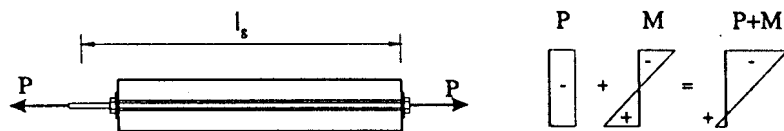


Osnovno o prednapinjanju

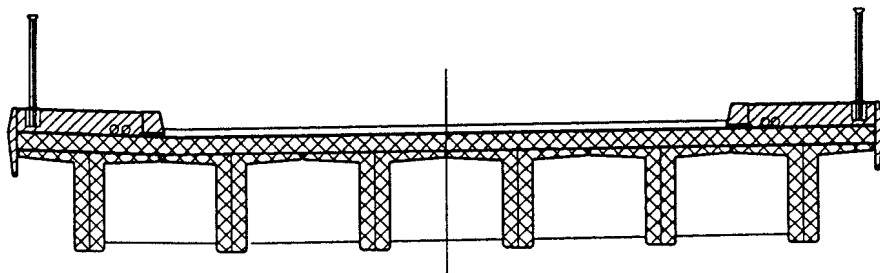
1. UVOD

Beton je gradivo s tlačnom čvrstoćom oko 10 puta većom od vlačne. U armiranom betonu vlačna naprezanja uglavnom premašuju čvrstoću betona, te ih prihvaćamo armaturom, dopuštajući pojavu pukotina u vlačnoj zoni presjeka. Izvorna zamisao prednapinjanja sastoji se u tome da se istezanjem armature u beton unesu početna tlačna naprezanja, kako se u betonskom elementu u uporabi ne bi pojavila vlačna naprezanja. Razradom ove ideje nastale su prednapete konstrukcije, u kojima se značajke betona bolje koriste, pa je njima moguće premostiti veće rasponne uz manji utrošak gradiva i manju vlastitu težinu nego što je slučaj s armiranobetonskim sklopovima. Ipak, prednapeti sklopovi nisu posve potisnuli armiranobetonske jer su tehnološki složeniji i zahtijevaju uporabu visokokvalitetnih gradiva (čelik za prednapinjanje).



slika 1. Osnovni princip prednapinjanja prikazan na primjeru centrično prednapete prizme [1]

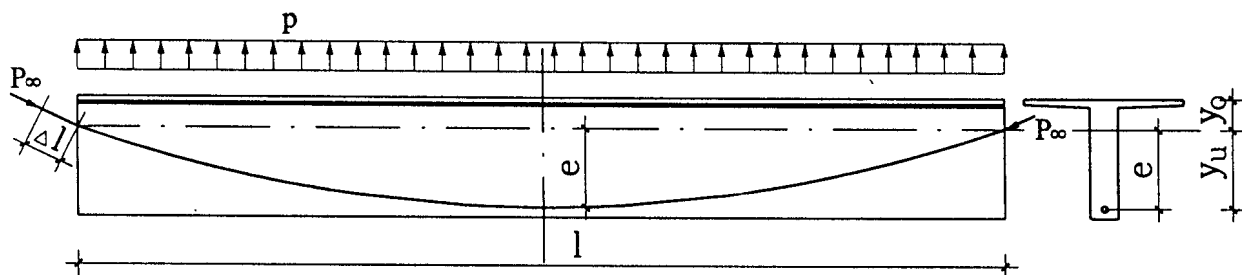
Mostovi su, u usporedbi s drugim sklopovima, obilježeni upravo velikim rasponima. Pored toga, velike gospodarske prohibitke kod gradnje mostova donosi montažna izvedba (bez skele oslonjene o tlo), od predgotovljenih elemenata. To su osnovni razlozi zbog kojih prednosti izvedbe u prednapetom betonu kod mostova izbijaju u prvi plan. Znakovit poprečni presjek rasponskog sklopa prednapetog mosta manjeg raspona prikazan je na sl. 2 (vidi vrelo [2], Primjer 3). On se sastoji od montažnih nosača "T" presjeka koji se po ugradbi monolitiziraju betoniranjem kolničke ploče i poprečnih nosača nad osloncima, tako da prometno opterećenje preuzima roštiljni sklop.



