



Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet
www.grf.bg.ac.rs

Studijski program: **Građevinarstvo**
Modul: MTI, HVEI, PŽA
Godina/Semestar: **III godina / V semestar**

Naziv predmeta (šifra): **Betonske konstrukcije 1**
(b2s3bk, b2h3bk, b2m3bk, b1s3bk)

Nastavnik: **Ivan Ignjatović**

Naslov predavanja: **Prednapregnuti beton**

Datum : 16.12.2022.

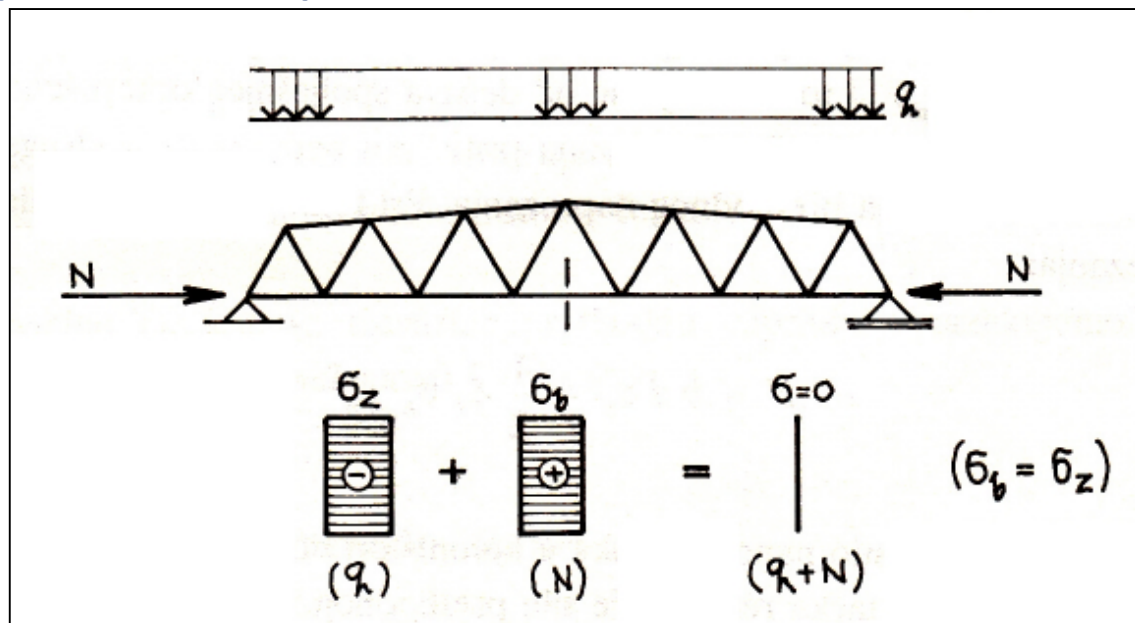
Beograd, 2020.

Sva autorska prava autora prezentacije i/ili video snimaka su zaštićena. Snimak ili prezentacija se mogu koristiti samo za nastavu na daljinu studenta Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu u školskoj 2020/2021 i ne mogu se koristiti za druge svrhe bez pismene saglasnosti autora materijala.

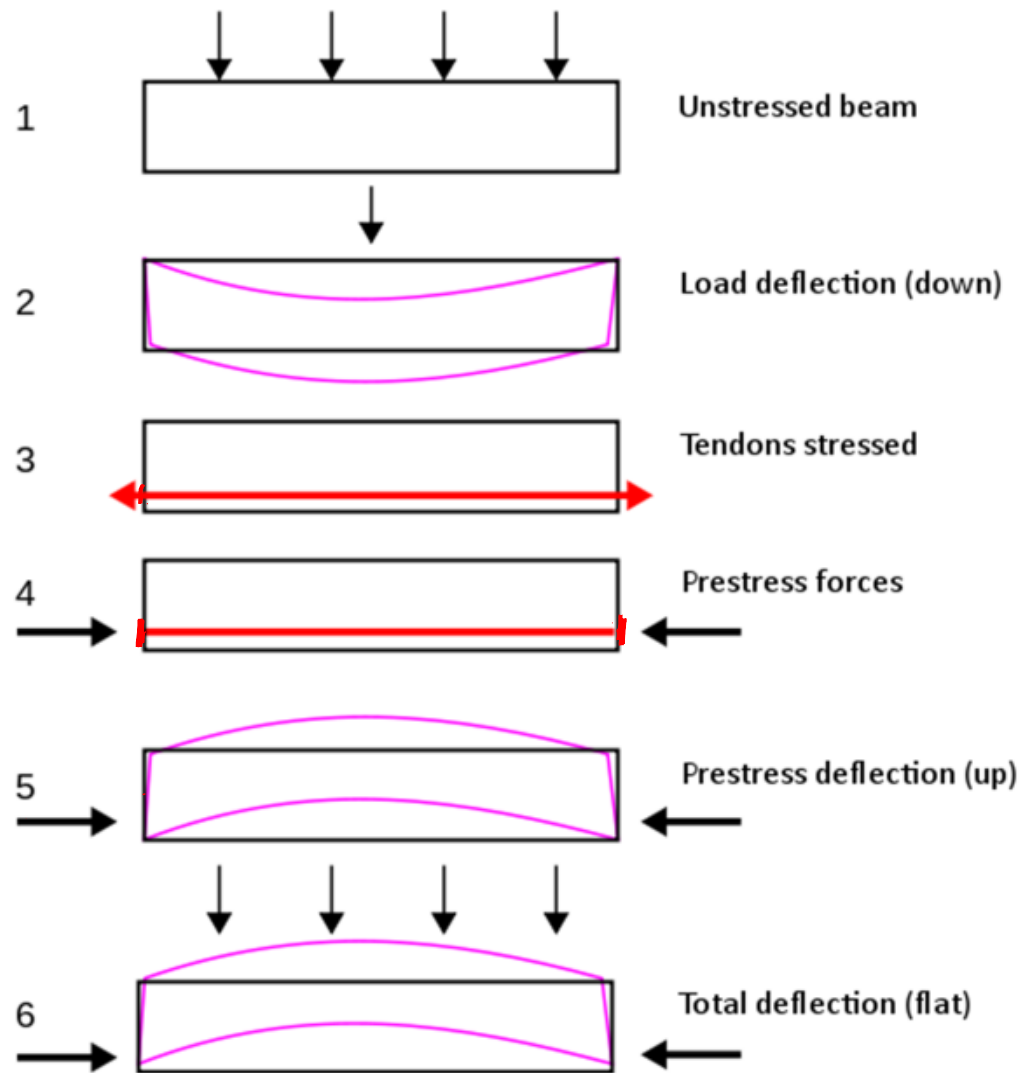
1. Pojam i suština
2. Načini prethodnog naprezanja
3. Oblast primene, prednosti i nedostaci
4. Materijali
5. Gubici sile prethodnog naprezanja
6. Dimenzionisanje prethodno napregnutih elemenata
7. Oblikovanje detalja

