

1 SPLOŠNI PODATKI O MATERIALU, DIMENZIJAH IN OBREMENTVAH STEBRA

Preglednica 1: Podatki za primer izračuna stebra

BETON kvaliteta: C30/37	JEKLO (armatura) kvaliteta: S450
$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,5} = 2,0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$	$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{45 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,15} = 39,1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$
Dimenzije stebra:	Obremenitev stebra:
$b_c = 50\text{cm}$ $h_c = 50\text{cm}$ $l_c = 300\text{cm}$ $a = 5\text{cm}$	$N_{Ed} = 600\text{kN}$ $M_{Ed,y} = 200\text{kNm}$ $M_{Ed,z} = 100\text{kNm}$

Potek predstavitve poteka, tako da je najprej predstavljen izpis iz veljavnega standarda (Evrokoda 8 ali Evrokoda 2) in nato implementacija teh zahtev na dejanskem primeru stebra.

Preglednica 2: Izrazi in definicije za steber

SIST EN 1998-1, 5.1.2 Izrazi in definicije	
Steber Konstrukcijski element, ki prevzema gravitacijsko obtežbo z normalnimi napetostmi ali je obremenjen z normirano projektno osno silo $v_d = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}}$, ki je večja od 0,1.	
	OPOMBA: Stebri so v splošnem navpični elementi.

$$v_d = \frac{600\text{kN}}{2500\text{cm}^2 \cdot 2,0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,12$$

Izbran element je tudi po definiciji steber, saj je normirana projektna sila večja kot 0,1.

Preglednica 3: Geometrijske omejitve (stebri)

SIST EN 1998-1, 5.4.1.2.2 Geometrijske omejitve (stebri)
Razen v primerih, ko je izpolnjen pogoj $\theta \leq 0,10$ (glej 4.4.2.2(2)), dimenzije prečnega prereza primarnih potresnih stebrov ne smejo biti manjše od ene desetine večje razdalje med prevojno točko in krajiščema stebra (za upogib v ravnini, ki je vzporedna obravnavani dimenziji stebra).

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 3

4.4.2.2(2) Vpliva teorije 2. reda ($P - \Delta$ efekt) ni treba upoštevati, če je v vseh etažah izpolnjen pogoj: $\theta = \frac{P_{tot} \cdot d_r}{V_{tot} \cdot h} \leq 0,10$ kjer pomeni	
θ	koeficient občutljivosti za etažne pomike;
P_{tot}	celotna sila težnosti v obravnavani etaži in nad njo, ki je upoštevana pri potresnem projektnem stanju;
d_r	projektni etažni pomik, določen kot razlika med povprečnima vodoravnima pomikoma ds na vrhu in na dnu obravnavane etaže, izračunan po 4.3.4;
V_{tot}	celotna prečna sila v etaži zaradi potresa;
h	višina etaže.
SIST EN 1998-1, 5.5.1.2.2(1) Geometrijske omejitve DCH (stebri)	
Najmanjša dimenzija prečnega prereza primarnega potresnega stebra ne sme biti manjša od 250 mm.	

Ker nimamo realnih podatkov predpostavimo, da je izpolnjen pogoj $\theta \leq 0,10$, torej vpliva TDR ni treba upoštevati in mora biti zagotovljen spodnji pogoj:

$$\min[50\text{cm}, 50\text{cm}] > \frac{1}{10} [150\text{cm}]$$

$$50\text{cm} > 15\text{cm} \dots \text{OK}$$

$$\min[h_c, b_c] > 25\text{cm} \dots \text{DCH}$$

$$50\text{cm} > 25\text{cm} \dots \text{OK}$$

2 DOLOČITEV VZDOLŽNE ARMATURE

2.1 Vzdolžna armatura na podlagi minimalne zahtevane

Preglednica 4: Omejitev deleža vzdolžne armature

SIST EN 1998-1, 5.4.3.2.2 Konstruiranje primarnih potresnih stebrov za zagotovitev lokalne duktilnosti
(1)P Skupni delež vzdolžne armature ρ_l ne sme biti manjši od 0,01 in ne večji od 0,04. V simetričnih presekih se uporabi simetrična armatura ($\rho = \rho'$).

