

BETONSKE KONSTRUKCIJE

PRETHONDO NAPREGNUTI BETON

Prof. dr Snežana Marinković

Doc. dr Ivan Ignjatović

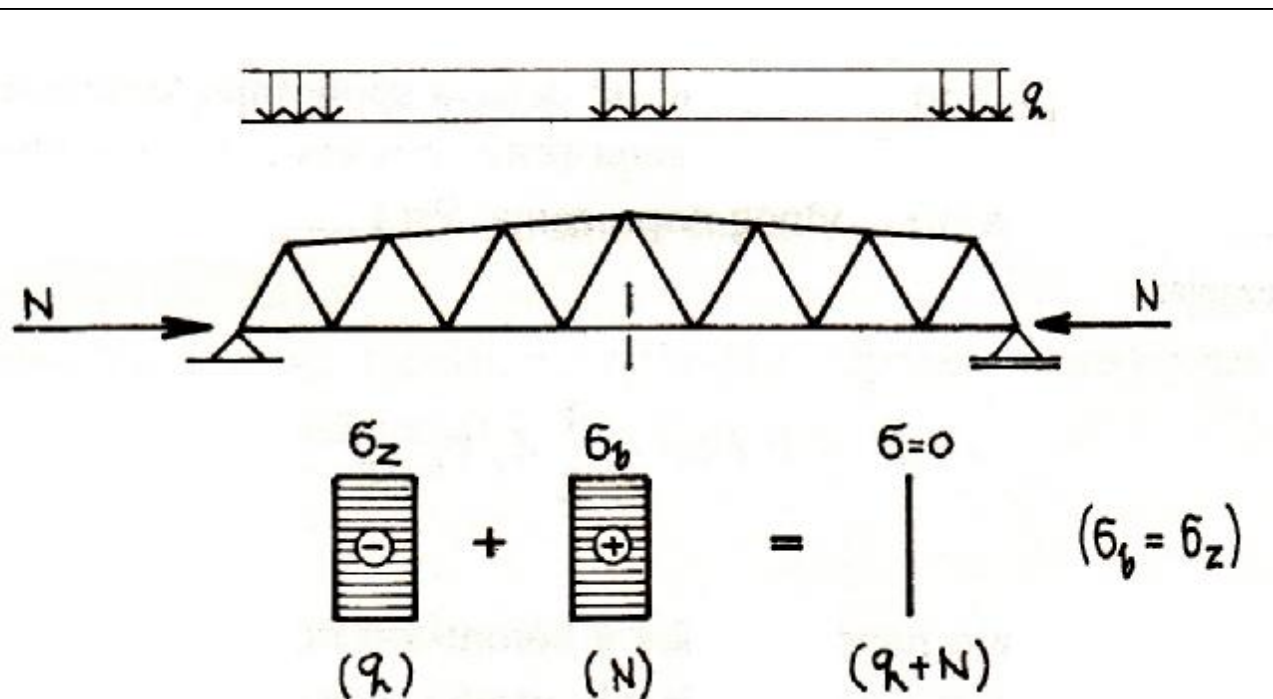
Semestar: V

ESPB:6

- 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***

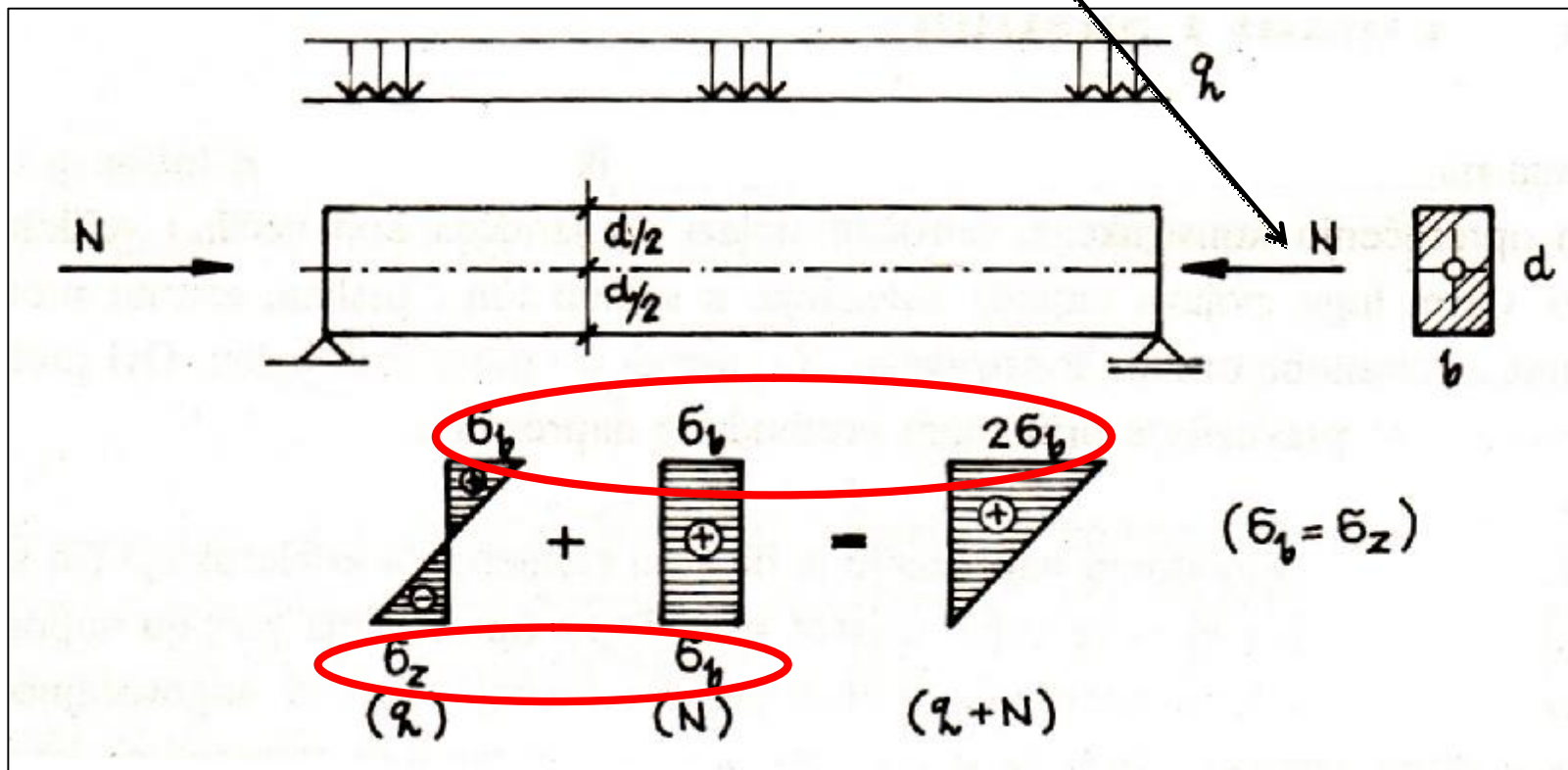
1. Pojam i suština