1. Pojam i suština

- Problemi klasičnih armirano-betonskih konstrukcija:
 - Veliki udeo sopstvene težine u ukupnom opterećenju!
 - Zatezanje => prsline => redukcija krutosti => povećanje ugiba!
- Prethodno naprezanje?
- U elementima u kojima se javljaju naponi zatezanja ostvariti stanje pritiska!
- Da bi se javilo zatezanje prvo se mora isrpiti uneti pritisak!

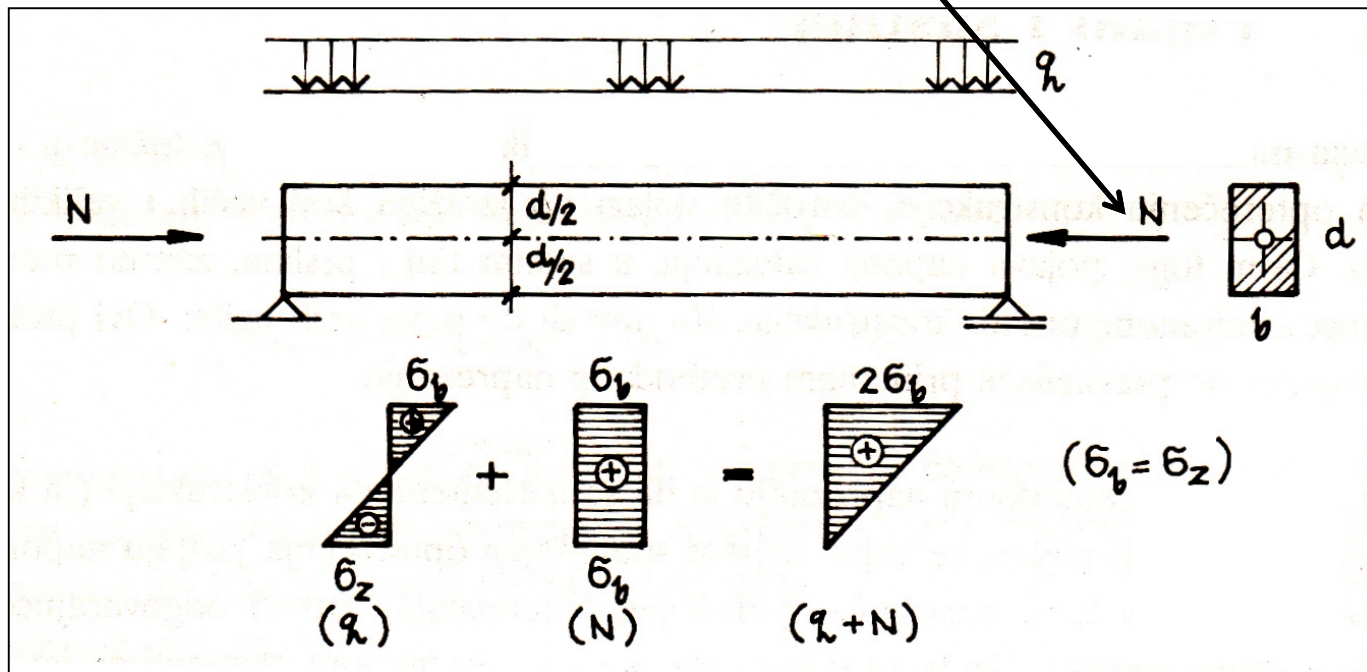


1. Pojam i suština



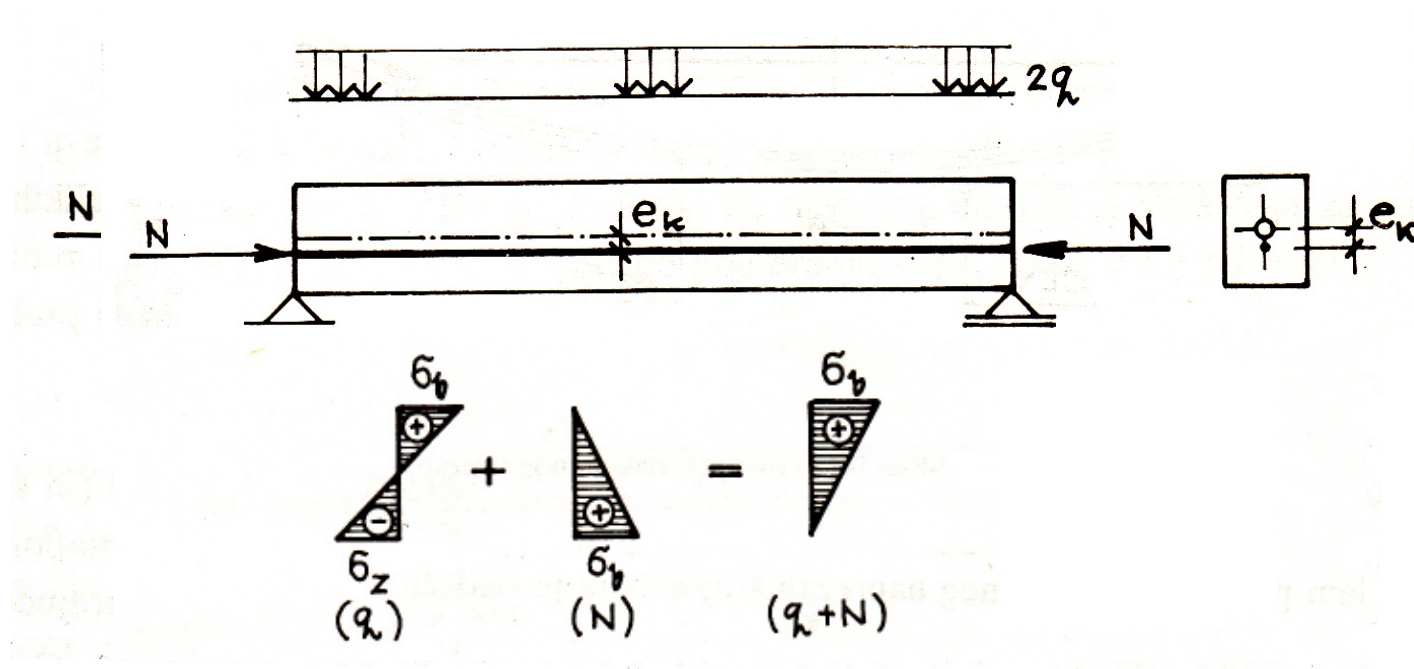
1. Pojam i suština

- U slučaju grednog elementa:
- Ako se ne želi pojava zatezanja u eksploataciji – $\sigma_b = \sigma_z$
- Na pritisnutoj ivici mora biti zadovoljeno – $2\sigma_b = \sigma_{b,dop}$