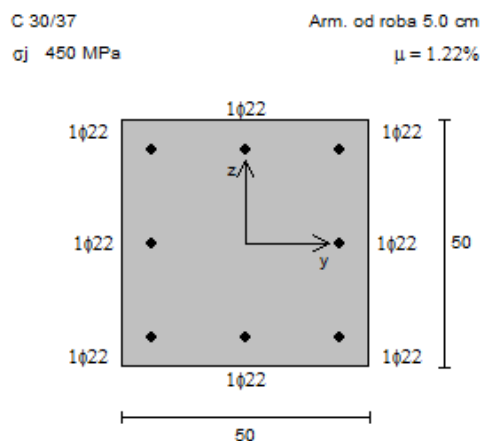
$$A_{s,min} = 0,01 \cdot A_c = 0,01 \cdot 2500\text{cm}^2 = 25\text{ cm}^2$$

2.2 Izberemo armaturo

Izberemo armaturo 8 ϕ 22 ($A_{dej} = 30,4\text{cm}^2$, $\rho = 1,22\%$)

Preglednica 5: Predpisana razdalja med vzdolžnimi armaturnimi palicami

SIST EN 1998-1, 5.4.3.2.2 Konstruiranje primarnih potresnih stebrov za zagotovitev lokalne duktilnosti
(2)P Vzdolž vsake stranice stebra se mora med vogalne armaturne palice postaviti vsaj še eno vmesno palico, zato da se zagotovi integriteta vozlišč stebrov z gredami. (11b) razdalja med dvema sosednima vzdolžnima armaturnima palicama, ki ju podpirajo stremena ali prečne vezi, ne sme biti večja od 200 mm, ob upoštevanju EN 1992-1-1:2004, 9.5.3(6).



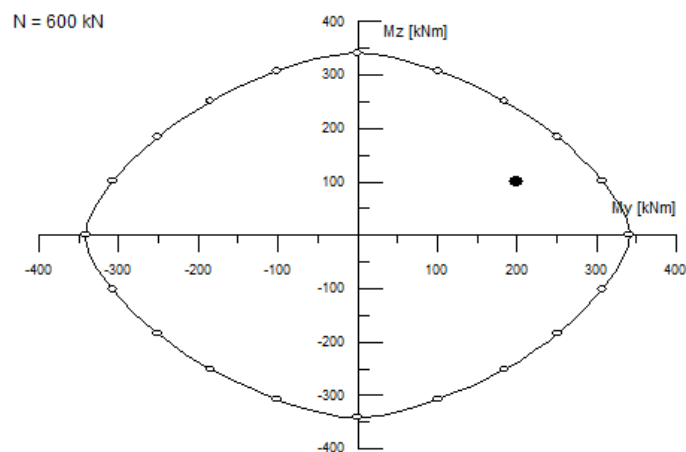
Slika 1: Pozicija vzdolžne armature stebra

Pogoj (2) je zagotovljen, saj je med robnimi palicami še ena vmesna palica. Pogoj (11b) je sicer na meji, vendar je tudi izpolnjen, saj je razdalja med dvema streženoma ravno 20cm.

2.3 Projektne obremenitve v stebru določimo z linearno analizo (npr. s programom Sap2000)

$$N_{Ed} = 600 \text{ kN}, \quad M_{Ed,y} = 200 \text{ kNm}, \quad M_{Ed,z} = 100 \text{ kNm}$$

2.4 Izdelamo interakcijski diagram



Slika 2: Interakcijski diagram za prerez stebra

Izkaže se, da minimalna armatura zadostuje za prevzem obremenitev, saj se točka obremenitve nahaja znotraj interakcijske konture.

