

# Prethodno napregnute konstrukcije

Predavanje VII  
2022/2023

Prof. dr Radmila Sindić-Grebović

# Granična stanja upotrebljivosti

**MEST EN 1992-1-1:2017**

**Granična stanja upotrebljivosti prema MEST EN 1992-1-1, važe za armiranobetonske konstrukcije i prethodno napregnute konstrukcije. Pojedina ograničenja koja se odnose samo na prethodno napregnute konstrukcije, data su posebnim paragrafima.**

**Granična stanja upotrebljivosti (serviceability limit states) su:**

- **ograničenje napona (stress limitation)**
- **kontrola prslina (crack control)**
- **kontrola ugiba (deflection control)**

**Za potrebe proračuna napona i ugiba može se pretpostaviti da su poprečni presjeci bez prslina, ako naponi zatezanja pri savijanju nijesu veći od  $f_{ct,eff}$ .**

**Za  $f_{ct,eff}$ , može da se uzme  $f_{ctm}$  ili  $f_{ctm,fl}$ , pri čemu se za proračun minimalne površine zategnute armature koristi ista vrijednost.**

**Za proračun širine prslina i sadejstva zategnutog betona koristi se  $f_{ctm}$ .**

# Ograničenje napona

- Naponi pritiska u betonu treba da se ograniče da bi se izbjegle podužne prsline, mikroprsline ili veliko tečenje betona.
- Kod prethodno napregnutih konstrukcija mora da se izbjegne lokalni lom usljed drobljenja ili cijepanja na krajevima.
- Napon pritiska u betonu, od sile prethodnog naprezanja i drugih opterećenja koja djeluju u trenutku zatezanja ili prenošenja sile prethodnog naprezanja, treba da se ograniči na:

$$\sigma_c \leq 0.6f_{ck}(t)$$

gdje je  $f_{ck}(t)$  karakteristična vrijednost čvrstoće betona pri pritisku u vremenu  $t$  kada je izložen sili prethodnog naprezanja

U prethodno napregnutim elementima u kojima se kablovi prethodno zatežu, u trenutku prenošenja sile prethodnog naprezanja napon u betonu može da se poveća do  $k_6 f_{ck}(t)$ , ako se ispitivanjem ili iskustvom može dokazati da neće doći do podužnih prslina.

Preporučena vrijednost za  $k_6$  je 0.7.

Ukoliko je napon pritiska u betonu stalno veći od  $0.45 f_{ck}(t)$  treba da se u obzir uzme nelinearnost tečenja betona.

•Naponi zatezanja u armaturi se moraju ograničiti da bi se izbjegle neelastične deformacije i neprihvatljive veličine prslina i ugiba.

- U cilju ograničenja veličina prslina i deformacija u betonu napon zatezanja u armaturi za karakterističnu kombinaciju opterećenja ne treba da prekorači  $k_3 f_{yk}$ ;
- Kad je napon posljedica prinudne deformacije, napon zatezanja u armaturi ne treba da bude veći od  $k_4 f_{yk}$ ;
- Srednja vrijednost napona u kablovima za prethodno naprezanje ne treba da bude veća od  $k_5 f_{pk}$ .
- Preporučene vrijednosti za koeficijente su:  $k_3=0.8$ ;  $k_4=1$ ;  $k_5=0.75$ .

# Kontrola prslina

Pojava prslina je uobičajena u armiranobetonskim konstrukcijama izloženim savijanju, smicanju, torziji ili zatezanju.

Prisustvo prslina može uticati na smanjenje trajnosti konstrukcije usljed korozije armature i čelika za prethodno naprezanje.

Za izbjegavanje korozije čelika u betonu koriste se:

a) Projektni kriterijumi

- agresivnost sredine
- projektovani životni vijek

b) Projektne mjere

- a) dovoljna debljina zaštitnog sloja
- b) dovoljno niska propustljivost (u kombinaciji sa debljinom zašt. sloja)
- c) izbjegavanje štetnih prslina paralelno armaturi

## **Agresivnost sredine se iskazuje kroz klase izloženosti.**

**Klase izloženosti su definisane u EN206. Glavne klase su:**

- XO – nema rizika od dejstva korozije**
- XC – rizik od korozije prouzrokovane karbonacijom**
- XD – rizik od korozije prouzrokovane hloridima (osim iz morske vode)**
- XS – rizik od korozije prouzrokovane hloridima iz morske vode**
- XF – rizik od dejstva zamrzavanja i odmrzavanja**
- XA – agresivna hemijska dejstva**

**Prsline moraju da se ograniče na veličinu koja neće uticati nepovoljno na ispravno funkcionisanje i trajnost konstrukcije, niti će učiniti da izgled konstrukcije bude neprihvatljiv.**

