

PROJEKTOVANJE I GRAĐENJE BETONSKIH KONSTRUKCIJA 2

3

V.prof dr Branko Milosavljević, dipl.građ.inž.



Lokalna duktilnost

Nakon zadovoljenje uslova propisanih za globalnu duktilnost, sledi provera i zadovoljenje uslova lokalne duktilnosti u zonama potencijalnog formiranja pastičnih zglobova:

- Dovoljna duktilnost krivine u kritičnim zonama **primarnih** elemenata.
- Sprečeno lokalno izvijanje pritisnute armature.
- Odgovarajući kvalitet betona i čelika sa aspekta duktilnosti (čelik klase C (visoka duktilnost) i dovoljno velika dilatacija pri lomu betona (utezanje).
- Zahtevana duktilnost krivine u kritičnoj zoni, definisana kao koeficijent duktilnosti krivine $\mu_{\phi} = \varphi_u / \varphi_y$, jednaka je:

$$\mu_{\phi} = 2q_0 - 1 \quad T_1 \geq T_C$$

$$\mu_{\phi} = 1 + 2(q_0 - 1)T_C / T_1 \quad T_1 < T_C$$

Za klasu armature B, vrednost se **uvećava 1.5 puta.**

Napomena:

Kao što je navedeno, zahtevi se odnose na **primerne** elemente konstrukcije. Prema SRPS EN 1998 moguće usvojiti da određeni broj elemenata (načešće stubova i ramova) predstavljaju tzv **sekundarne** elemente, odnosno elemente koji ne učestvuju u prihvatanju seizmičkih sila. Uslov za to je da ovi elementi ne primaju više od 15% seizmičke sile, i da su regularni po visini.

U tom slučaju na sekundarne elemente se ne primenjuju zahtevi za lokalnu duktilnost, već samo odredbe iz SRPS EN 1992.

Potrebno je sprovesti proračun primarnih elemenata konstrukcije na dejstvo seizmike u modelu u kome je isključena nosivost sekundarnih elemenata na horizontalne sile (npr. razglobljeni krajevi stubova).

Sekundarni elementi se moraju dimezionisati za gravitaciona opterećenja u kombinaciji sa uticajima od ukupnog pomeranja za dejstvo seizmike ($d_s = q_d \cdot d_e$) što može dovesti do znatnog povećanja uticaja u sekundarnim elementima (nosivost stubova i problem proboja stuba, npr.), i veće količine podužne armature.

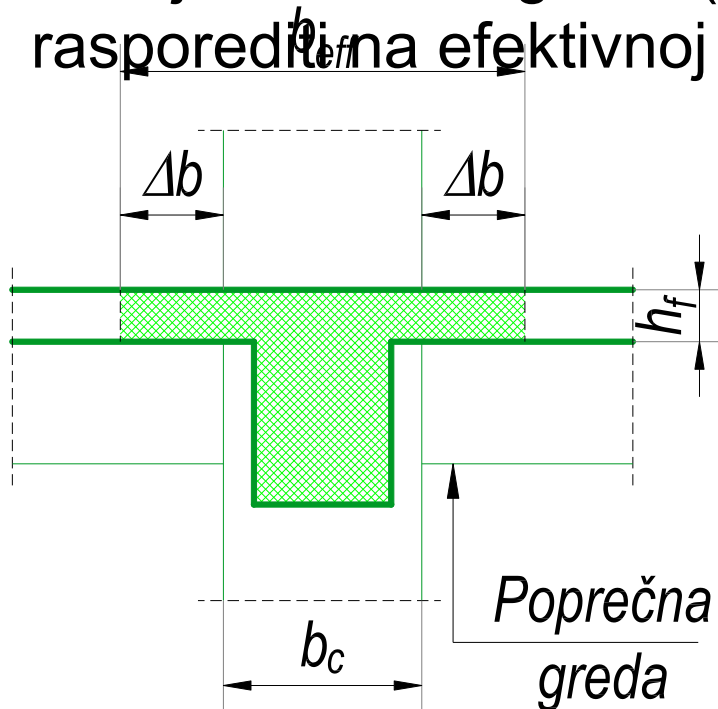
O ovome više na narednim predavanjima i vežbanjima.

Zahtevi za grede (DCM)

Ograničenje ekscentriciteta u osnovi na vezi grede i stuba $\leq b_o/4$ (b_o veća dimenzija preseka stuba).

Minimalna širina grede $b_w \leq \min(b_o + h_w; 2b_o)$ (h_w visina grede)

Gornja armatura grede (podvlake) T preseka se može rasporediti na efektivnoj širini flanše b_{eff} , tako da je:



Za vezu grede i ivičnog stuba:

$\Delta b=0$, ako nema poprečne grede,

$\Delta b=2h_f$, ako postoji poprečne greda

Za vezu grede i srednjeg stuba:

$\Delta b=2h_f$, ako nema poprečne grede,

$\Delta b=4h_f$, ako postoji poprečne greda

Zahtevi za grede (DCM)

Kritična zona grede je na dužini $l_{cr}=h_w$ (h_w visina preseka), mereno od ivice stuba (ili zida).

Pritisnuta armatura treba da bude veća od polovine negativne.

Maksimalni koeficijent armiranja zategnutom armaturom:

$$\rho_{max} = \rho' + \frac{0.0018 f_{cd}}{\mu_{\phi} \varepsilon_{sy,d} f_{yd}}$$

ρ' - koeficijent armiranja pritisnutom armaturom, sve u odnosu na površinu bd

Minimalni koeficijent armiranja zategnutom armaturom:

$$\rho_{min} = 0.5 \left(\frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right)$$

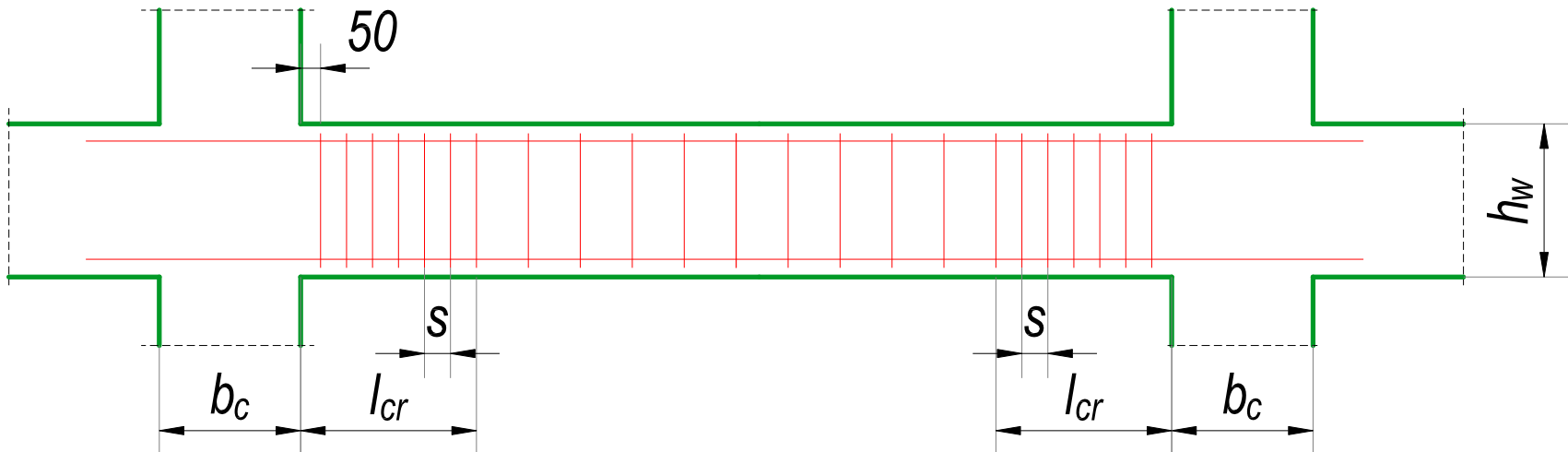
Zahtevi za grede (DCM)