2.5 Omejitev tlačnih napetosti

Preglednica 6: Pogoj omejitve tlačene cone

SIST EN 1998-1, 5.4.3.2.1 Nosilnosti (steber)
(3)P Vrednost normirane osne sile v_d v primarnih potresnih stebrih ne sme preseči 0,65.[0,55 DCH]

$$v_d = \frac{N_{Ed,max}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{600 \text{ kN}}{2500 \text{ cm}^2 \cdot 2,0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,12 < 0,55$$

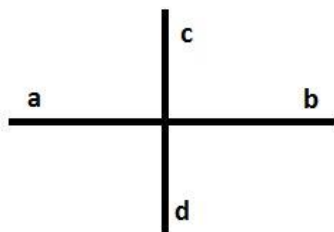
Pogoju razbremenitve tlačene cone je zadoščeno.

2.6 Metoda nosilnosti (pogoj načrtovanja nosilnosti)

Preglednica 7: Pogoj metode nosilnosti

SIST EN 1998-1, 4.4.2.3 (4) Pogoj globalne in lokalne duktilnosti	
$\Sigma M_{Rc} \geq 1,3 \cdot \Sigma M_{Rb}$	
ΣM_{Rc}	vsota projektnih upogibnih nosilnosti stebrov, ki se stikajo v vozlišču. Pri določanju upogibnih nosilnosti je treba upoštevati celotno območje osnih sil, ki se pojavijo pri potresnem projektnem stanju, in v izrazu (4.29) uporabiti najmanjšo vrednost nosilnosti
ΣM_{Rb}	vsota projektnih upogibnih nosilnosti nosilcev, ki se stikajo v vozlišču. Ko se uporabljajo stiki z delno nosilnostjo, je treba pri določanju ΣM_{Rb} uporabiti nosilnosti teh stikov.

Z metodo nosilnosti varujemo stebre, na način, da se plastifikacija zgodi v prečkah. Upogibno nosilnost smo že izračunali (interakcijski diagram). V tem trenutku potrebujemo upogibno odpornost grede M_{Rb} , da lahko potrdimo, ali dopolnimo izračunano armaturo. To storimo s spodnjo enačbo, ki jo bomo opisno rešili.



Slika 3: Vozlišče stebra in grede

Na sliki smo simbolno zapisali sledeče količine:

a ... Upogibna odpornost leve grede,

- b ... upogibna odpornost desne grede,
- c ... upogibna odpornost stebra zgoraj,
- d ... upogibna odpornost stebra spodaj.

Da je nosilnosti zadoščeno, mora veljati zgornja enačba, ki jo rešimo na način:

$$\Sigma M_{Rc} = c + d \geq 1,3 \cdot \Sigma M_{Rb} = 1,3 \cdot (a + b)$$

V primeru, da enačbi ni zadoščeno, je treba povečati vzdolžno armaturo v stebri in tako povečati njegovo odpornost M_{Rc} .

3 DOLOČITEV STRIŽNE ARMATURE

3.1 Metoda nosilnosti (pogoj načrtovanja nosilnosti)

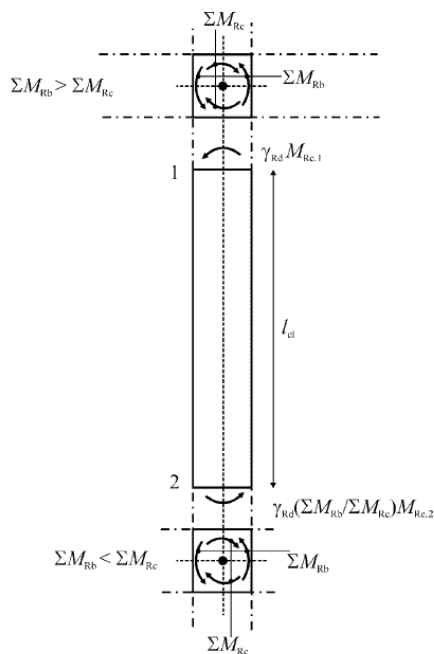
Preglednica 8: Določitev projektnih obremenitev v stebri