- *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!*



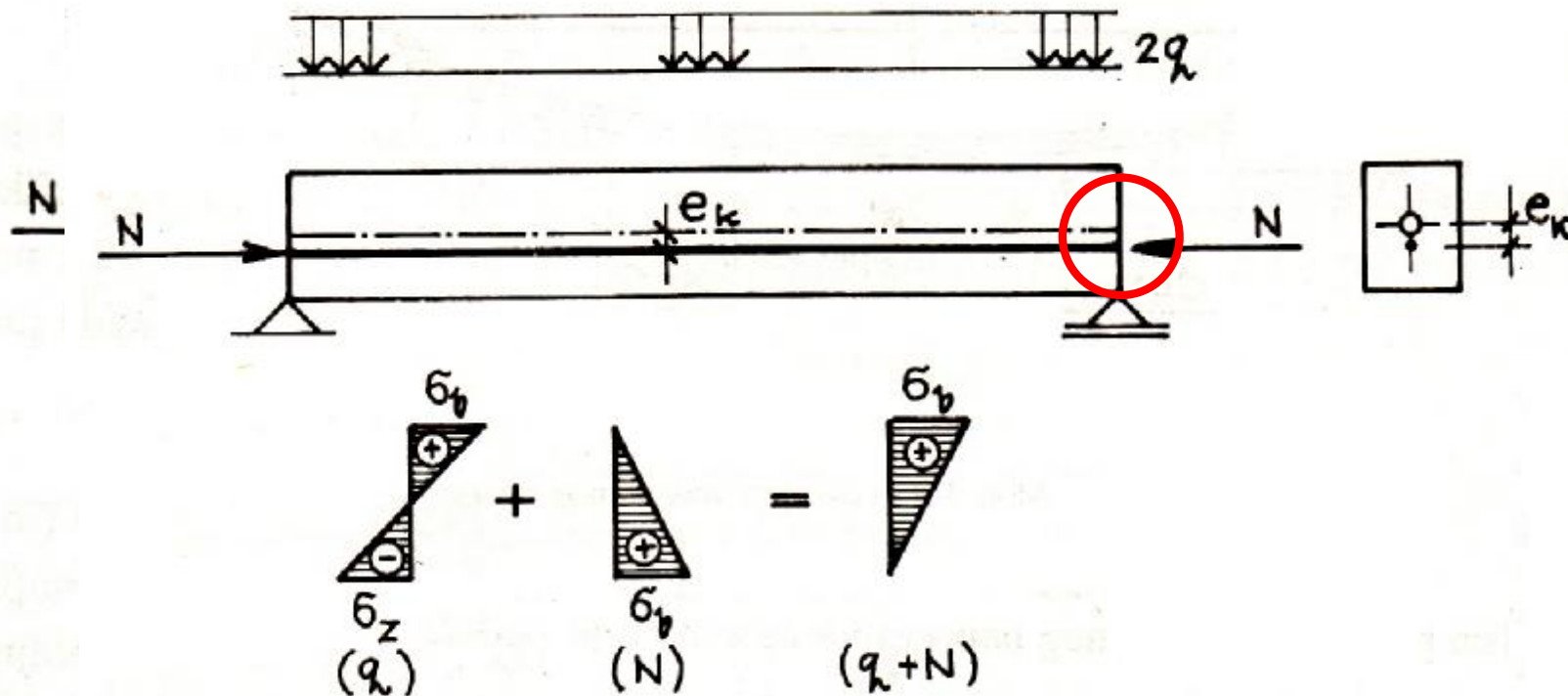
1. Pojam i suština

- U slučaju grednog elementa:
- Ako se ne želi pojava zatezanja u eksploataciji – $\sigma_b = \sigma_z$
- Na pritiskutoj 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!