Maksimalno rastojanje uzengija (u kritičnoj zoni, $\varnothing_{u,min} \geq 6mm$) :

$$s = \min(h_w/4; 24d_{bw}; 225; 8d_{bL}), \quad [mm]$$

gde je d_{bL} minimalni prečnik podužne armature $[mm]$.

Prva uzengija na rastojanju $\leq 50mm$ od ivice stuba.



Zahtevi za stubove (DCM)

Ukoliko je $\theta \leq 0.1$, dimenzija stuba treba da bude najmanje desetina rastojanja od kraja stuba do nulte tačke dijagrama momenata za posmatranu ravan.

U primarnim seizmičkim stubovima normalizovana aksijalna sila je ograničena na $v_d \leq 0.65$.

Keficijent armiranja podužnom armaturom treba da bude u granicama:

$$0.01 \leq \rho \leq 0.04$$

Simetrične preseke treba armirati simetrično.

Kritična dužina stuba, mereno od obe kraja stuba:

$$l_{cr} = \max(h_c ; l_{cl} / 6; 0,45), \text{ gde je } h_c \text{ visina preseka stuba, a } l_{cl} \text{ čista visina stuba, sve u } [m].$$

Ukoliko je $l_c / h_c < 3$, cela visina stuba se smatra kritičnom.

Zahtevi za stubove (DCM)

Specijalno, ukoliko je $v_d < 0.2$ i $q \leq 2.0$, poprečna armatura prema SRPSEN 1992-1-1.

U ostalim slučajevima, u kritičnoj zoni stuba na nivou iznad uklještenja ili krutog podruma treba zadovoljiti propisanu vrednost μ_ϕ utezanjem preseka, odnosno, ispunjenjem zahteva za lokalnu duktilnost:

$$\alpha \omega_{wd} \geq 30 \mu_\phi v_d \varepsilon_{sy,d} (b_o/b_o) - 0.035$$

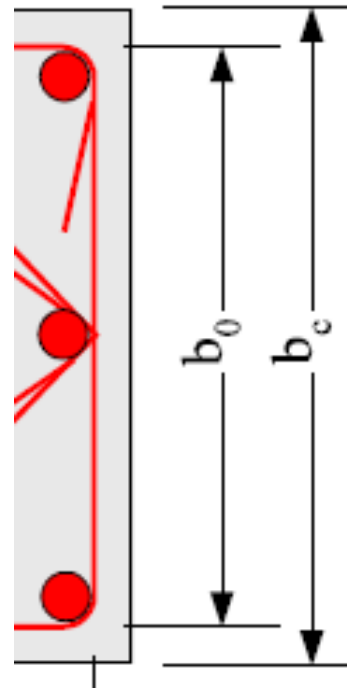
$$\omega_{wd} = \frac{V_{sw} f_{yd}}{V_{co} f_{cd}} \quad \begin{array}{l} \text{mehanički zapreminski koeficijent} \\ \text{armiranja uzengijama} \end{array}$$

V_{sw} zapremina sloja uzengija na razmaku s

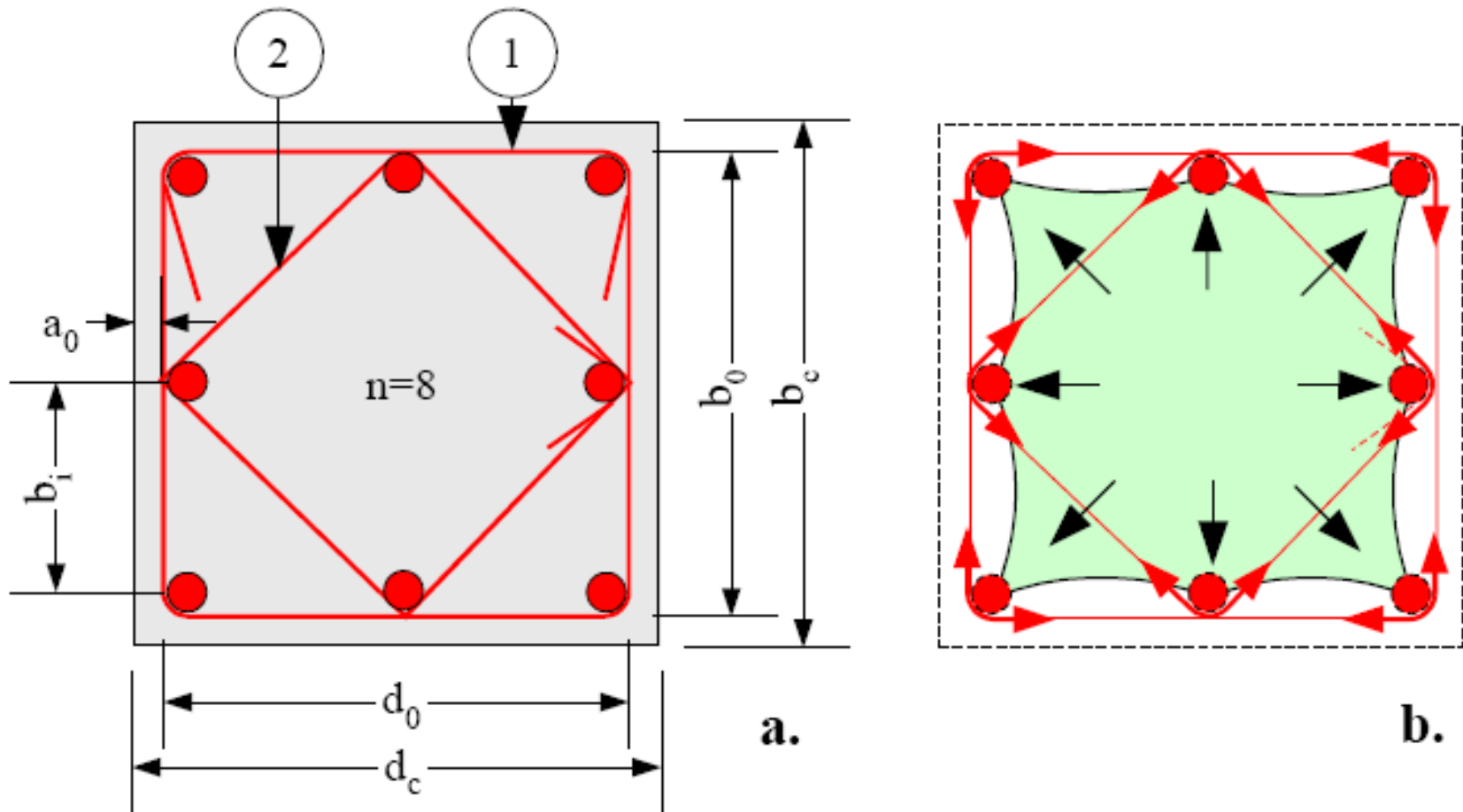
V_{co} zapremina utegnutog jezgra betona visine s

