

ANALIZA NOSIVOSTI SPREGNUTIH AB OKRUGLIH STUBOVA SA KRUTIM ČELIČNIM PROFILIMA

Miroslav T. Bešević¹,
Aleksandar Landović²
Danijel Kukaras³
Toma Trujić⁴

UDK: 624.166 : 669.14.018.291

Rezime: *Objekat je pravougaonog oblika, u podzemnom delu dimenzija 60.0 m×50.0 m a u nadzemnom delu 44.0x32.0 m, visine 20.0m. Usled nesmetanog odvijanja parkiranja automobila u garaži objekta i ukidanju pojedinih stubova iznad nivoa prizemlja-arhitektonski uslovi, (javljaju se veća opterećenja stubova) t.j. ograničene su njihove dimenzije. Iz tog razloga je usvojeno rešenje sa spregnutim armirano-betonskim okruglim stubovima sa čeličnim krutim profilima (Ø70 do Ø100 cm). Osa rastojanja stubova su 7,6 m i 9,0 m, ali postoje i polja gde je raspon 9,6 m. Proračun spregnutih stubova i dimenzionisanje sprovedeno je prema važećim propisima SRPS i Evrokod – u 4, za kombinaciju pritiska i dvoosnog savijanja. Izabran je najpovoljniji profil za sprezanje u vidu zavarenog I profila. Raspored opterećenja po stubovima varira od 4000 kN-11000 kN. Čelični deo armirano – betonskih spregnutih stubova izrađen je od zavarenih limova debljine $t=40$ mm.*

Ključne reči: *Čelik, sprezanje, proračun, dimenzionisanje, En standardi, limovi.*

1. UVOD

1.1 Konstrukcije objekta

Međuspratnu konstrukciju objekta čini puna armirano betonska ploča $d=26$ cm koje se oslanja na zidove jezagra i stubove. Rastojanja stubova su 7.6, 9.0 i 9.6m. Vertikalni stubovi spregnuti sa čeličnim profilima su dimenzija od Ø70, do Ø100. Proračun konstrukcije sproveden je programskim paketom TOWER kao jedinstvena prostorna konstrukcija, a u skladu sa važećim JUS standardima. Za delove objekta gde ne postoji važeća Srpska regulativa i standardizacija proračun je sproveden na osnovu važećeg standarda Evrokoda 4. Proračun je sproveden za prostornu konstrukciju sa ramovima u dva ortogonalna pravca. Seizmički uticaji računati su za dva ortogonalna pravca što se poklapa sa pravcima ramovske konstrukcije i sa armirano betonskim zidnim platnima kao ukrućenjima. Dimenzionisanje konstrukcije izvršeno je za sve moguće kombinacije

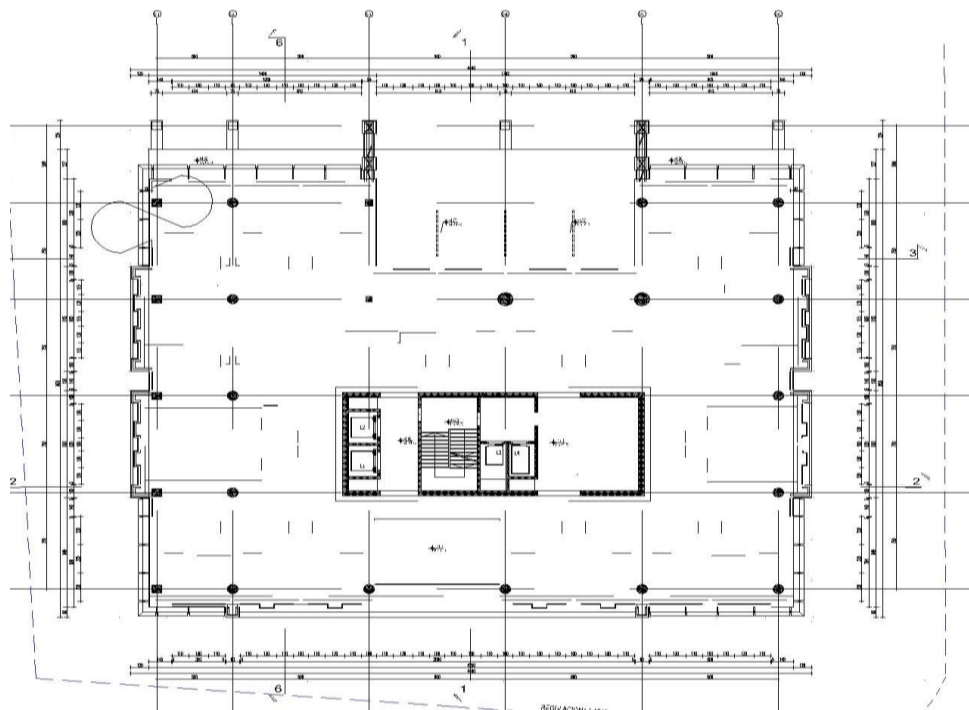
¹ Dr Miroslav T. Bešević, v.prof.dipl.inž.građ., Građevinski fakultet Subotica, Kozaračka 2a, tel: 024/554 – 300, e – mail: miroslav.besevic@gmail.com