SIST EN 1998-1, 5.4.2.3 Projektni učinki vplivov (projektne notranje sile) (stebri)	
<p>(1)P V primarnih potresnih stebrih se morajo prečne sile določiti v skladu s pravili načrtovanja nosilnosti. Pri tem se upošteva ravnotežje stebra pri delovanju momentov $M_{i,d}$ na krajiščih (kjer $i = 1,2$ označuje krajna prereza stebra), ki ustrezajo stanju, ko se formirajo plastični členki za pozitivno in negativno smer delovanja potresne obremenitve. Upošteva se, da se plastični členki formirajo na krajiščih gred, ki so povezane v istem vozlišču kot steber, ali pa (če se to zgodi prej) v krajiščih stebra (glej sliko spodaj).</p> <p>(2) Momente na krajiščih $M_{i,d}$ iz (1)P tega podčlena lahko določimo z naslednjim izrazom:</p> $M_{i,d} = \gamma_{Rd} \cdot M_{Rc,i} \cdot \min \left(1, \frac{\sum M_{Rb}}{\sum M_{Rc}} \right)$	
γ_{Rd}	faktor, ki upošteva večjo nosilnost zaradi utrjevanja jekla in objetja betona v tlačni coni prereza. Privzamemo, da je enak 1,1 za DCM in 1,3 za DCH.
$M_{Rc,i}$	je projektna vrednost upogibne nosilnosti stebra v krajišču i . Izvrednotena je v smeri upogibnega momenta zaradi in v smeri potresnega vpliva;
$\sum M_{Rb}$ in $\sum M_{Rc}$	sta definirana v 5.4.2.2(2).

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 25

(3) Vrednosti $M_{Rc,i}$ in ΣM_{Rc} ustrezata osni sili (silam) v stebru v potresnem projektnejm stanju za upoštevanje smer potresnega vpliva.



Slika 4: Prečna sila v stebru, določena s postopkom načrtovanja nosilnosti

Iz postopka analize konstrukcije pri potresni obremenitvi določimo maksimalne upogibne momente v stebru za pozitivno in negativno smer potresa.

Pri vpetju upogibno odpornost stebra povečamo s faktorjem dodatne nosilnosti:

$$M_{b,d} = \gamma_{Rd} \cdot M_{Rc,b} \cdot \min\left(1, \frac{0}{\Sigma M_{Rc}}\right) = \gamma_{Rd} \cdot M_{Rc,b} = 1,3 \cdot M_{Rc,b}$$

Na vrhu stebra upogibno odpornost stebra izračunamo na način:

$$M_{t,d} = \gamma_{Rd} \cdot M_{Rc,t} \cdot \min\left(1, \frac{\Sigma M_{Rb}}{\Sigma M_{Rc}}\right)$$

ΣM_{Rb} in ΣM_{Rc} določimo po že znanem postopku, ki je bil opisan v prejšnjem razdelku.

3.2 Projektna prečna sila po metodi načrtovanja nosilnosti:

$$V_{CD,c,potres} = \frac{M_{b,d} + M_{t,d}}{l_c}$$

Glavna posebnost, na katero hitro pozabimo, je višina stebra (l_c) pri računu prečne sile. Za navaden steber vzamemo celotno svetlo višino. Za kratek ali ujet steber vzamemo prosto višino, ki jo ima kratek steber na razpolago za deformiranje, ki je po navadi občutno manjša. Več o izbiri prave višine smo povedali v poglavju: Fenomen kratkega stebra. Seveda izbira višine znatno vpliva na velikost prečne sile, ki narekuje potrebo po strižni armaturi v nadaljevanju.