$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$ projektna granica tečenja čelika

$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$ projektna čvrstoća betona



Zahtevi za stubove (DCM)



Utezanje pravougaonog preseka

Zahtevi za stubove (DCM)

- $\mu_\varphi = \varphi_u / \varphi_y$ koeficijent duktilnosti krivine, pri čemu je φ_u krivina pri lomu, a φ_y je krivina u trenutku dostizanja prvog tečenja podužne armature
- $v_d = N_d / N_u$ normalizovana proračunska aksijalna sila (max 0.65)
- $\varepsilon_{sy,d}$ proračunska granica razvlačenja armature
- $\alpha = \alpha_n \alpha_s$ faktor efikasnosti utezanja uzengijama, gde je:
- $$\alpha_n = 1 - \frac{\sum b_i^2}{6b_0 d_0} \quad \alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2b_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2d_0}\right)$$
- n ukupan broj pridržanih šipki podužne armature

Efikasnost utezanja

Kotlovska formula (cev debljine t)

$$p = t \cdot \sigma_s / R_o = 2 t \cdot \sigma_s / D_o$$

Zapreminski koeficijent armiranja:

$$\rho_w = D_o \pi t / (D_o^2 \pi / 4) = 4t / D_o$$

$$\rightarrow p = 0.5 \rho_w \sigma_s$$

$$\sigma_s = f_y \rightarrow p = 0.5 \rho_w f_y$$

$$\rightarrow p / f_c = 0.5 \rho_w f_y / f_c$$

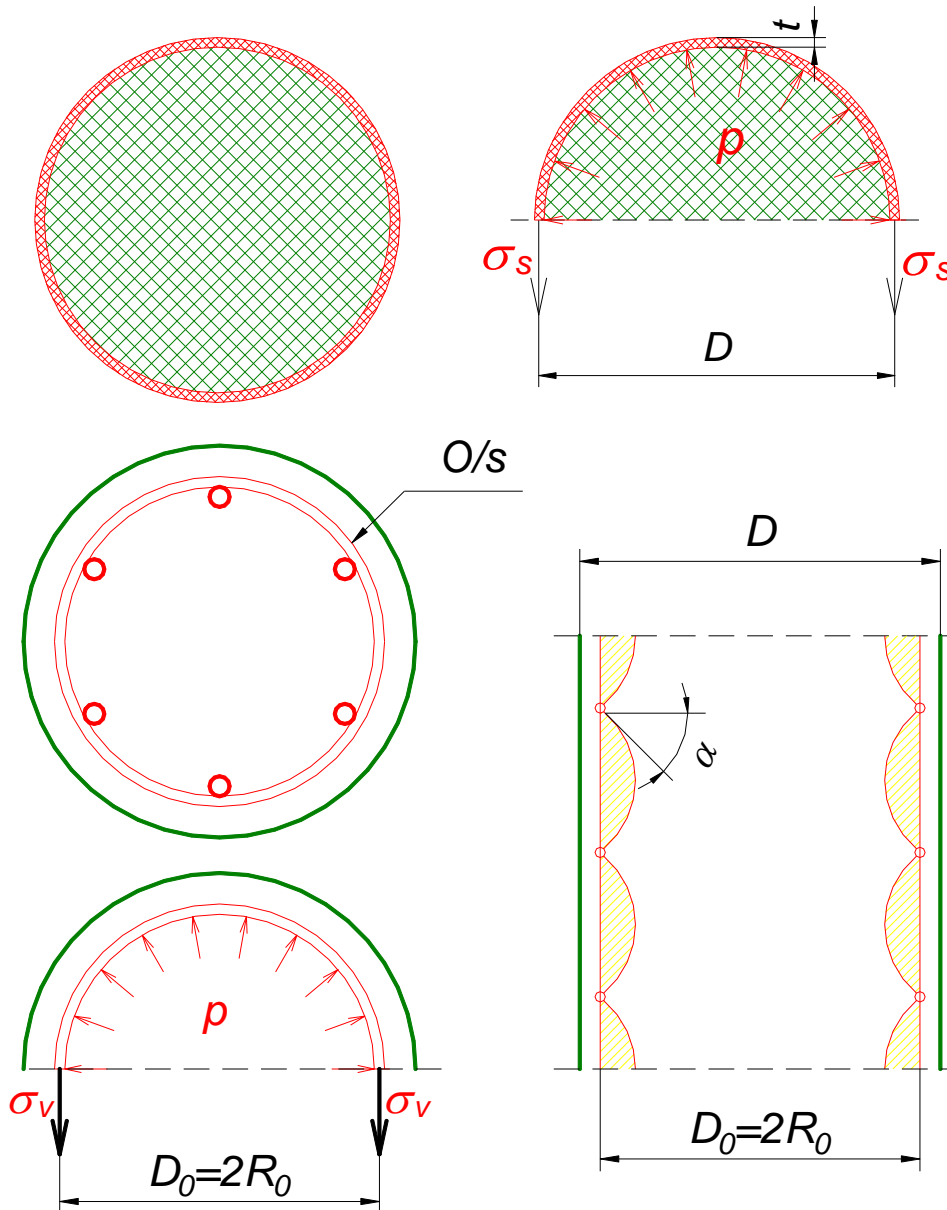
$$p / f_c = 0.5 \omega_w$$

ω_w mehanički zapreminski koeficijent armiranja

Utezanje uzengijama Φ/s :

$$t = A_{sw} / s$$

Efikasnost utezanja po visini manja nego kod kontinualnog lima (cevi).