² Mr Aleksandar Landović, dipl.inž. građ., Građevinski fakultet Subotica, e – mail: landovic@gf.uns.ac.rs

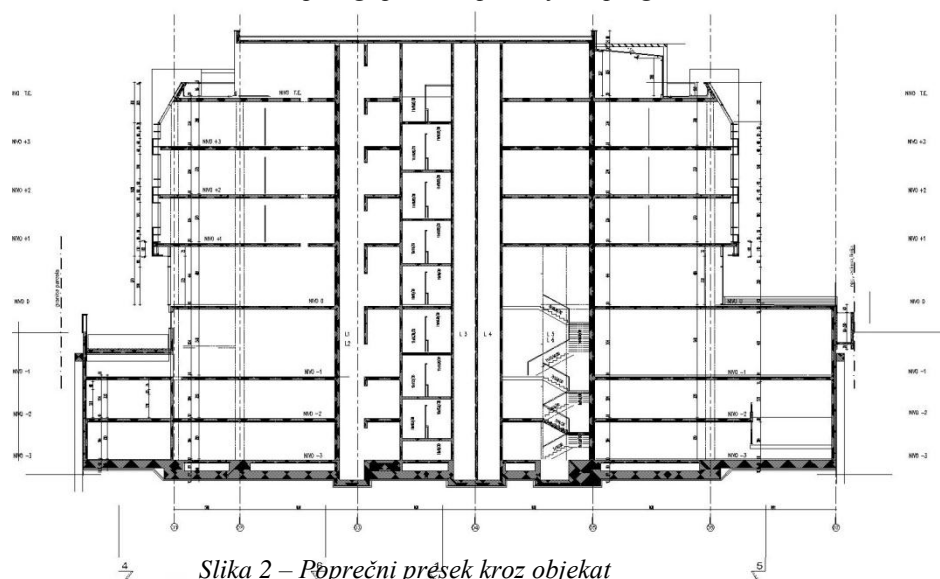
³ Dr Danijel Kukaras, dipl.inž.građ., Građevinski fakultet Subotica, e – mail: dkukaras@gmail.com

⁴ Toma Trujić, dipl.inž.građ., Koling A.D., Kronštatska, e – mail: toma.trujic@koling.rs

opterećenja koje se mogu pojaviti istovremeno na objektu, a u skladu sa važećim propisima SRPS i EN standardima. Na slici 1. je data tipaska osnova objekta.