- Potrebna sila prethodnog naprezanja - $N = bd\sigma_b = \frac{1}{2}A_b\sigma_{b,dop}$



1. Pojam i suština

- Racionalnije rešenje:
- Pomeranje napadne tačke sile u donju tačku jezgra preseka
- Tada je $\sigma_b = \sigma_{b,dop}$
- Moguće je prihvatiti dvostruko veće opterećenje!

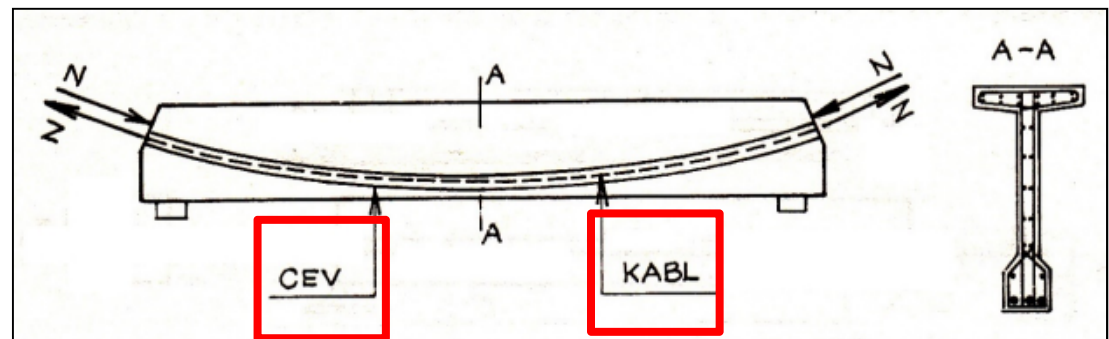


1. Pojam i suština

- Postupak veštačkog unošenja sile N naziva se prethodno naprezanje
- Takve konstrukcije su prethodno napregnute konstrukcije
- U statički određenim konstrukcijama – prethodno naprezanje ne utiče na raspodelu sila i momenata
- U statički neodređenim konstrukcijama – prethodno naprezanje izaziva dodatne uticaje!
- U proračunu – prethodno naprezanje se tretira kao zaseban slučaj spoljašnjeg opterećenja