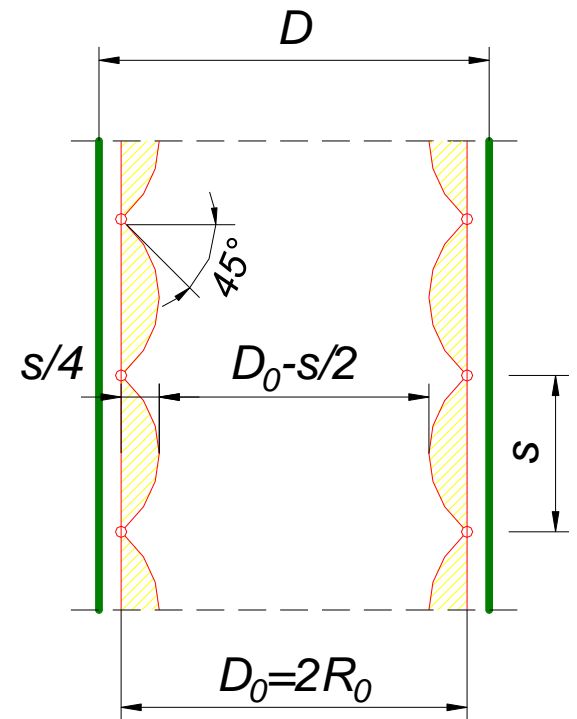
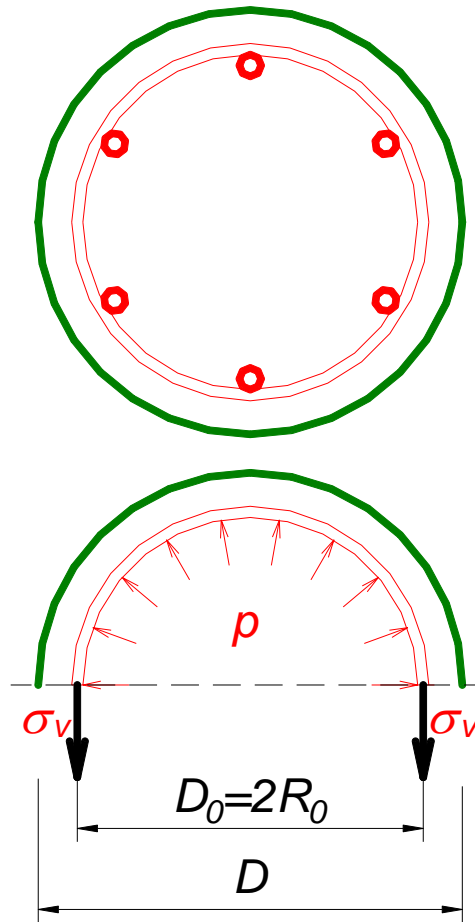
Efikasnost utezanja – kružni stub

Može se usvojiti da se efekat utezanja pojedine uzengije rasprostire parabolično, sa nagibom tangente $\alpha=45^\circ$, Strela takve parabole je $f=0.5(s/2)\tan(\alpha)=s/4$. Beton unutar parabolinih segmenata je utegnut.

Minimalna površina utegnutog preseka je $\pi(D_0-s/2)^2/4$. Odnos površine utegnutog i preseka obuhvaćenog uzengijama:

$$\alpha_s = \frac{\pi \left(D_0 - \frac{s}{2} \right)^2 / 4}{\pi D_0^2 / 4}$$

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2D_0} \right)^2$$



Efikasnost utezanja – spiralni stub

Kod spiralno armiranog stuba prečnik utegnutog preseka stuba je konstantan (“smaknute” parabole), i iznosi $D_0 - s/4$

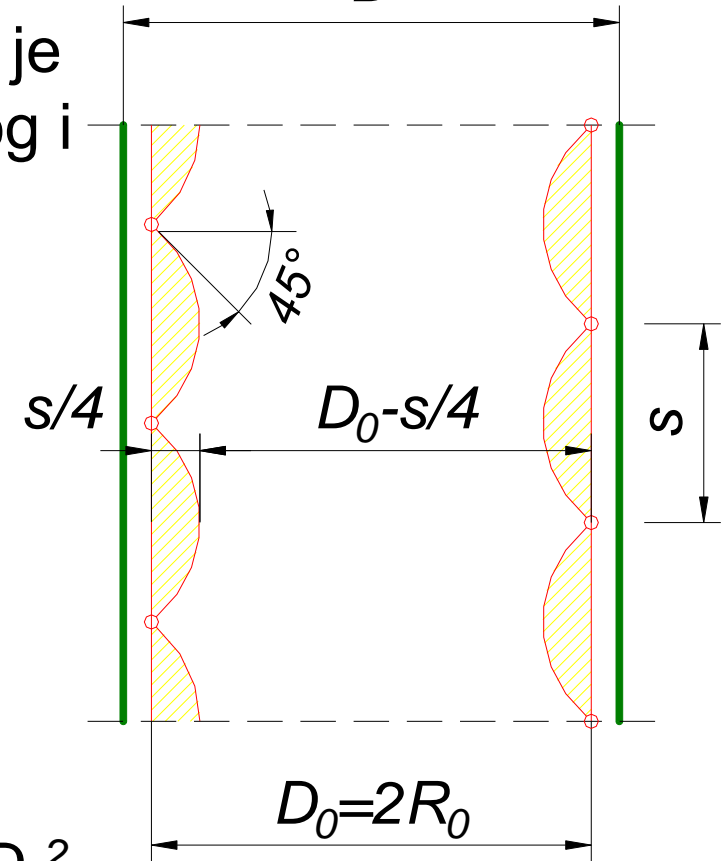
Minimalni površina utegnutog preseka je $\pi(D_0 - s/4)^2/4$. Odnos površine utegnutog i preseka obuhvaćenog uzengijama:

$$\alpha_s = \frac{\pi \left(D_0 - \frac{s}{4} \right)^2 / 4}{\pi D_0^2 / 4}$$

$$\Rightarrow \alpha_s = \left(1 - \frac{s}{4D_0} \right)^2 \approx 1 - \frac{s}{2D_0}$$

kada se zanemari kvadratni član $s^2/4D_0^2$

→ Utezanje spiralom efikasnije

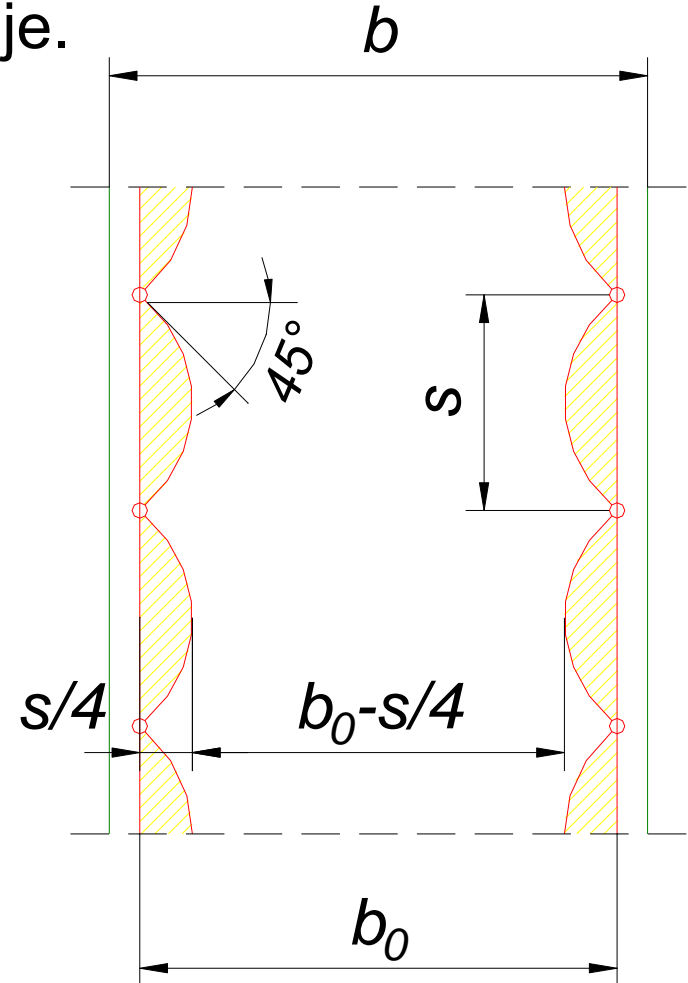


Efikasnost utezanja –pravougaoni stub

Analogno, kod stuba pravougaonog preseka dimenzija b/d , se može definisati odnos minimalnog utegnuto \bar{g} i preseka obuhvaćenog srednjom linijom uzengije.