**Treba da se usvoji granična vrijednost računске širine prsline,  $w_{\max}$ , vodeći računa o predviđenoj namjeni i prirodi konstrukcije, kao i o koštanju ograničenja prslina.**



**Vrijednosti  $w_{max}$  se propisuju Nacionalnim aneksom. Preporučene vrijednosti su date u Tabeli 7.1N (EN 1992-1-1:2004).**

Exposure Class	Reinforced members and prestressed members with unbonded tendons	Prestressed members with bonded tendons
	Quasi-permanent load combination	Frequent load combination
X0, XC1	0,4 <sup>1</sup>	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2 <sup>2</sup>
<sup>AC2</sup> XD1, XD2, XD3, XS1, XS2, XS3 <sub>AC2</sub>		Decompression
<p><b>Note 1:</b> For X0, XC1 exposure classes, crack width has no influence on durability and <sup>AC1</sup>this limit is set to give generally acceptable appearance. In the absence <sup>AC1</sup> of appearance conditions this limit may be relaxed.</p> <p><b>Note 2:</b> For these exposure classes, in addition, decompression should be checked under the quasi-permanent combination of loads.</p>		

**Vrijednosti  $w_{\max}$  za mostove se propisuju Nacionalnim aneksom. Preporučene vrijednosti su date u Tabeli 7.101N (EN 1992-2).**

Klasa izloženosti	Armirani i prethodno napregnuti elementi sa kablovima bez prijanjanja	Prethodno napregnuti elementi sa kablovima sa prijanjanjem
	Kvazi-stalna kombinacija opterećenja	Česta kombinacija opterećenja
X0, XC1	0,2 <sup>a</sup>	0,1
XC2, XC3, XC4	0,2	0,1 <sup>b</sup>
XD1, XD2, XD3, XS1, XS2, XS3		Dekompresija

<sup>a</sup> Za klase izloženosti X0, XC1, širina prsline nema uticaja na trajnost i ovo ograničenje treba da garantuje prihvatljiv izgled. Ako nema uslova koji se odnose na izgled ovo ograničenje može da se ublaži.

<sup>b</sup> Za ove klase izloženosti, dodatno, treba da se provjeri i dekompresija za kvazi-stalnu kombinaciju opterećenja.

Prsline mogu kritično da utiču na trajnost prethodno napregnutih elemenata.

Ako nema posebnih zahtjeva može se smatrati da su vrijednosti ograničenja proračunske širine prslina date u Tabeli 7.1N zadovoljavajuće.

**Granica dekompresije** podrazumijeva da su svi djelovi kablova koji prijanjaju sa betonom najmanje 25 mm unutar pritisnutog betona.

Za elemente koji su prethodno napregnuti samo kablovima bez prijanjanja važe zahtjevi za armiranobetonske elemente.

Za elemente u kojima su kombinovani kablovi sa prijanjanjem i kablovi bez prijanjanja važe zahtjevi za prethodno napregnute elemente sa prijanjanjem.

## Minimalna površina armature pri kontroli prslina

- Kad se zahtijeva kontrola prslina u zonama u kojima se očekuje zatezanje potrebna je minimalna površina armature koja prijanja sa betonom.
- Ta površina se može odrediti iz uslova ravnoteže sile zatezanja u betonu, neposredno prije pojave prsline i sile zatezanja u armaturi, na granici razvlačenja, ili pri nižem naponu, ako je potrebno da se ograniči širina prsline.
- Ako se tačnijim proračunom ne pokaže da je dovoljna manja površina armature, potrebne minimalne površine mogu da se sračunaju postupkom koji slijedi.
- Za razuđene presjeke minimalna armatura može se proračunati odvojeno za pojedine djelove (rebra, flanše).

$$A_{s,\min}\sigma_s = k_c k f_{ct,eff} A_{ct}$$

(1)

- $A_{s,min}$  minimalna površina armature u zategnutoj zoni
- $A_{ct}$  površina betona u zategnutoj zoni (u stanju zatezanja neposredno prije pojave prve prsline)
- $\sigma_s$  apsolutna vrijednost maksimalnog dopuštenog napona u armaturi neposredno posle pojave prsline (granica razvlačenja  $f_{yk}$  ili niži napon iz uslova kontrole širine prsline bez direktnog proračuna)
- $f_{ct,eff}$  srednja vrijednost efektivne čvrstoće betona pri zatezanju u trenutku pojave prvih prsline ( $f_{ct,eff}=f_{ctm}$  ili  $f_{ct,eff}= f_{ctm}(t)$  za  $t<28$  dana)
- $k$  koeficijent kojim se uzima u obzir uticaj neuniformno podijeljenih ravnotežnih napona na smanjivanje sila usljed spriječenih deformacija; =1.0 za rebra  $h\leq 300$  mm ili flanše  $b\leq 300$  mm; =0.65 za rebra  $h\geq 800$  mm ili flanše  $b>800$  mm; međuvrijednosti se određuju interpolacijom.
- $k_c$  koeficijent kojim se uzima u obzir dijagram napona u presjeku neposredno prije pojave prsline, kao i promjena kraka unutrašnjih sila:

za čisto zatezanje:  $k_c=1.0$

za pravougaone presjeka i rebra T presjeka

$$k_c = 0.4 \left[ 1 - \frac{\sigma_c}{k_1 \left( h/h^* \right) f_{ct,eff}} \right] \leq 1$$

za flanše sandučastih i T presjeka

$$k_c = 0.9 \left[ \frac{F_{cr}}{A_{ct} f_{ct,eff}} \right] \geq 0.5$$

Pri tome je:

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{bh}$$

- srednja vrijednost napona u betonu u posmatranom dijelu presjeka

$N_{Ed}$  – aksijalna sila u graničnom stanju upotrebljivosti koja djeluje na posmatrani dio porečnog presjeka. Određuje se za karakterističnu vrijednost sile prethodnog naprezanja i aksijalne sile za mjerodavnu kombinaciju dejstava.

$h^* = h$  za  $h < 1.0$  m;  $h^*=1.0$  m za  $h \geq 1.0$  m

$k_1=1.5$  ako je  $N_{Ed}$  sila pritiska;  $k_1=2h^*/3h$  ako je  $N_{Ed}$  sila zatezanja

$F_{cr}$  - apsolutna vrijednost sile zatezanja u flanši neposredno prije pojave prsline, usljed momenta savijanja pri kojem nastaje prsline sračunatog sa  $f_{ct,eff}$ .

Kablovi za prethodno naprezanje koji prijanjaju sa betonom imaju uticaj na kontrolu prslina u zategnutoj zoni na rastojanju  $\leq 150$  mm od ose kabla.

Taj uticaj se može uzeti u obzir dodavanjem  $\xi_1 A'_p \Delta\sigma_p$  sa lijeve strane izraza (1),

gdje je:

$A'_p$  površina prethodno ili naknadno zategnutih kablova na dijelu presjeka površine  $A_{c,eff}$

$A_{c,eff}$  efektivna površina zategnutog betona oko armature i kablova za prethodno naprezanje, visine  $h_{c,ef}$ , gdje je  $h_{c,ef}$  manja od veličina  $2.5(h-d)$ ,  $(h-x)/3$  ili  $h/2$

$\xi_1$  korigovani odnos čvrstoće prijanjanja sa betonom kablova za prethodno naprezanje i armature, uzimajući u obzir razlike u prečnicima

$$\xi_1 = \sqrt{\xi \cdot \frac{\phi_s}{\phi_p}}$$

$\xi$  je odnos čvrstoće prianjanja sa betonom kablova za prethodno naprezanje i armature, dat u tabeli 6.2 (EN 1992-1-1:2004)

$\varnothing_s$  najveći prečnik šipke armature

$\varnothing_p$  ekvivalentni prečnik kabla

$\Delta\sigma_p$  promjena napona u kablovima za prethodno naprezanje u odnosu na nulto stanje deformacija u betonu na istom nivou presjeka

$$\xi_1 = \sqrt{\xi}$$

ako se za kontrolu prslina koristi samo čelik za prethodno naprezanje



Tabela 7.2N: Maksimalni prečnik šipki  $\phi_s^*$  za kontrolu prslina<sup>1</sup>

Napon u čeliku <sup>2</sup> [MPa]	Maksimalni prečnik šipke [mm]		
	$w_k = 0,4$ mm	$w_k = 0,3$ mm	$w_k = 0,2$ mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	8	5	–

Ekvivalentni prečnik kabla  $\phi_p$  je:

$$\phi_p = 1.6\sqrt{A_p}$$

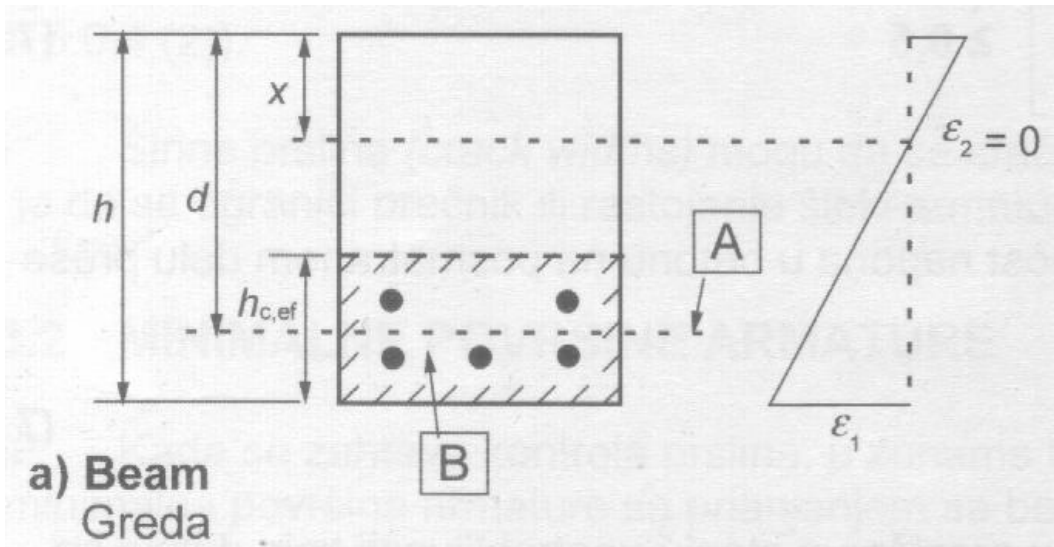
za svežnjeve kablova za prethodno naprezanje