3.3 Nosilnost betonskega prereza

Preglednica 9: Določitev strižne odpornosti prereza stebra

SIST EN 1992-1-1, 6.2.2 (1) Elementi, pri katerih strižna armatura ni potrebna		
$V_{Rd,c} = \min \left(\frac{\left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right]}{[v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}]} \right) \cdot b_w \cdot d$		
$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c}$ $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d[mm]}}$ $\rho_l = \frac{A_s l}{b_w \cdot d} \leq 0,02$ $v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$ $\sigma_{cp} = \min \left(\frac{N_{Ed}}{A_c}; 0,2 \cdot f_{cd} [MPa] \right)$	f_{ck}	v MPa
	A_{sl}	ploščina prereza natezne armature, ki jo je treba voditi najmanj ($l_{bd}+d$) preko obravnavanega prečnega prereza
	b_w	najmanjša širina prečnega prereza v območju natezne cone
	k_1	priporočena vrednost 0,15
	N_{Ed}	osna sila prereza, ki jo povzroča obtežba ali prednapetje v [N]

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{450}} = 1,67$$

$$\rho_l = \frac{30,4 \text{ cm}^2}{50 \text{ cm} \cdot 45 \text{ cm}} = 0,014 \leq 0,02 \dots OK$$

$$\sigma_{cp} = \min \left(\frac{600 \text{ kN}}{2500 \text{ cm}^2}; 0,2 \cdot 2,0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \right) = \min \left(0,24 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}; 0,4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \right) = 0,24 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 2,4 \text{ MPa}$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot 1,67^{\frac{3}{2}} \cdot (30 \text{ MPa})^{\frac{1}{2}} = 0,414 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c} = \min \left(\left[0,12 \cdot 1,67 \cdot (100 \cdot 0,014 \cdot 30 \text{MPa})^{\frac{1}{3}} + 0,15 \cdot 2,4 \text{MPa} \right] \cdot 500 \text{mm} \cdot 450 \text{mm} \right. \\ \left. [0,414 + 0,15 \cdot 2,4 \text{MPa}] \right)$$

$$V_{Rd,c} = \min \left(\frac{1,0566 \text{MPa}}{0,774 \text{MPa}} \right) \cdot 500 \text{mm} \cdot 450 \text{mm} = 174150 \text{N} = 174,2 \text{kN}$$

V primeru, da velja $V_{CD,c,potres} < V_{Rd,c}$, je betonski prerez sposoben prenesti strižno obremenitev in zadostuje minimalna strižna armatura. V nasprotnem primeru moramo preveriti še spodnje enačbe:

Preglednica 10: Določitev potrebne strižne armature

SIST EN 1992-1-1, 6.2.3 Elementi, pri katerih je strižna armatura računsko potrebna		
(3) Pri elementih z navpično strižno armaturo je strižna odpornost V_{Rd} manjša od vrednosti:		
$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$ <p>in</p> $V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{(\cot \theta + \tan \theta)}$ <p>Vrednosti α_{cw} in v_1 sta podani v nacionalnem dodatku.</p>	A_{sw}	ploščina prečnega prereza strižne armature
	s	medsebojna razdalja stremen
	f_{ywd}	projektna meja elastičnosti strižne armature
	v_1	redukcijski faktor tlačne trdnosti strižno razpokanega betona
	α_{cw}	koeficient, ki upošteva stanje napetosti v tlačnem pasu

$$v_1 = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck} [\text{MPa}]}{250} \right) = 0,6 \left(1 - \frac{30}{250} \right) = 0,28$$

$$\alpha_{cw} = 1$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 45 \text{cm} = 40,5 \text{cm}$$

$$V_{Rd,max}(\theta = 45^\circ) = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot \frac{1}{2}$$

$$V_{Rd,max}(\theta = 45^\circ) = 1 \cdot 50 \text{cm} \cdot 40,5 \text{cm} \cdot 0,28 \cdot 2,0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{1}{2} = 567 \text{kN}$$

V primeru, da za prečno silo velja spoden pogoj, lahko projektno prečno silo prevzamemo s stremeni.