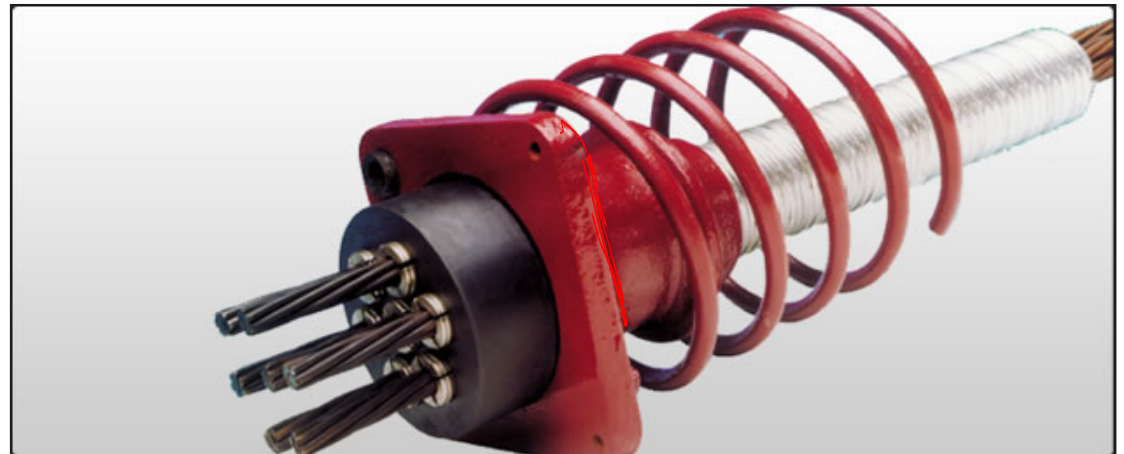
2. Načini prethodnog naprezanja

- NAKNADNO i ADHEZIONO
- Primena specijalnih hidrauličnih presa, mehaničkih sprava i žica od visokovrednog čelika
- **Naknadno prethodno naprezanje:**
- Pre ugrađivanja betona postavljanje profilisanih cevi u oplatu
- Naknadno (posle betoniranja) se provlače kablovi
- Kablovi – snopovi glatkih žica od VV čelika, Ø5-12 mm (6-12 žica)
 - užad dobijena upredanjem 3-7 žica manjeg prečnika



2. Načini prethodnog naprezanja

- Utezanje kablova nakon dostizanja odgovarajuće čvrstoće (presom)!
- Po dostizanju potrebne sile – kablovi se fiksiraju (kotvama i klinovima!)
- Sistemi za prethodno naprezanje:
 - IMS
 - BBRV
 - CCL
 - Dywidag
 - Fressynet



Naknadno prednaprezanje

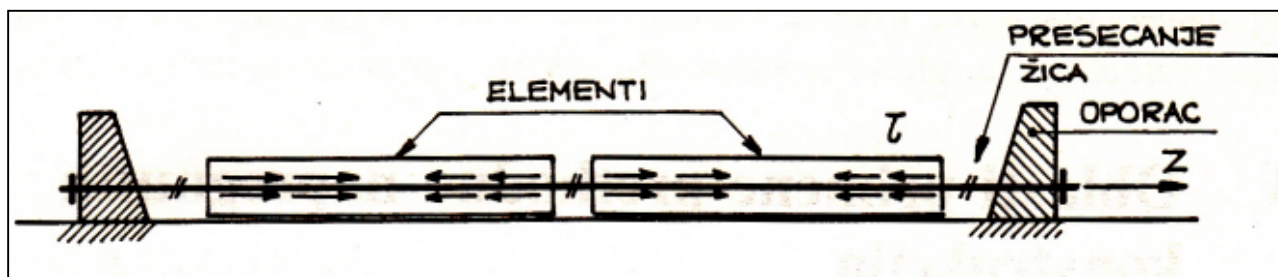
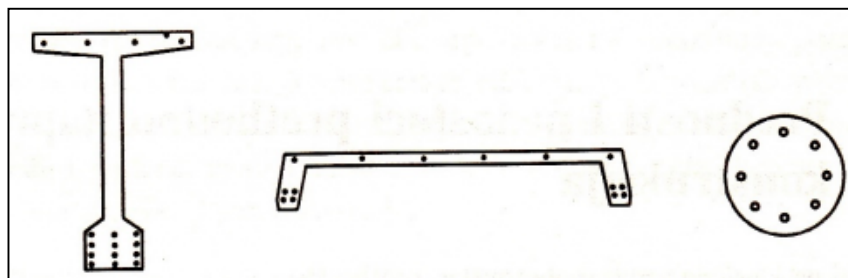
- Sa spojem („bonded“ cable)



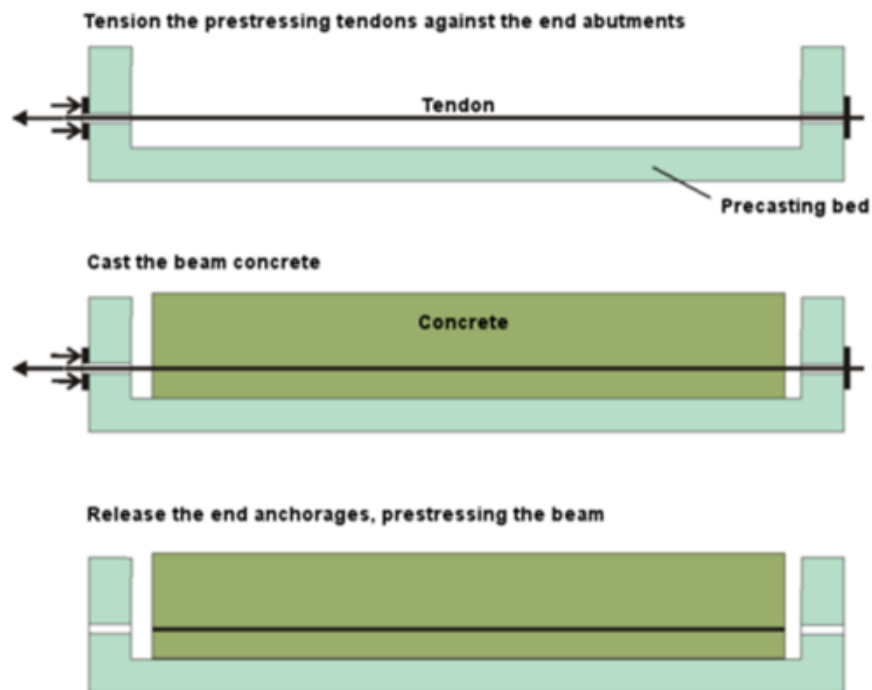
- Bez spoja („unbonded“ cable)

2. Načini prethodnog naprezanja

- Adheziono prethodno naprezanje:
- Zatezanje žica pre betoniranja!
- Nakon betoniranja i dostizanja potrebne čvrstoće – presecanje žica
=> unošenje sile prethodnog naprezanja
- Koriste se tanje žice ($\varnothing 2-3$ mm)
- Rožnjače, korube, stubovi dalekovoda i dr. => prefabrikacija!