$$\phi_p = 1.75\phi_{wire}$$

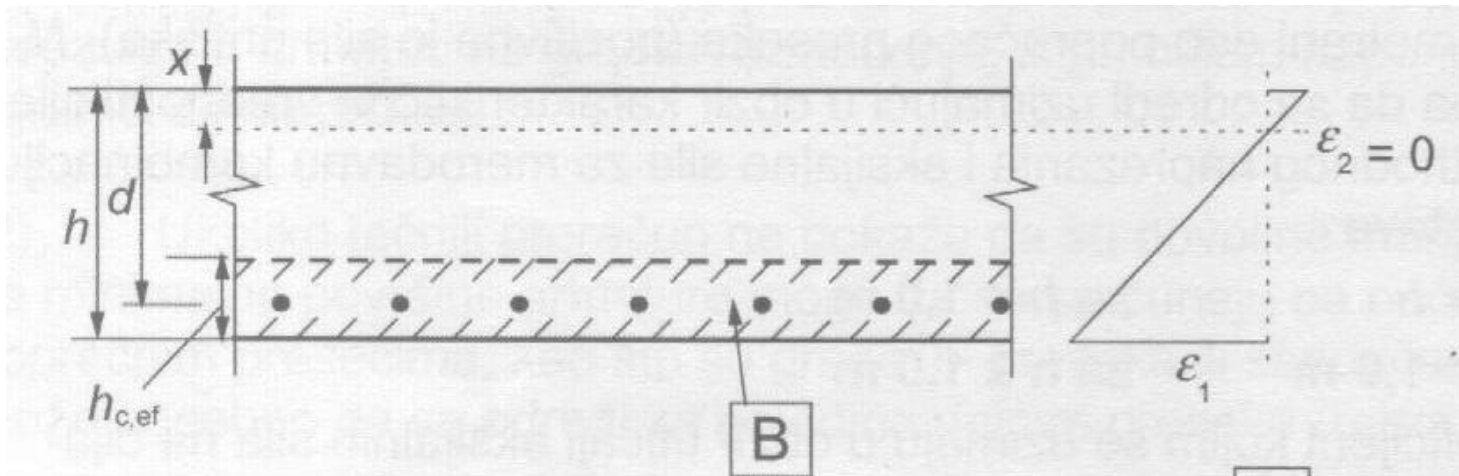
za pojedinačnu užad od 7 žica

$$\phi_p = 1.20\phi_{wire}$$

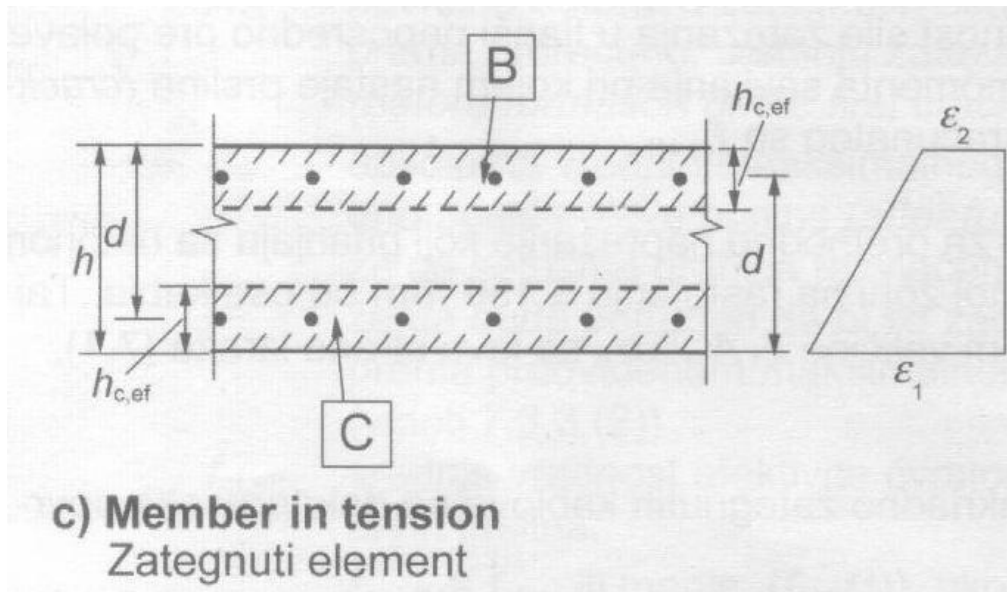
za pojedinačnu užad od 3 žice



- A – nivo težišta čelika
- B – efektivna zategnuta površina betona  $A_{c,eff}$



- B – efektivna zategnuta površina betona  $A_{c,eff}$



**B –** efektivna zategnuta površina betona u gornjoj zoni  $A_{ct,eff}$

**C –** efektivna zategnuta površina betona u donjoj zoni  $A_{cb,eff}$

U prethodno napregnutim elementima, u presjecima u kojima je za karakterističnu kombinaciju opterećenja i karakterističnu vrijednost prethodnog naprezanja beton pritisnut, ili je apsolutna vrijednost napona zatezanja u betonu manja od  $\sigma_{ct,p}$ , ne zahtijeva se minimalna površina armature.

Preporučena vrijednost za  $\sigma_{ct,p}$  je  $f_{ct,eff}$ .

# Kontrola prslina bez direktnog proračuna

- Proračun širine prslina može da se prikaže u obliku tabela, uz ograničavanje prečnika ili rastojanja šipki.
- Kad je obezbijeđena minimalna armatura, prema navedenim odredbama, može da se očekuje da širina prslina neće biti prekoračena pod uslovom da su ispunjeni zahtjevi iz tabela 7.2N i 7.3N (EN 1992-1-1).
- Za betonske elemente sa prethodno zategnutim kablovima, kad je kontrola prslina obezbijeđena kablovima koji neposredno prijanjaju sa betonom, tabele 7.2N i 7.3N mogu da se koriste sa naponom u čeliku jednakom totalnom naponu, umanjenom za napone od prethodnog zatezanja.