$$\alpha_s = \frac{\left(b_0 - \frac{s}{2}\right) \cdot \left(d_0 - \frac{s}{2}\right)}{b_0 d_0}$$

$$\Rightarrow \alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2b_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2d_0}\right)$$



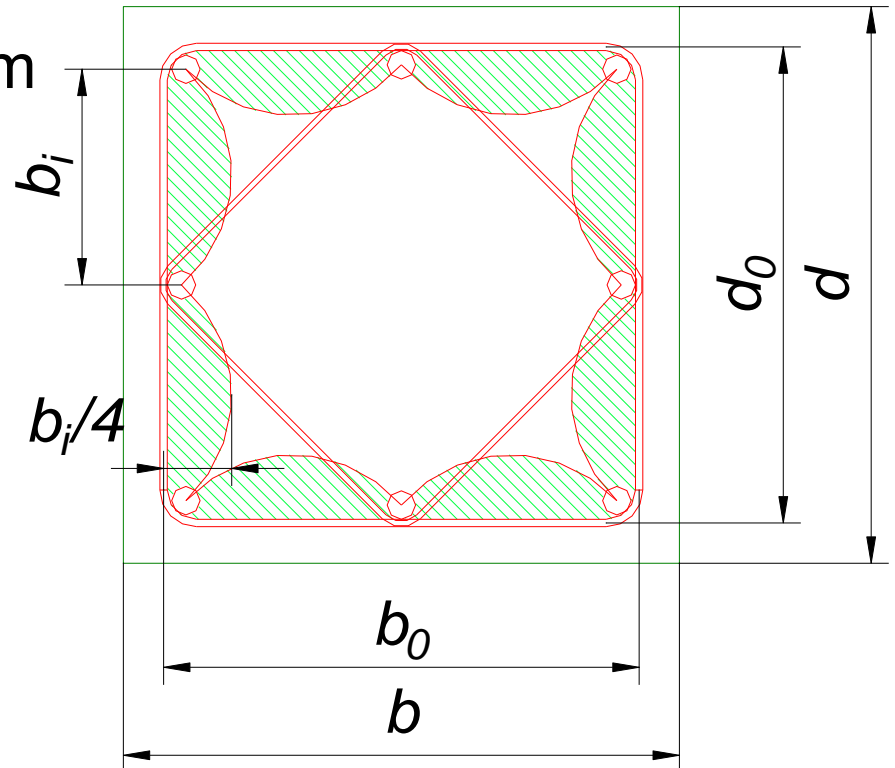
Efikasnost utezanja –pravougaoni stub

Gledano u osnovi, efekat utezanja bočno pridržanim podužnim šipkama se ka unutrašnjosti rasprostire parabolično. Površina jedne neutegnute parabolodne površine dužine b_i i strele $b_i/4$ isnosi $A_{par}=(b_i/4)(2b_i/3)=b_i^2/6$

Odnos minimalnog utegnuto α_n i preseka obuhvaćenog srednjom linijom uzengije je:

$$\alpha_n = \frac{b_0 d_0 - \sum_i^n b_i^2 / 6}{b_0 d_0}$$

$$\Rightarrow \alpha_n = 1 - \frac{\sum_i^n b_i^2 / 6}{b_0 d_0}$$



Zahtevi za stubove (DCM)

U kritičnoj zoni stuba na nivou iznad uklještenja ili krutog podruma minimalna vrednost mehaničkog zapreminskog koeficijenta armiranja uzengijama je:

$$\min \omega_{wd} \leq 0.08$$

Maksimalno rastojanje uzengija (u kritičnoj zoni, $\emptyset_{u,min} \geq 6mm$) je:

$$s = \min(b_o / 2; 175; 8d_{bL}), \quad [mm]$$

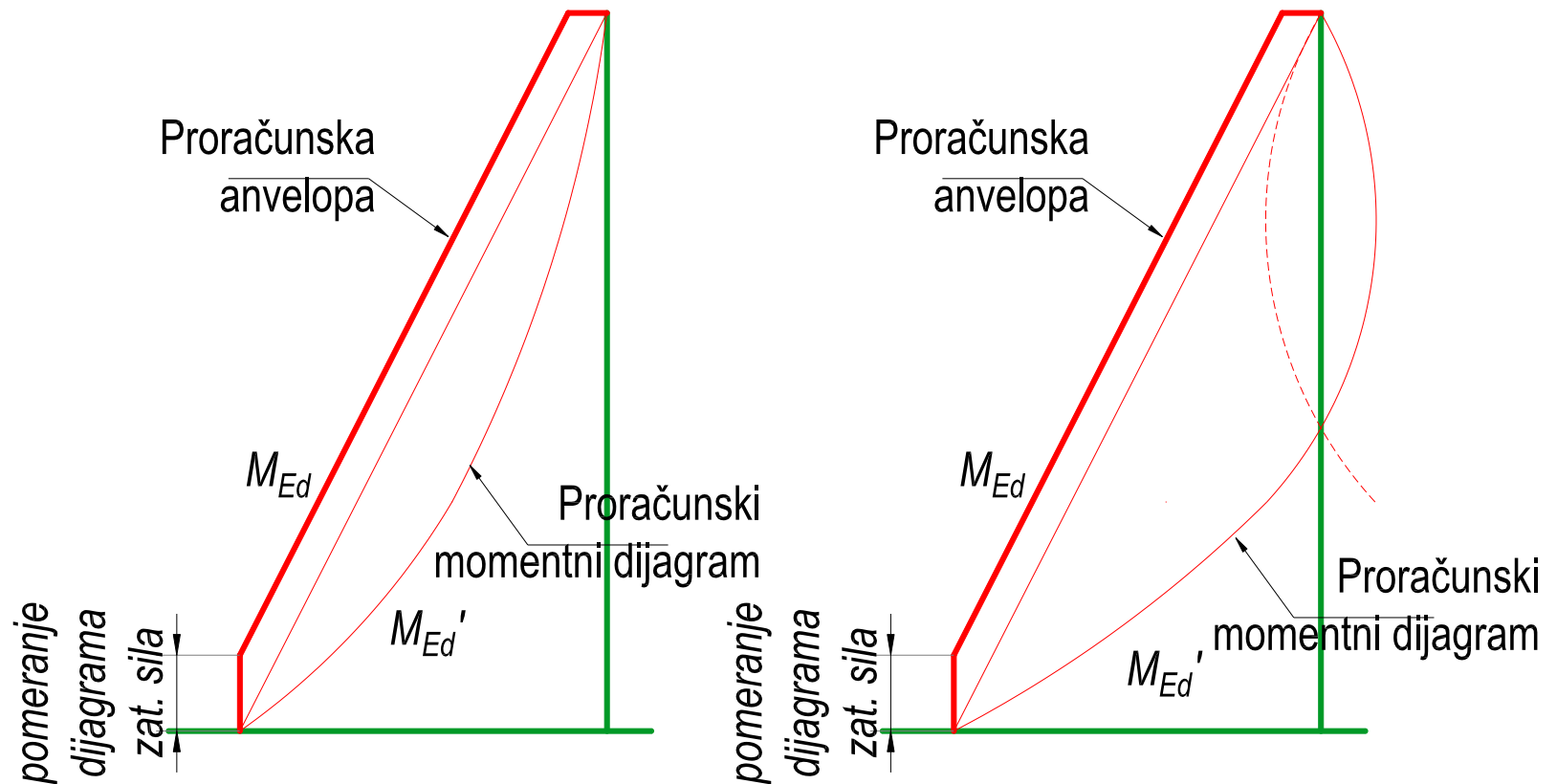
gde je d_{bL} minimalni prečnik podužne armature $[mm]$.