Adheziono prednaprezanje



3. Oblast primene, prednosti i nedostaci

- Primena prethodno napregnutih elemenata:
 - montažni elementi međuspratnih konstrukcija
 - konstrukcije velikih raspona, mostogradnja, sportske hale i dr.
 - gradnja objekata koji sprovode ili drže tečnosti (nema prslina)
 - kolovozne ploče, autoputevi, železnički pragovi, stubovi dalekovoda...
- Prednosti prethodno napregnutih konstrukcija:
 - ušteda u betonu do 30%, u čeliku do 70%
 - primena visokovrednih čelika
 - za iste preseke ugibi su značajno manji nego kod klasičnih AB konstr.
 - u slučaju trenutnog preopterećenja i pojave prslina, nakon rasterećenja prsline se zatvarju i nosač vraća u prvobitno stanje
 - zbog manjih težina, lakše izvođenje u montažnom sistemu
- Nedostaci:
 - potrebna preciznost, pažnja i obučena radna snaga

4. Materijali

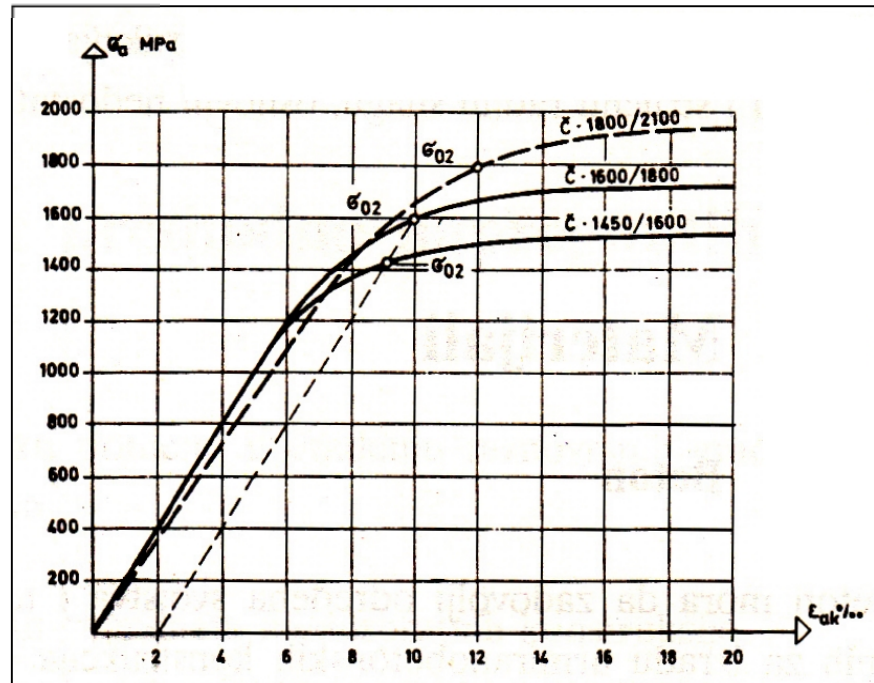
- Beton: minimalno MB30!
- Čelik: visokovredni čelici! Č1450/1600, Č1600/1800, Č1800/2100
- VV čelici neophodni za poništavanje uticaja skupljanja i tečenja betona
pretp.: vremenska def. betona 1‰

$$\Rightarrow \Delta\sigma_a = \varepsilon_b E_a = 0.001 \times 20000 = 200 \text{ MPa}$$

$$\text{RA400/500: } \frac{200}{400} = 83\%$$

$$\text{Č1600/1800: } \frac{200}{1350} = 15\%$$

$$\sigma_{a,dop} = \min \begin{cases} 0.87\sigma_{0.2} \\ 0.75f_{ak} \end{cases}$$



5. Gubici sile prethodnog naprezanja

- Neposredno nakon prednaprezanja – početna sila N_0
- U toku vremena dolazi do gubitaka – 15-25% početne sile N_0
- Preostala sila ($t \rightarrow \infty$) – trajna sila N_∞
- Gubici sile prednaprezanja usled:
 - Trenja kablova
 - Skupljanja i tečenja betona
 - Elastičnih deformacija betona
 - Uvlačenja klina
 - Relaksacije čelika

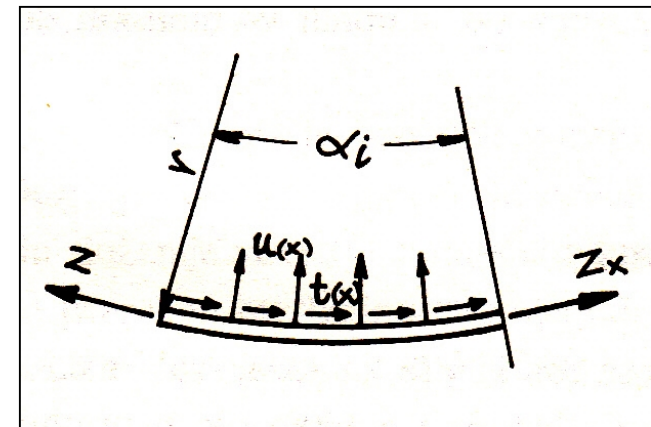
5. Gubici sile prethodnog naprezanja

- Gubici usled trenja kablova:
- U trenutku utezanja krivolinijski kabl teži da se ispravi
=> trenje o ivice zaštitne cevi!
- Čak i kod “teorijski” pravih kablova zbog načina montaže postoji trenje pri utezanju!
- Pad sile, na dužini x od mesta utezanja: $\Delta Z_x = Z(1 - e^{-kx})$
- U slučaju krivolinijskih kablova postoji efekat skretanja kabla
- Dodatni član u izrazu: $Z_x = Ze^{-\mu \sum \alpha_i}$
- Krajnji izraz za gubitak usled trenja:

$$Z_x = Ze^{-(\mu \sum \alpha_i + kx)}$$

$$\mu \cong 0.25 \text{ 1/rad}$$

$$k \cong 1.5 \times 10^{-3} \text{ 1/m}$$

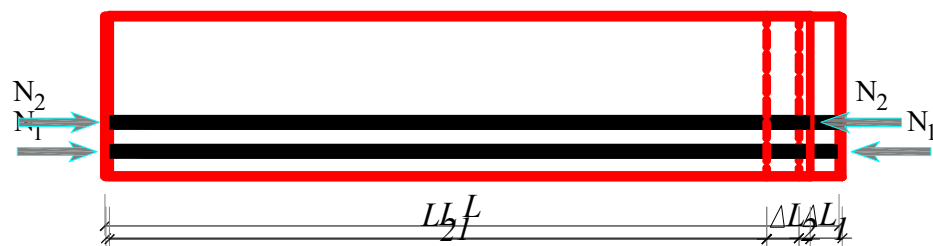


5. Gubici sile prethodnog naprezanja

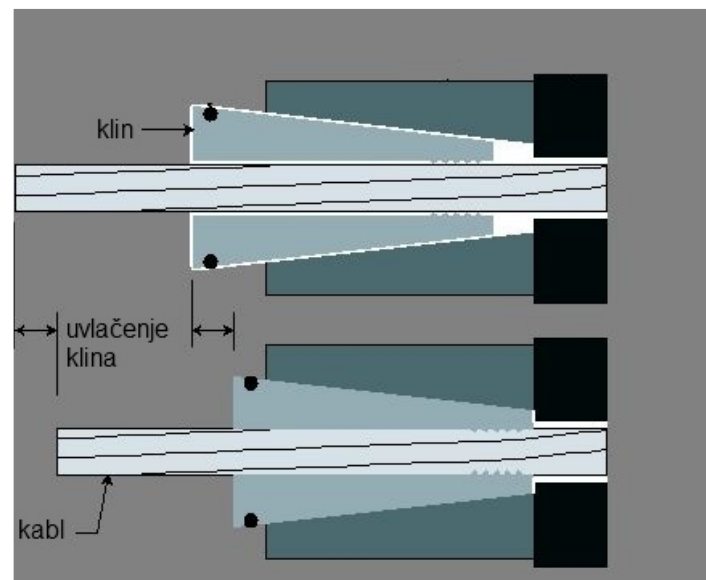
- Gubici usled skupljanja i tečenja betona:
- Komplikovan tačan proračun;
- Ako nema eksperimentalnih podataka => vrednosti iz Pravilnika
- Uticaj veći kod adhezionog prednaprezanja (elementi manjih debljina)
- Kod naknadnog prednaprezanja pad početne sile samo usled skupljanja 3-6%!
- Prva procena – gubici usled ukupnih vremenskih def. – 12-20%

5. Gubici sile prethodnog naprezanja

- Gubici usled elastične deformacije betona:
- U slučaju sukcesivnog utezanja dva ili više kablova



- Gubici usled uvlačenja klina:
- Gubici usled relaksacije čelika:
- Pad napona u toku vremena pri konstantnoj deformaciji
- Zavisi od kvaliteta čelika, početnog napona, temperature, vremena proteklog od naprezanja...(gubitak 3-7%)

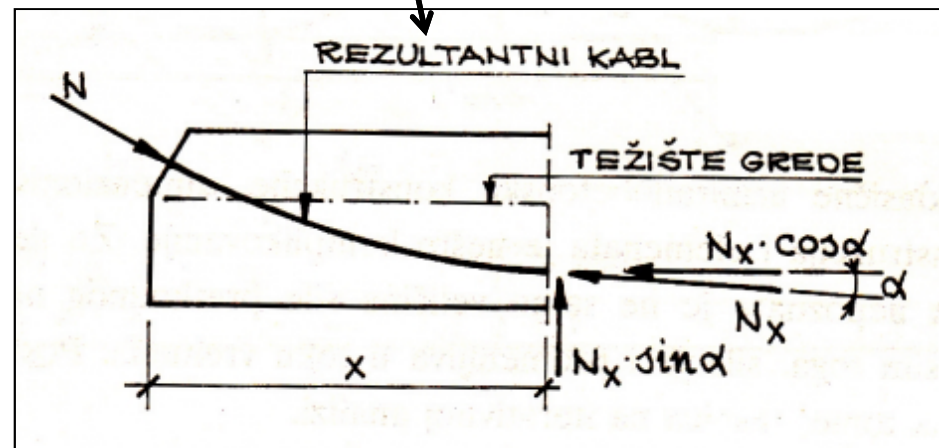


6. Dimenzionisanje prednapregnutih elemenata

- Komplikovanije od klasičnih armiranobetonskih konstrukcija:
 - Sila prethodnog naprezanja?
 - Položaj sile prethodnog naprezanja?
 - Promena sile prethodnog naprezanja tokom vremena?
=> iterativan proračun!
- Prethodno naprezanje:
 - Potpuno – u preseku nema napona zatezanja!
 - Ograničeno – naponi zatezanja manji od dopuštenih!
 - Parcijalno – dozvoljeno prekoračenje dopuštenih napona zatezanja i pojava prslina!
- Dokaz veličine normalnih i glavnih napona, koeficijenta sigurnosti od pojave loma i pojave prslina