V nasprotnem primeru moramo povečati prerez stebra.

$$V_{Rd,c} < V_{CD,c,potres} < V_{Rd,max}$$

Potrebno prečno armaturo najlažje izračunamo na tekoči meter ($s = 100\text{cm}$):

$$A_{sw} = \frac{V_{CD,c,potres} \cdot s}{z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta}$$

3.4 Kritično območje prečne armature za zagotovitev lokalne duktilnosti

Preglednica 11: Določitev kritičnega območja armiranja

SIST EN 1998-1, 5.4.3.2.2 Konstruiranje primarnih potresnih stebrov za zagotovitev lokalne duktilnosti		
(3)P Območja primarnih potresnih stebrov na razdalji do l_{cr} od obeh krajišč stebra se morajo obravnavati kot kritična območja.		
(4) Če nimamo bolj natančne informacije, se lahko dolžina kritičnega območja l_{cr} (v metrih) izračuna z naslednjim izrazom:		
$l_{cr} = \max\left\{h_c; \frac{l_{cl}}{6}; 0,45\right\}$ $l_{cr} = \max\left\{1,5 \cdot h_c; \frac{l_{cl}}{6}; 60\text{cm}\right\} \dots \text{DCH}$	h_c	večja dimenzija prečnega prereza stebra (v metrih)
	l_{cl}	svetla višina stebra v metrih

$$l_{cr} = \max\left\{1,5 \cdot 50\text{cm}; \frac{300\text{cm}}{6}; 60\text{cm}\right\} = \max\{75\text{cm}; 50\text{cm}; 60\text{cm}\} = 75\text{cm}$$

Preglednica 12: Pogoji dolžine kritičnega območja za kratke stebre

SIST EN 1998-1, 5.4.3.2.2 Konstruiranje primarnih potresnih stebrov za zagotovitev lokalne duktilnosti
(5)P Če je $\frac{l_c}{h_c} < 3$, se mora primarni potresni steber po celi višini upoštevati kot kritično območje in ga moramo temu ustrezno tudi armirati.

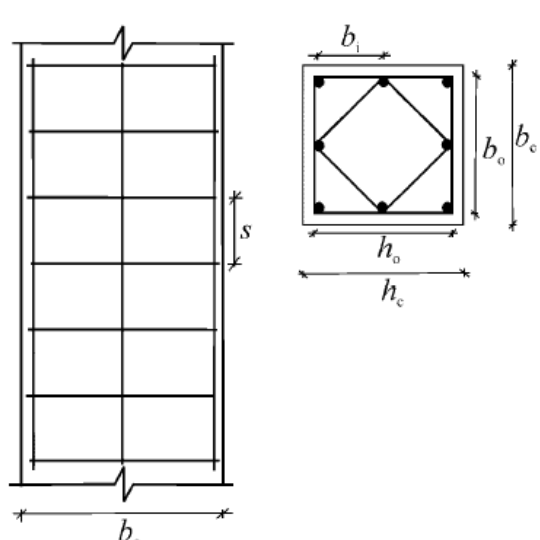
Temu pogoju je velikokrat zadoščeno pri kratkih stebrih, kadar je višina stebra (l_c) le trikrat večja od širine (h_c) prereza stebra. Torej kratek steber ustrezno objamemo po celotni višini.

