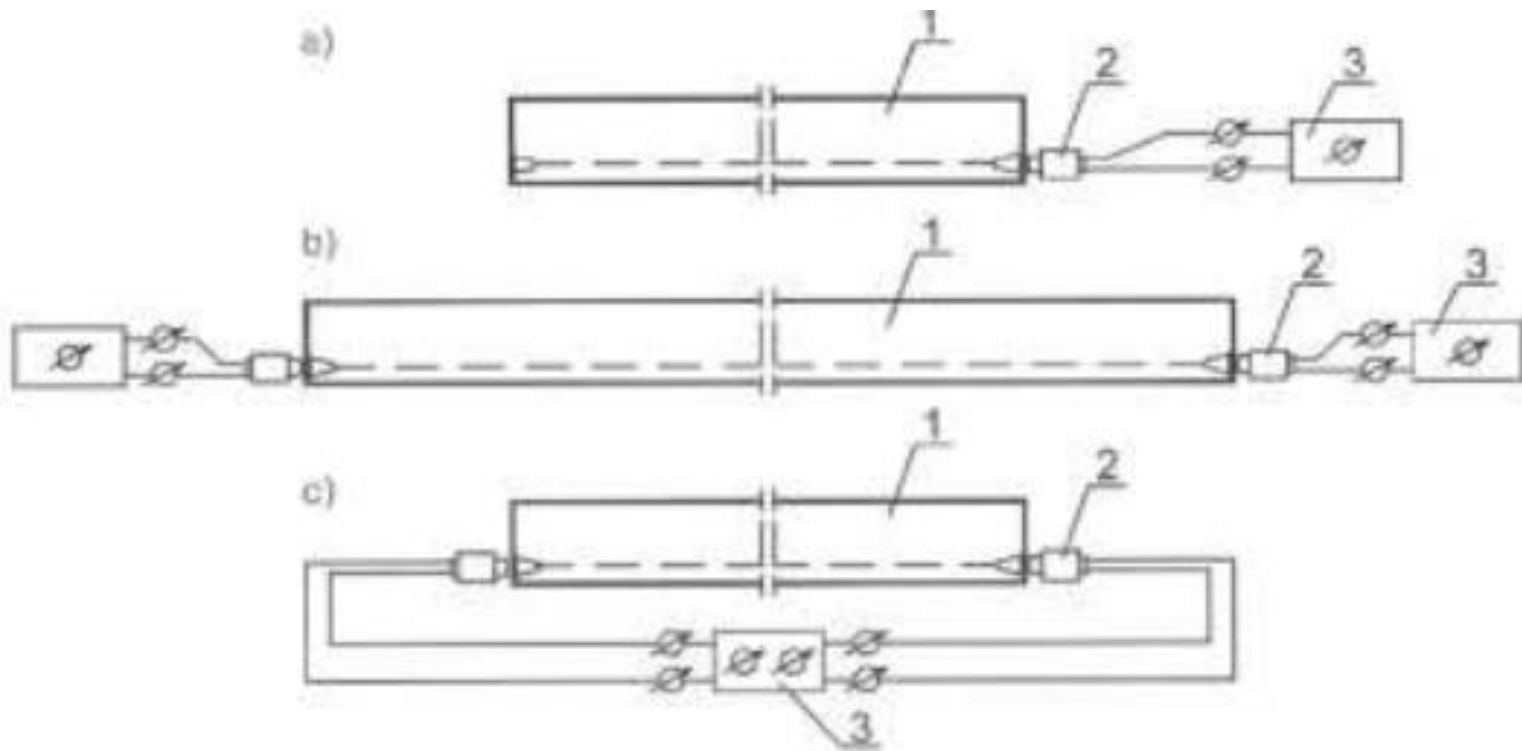
- visokovrijedni čelik i smjesa za ubrizgavanje treba da se kontroliše prema odgovarajućim važećim propisima;
- kotve za ankerisanje i prednaprezanje treba da se kontrolišu prema nostrifikovanom atestu sistema za prednaprezanje;
- kontrola cijevi se vrši uz primjenu atesta proizvođača,
- prese i pumpe za prednaprezanje treba da se kontrolišu prema nostrifikovanom atestu proizvođača prese na svakih šest meseci.