Rastojanje uzastopnih pridržanih podužnih šipki **ne treba da bude veće od 200mm.**

Zahtevi za zidove (DCM)

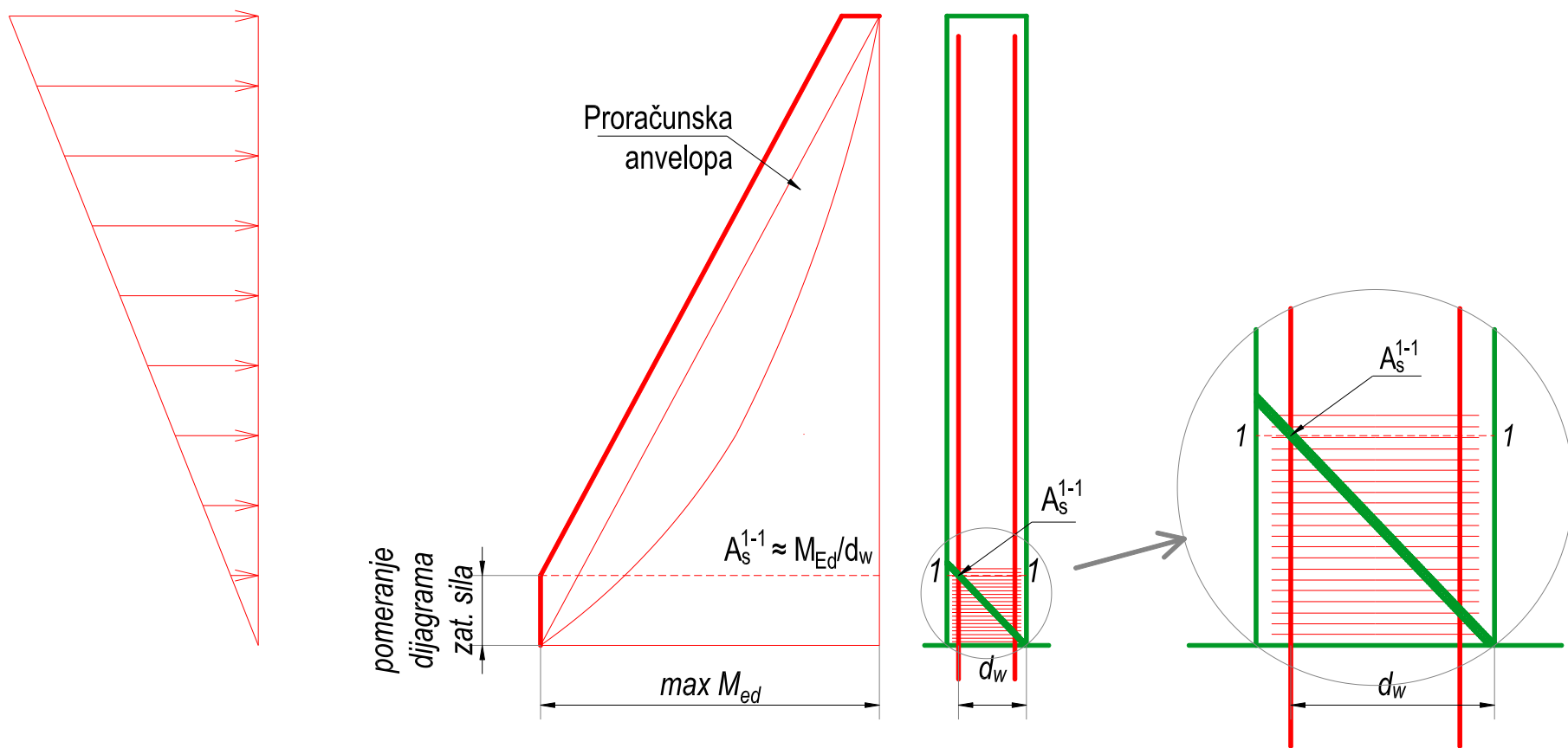
Minimalna širina zida $b_{wo} \geq \max(0.15, h_s / 20)$ gde je h_s čista spratna visina, sve u $[m]$. Isto važi za velike lako armirane zidove.

U cilju “pokrivanja” nepouzdanosti u proračunu vitkih duktilnih zidova ($h_w/l_w > 2$ - uticaj viših tonova)