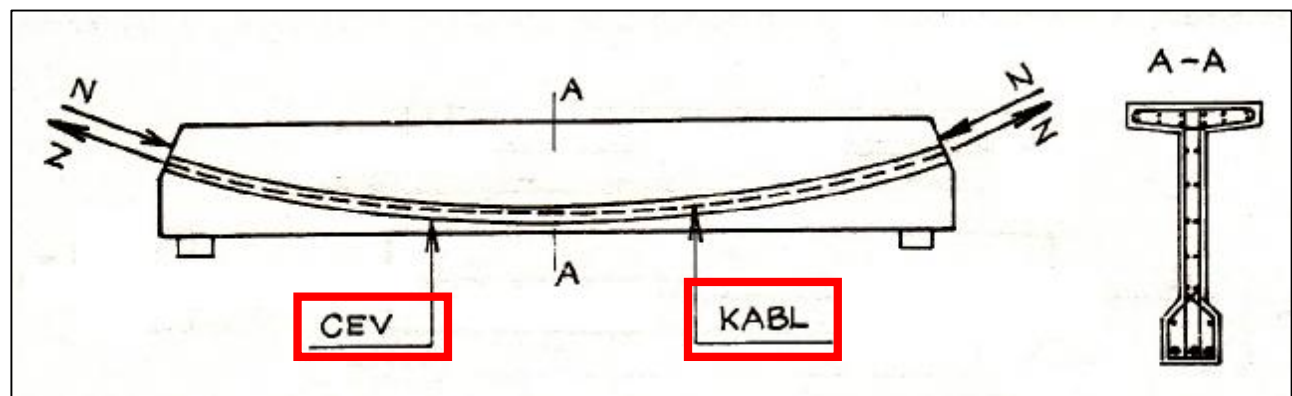


1. Pojam i suština

- *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*

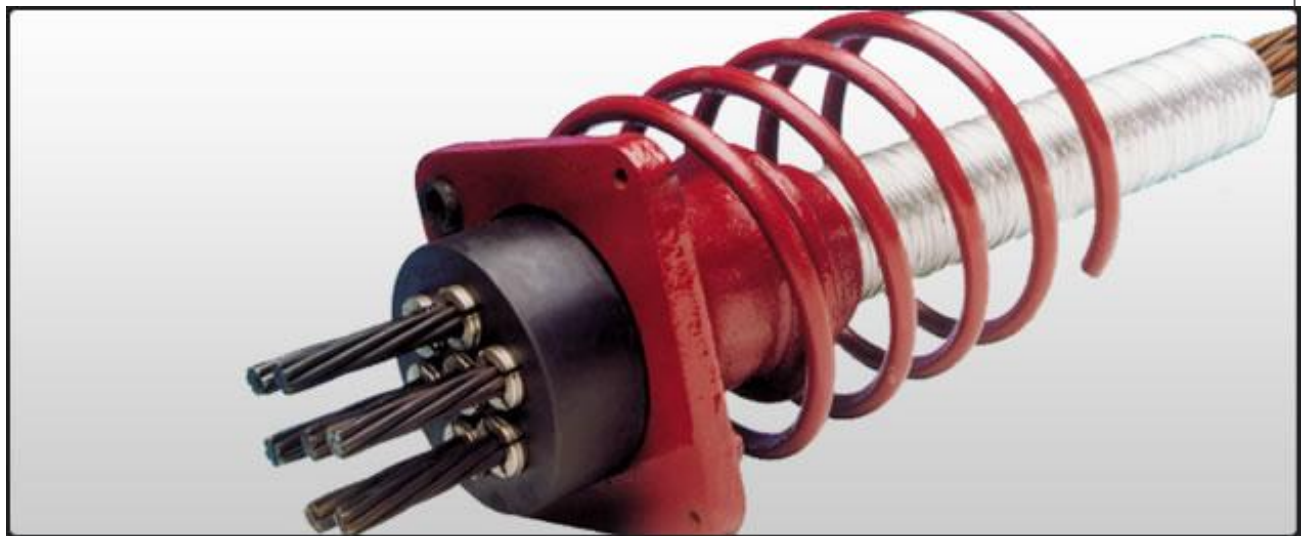
2. Načini prethodnog naprezanja

- 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



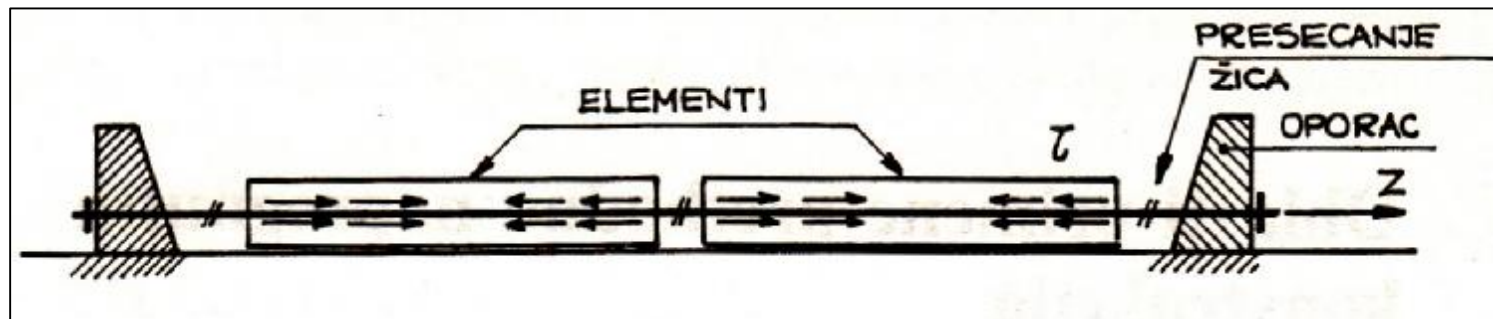