- Za betonske elemente sa naknadnim zatezanjem, u kojima je kontrola prslina obezbijeđena najvećim dijelom običnom armaturom, tabele mogu da se koriste sa naponom u toj armaturi sračunatim uzimajući u obzir i uticaje od sile prethodnog naprezanja.

**Maksimalni prečnik šipke treba da se koriguje na sljedeći način (u slučaju savijanja, kad je bar dio presjeka pritisnut):**

$$\phi_s = \phi_s^* \left( f_{ct,eff} / 2.9 \right) \frac{k_c h_{cr}}{2(h-d)}$$

**gdje je:**

- $\phi_s$       **korigovani maksimalni prečnik šipke;**
- $\phi_s^*$      **maksimalni prečnik šipke dat u tabeli 7.2N;**
- $h_{cr}$      **visina zategnute zone neposredno prije pojave prsline, uzimajući u obzir karakterističnu vrijednosti prethodnog naprezanja i aksijalne sile za kvazi-stalnu kombinaciju dejstava**

**Tabela 7.2N: Maksimalni prečnik šipki  $\varnothing_s^*$  za kontrolu prslina<sup>1</sup>**

Napon u čeliku <sup>2</sup> [MPa]	Maksimalni prečnik šipke [mm]		
	$w_k = 0,4$ mm	$w_k = 0,3$ mm	$w_k = 0,2$ mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	8	5	-

**Tabela 7.3N: Maksimalno rastojanje šipki armature za kontrolu prslina<sup>1</sup>**

Napon u čeliku <sup>2</sup> [MPa]	Maksimalno rastojanje šipki [mm]		
	$w_k = 0,4$ mm	$w_k = 0,3$ mm	$w_k = 0,2$ mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	250	100	-
360	100	50	-