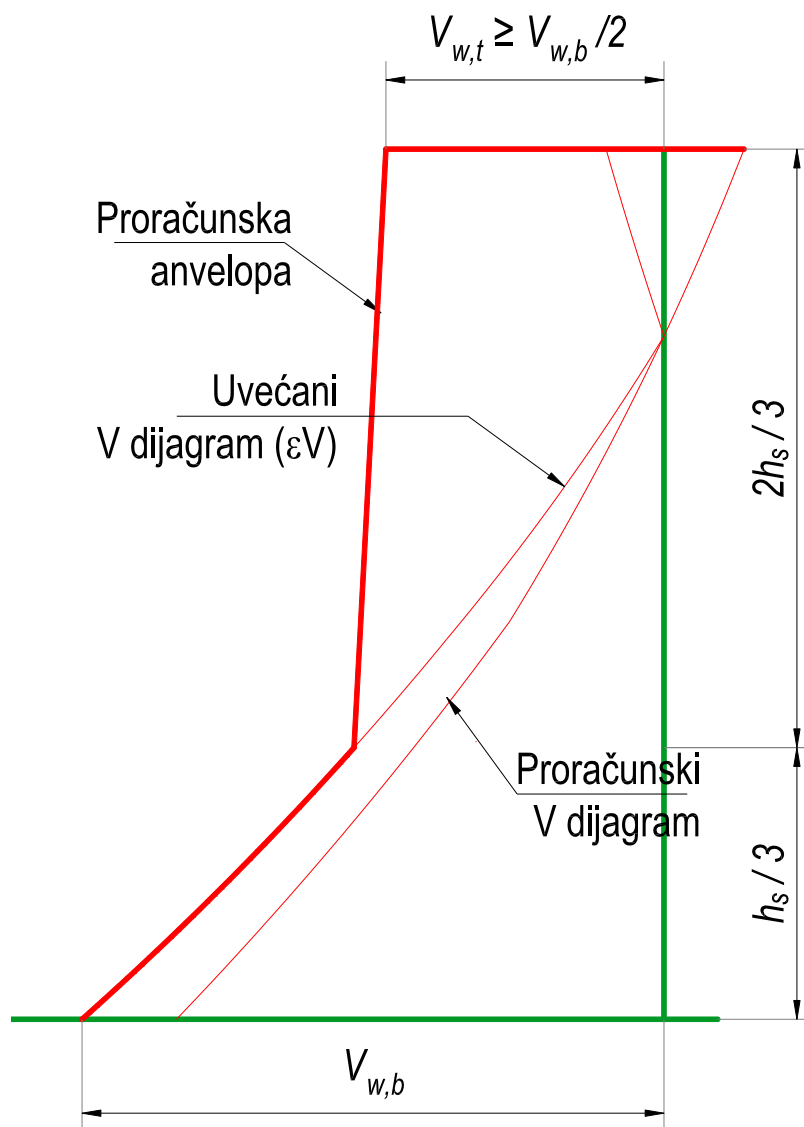


Pomeranje linije zatežućih sila

Pojava kose prsline pri graničnom stanju u zoni maksimalnih momenata savijanja od horizontalnog opterećenja diktira pomeranje linije zatežućih sila.



Zahtevi za zidove (DCM) – smičuća sila V



Nakon dostizanja plastičnog zgloba u uklještenju, prema “capacity design”, maksimalna smičuća sila u zidu $V_{ed} \geq V_{ed}'$ (sila dobijena proračunom).

Faktor uvećanja

$$\varepsilon = V_{ed} / V_{ed}' = \gamma_{Rd} (M_{rdo} / M_{edo}) \leq q$$

U cilju pojednostavljenja proračuna, za klasu duktilnosti DCM se može usvojiti

$$\varepsilon = V_{ed} / V_{ed}' = 1.5$$

Oblik anvelope “pokriva uticaje vićih tonova kod vitkih zidova.

Kod velikih lako armiranih zidova:

$$V_{ed} = V_{ed}' (q + 1) / 2$$

Potrebno je uzeti i dinamičku vertikalnu komponentu alternativnog znaka (odvajanje od tla) jednaku 50% od gravitacione sile.

Zahtevi za zidove (DCM)

U primarnim seizmičkim zidovima normalizovana aksijalna sila je ograničena na $v_d \leq 0.40$.

Kritična visina zida: $h_{cr} = \max(l_w; h_w/6) \leq \begin{cases} 2l_w \\ h_s, n \leq 6 \\ 2h_s, n \geq 7 \end{cases}$

gde je:

l_w dužina zida u osnovi,

h_w ukupna visina zida,

h_s čista spratna visina,

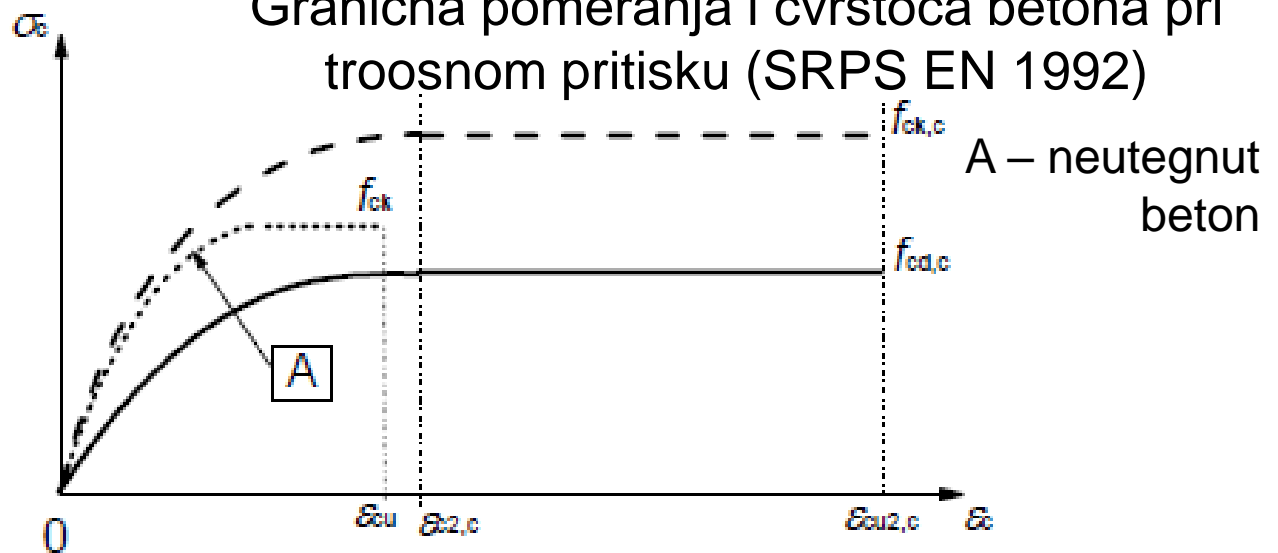
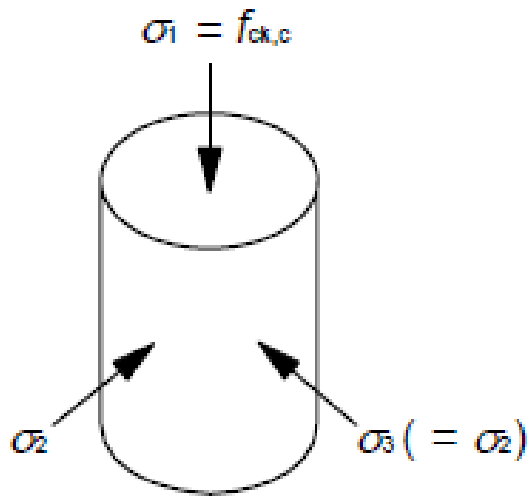
n broj spratova.