Primjenjuju se tri načina prednaprezanja:

- jednostrano prednaprezanje,
- dvostrano prednaprezanje sa nezavisnim pogonom prese i
- dvostrano prednaprezanje sa zajedničkim pogonom prese.

Koji od tri načelno različita načina prednaprezanja će se upotrebiti, zavisi od:

- dužine kabla,
- oblika osovine kabla,
- otpora trenja i
- mogućnosti uređaja za prednaprezanje.



### Šema načina prednaprezanja

Prenaprezanje može da se izvodi naizmenično, jedna polovina kablova sa jedne strane mosta, a druga polovina kablova sa druge strane. Time se postiže veći učinak prednaprezanja i smanjuje se uticaj pada sile zbog trenja i smanjenja sile prednaprezanja zbog uvlačenja klina.

Dvostrano prednaprezanje se upotrebljava u slučaju izrazito dugih i jače zakrivljenih kablova.

Dvostrano prednaprezanje može da se vrši presom nezavisnom ili zajedničkom pumpom sa svake strane kablova. Koja od ove dve mogućnosti će biti izabrana zavisi od tehničkih karakteristika prese, a naročito od raspoloživog hoda klipa prese

## Konstruktivna rešenja i detalji

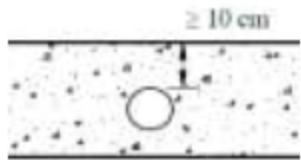
Karakteristike sistema prednaprezanja su sastavni deo analize statičke i dinamičke stabilnosti, kao i crteža i detalja noseće konstrukcije mosta.

Kablove za prednaprezanje treba projektovati tako da tokom celog vijeka eksploatacije konstrukcije ispunjavaju svoju funkciju.

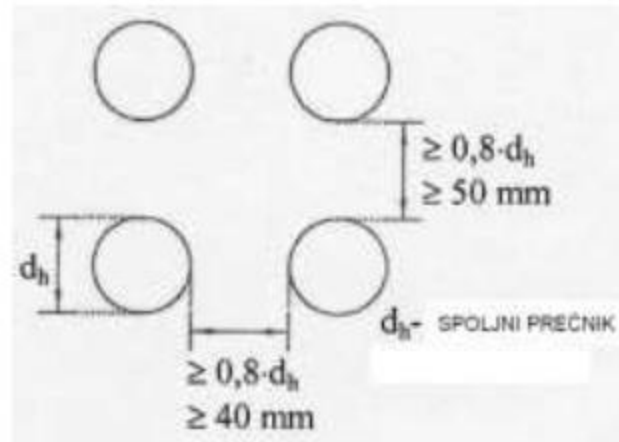
Za prednaprezanje glavnih nosača nosećih konstrukcija primenjuju se kablovi sa silama prednaprezanja od 1000 kN do 5000 kN.

U jednom nosaču treba projektovati najmanje tri kabla da otkazivanje jednog od kablova ne bi ugrozilo stabilnost mosta.

Najmanja udaljenost od spoljne površine kabla do spoljne površine betona nosećeg elementa je 10 cm. A za poprečne kablove u kolovoznoj ploči treba postaviti u sredinu preseka.