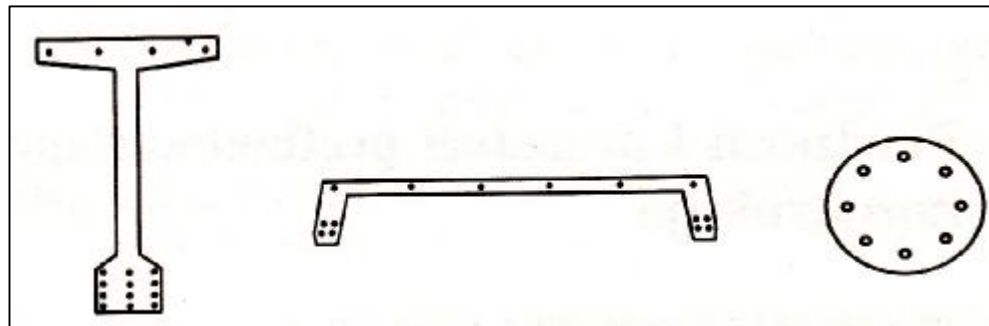
2. Načini prethodnog naprezanja

- *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*



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 ($\text{Ø}2\text{-}3\text{ mm}$)
- Rožnjače, korube, stubovi dalekovoda i dr. => prefabrikacija!