6. Dimenzionisanje prednapregnutih elemenata

- Proračun idealizovanih poprečnih preseka – složeno savijanje
- Proračun sa silom N_0 i N_∞
- Ako ima više kablova – proračun sa rezultantnim kablom
- Dokaz normalnih napona u karakterističnom preseku nosača:



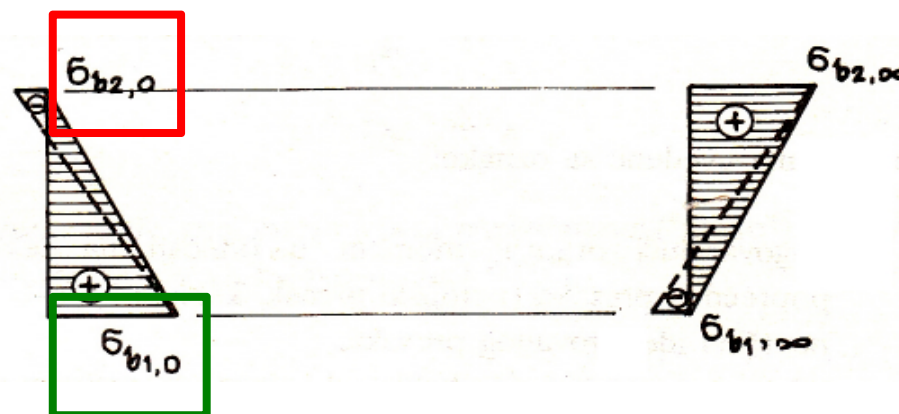
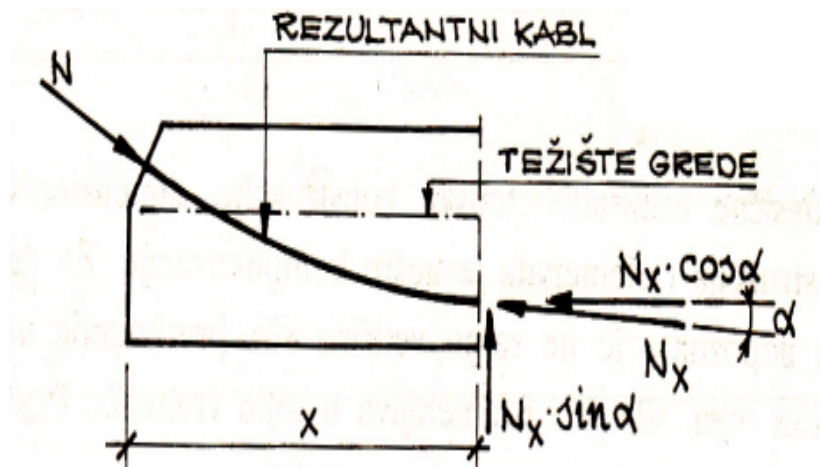
6. Dimenzionisanje prednapregnutih elemenata

- Dokaz normalnih napona u karakterističnom preseku nosača:

1. Početno stanje ($t=0$) – deluje N_0 i sopstvena težina g'

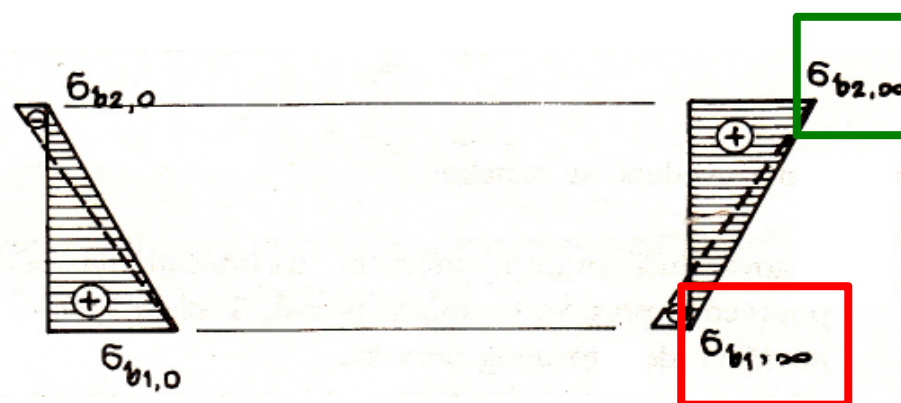
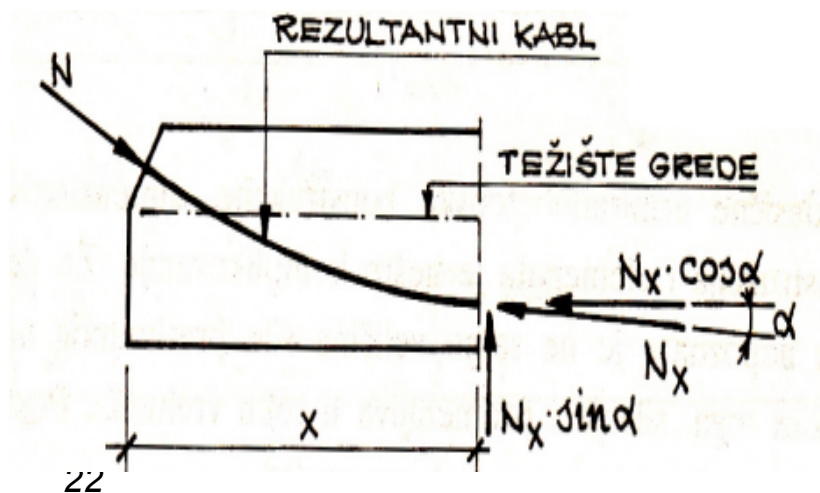
$$M = M_{\min} = M_{g'}; N = N_{\max} = N_0$$