slika 2. Poprečni presjek prednapetog nadvožnjaka raspona 24,2 m

2. PRINCIP PREDNAPINJANJA

Promatramo jedan nosač sklopa sa slike 2. Prednapinjanje nosača vrši se na takav način, da se kroz cijevi ugrađene prije betoniranja provedu kabeli od visokovrijednog čelika, s jedne strane pričvrste a s druge istegnu. Radi jednostavnosti, pretpostavimo da se rabi samo jedan kabel.



slika 3. Prednapinjanje nosača mosta.

Istezanje kabla, kojim unosimo silu u sklop, vrši se pomoću hidrauličke preše. Duljina izvučenog dijela kabla Δl proporcionalna je sili na preši P , koja se mjeri dinamometrom ili se računa iz samog izduljenja.

$$\Delta l = \frac{P l}{E A_a},$$

gdje je E modul elastičnosti čelika za prednapinjanje, a A_a površina presjeka kabla.

Za daljnje razmatranje potrebne su nam još veličine momenta inercije oko težišne osi I_{x-x} , momenti otpora gornjeg i donjeg ruba W i glavne unutarnje sile, mjerodavne za dimenzioniranje - momenti savijanja M .

$$W_o = \frac{I_{x-x}}{y_o}, \quad W_u = \frac{I_{x-x}}{y_u}$$

M_g – moment savijanja od vlastite težine nosača

$M_{0,4sq}$, ($M_{0,3q}$) – moment savijanja od dijela prometnog opterećenja Q

Silu prednapinjanja treba promatrati kao vanjsko djelovanje na nosač (kod statički neodređenih sustava ona izaziva sekundarne "parazitne" momente!). Uvodimo zamjenjujuće opterećenje p na nosač, odnosno određujemo moment od djelovanja prednapinjanja, koji se superponira s ostalim djelovanjima (momentima).

$$M_p = P e = \frac{P l^2}{8} \Rightarrow p = \frac{8 P e}{l^2}$$

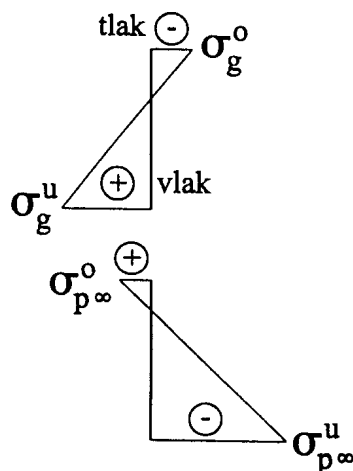
gdje je p zamjenjujuće opterećenje koje djeluje prema gore, a e ekscentricitet sile prednapinjanja (vidi sl. 3).

Tijekom uporabe nosača ne možemo računati s punom silom prednapinjanja P koju smo unijeli u nosač, jer se dio te sile izgubi odmah (trenutni gubici uslijed trenja kabela o cijev, prokliznuća klina i elastičnih deformacija) a dio tijekom vremena (vremenski gubici uslijed skupljanja i puzanja betona te relaksacije čelika). Ukupna vrijednost gubitaka iznosi oko 25% od početne sile prednapinjanja.

Sada određujemo naprezanja u kritičnom presjeku nosača, na gornjem i donjem rubu:

I – od vlastite težine

$$\sigma_g^o = -\frac{M_g}{W_o}, \quad \sigma_g^u = -\frac{M_g}{W_u}$$



II – od prednapinjanja

$$\sigma_{p\infty}^{o,u} = -\frac{P}{A} \pm \frac{M}{W_{o,u}}$$

uvrstimo $M=Pe$ pa dobivamo

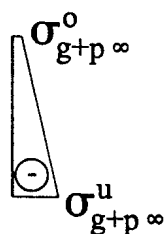
$$\sigma_{p\infty}^o = -\frac{P}{A} \left(1 + \frac{e A}{W_o}\right)$$

$$\sigma_{p\infty}^u = -\frac{P}{A} \left(1 - \frac{e A}{W_u}\right)$$

Naprezanja od konačne sile prednapinjanja (nakon gubitaka) dobivaju oznaku ∞ .