Udaljenost kabla od površine betona



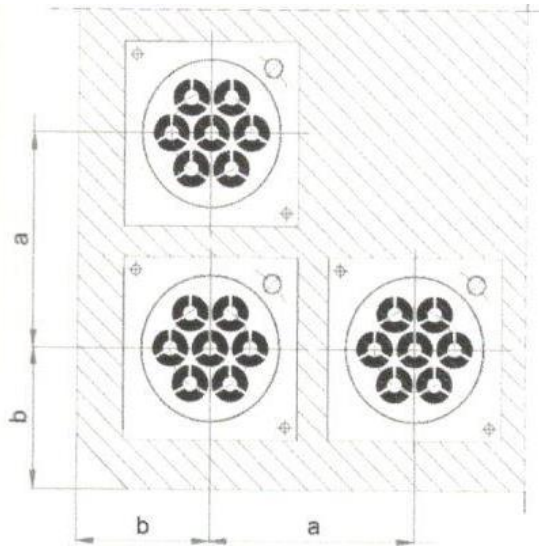
Razmak među kablovima







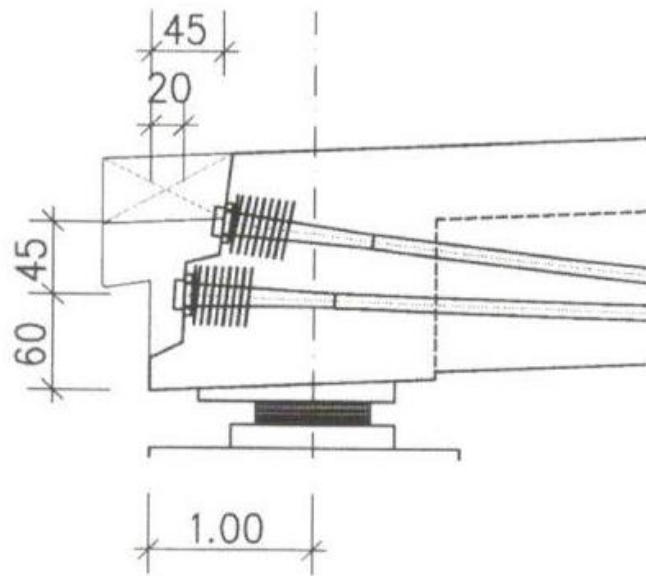
Slika 4.38  
*Armatura i kablovi  
armirano betonskog*



Slika 4.39  
*Položaj kotvi na čelu nosača*



Slika 4.40  
*Detalj kotve za nastavljjanje kablova*



Slika 4.41  
*Kraj nosača*

Nastavljanje kablova sa nastavnim kotvama po pravilu treba izbjegavati. Bolje je upotrebljavati preklope ili dugačke kablove u jednom komadu. U svakom presjeku nosećeg elementa mora biti najmanje 50 % neprekinutih kablova.

Kraj rasponske konstrukcije treba da bude najmanje 100 cm prepušten konzolno preko ose podupiranja (ležišta), kako ne bi sile prednaprezanja uticale na potporne sile i da se omogući pravilno armiranje za prijem rascjepnih sila.

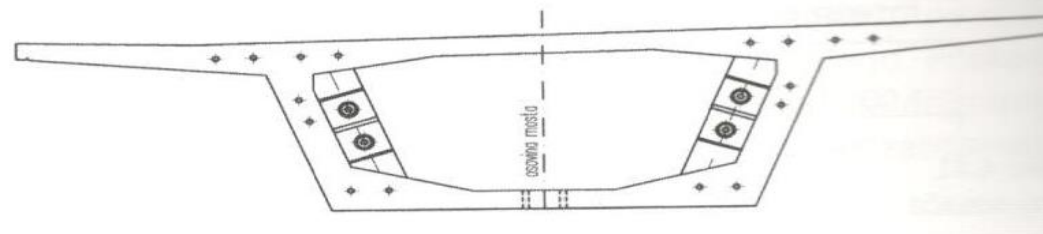




Slika 4.42

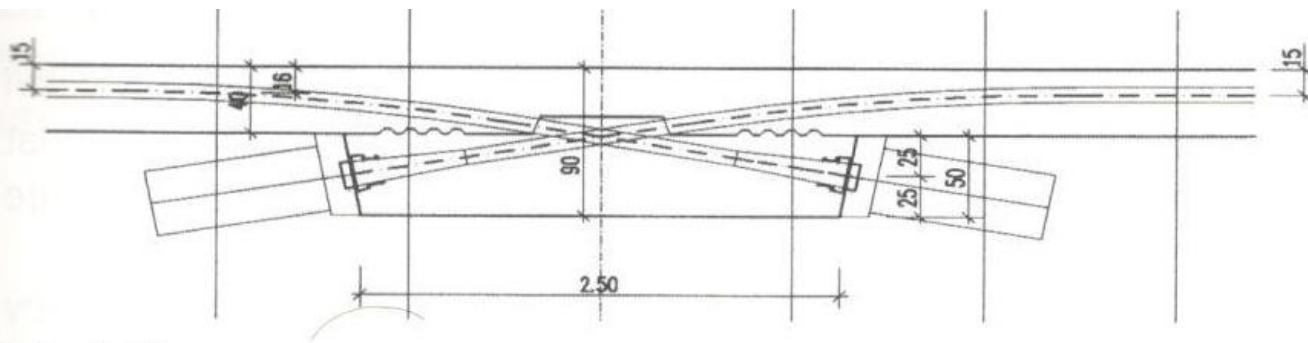
Odsjek građen na skeli metodom polje za poljem

