

Prethodno napregnute konstrukcije

Predavanje VII
2019/2020

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 EN206-1. 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 ¹ | 0,2 |
| XC2, XC3, XC4 | 0,3 | 0,2 ² |
| $\langle AC_2 \rangle$ XD1, XD2, XD3, XS1, XS2, XS3 $\langle AC_2 \rangle$ | | Decompression |
| <p>Note 1: For X0, XC1 exposure classes, crack width has no influence on durability and $\langle AC_1 \rangle$ this limit is set to give generally acceptable appearance. In the absence $\langle AC_1 \rangle$ of appearance conditions this limit may be relaxed.</p> <p>Note 2: 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 ^a | 0,1 |
| XC2, XC3, XC4 | 0,2 | 0,1 ^b |
| XD1, XD2, XD3, XS1, XS2, XS3 | | Dekompresija |

^a 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.

^b 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)
- σ_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 ≤ 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 $h/2$

ξ_1 korigovani odnos čvrstoće prijanjanja sa betonom kablova za prethodno naprezanje i armature, uzimajući u obzir razlike u prečnicima

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

ξ je odnos čvrstoće prijanjanja 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 ϕ_s^* za kontrolu prslina¹

| Napon u čeliku ² [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 ϕ_p je:

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

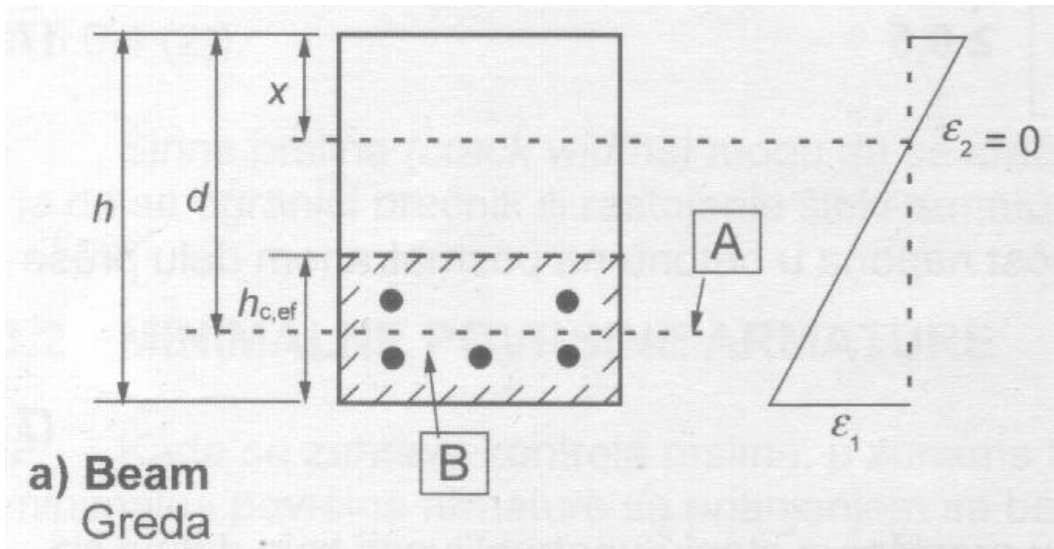
za svežnjeve kablova za prethodno naprezanje