- a. Napon pritiska na donjoj ivici mora biti manji od dopuštenog $\sigma_{b1,0} \leq \sigma_{bd0}$
- b. Napon na gornjoj ivici:
 - a. Ne sme biti zatezanje – potpuno prednaprezanje $\sigma_{b2,0} \geq 0$
 - b. Mora biti manji od dop. nap. zat. – ograničeno prednaprezanje $\sigma_{b2,0} \leq \sigma_{bzd0}$



6. Dimenzionisanje prednapregnutih elemenata

- Dokaz normalnih napona u karakterističnom preseku nosača:
- 2. Krajnje stanje ($t = \infty$) – deluje N_∞ , stalno opt. g ($g' + g''$), povremeno opt. p
 $M = M_{\max} = M_g + M_p$; $N = N_{\min} = N_\infty$
 - a. Napon pritiska na gornjoj ivici mora biti manji od dopuštenog $\sigma_{b2,\infty} \leq \sigma_{bd\infty}$
 - b. Napon na donjoj ivici:
 - a. Ne sme biti zatezanje – potpuno prednaprezanje $\sigma_{b1,\infty} \geq 0$
 - b. Mora biti manji od dop. nap. zat. – ograničeno prednaprezanje $\sigma_{b1,\infty} \leq \sigma_{bzd\infty}$



6. Dimenzionisanje prednapregnutih elemenata

- Proračun:
- Posmatra se idealizovani poprečni presek (nema prslina) usvojenih dimenzija
- Polazi se od uslova 2b (npr. za potpuno prednaprezanje $\sigma_{b1,\infty} \geq 0$)

$$\frac{N_{\infty}}{A_i} + \frac{N_{\infty} e_{ik}}{W_{i1}} - \frac{M_{max}}{W_{i1}} = 0 \quad \Rightarrow \quad N_{\infty} = \frac{M_{max}}{e_{ik} + \frac{W_{i1}}{A_i}} = \frac{M_{max}}{e_{ik} + k_{i2}}$$

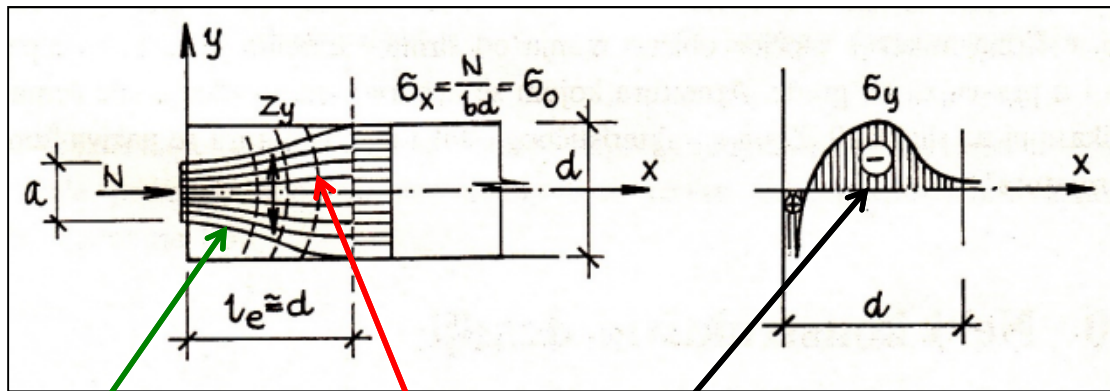
- Nakon određivanja N_{∞} sprovode se ostale naponske kontrole
- U području oslonaca i na mestima velikih intenziteta T sila– kontrola glavnih napona zatezanja

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_x}{2} - \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{4} + \tau^2} \quad \left(\tau = \frac{T S(y)}{I b(y)} \right)$$

- Ako je glavni napon zatezanja prekoračen – osiguranje sa GA ili RA!

7. Oblikovanje detalja

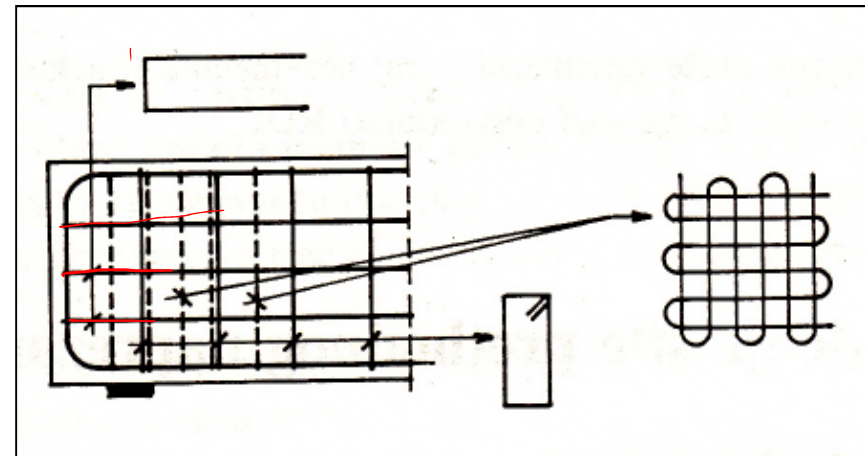
- Uvođenje sile prethodnog naprezanja:
- Unošenje velike sile pritiska!



pritisak

zatezanje

- Integracijom napona zatezanja
=> sila cepanja $Z \approx 0.3N(1 - \frac{a}{d})$
- Armiranje na dužini $l_e \approx d$:



7. Oblikovanje detalja

- Ostali detalji:
- Radi duktilnosti – min količina “meke” armature (GA ili RA), 40-60kg/m³
- Voditi računa o vođenju kablova duž nosača! (zaštitni slojevi, radijusa krivina, međusobni razmaci)
- Zbog velikih napona pritisaka izbegavati nagle promene debljine elementa (izvoditi vute)