**Kod građenja mostova metodom postupnog potiskivanja** postoje specifičnosti u pogledu vođenja kablova u sandučastoj rasponskoj konstrukciji mosta. Obično se projektuju dvije grupe kablova. Prva faza kablova preuzima sva opterećenja kod naguravanja. A druga faza dodaje i preuzima sva dodatna opterećenja u fazi eksploatacije. Za prvu fazu projektuju se po pravilu ravni kablovi pa je presjek centrično prednapregnut. Najviša iskorištenost se dobije ako se kablovi predvide u gornjoj i donjoj ploči sanduka. Polovina tih kablova završava se na kraju segmenta građenja a druga polovina proteže se do sljedeće radne spojnice. Tako se zadovolji uslov prelaženja bez prekida najmanje 50% kablova preko radne spojnice. Prekinuti kablovi se nastavljaju kotvama za nastavljanje i prednaprežu jednostrano. Druga faza kablova se ugrađuje tek kad je most naguran u konačan položaj. Ti kablovi slijede opterećenju mosta i postavljaju se u rebrima po liniji parabole. Za duže mostove treba predvidjeti dodatna sidrišta za preklope (nastavke) kablova. Na sidrištu se kablovi sa jedne strane mosta preklope sa kablovima s druge strane. Dužina kablova je oko 100 m. Na sidrištima se kablovi zbog velike dužine obostrano prednaprežu jedan po jedan sa svake strane.



Slika 4.43

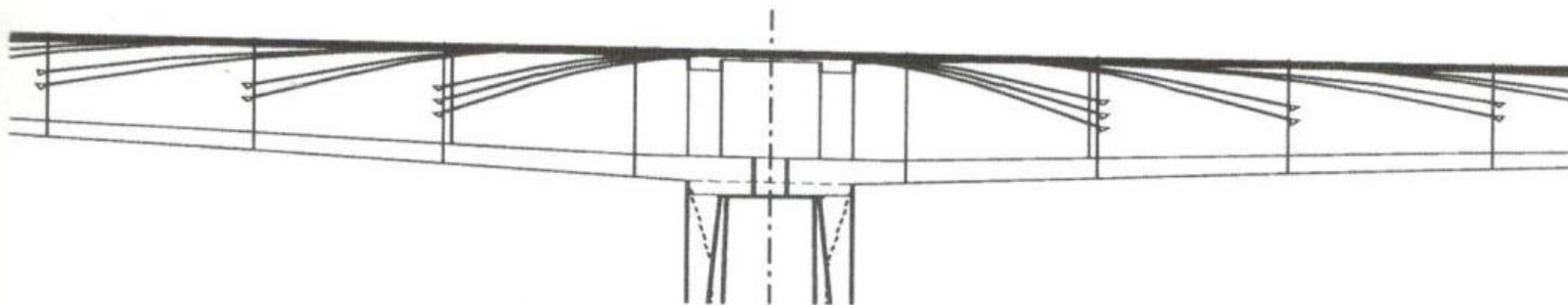
Ojačanje presjeka na mjestu sidranja (preklopa) kablova