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

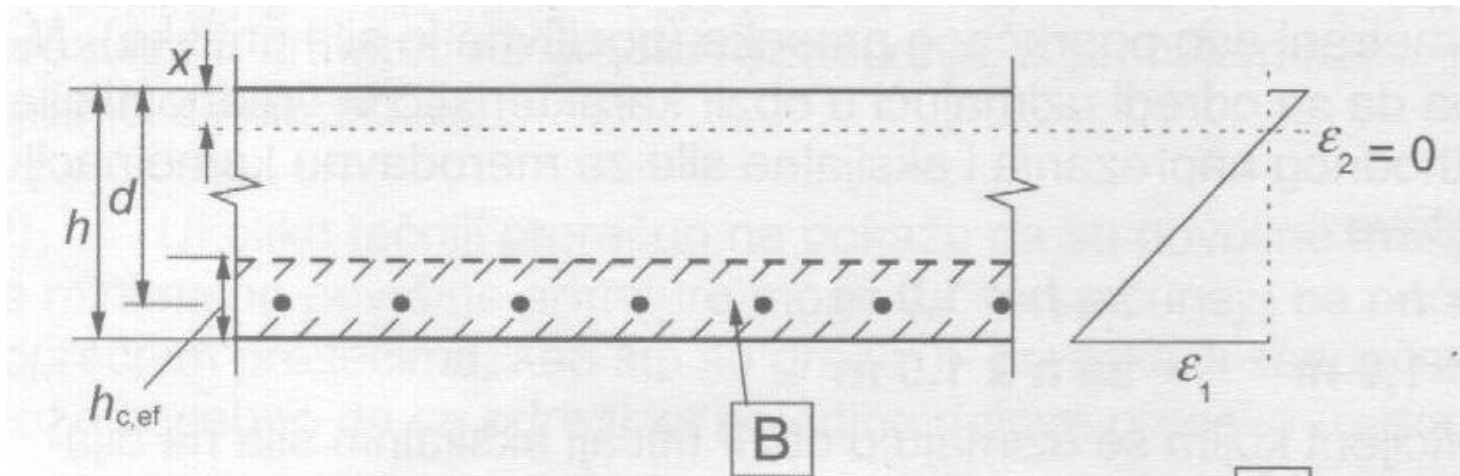
za pojedinačnu užad od 7 žica

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

za pojedinačnu užad od 3 žice

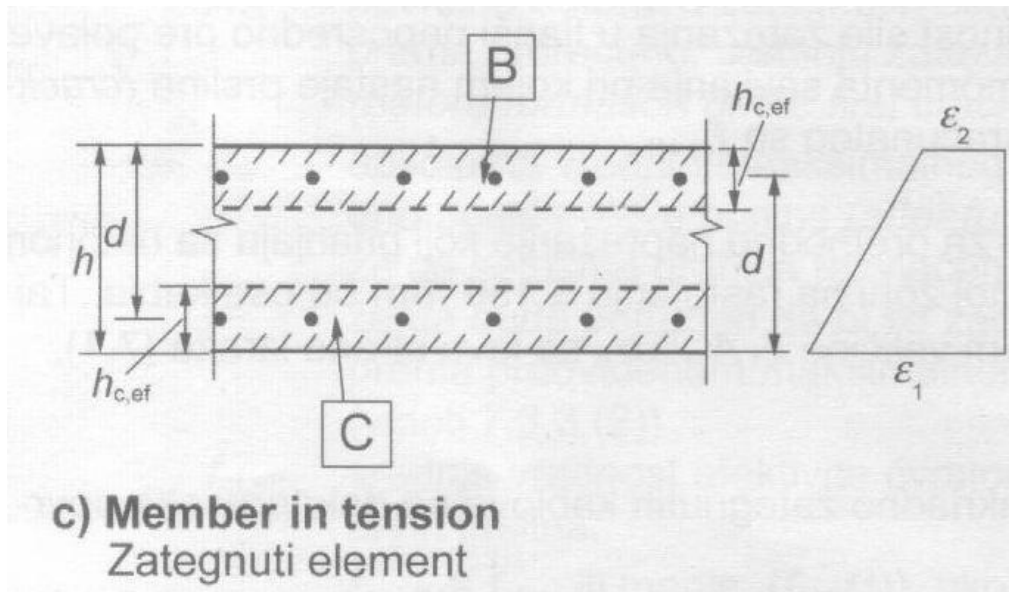


- A – nivo težišta čelika
- B – efektivna zategnuta površina betona $A_{c,eff}$



b) **Ploča**

- 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 obezbijedena 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 obezbijedena 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 obezbijedena, 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:

- ϕ_s korigovani maksimalni prečnik šipke;
- ϕ_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

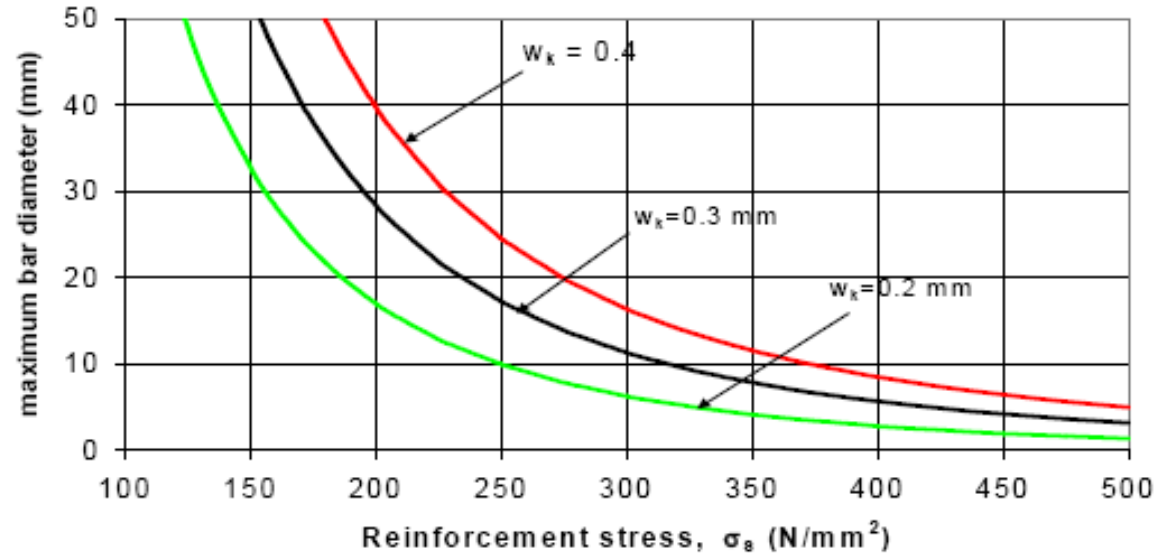
Tabela 7.2N: Maksimalni prečnik šipki \varnothing_s^* za kontrolu prslina¹