Vrijednost $\sigma_{p,\infty}^u$ je veća od tlačne čvrstoće betona, no to ne predstavlja problem, jer naprezanja od I i II nastupaju istodobno. Naime, nosač se napinje na ravnom podu na kojemu je betoniran. U trenutku napinjanja srednji dio nosača odiže se od poda, pa se aktivira djelovanje vlastite težine.

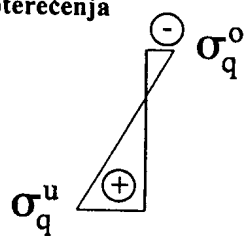
Konačno stanje naprezanja od vlastite težine i prednapinjanja (I+II) u kritičnom presjeku može izgledati ovako:



Ova opterećenja stalno djeluju, dok prometno opterećenje (III) djeluje povremeno. Zbog toga se javlja puzanje (odnosno progib) nosača prema gore.

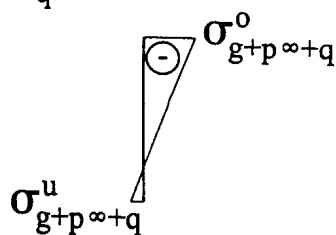
III – naprezanja od prometnog opterećenja

$$\sigma_q^{o,u} = \pm \frac{M_q}{W_{o,u}}$$



IV – sumarno stanje naprezanja:

$$\Sigma = I + II + III$$



3. STUPANJ PREDNAPINJANJA

Prema današnjim propisima u prednapetim nosačima dopuštaju se samo mala vlačna naprezanja u sumarnom stanju, odnosno kao za armirani beton u naponskom stanju I – bez pojave pukotina. Suvremeniji propisi dopuštaju i manji stupanj prednapinjanja.

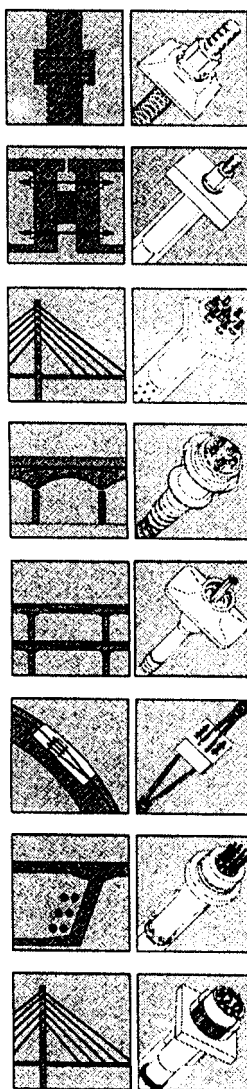
Prednapeti sklopovi dijele se prema stupnju prednapinjanja na puno, ograničeno i djelomično prednapete. Stupanj prednapinjanja predstavlja omjer momenta rastlačenja (dekompresije) i ukupnog momenta i kreće se od 1 (potpuno prednapeti nosač) do 0 (armiranobetonski nosač).

Potpuno prednapeti elementi su oni u kojima pri najnepovoljnijoj kombinaciji djelovanja u betonu nema vlačnih naprezanja. U ograničeno prednapetim elementima mogu nastati vlačna naprezanja manja od dopuštenih. U djelomično prednapetim elementima pri određenoj kombinaciji djelovanja mogu se pojaviti pukotine, ali njihove karakteristične širine moraju biti manje od propisanih (stupanj prednapinjanja im je između 0,4 i 0,7).

Za naš nosač možemo, primjerice, uzeti:

IV - sumarno stanje naprezanja:

$$\Sigma = I + II + 0,5 III$$



VRELA:

1. Tomić, I.: Betonske konstrukcije – odabrana poglavlja, Zagreb 1996., izdanje autora, str. 231-374
2. Skripta uz vježbe iz predmeta Mostovi i masivni mostovi, Zagreb 1999.