Preglednica 13: Dodatne zahteve za zagotavljanje lokalne duktilnosti

SIST EN 1998-1, 5.4.3.2.2 Konstruiranje primarnih potresnih stebrov za zagotovitev lokalne duktilnosti		
<p>(6)P V kritičnem območju ob vpetju primarnih potresnih stebrov mora biti vrednost faktorja duktilnosti za ukrivljenost μ_ϕ vsaj enaka vrednosti iz 5.2.3.4(3).</p> <p>(7)P Če je za zahtevano vrednost μ_ϕ kjerkoli v prerezu potrebna deformacija betona večja od $\epsilon_{cu2} = 0,0035$, je treba izgubo nosilnosti zaradi odluččenja betonskega kritja nadomestiti z ustreznim objetjem betonskega jedra s stremeni. Pri tem se upoštevajo lastnosti objetega betona iz EN 1992-1-1:2004, 3.1.9</p> <p>(8) Upošteva se, da je zahtevama (6)P and (7)P tega podčlena zadoščeno, če:</p> $\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 30 \cdot \mu_\phi \cdot v_d \cdot \epsilon_{sy,d} \cdot \frac{b_c}{b_0} - 0,035$ $\omega_{wd} = \frac{V_{stremen\ za\ objetje}}{V_{obj.\ betonskega\ jed.}} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$		
ω_{wd}	mehanski volumski delež (zaprtih) stremen, ki objemajo betonsko jedro kritičnega območja	
μ_ϕ	zahtevana vrednost faktorja duktilnosti za ukrivljenost	
v_d	normirana projektna osna sila ($v_d = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}}$)	
$\epsilon_{sy,d}$	projektna vrednost deformacije na meji plastičnosti za natezno armaturo;	
h_c	višina celega betonskega prereza (merjena v vodoravni smeri, ki ustreza μ_ϕ iz (6)P tega podrazdelka)	
h_0	višina objetega jedra (merjena do srednje črte stremen)	
b_c	širina celega betonskega prereza	
b_0	širina objetega jedra (merjena do srednje črte stremen)	
α	faktor učinkovitosti objetja betonskega jedra, ki je enak $\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s$. Pri tem velja:	
<p>a) za pravokotne prereze:</p> $\alpha_n = 1 - \frac{\sum_n b_i^2}{6 \cdot b_0 \cdot h_0}$ $\alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2 \cdot b_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{s}{2 \cdot h_0}\right)$		<p>n</p> <p>skupno število vzdolžnih armaturnih palic, ki jih v prečni smeri podpirajo stremena ali prečne vezi</p>

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 13

	b_i	razdalja med sosednjimi podprtimi palicami
		
Slika 5: Objetje betonskega jedra		

Za demonstracijo izberemo $2 + \sqrt{2}$ strižno streme $\Phi 10/10\text{cm}$.

$$A_{sw} = \frac{\pi \cdot (1,0\text{cm})^2}{4} \cdot (2 + \sqrt{2}) = 2,68\text{cm}^2$$

Iz zgornje slike razberemo podatke za nadaljnje izračune:

$$b_c = h_c = 50\text{cm}; b_o = h_o = 41\text{cm}; b_{i,1} = 20\text{cm}; b_{i,2} = 20\text{cm}$$

$$\alpha_n = 1 - \frac{8 \cdot (20\text{cm})^2}{6 \cdot 41\text{cm} \cdot 41\text{cm}} = 0,683$$

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{10\text{cm}}{2 \cdot 41\text{cm}}\right) \cdot \left(1 - \frac{10\text{cm}}{2 \cdot 41\text{cm}}\right) = 0,771$$

$$\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s = 0,683 \cdot 0,771 = 0,527$$

Ker nimamo podatkov za izračun faktorja duktilnosti za ukrivljenost, si izberemo vrednosti $q_0 = 5, T_C = 0,6$ in $T_1 = 0,55$.

$$\mu_\varphi = 1 + \frac{2 \cdot (q_0 - 1) \cdot T_C}{T_1} = 1 + \frac{2 \cdot (5 - 1) \cdot 0,6}{0,55} = 9,7$$

$$v_d = 0,12$$

$$\varepsilon_{sy,d} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{39,1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{20000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,00196$$

$$\omega_{wd} = \frac{4 \cdot 0,79 \text{cm}^2 \cdot (41 \text{cm} + 20 \text{cm} \cdot \sqrt{2})}{(41 \text{cm})^2 \cdot 10 \text{cm}} \cdot \frac{39,1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{2,0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,25$$

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 30 \cdot \mu_{\varphi} \cdot v_d \cdot \varepsilon_{sy,d} \cdot \frac{b_c}{b_0} - 0,035$$

$$0,527 \cdot 0,25 \geq 30 \cdot 9,7 \cdot 0,12 \cdot 0,00196 \cdot \frac{50 \text{cm}}{41 \text{cm}} - 0,035$$

$$0,132 \geq 0,048 \dots OK$$

Objetje betonskega jedra je ustrezno.