| Napon u čeliku ² [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 | - |

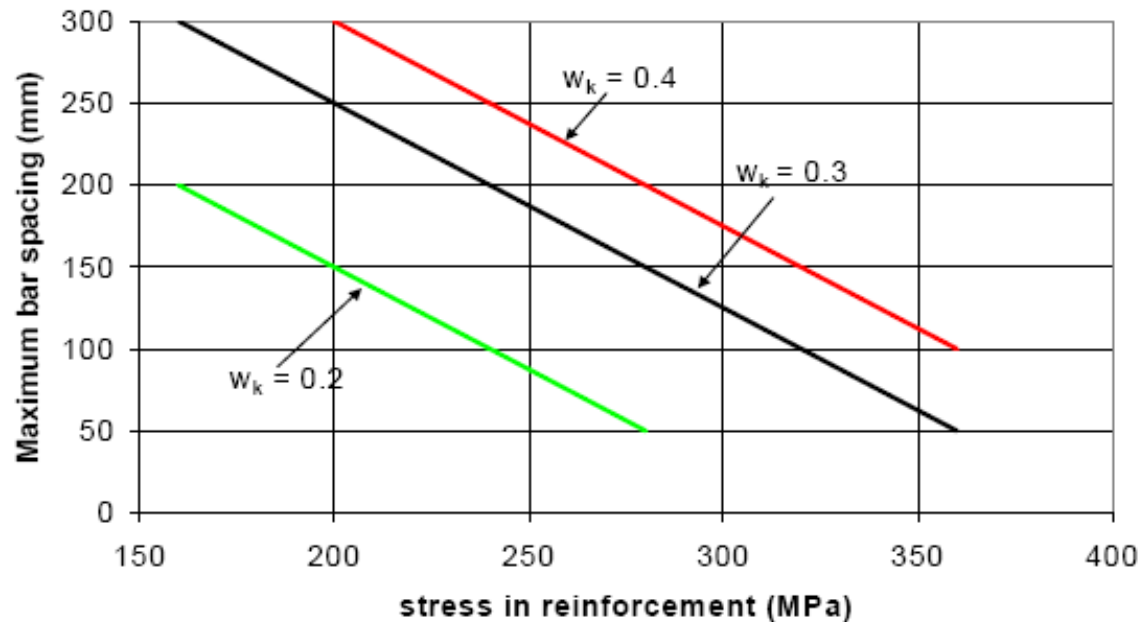
Tabela 7.3N: Maksimalno rastojanje šipki armature za kontrolu prslina¹

| Napon u čeliku ² [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 | - |

Maksimalni prečnik šipke u zavisnosti od napona u čeliku



Maksimalno rastojanje šipki u zavisnosti od napona u čeliku

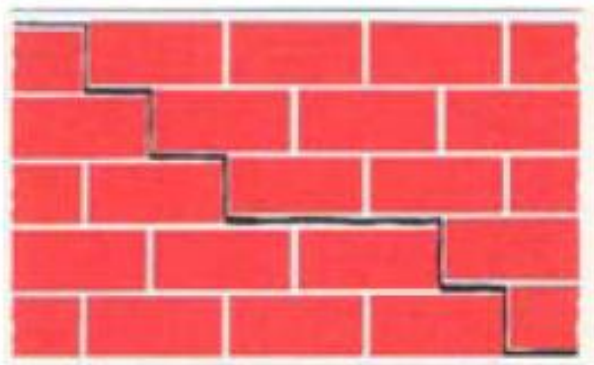
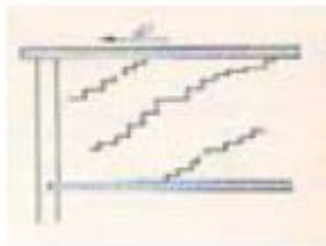


Kontrola ugiba

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

ρ_0 referentni koeficijent armiranja

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

ρ potreban koeficijent armiranja zategnutom armaturom u sredini raspona od proračunskih opterećenja (za konzolu kod oslonca)

ρ' 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:

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

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

- β** 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
- σ_s** napon u zategnutoj armaturi, za presjek sa prslinom
- σ_{sr}** napon u zategnutoj armaturi, za presjek sa prslinom, pri pojavi prve prsline

Odnos σ_{sr}/σ_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

ε_{cs} nespriječena deformacija skupljanja

S statički moment površine armature u odnosu na težište presjeka

I moment inercije površine presjeka

α_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).