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

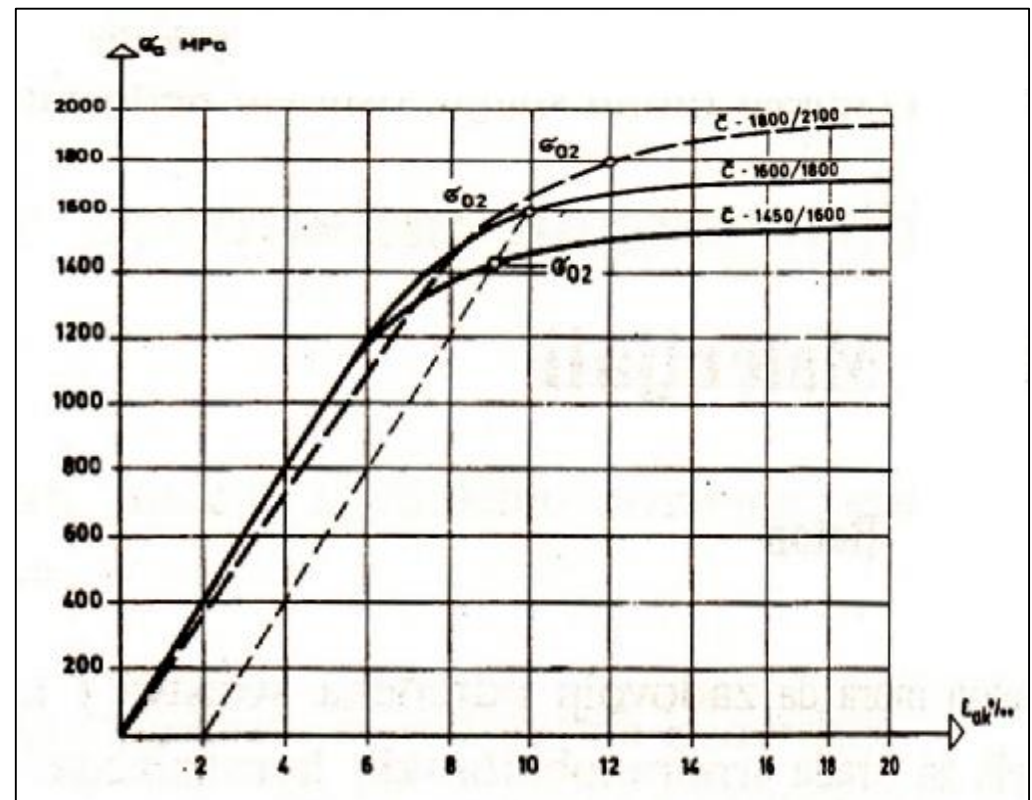
- Beton: minimalno MB30!
- Čelik: visokovredni čelici! Č 1450/1600, Č 1600/1800, Č 1800/2100
- VV čelici neophodni za poništavanje uticaja skupljanja i tečenja betona
pretp.: vremenska def. betona 1‰

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

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

$$\text{Č 1600/1800: } \frac{200}{1350} = 15\%$$

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



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*

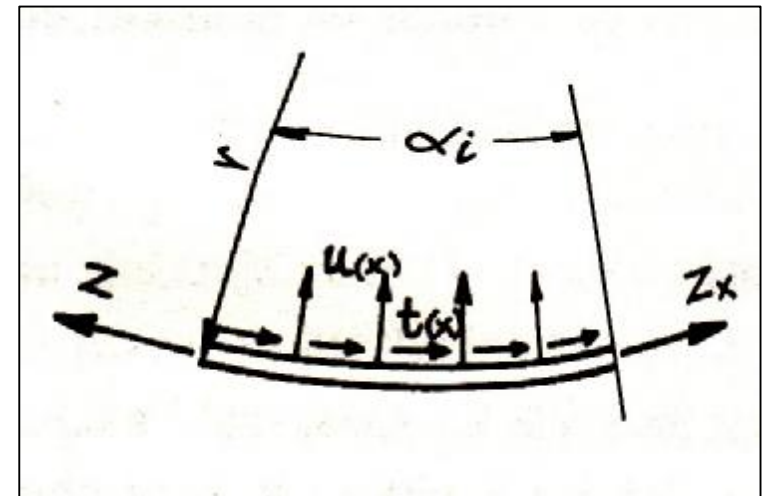
5. Gubici sile prethodnog naprezanja

- 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:

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

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

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

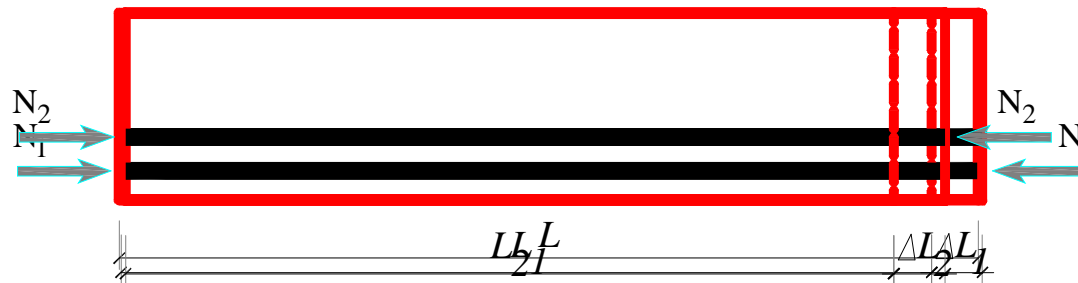


5. Gubici sile prethodnog naprezanja

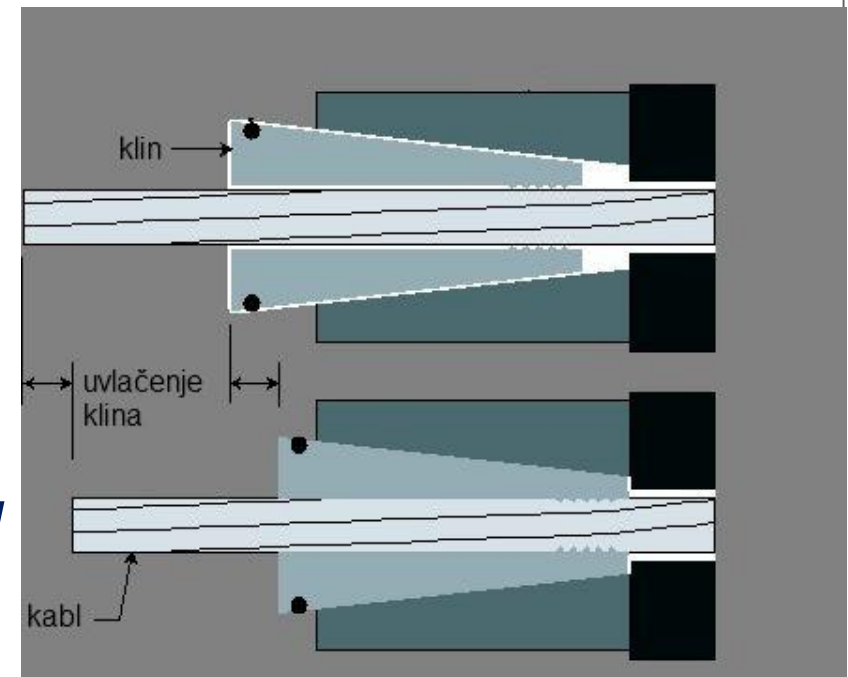
- *Gubici usled skupljanja i tečenja betona:*
- *Komplikovan tačan proračun;*
- *Ako nema eksperimentalnih podataka => vrednosti iz Pravilnika*
- *Uticao veći kod adhezionog prednaprezanja (elementi manjih debljina)*
- *Kod naknadnog prednaprezanja pad početne sile samo usled skupljanja 3-6%!*
- *Prva 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%)



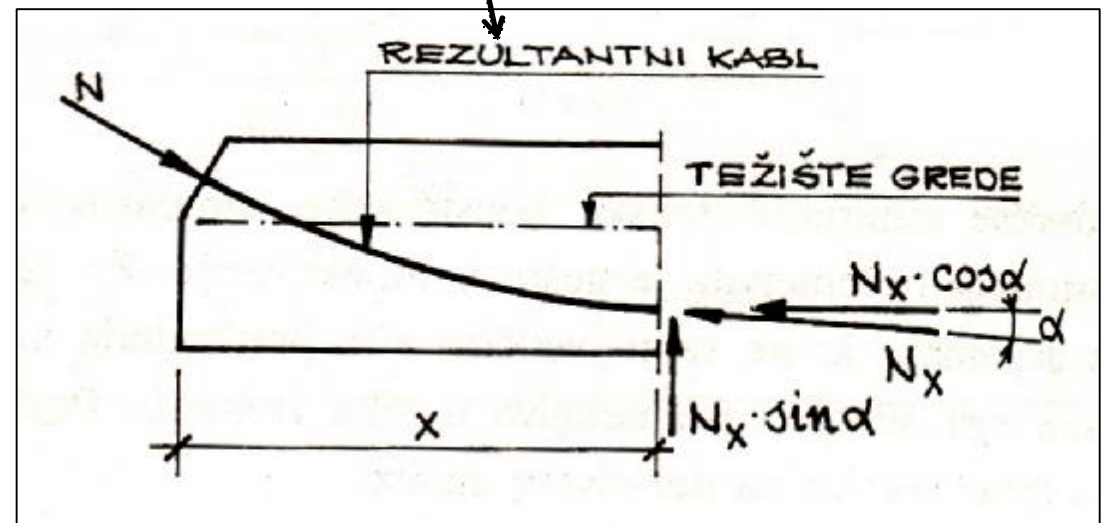
6. Dimenzionisanje prednapregnutih elemenata

- *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'