Slika 1 – Osnova tipskog sprata sa položajem spregnutih stubova



Slika 2 – Pjeprečni prjek kroz objekat

1.2 Spregnuti stubovi sa krutim čeličnim profilima

Proračun spregnutih stubova sproveden je za kružne predeke: Ø70 i Ø100 za kombinaciju pritiska i dvoosnog savijanja. U prvom delu statičkog proračuna prikazano je da nosivost stubovi po JUS standardu ne zadovoljavaju prema dopuštenim naponima, a ni prema graničnoj nosivosti, te je dokazana potreba za sprežanjem stubova sa čeličnim krutim profilima. Analizirani su najpovoljniji profili za sprežanje (sandučasti i I zavareni preseci od limova), a odabran je I profil kao najoptimalniji za sprežanje iz razloga mnogobrojnih prodora armature greda i ugradnje kratkih elemenata za nošenje čeličnih greda. U analizi statičkog proračuna dat je dokaz prema EC4, za spregnute stubove sa procentualnom iskorišćenosti preseka. Čelični deo armirano betonskih spregnutih stubova izradjen je od zavarenih limova. Osnovni materijal za čeličnu konstrukciju stubova je Č 0361 (S235) koji odgovara JUS C.B0.500 (JUS EN 10025/2003). Čelična konstrukcija izrađuje se u radionici automatskim zavarivanjem, gde su svi montažni spojevi izvođeni zavarivanjem na licu mesta, u skladu sa Pravilnikom o tehničkim merama i uslovima za montažu čeličnih konstrukcija, kao i EN1993-1-1:2005, EN1993-1-8:2005, Evrokod 3. Pre početka i tokom montaže mora se vršiti geodetska kontrola visinskog i horizontalnog položaja ležišta – oslonaca kao i svakog nastavka konstrukcije sve do vrha krovne konstrukcije. Sva odstupanja veća od dozvoljenih ($\pm 5\text{mm}$), moraju se otkloniti da bi se počelo sa montažom. Analiza opterećenja data je u okviru dela koji se odnosi na statički proračun.

2. PROVERA NOSIVOSTI STUBA PREMA TEORIJI DOPUŠTENIH NAPONA

U ovoj delu prikazan je statički proračun najopterećenijeg stuba u objektu, prema teoriji dopuštenih napona. Uticaji u konstruktivnim elementima dobijeni programskim paketom Tower. Od svih osa najopterećenija osa sa momentima je osa 2. Na osnovu ovde priloženih uticaja u stubovima ose 2 vrši se optimizacija konstrukcije. Osa dva je u modelu Tower obeležna kao RAM V4.

Tabela 1 – Uticaji u stubu preuzeti iz Tower – a

Visina stuba	L = 540.0 cm					
Statički uticaji u stubu	N	T ₂	M ₂	N	T ₃	M ₃
	[kN]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]
G	4,650.0	145.0	90.0	4,650.0	40.0	370.0
			-110.0			-255.0
P+S _x	810.0	95.0	200.0	810.0	80.0	280.0
			-180.0			-225.0
G + P + S _x	5,460.0	240.0	290.0	5,460.0	120.0	650.0
			-290.0			-480.0

$$N_g = 4,650.0 \text{ kN}$$

$$N_p = 810.0 \text{ kN}$$

Vertikalna sila bez koeficijenata	$N = N_g + N_p = 5460.0 \text{ kN}$
Prečnik stuba	$D = 70 \text{ cm}$
Modul elastičnosti armature	$E_a = 21000.0 \text{ kN/cm}^2$
Modul deformacije betona MB 40	$E_b = 3400.0 \text{ kN/cm}^2$
	$n = E_a / E_b = 6.2$
MB 40	$f_b = 25.5 \text{ Mpa}$
RA 400/500	$\sigma_v = 400 \text{ Mpa}$
Površina poprečnog preseka	$A = 3848.5 \text{ cm}^2$
Površina poprečnog preseka betona umanjena za ubačeni čelični profil	$A = 3400.5 \text{ cm}^2$
Momenat inercije preseka	$I = 1178891.0 \text{ cm}^4$
Poluprečnik inercije preseka	$i = 17.5 \text{ cm}$
Dužina stuba	$l = 5.60 \text{ cm}$
Vitkost stuba veća	$\lambda = 32.00 \text{ cm}$
MB 40	$\sigma_s = 10 \text{ MPa}$