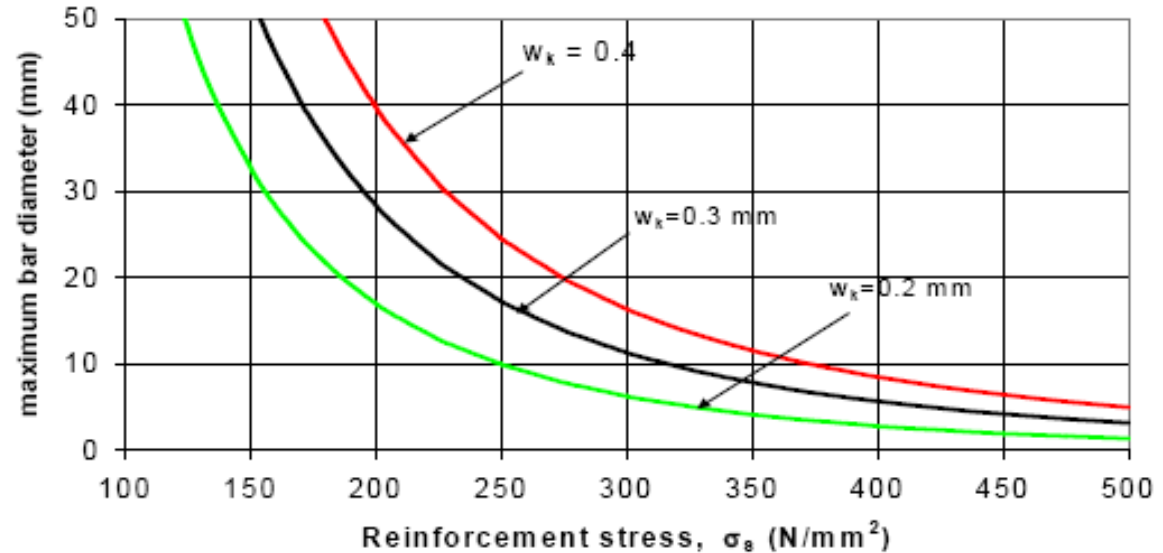
NAPOMENE 1 Vrijednosti u tabeli određene su uz sljedeće pretpostavke:

$$c = 25 \text{ mm}; f_{ct,eff} = 2,9 \text{ MPa}; h_{cr} = 0,5h; (h - d) = 0,1h;$$

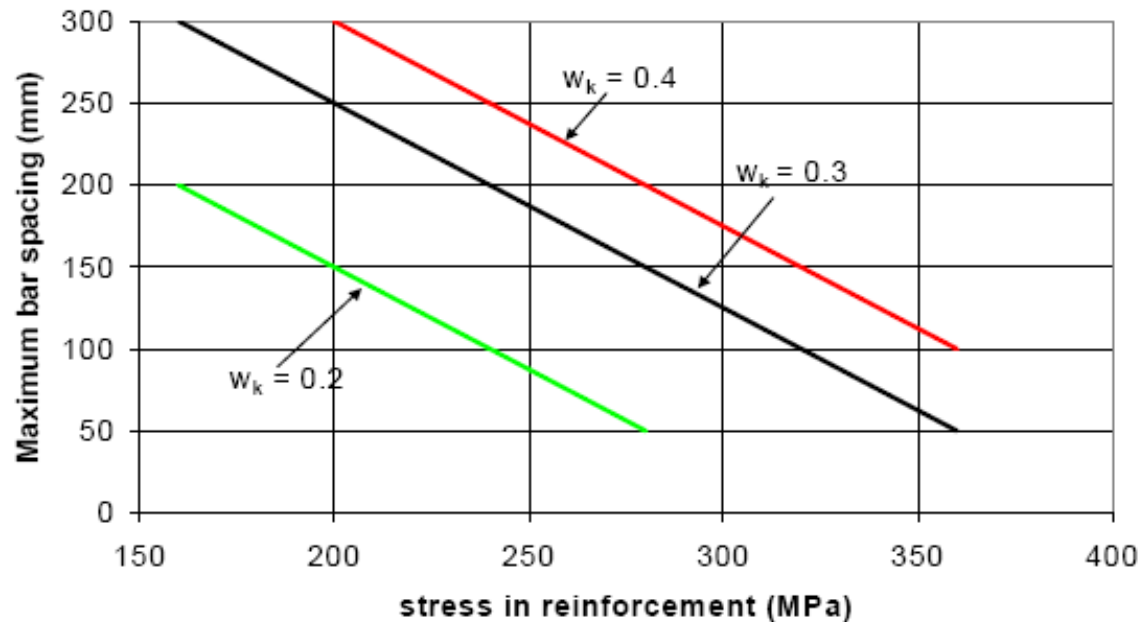
$$k_1 = 0,8; k_2 = 0,5; k_c = 0,4; k = 1,0; k_t = 0,4 \text{ i } k_4 = 1,0$$

2. Za mjerodavne kombinacije dejstava

**Maksimalni prečnik šipke u zavisnosti od napona u čeliku**



**Maksimalno rastojanje šipki u zavisnosti od napona u čeliku**



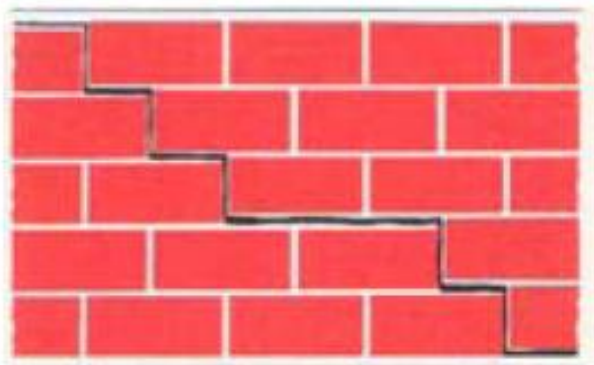
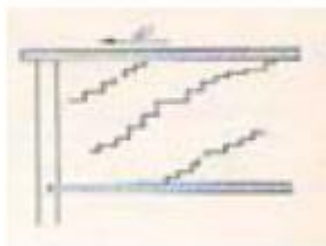


# Kontrola ugiba

Ugibi elementa ili konstrukcije ne smiju da djeluju nepovoljno na njihovo ispravno funkcionisanje ili izgled.