Preglednica 14: Omejitve za mehanski volumski delež

SIST EN 1998-1, 5.4.3.2.2 Konstruiranje primarnih potresnih stebrov za zagotovitev lokalne duktilnosti

(9) V kritičnem območju ob vpetju primarnih potresnih stebrov mora znašati vrednost ω_{wd} vsaj 0,08.

(10) P V kritičnih območjih primarnih potresnih stebrov je treba postaviti stremena in prečne vezi s premerom vsaj 6 mm na takšni medsebojni razdalji, da je zagotovljena minimalna duktilnost in preprečen lokalni uklon vzdolžnih armaturnih palic. Stremena morajo biti oblikovana tako, da ustvarjajo ugodno triosno napetostno stanje v objetem jedru.

DCH

Minimalna vrednost ω_{wd} je 0,12 v kritičnem območju ob vpetju stebra ali 0,08 v vseh kritičnih območjih stebrov nad vpetjem.

$$\omega_{wd} = 0,25 > 0,08 \dots OK$$

3.5 Oblikovanje triosnega napetostnega stanja v objetem jedru

Preglednica 15: Dodaten pogoj za razmik s med stremeni

SIST EN 1998-1, 5.4.3.2.2 Konstruiranje primarnih potresnih stebrov za zagotovitev lokalne duktilnosti
<p>(11) Upošteva se, da so minimalni pogoji iz (10)P tega podčlena izpolnjeni, če so izpolnjeni naslednji pogoji:</p> <p>a) razmak stremen s (v milimetrih) ne presega:</p> $s[mm] = \min \left\{ \frac{b_0}{2}; 175mm; 8 \cdot d_{bL} \right\}$ $s[mm] = \min \left\{ \frac{b_0}{3}; 125mm; 6 \cdot d_{bL} \right\} \dots \text{DCH}$ <p>d_{bL} ... minimalni premer vzdolžnih armaturnih palic (v milimetrih).</p>

$$s[mm] = \min \left\{ \frac{410mm}{3}; 125mm; 6 \cdot 22mm \right\} = \min \{137mm; 125mm; 132mm\} = 125mm$$

Strižna stremena s predpostavljeno medsebojno razdaljo ($s = 10cm$) zagotavljajo dovolj gosto razporeditev, saj smo predpostavili bolj gosto armiranje, kot nam narekuje zgornji pogoj. To pomeni, da stremena ustvarjajo ugodno triosno napetostno stanje v objetem jedru

Za primer DCH moramo zagotoviti še dodatnim zahtevam, ki sledijo spodaj.

Preglednica 16: Dodatni pogoji za DCH

SIST EN 1998-1, 5.5.3.2.2 Konstruiranje za zagotovitev lokalne duktilnosti DCH
<p>(12) Upošteva se, da so minimalni pogoji iz (11)P tega podčlena izpolnjeni, če so izpolnjeni vsi naslednji pogoji:</p> <p>a) premer stremen d_{bw} je vsaj enak</p> $d_{bw} \geq 0,4 \cdot d_{bL,max} \cdot \sqrt{\frac{f_{ydl}}{f_{ydw}}}$ <p>(13)P V spodnjih dveh etažah stavb se mora dolžino kritičnih območij na katerih postavljamo stremena v skladu z (11)P and (12) podaljšati za 50%.</p> <p>(14) Količina vzdolžne armature ob vpetju stebra nad temeljem ali togo kletno etažo ni manjša kot na vrhu stebra.</p>

$$d_{bw} = 10mm \geq 0,4 \cdot 22mm \cdot 1$$

$$10\text{mm} \geq 8,8\text{mm} \dots OK$$

V spodnjih dveh etažah se kritično območje podaljša za 50 %.

$$l_{cr} = 1,5 \cdot 75\text{cm} = 112,5\text{cm}$$