$$\sigma_k = 1.4x\sigma_s - 0.4 - (\sigma_s - 1)x(\lambda / 125) = 1.13 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \min \mu &= \lambda / 50 - 0.4 = 0.24 \% \\ \mu_{usv} &= 1.00 \% \\ A_{bpot} &= N / (\sigma_k \times (1 + n \times \mu)) = 4552.27 \text{ cm}^2 \\ D < D_{pot} &= 2 \times A_{bpot} / \pi = 76.13 \text{ cm} \\ usv A_a &= m_{usv} \times A_{bpot} = 45.523 \text{ cm}^2 \\ A_i &= A_b + n \times A_a = 3681.62 \text{ cm}^2 \\ N / A_i &= 1.48 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_b &= 1.48 \text{ kN/cm}^2 > \sigma_k = 1.13 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$

Stub sa procentom armiranja 1.0% armature u sebi ne može da primi kompletnu normalnu silu.

Usvojen je povećani procenat armiranja 3.0% armature u stubu.

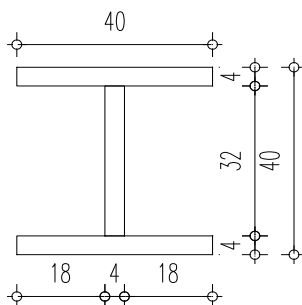
$$\begin{aligned} Usvojeno \mu & \sigma_k = 1.13 \text{ kN/cm}^2 \\ Usvojeno \mu & \mu_{usv} = 3.00 \% \\ A_{bpot} &= N / (\sigma_k \times (1 + n \times \mu)) = 4077.84 \text{ cm}^2 \\ D < D_{pot} &= 2 \times \sqrt{A_{bpot} / \pi} = 72.06 \text{ cm} \\ usv A_a &= m_{usv} \times A_{bpot} = 122.34 \text{ cm}^2 \\ A_i &= A_b + n \times A_a = 4156.05 \text{ cm}^2 \\ \sigma_b &= N / A_i = 1.31 \text{ kN/cm}^2 \\ \sigma_b &= 1.31 \text{ kN/cm}^2 > \sigma_k = 1.13 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$

Stub sa 3% armiranja ne može da primi normalnu silu.

3. PRORAČUN NOSIVOSTI EKSCENTRIČNO PRITISNUTOG ČELIČNOG ŠTAPA KONSTANTNOG POPREČNOG ZAVAREN OG PRESEKA (JUS U.E7.096)

Provera čeličnog dela nosača na prijem momenata

Pretpostavlja se automatski zavaren čelični nosač od lima debljine 40 mm



Sika 3 – Poprečni presek čeličnog završenog nosača

Tabela 2 – Geometrijske karakteristike završenog nosača

A	I_x	I_y	W_x	W_y	i_x	i_y
cm ²	cm ⁴	cm ⁴	cm ³	cm ³	cm	cm
448.0	114602.7	42666.7	5730.1	2133.3	15.99	9.76

Osnovni materijal: Č0361
 Granica razvlačenja (σ_v): 240 MPa
 Dopušteni napon (σ_{dop}): 160 MPa
 Vitkost pri razvlačenju (λ_v): 92.9 MPa
 Dopušteni napon bočnog izvijanja ($\sigma_{D,dop}$): 160 MPa

Presečne sile:

Dužine izvijanja:	$L_x =$	560.0	cm	$L_y =$	560.0
Vitkost:	$\lambda_x =$	35.01		$\lambda_y =$	57.38
Relativna vitkost:	$\lambda_{x'} =$	0.377		$1 \lambda_y =$	0.618
Kriva izvijanja:		C			C
	a =	0.489		a =	0.489
	$k_{nx} =$	1.087		$k_{ny} =$	1.204

Faktor uvećanja normalnog napona pritiska: $k_n = 1.204$

Koeficijenti ekvivalentnog momenta: $\beta_x = 1.00$ $\beta_y = 1.00$

Faktori uvećanja normalnog napona usled savijanja: $k_{mx} = 1.00$ $k_{my} = 1.00$

Faktor uvećanja napona usled bočnog izvijanja: $\theta = 1.00$

Maksimalan normalni napon sa faktorima uvećanja: $(k_n \sigma_N + q k_{mx} \sigma_{Mx} + k_{my} \sigma_{My})$

$N = 1.0$ kN $\sigma_N = 0.0$ MPa

$M_x = 650.0$ kNm $\sigma_{Mx} = 113.4$ MPa

$M_y = 290.0$ kNm $\sigma_{My} = 135.9$ MPa

$\Sigma \sigma = 249.4$ MPa > σ_{dop}

$\sigma_{max} = 249.4$ MPa > $\sigma_{dop} = 160.0$ MPa, stabilnost nije zadovoljena.