U kritičnoj zoni treba obezbediti zahtevani koeficijent duktilnosti krivine μ_ϕ , utezanjem ivičnih zona zida, duž kritične visine h_{cr}

$$\mu_\phi = 2q_0 (M_{Ed}/M_{Rd}) - 1 \quad T_1 \geq T_C$$

$$\mu_\phi = 1 + 2(q_0 (M_{Ed}/M_{Rd}) - 1) T_C / T_1 \quad T_1 < T_C$$

Granična pomeranja i čvrstoća betona pri troosnom pritisku (SRPS EN 1992)



EC2:

$$f_{ck,c} = f_{ck} (1.000 + 5,0 \sigma_2/f_{ck}) \text{ for } \sigma_2 \leq 0.05f_{ck}$$

$$f_{ck,c} = f_{ck} (1.125 + 2,50 \sigma_2/f_{ck}) \text{ for } \sigma_2 > 0.05f_{ck}$$

$$\epsilon_{c2,c} = \epsilon_{c2} (f_{ck,c}/f_{ck})^2$$

$$\epsilon_{cu2,c} = \epsilon_{cu2} + 0.2 \sigma_2/f_{ck}$$

$$\epsilon_{cu2} = 0.0035$$

Utezanje,
kotlovska formula:

$$p = 0.5 \rho_w \sigma_s$$

$$\sigma_s = f_y \rightarrow p = 0.5 \rho_w f_y$$

$$\rightarrow p/f_c = 0.5 \rho_w f_y/f_c$$

$$p/f_c = 0.5 \omega_w \quad \text{potpuno utezanje (cev)}$$

$$p/f_c = 0.5 \alpha \omega_w \quad \text{pravougaoni presek}$$

$$p = \sigma_2 \rightarrow \epsilon_{cu2,c} = \epsilon_{cu2} + 0.2 \sigma_2/f_{ck} = 0.0035 + 0.2 p/f_{ck} \rightarrow \epsilon_{cu2,c} = 0.0035 + 0.1 \alpha \omega_w$$

Utezanje ivične zone zida

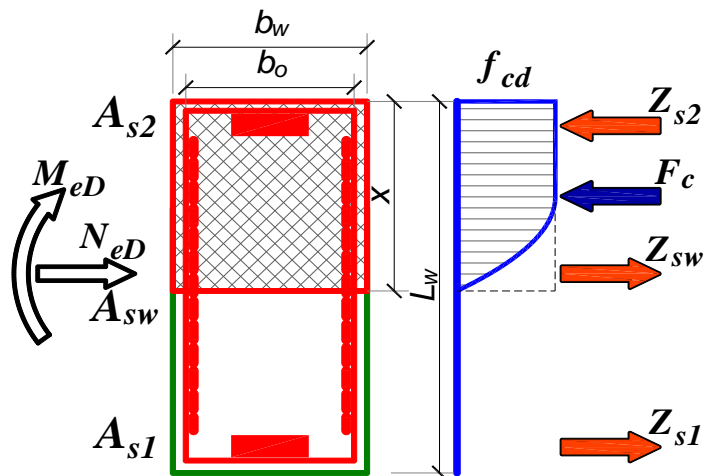
Zahtevani mehanički zapreminski koeficijent armiranja armaturom za utezanje ivičnog elementa ω_{wd} (zavisi od usvojene armature za utezanje):

$$\alpha \omega_{wd} \geq 30(\mu_{\phi} + \omega_v) v_d \varepsilon_{sy,d} (b_o/b_w) - 0.035$$

Sve oznake kao kod stuba, uz mehanički koeficijent armiranja rebra zida

$$\omega_v = \rho_v f_{yd,v} / f_{cd}$$

Vrednost x_u se određuje iz ravnoteže preseka. Uz oznake sa skice na sledećem slajdu i iz uslova ravnoteže podužnih sila u preseku, uz pretpostavku punog plastičnog dijagrama pritiska u betonu, i pune plastifikacije armatura (A_{sw} – armatura po visini preseka („armatura rebra“)):



$$Z_{s1} + Z_{w1} - Z_{s2} - F_c = N_{eD}$$

$$A_{s1} f_{yd} + A_{sw} f_{yd} - A_{s2} f_{yd} - x f_{cd} b_o = N_{eD} [/(L_w b_w f_{cd})]$$

$$\omega_1 + \omega_w - \omega_2 - x b_o / L_w b_w = v_{eD}$$

$$x = (v_{eD} + \omega_1 + \omega_w - \omega_2) L_w b_w / b_o$$

kod simetrično armiranog preseka $\omega_1 = \omega_2$

pa sledi:

$$x = (v_{eD} + \omega_w) L_w b_w / b_o$$

Utezanje ivične zone zida

$\mu_\phi = \varphi_u / \varphi_y$ - po definiciji

$$\varphi_u = \varepsilon_{cu2,c} / x_u$$

na osnovu analize na slajdu 21:

$$\varepsilon_{cu2,c} = \varepsilon_{cu2} + 0.1 \alpha \omega_{wd}$$

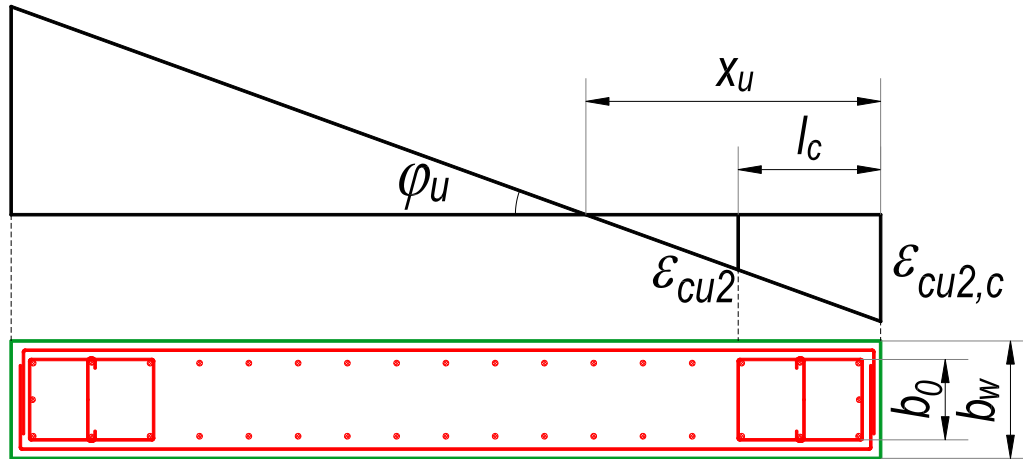
$$\varepsilon_{cu2} = 0.0035 \text{ (EC2)}$$

→ Potrebna dužina ivičnog elementa:

$$l_{c, req} = x_u (1 - \varepsilon_{cu2} / \varepsilon_{cu2,c})$$

Minimalna propisana vrednost:

$$l_c \geq \begin{cases} 0.15 l_w \\ 1.50 b_w \end{cases}$$



Mora se pretpostaviti način utezanja kraja zida, a time i l_c , da bi se ostvario zahtevani koef. zapreminskog armiranja ω_{wd} , a odakle sledi $\varepsilon_{cu2,c}$ a onda i potrebna dužina $l_{c, req}$ generalno različita od pretpostavljene

Dakle slede iteracije dok usvojeno ω_{wd} i usvojeno l_c ne budu veći ili jednaki od računski potrebnih vrednosti.

Treba naglasiti da prikazan postupak odgovara jednostavnom primeru pravugaonog zida, a da je kod složenih T i I preseka postupak komplikovaniji.