Slika 4.44

*Tlocrt ojačanja presjeka za preklapanje kablova*

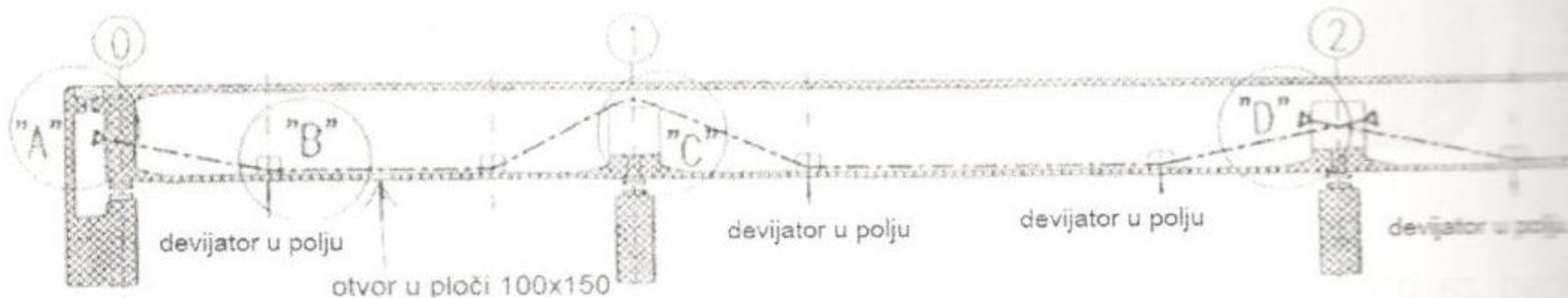
**Postupak proste konzolne gradnje prednapregnutih mostova** koristi se za rasponske konstrukcije velikih raspona. Na izgrađenom stubu se izvede bazni dio tzv. „sto“. Dalja gradnja se nastavlja simetričnim lamelama dužine oko 5,00 m pomoću prenosne čelične skele – krletke. Po postupku konzolne gradnje sinhronizovano se ugrađuju i prednaprežu kablovi. Kada su segmenti sa lijeve i desne strane izbetonirani uvlače se kablovi i kad beton postigne oko 70 % karakterističke čvrstoće na pritisak izvrši se prednaprezanje segmenata.



Slika 4.45

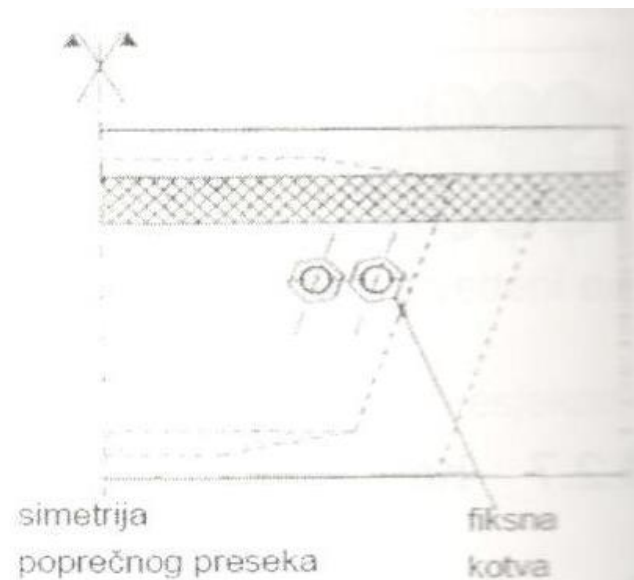
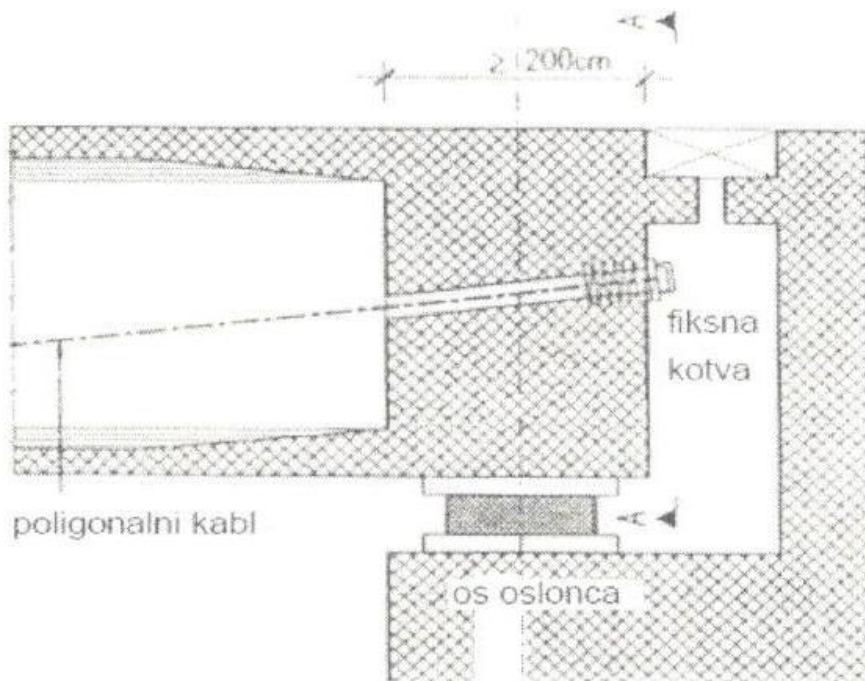
*Shema kablova slobodne konzolne gradnje*