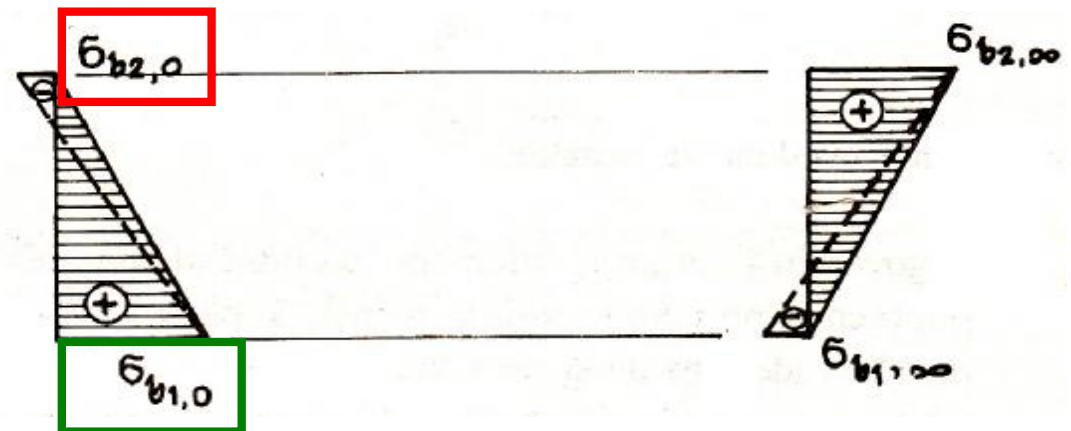
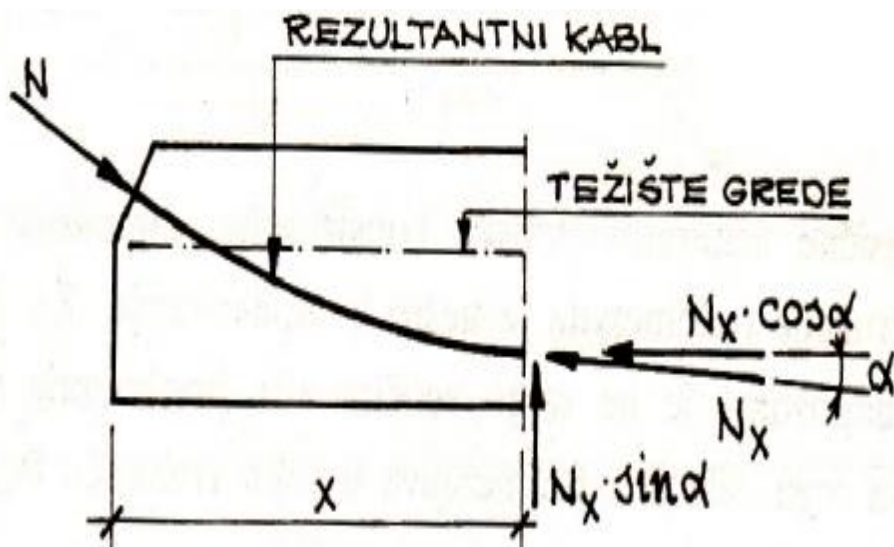
$$M = M_{min} = M_g; \quad N = N_{max} = N_0$$

a. Napon pritiska na donjoj ivici mora biti manji od dopuštenog $\sigma_{b1,0} \leq \sigma_{bd0}$

b. Napon na gornjoj ivici:

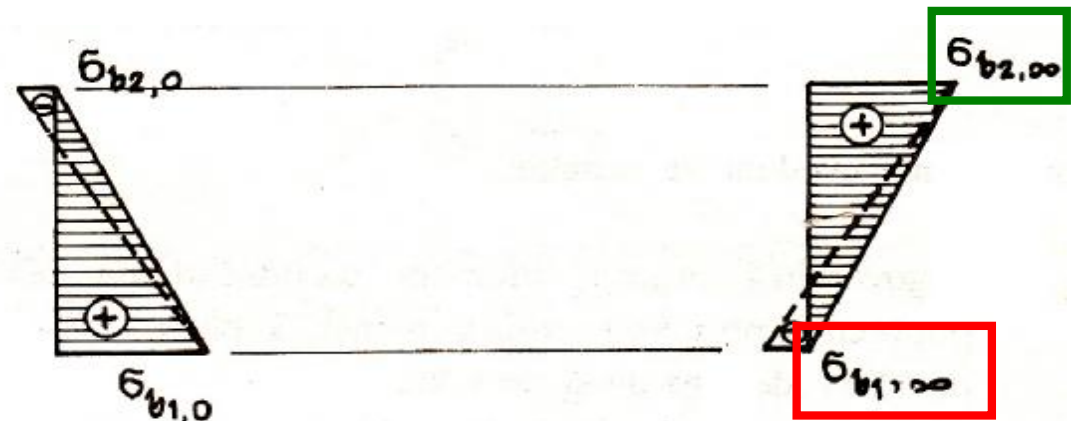
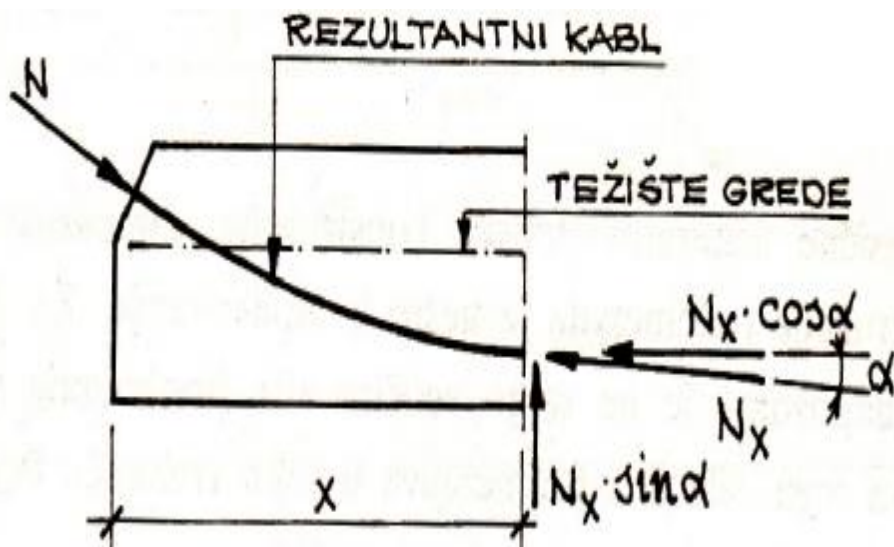
a. Ne sme biti zatezanje – potpuno prednaprezanje $\sigma_{b2,0} \geq 0$