Granične vrijednosti ugiba treba usvojiti vodeći računa o prirodi konstrukcije, o završnim radovima, pregradnim zidovima, elementima za pričvršćivanje za konstrukciju i namjeni konstrukcije.

Značajne posljedice prekomjernih ugiba mogu biti oštećenja nekonstruktivnih elemenata, kao što su pregradni zidovi.



Izgled i generalna upotrebljivost konstrukcije mogu da budu dovedeni u pitanje ako je sračunati ugib greda, ploča ili konzola od kvazi-stalnih opterećenja veći od odnosa raspon/250.

Ugib pri kvazi-stalnom opterećenju treba da bude ograničen na raspon/500 da bi bila izbjegnuta oštećenja susjednih djelova konstrukcije.

Ugib se određuje u odnosu na oslonce. Prethodno nadvišenje konstrukcije se može koristiti da bi se kompenzovao dio ugiba ili cio ugib, ali ne smije biti veće od raspon/250.



Granično stanje ugiba može se provjeriti na dva načina:

- Ograničenjem odnosa raspon/visina (slučajevi kad se proračuni mogu izostaviti)
- Upoređenje sračunatog ugiba sa graničnom vrijednošću

## Slučajevi kad se proračuni mogu izostaviti

Eksplicitan proračun ugiba nije neophodan ako se primijeni ograničenje odnosa raspon/visina presjeka, kojima se izbjegavaju problemi ugiba.

Detaljnije provjere potrebne su za elemente koji su van ovih granica, ili se zahtijevaju ograničenja ugiba drugačija od onih koja se koriste u uprošćenim postupcima.

Pod uslovom da su armiranobetonske grede i ploče u zgradama dimenzionisane tako da zadovoljavaju granične odnose raspon/visina koji slijede, može se smatrati da njihovi ugibi neće biti veći od propisanih graničnih vrijednosti.

Granični odnos raspon/visina se može odrediti prema izrazima (2) i (3), i multipliciranjem tih izraza korekcionim koeficijentima kojima se uzimaju u obzir vrsta armature i drugi parametri.

$$\frac{l}{d} = K \left[ 11 + 1.5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho} + 3.2 \sqrt{f_{ck}} \left( \frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{3/2} \right] \quad \text{ako je } \rho \leq \rho_0 \quad (2)$$

$$\frac{l}{d} = K \left[ 11 + 1.5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \sqrt{f_{ck}} \sqrt{\frac{\rho'}{\rho_0}} \right] \quad \text{ako je } \rho > \rho_0 \quad (3)$$

gdje je:

**$l/d$**  granični odnos raspon/statička visina

**$K$**  koeficijent kojim se uzimaju u obzir različiti konstrukcijski sistemi

**$\rho_0$**  referentni koeficijent armiranja

$$\rho_0 = 10^{-3} \cdot \sqrt{f_{ck}}$$

**$\rho$**  potreban koeficijent armiranja zategnutom armaturom u sredini raspona od proračunskih opterećenja (za konzolu kod oslonca)

**$\rho'$**  potreban koeficijent pritiskute armature u sredini raspona za moment savijanja od proračunskih opterećenja

**$f_{ck}$**  karakteristična vrijednost čvrstoće betona pri pritisku u MPa

Izrazi (2) i (3) su izvedeni pod pretpostavkom da je napon u čeliku od odgovarajućeg proračunskog opterećenja, u presjeku sa prslinom, gdje se kontroliše ugib, 310 MPa (približno odgovara za  $f_{yk}=500$  MPa).

Kada su druge vrijednosti napona, odnosi  $l/d$ , dobijeni prema izrazima (2) i (3) treba da se pomnože sa  $310/\sigma_s$ .

Za presjeke sa flanšama, u kojima je odnos širine flanše prema debljini rebra veći od 3, vrijednosti  $l/d$  treba da se pomnoži koeficijentom 0.8.

Vrijednosti K se određuju Nacionalnim aneksom. Preporučene vrijednosti su date u tabeli 7.4N (EN 1992-1-1:2004).

Vrijednosti u tabeli su date za uobičajene slučajeve (C30/37,  $\sigma_s=310$  MPa, za različite konstrukcijske sisteme i koeficijente armiranja  $\rho=0.5\%$  i  $\rho=1.5\%$ ).