Zahtjev za dodatno prednaprezanje ili zamjenu kablova traži povećanje kontrolnih komora na krajnjim stubovima, zbog mjesta za namještanja presa i elastičnog izduženja kablova. Ukupna dužina kabla za prednaprezanje bez sprežanja između dva konačna sidrišta ne smije biti veća od oko 400 m. Zbog rukovanja kablom preporučljiva dužina je do 200 m.



Slika 4.48

*Shematski prikaz vođenja vanjskih poligonalnih kablova*



Slika 4.49  
 Sidranje kabla u krajnjem poprečnom nosaču (detalj A)

Uslovi, koji obezbjeđuju pravilnu montažu, održavanje i demontažu kablova su:

- omogućen pristup do kablova
- slobodno kretanje oko kablova za montažere, instalatere i nadzor osoblja za održavanje
- mjesto za minimalnu opremu (rasvjeta, ventilacija, privremene skele, šine za prese,..)

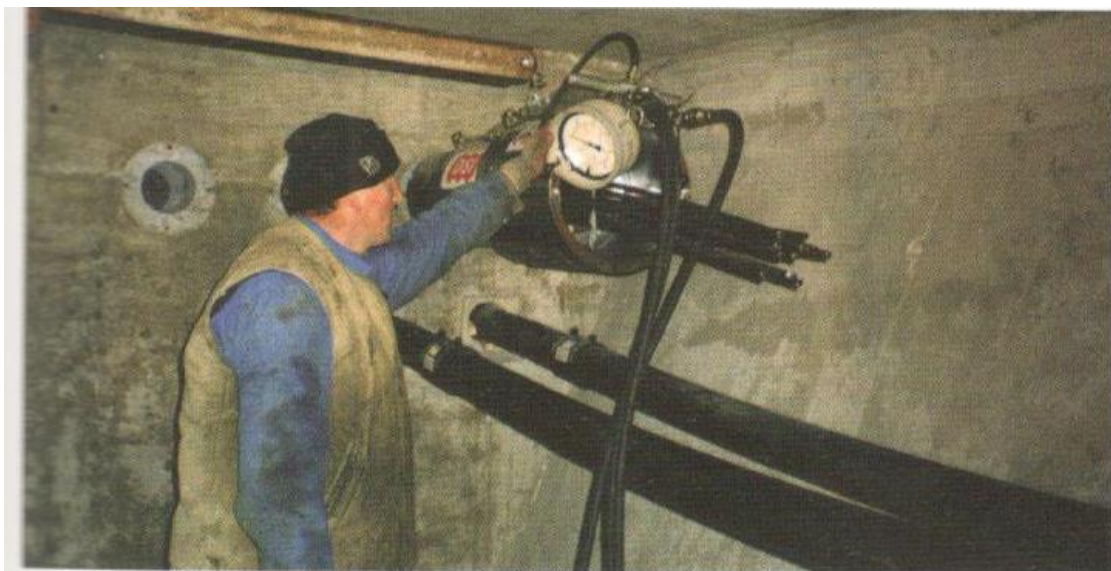




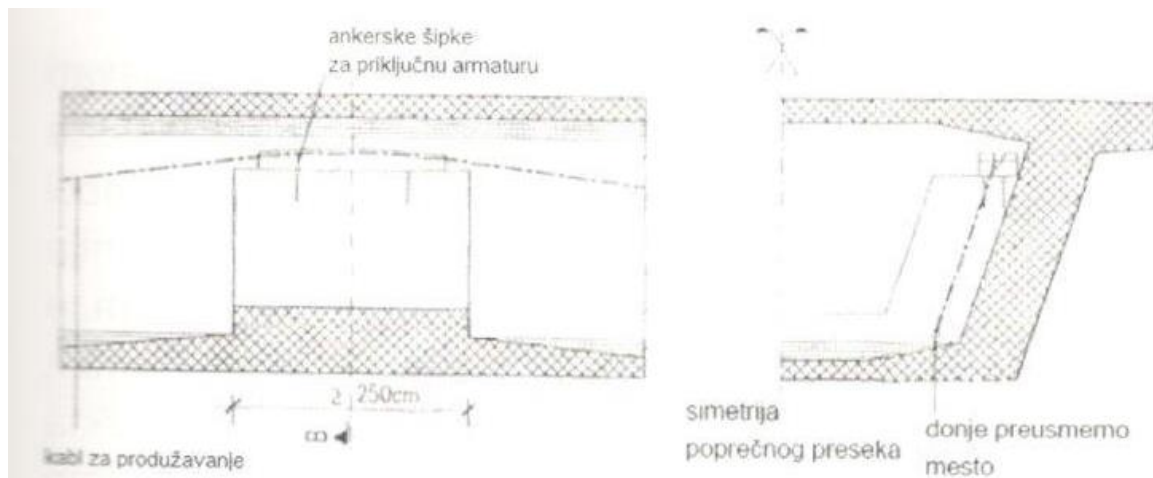
Slika 4.50  
*Devijator u polju – po detalju B*



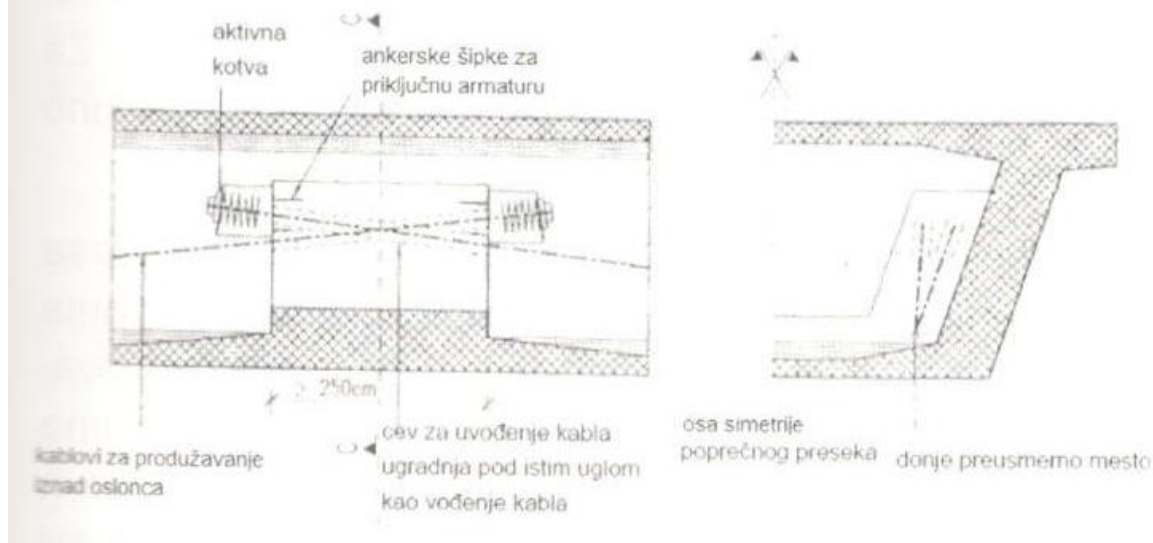
Slika 4.53  
*Prednaprežanje vanjskih  
kablova iznad oslonca*







Slika 4.51  
Devijator iznad srednjeg stuba



Slika 4.52  
Sidranje kablova u poprečnom nosaču iznad oslonca - detalj D