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 prednaprežanje $\sigma_{b1,\infty} \geq 0$)

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

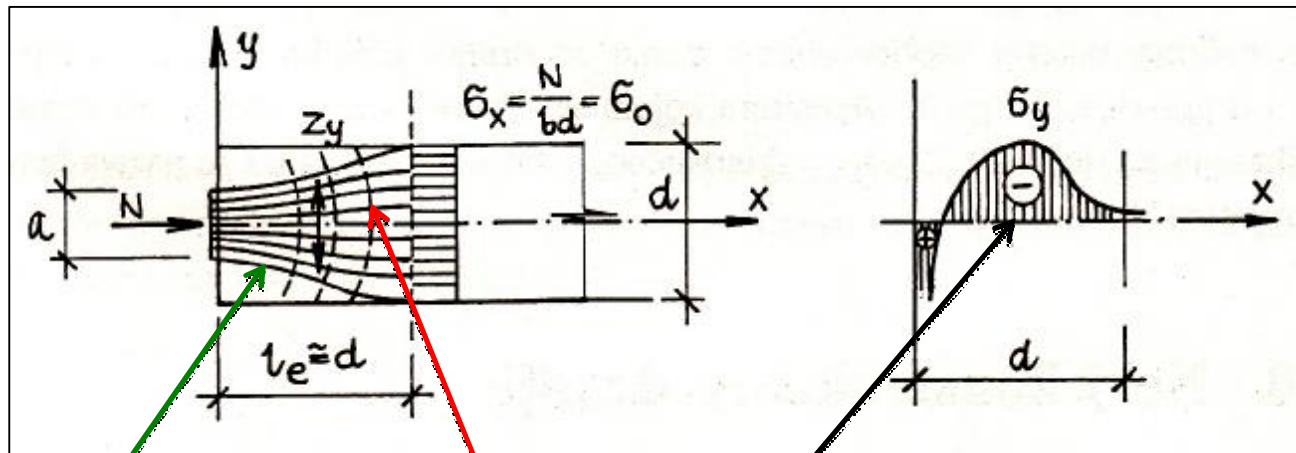
- Nakon određivanja N_{∞} sprovode se ostale naponske kontrole
- U području oslonaca i na mestima velikih intenziteta T sila– kontrola glavnih napona zatezanja

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

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

7. Oblikovanje detalja

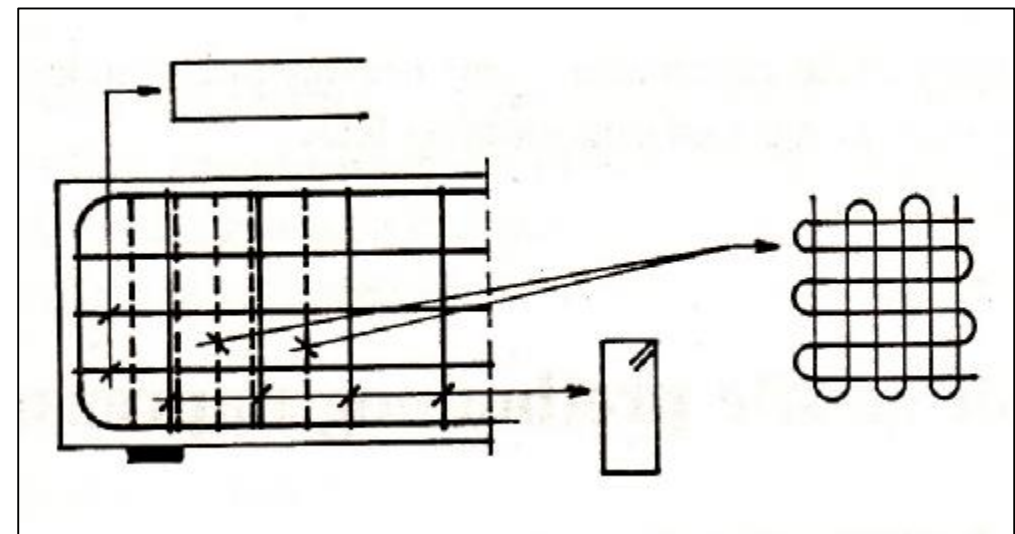
- Uvođenje sile prethodnog naprezanja:
- Unošenje velike sile pritiska!



pritisak

zatezanje

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



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)