**Tabela 7.4N: Osnovni odnosi raspon/statička visina za armiranobetonske elemente bez aksijalnog pritiska**

Konstruktivni sistem	$K$	Veliki naponi u betonu $\rho = 1,5\%$	Mali naponi u betonu $\rho = 0,5\%$
Slobodno oslonjena greda, slobodno oslonjena ploča koja nosi u jednom ili u dva pravca	1,0	14	20
Krajnje polje kontinualnog grednog nosača ili kontinualne ploče koja nosi u jednom pravcu, ili ploče koja nosi u dva pravca, kontinualna preko jedne, duže strane	1,3	18	26
Unutrašnje polje grednog nosača ili ploče koja nosi u jednom ili u dva pravca	1,5	20	30
Ploča oslonjena na stubove bez greda (ravna ploča) ( <i>flat slab</i> ) (u odnosu na veći raspon)	1,2	17	24
Konzola	0,4	6	8

**Napomena 1:** Date vrednosti usvojene su tako da su generalno na strani sigurnosti i proračun često može da pokaže da su mogući tanji elementi.

**Napomena 2:** Za ploče koje nose u dva pravca provera treba da se izvrši prema kraćem rasponu. Za ravne ploče (ploče na stubovima bez kapitela) treba da se uzme veći raspon.

**Napomena 3:** Granične vrednosti date za ploče bez kapitela odgovaraju manje strogim ograničenjima od onih koje daje odnos **raspon/250** za ugibe u sredini raspona u odnosu na stubove. Iskustvo je pokazalo da su te granične vrednosti zadovoljavajuće.

# Provjera ugiba proračunom

- Kada se smatra da je potreban proračun ugiba, on se mora izvršiti za uslove opterećenja koji odgovaraju svrsi provjere.
- Metoda proračuna mora da odgovara stvarnom ponašanju konstrukcije pod relevantnim opterećenjem, sa tačnošću koja odgovara ciljevima proračuna. Za elemente kod kojih se očekuje pojava prslina, pri čemu se prsline neće u potpunosti obrazovati, može se adekvatna procjena ponašanja izvršiti pomoću izraza:

$$\alpha = \xi\alpha_{II} + (1 - \xi)\alpha_I \quad (4)$$

gdje je:

- $\alpha$  posmatrani parametar koji može da bude deformacija, krivina ili rotacija. (Kao uprošćenje može se pretpostaviti da je  $\alpha$  ugib).
- $\alpha_I, \alpha_{II}$  vrijednosti parametra sračunate za stanje bez prslina i za stanje sa potpuno obrazovanim prslinama.
- $\xi$  distributivni koeficijent kojim se uzima u obzir sadejstvo zategnutog betona

$$\xi = 1 - \beta \left( \frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \quad ; \quad \xi=0 \text{ za presjek bez prslina}$$

- $\beta$**  koeficijent kojim se uzima u obzir uticaj trajanja opterećenja i ponavljanje  
=1.0 za jedno kratkotrajno  
=0.5 za dugotrajno ili veliki broj ciklusa ponavljanja opterećenja
- $\sigma_s$**  napon u zategnutoj armaturi, za presjek sa prslinom
- $\sigma_{sr}$**  napon u zategnutoj armaturi, za presjek sa prslinom, pri pojavi prve prsline

Odnos  $\sigma_{sr}/\sigma_s$  može da se zamijeni sa  $M_{cr}/M$  za savijanje ili  $N_{cr}/N$  za čisto zatezanje, gdje je  $M_{cr}$  moment savijanja pri pojavi prve prsline, a  $N_{cr}$  sila zatezanja pri kojoj nastaje prslina.

Deformacije od opterećenja mogu da se odrede koristeći čvrstoću pri zatezanju i efektivni modul elastičnosti.



Za opterećenja čije trajanje izaziva uticaje tečenja, ukupna deformacija se može izračunati korišćenjem efektivnog modula elastičnosti za beton, prema izrazu:

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty, t_0)}$$

gdje je:

$\varphi(\infty, t_0)$  koeficijent tečenja koji odgovara opterećenju i intervalu vremena

Krivine usljed skupljanja se mogu odrediti prema izrazu:

$$\frac{1}{r_{cs}} = \varepsilon_{cs} \alpha_e \frac{S}{I}$$

gdje je:

$1/r_{cs}$  krivina usljed skupljanja

$\varepsilon_{cs}$  nespriječena deformacija skupljanja

$S$  statički moment površine armature u odnosu na težište presjeka

$I$  moment inercije površine presjeka

$\alpha_e$  efektivni odnos modula elastičnosti  $\alpha_e = E_s / E_{c,eff}$

$S$  i  $I$  treba da se sračunaju za stanje u presjeku bez prsline i za stanje sa prslinom. Konačna krivina se određuje korišćenjem izraza (4).