4. SPREGNUTI STUB Ø70cm SA UBETONIRANIM I ČELIČNIM PROFILOM OD ZAVARENIM LIMOVA PREMA GRANIČNOJ NOSIVOSTI

Tabela 3 – Uticaji u stubu od G+P+Sx

Dijagrami uticaja u stubu dati programskim paketom Tower					
N_{Ed}	$V_{z,Ed}$	$M_{y,Ed}$	N_{Ed}	$V_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$
[kN]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]
5460.0	240.00	650	5460	120	290
		-480			-290

Karakteristike materijala

Čelik S 235, $f_y = 23.5 \text{ kN/cm}^2$

$\gamma_a = 1.15$

$f_{yd} = 21.5 \text{ kN/cm}^2$

$E_a = 21000.0 \text{ kN/cm}^2$

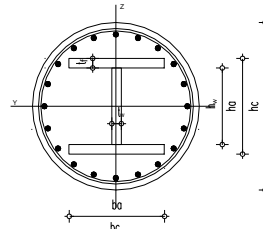
Armatura S 460

$f_{sk} = 46.0 \text{ kN/cm}^2$

$\gamma_s = 1.15$

$f_{sd} = 40.0 \text{ kN/cm}^2$

$E_s = 21000.0 \text{ kN/cm}^2$



Slika 4 – Spregnuti okrugli stub sa zavarenim limenim I nosačem

Beton C30/37

$f_{ck} = 4.0 \text{ kN/cm}^2$

$\gamma_c = 1.5$

$f_{cd} = 2.5 \text{ kN/cm}^2$

$E_{cm} = 3500.0 \text{ kN/cm}^2$

Dimenzije preseka

$b_c = 70.00 \text{ cm}$

$h_t = 18$

$h_c = 70.00 \text{ cm}$

$ba = 40.00 \text{ cm}$

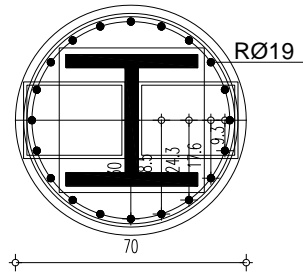
$ha = 40.0 \text{ cm}$

$hw = 32.00 \text{ cm}$

$tw = 4.00 \text{ cm}$

$tw = 4.00 \text{ cm}$

$r = 35.00 \text{ cm}$



Slika 5 – Spregnuti okrugli stub sa zavarenim limenim I nosačem

Površine i momenti inercije preseka spregnutog stuba

Čelični zavareni I nosač od limova debljine 40 mm

$A_a = 448.0 \text{ cm}^2$

$I_{a,z} = 42,837.3 \text{ cm}^4$

$I_{a,y} = 115,029.3 \text{ cm}^4$

Armatura: Ø1.9 cm

$n = 20.00 \text{ kom}$

$A_{si} = 2.84 \text{ cm}^2$

$I_{s,z} = 25561.32 \text{ cm}^4$

$I_{s,y} = 25561.32 \text{ cm}^4$

Beton

$A_c = 3343.7 \text{ cm}^2$

$I_{c,z} = 1110492 \text{ cm}^4$

$I_{c,y} = 1038300 \text{ cm}^4$

	0.640					sopstveni mom inercije Ø šipke I
$e_{zi} =$	30	28.5	24.3	17.6		9.3
	85.2	80.94	69.012	49.984		26.412

• Uticaj od normalne sile N_{Ed}
 $0.3\% \leq A_s/A_c \leq 4.0\% \Rightarrow 1.699\%$ **uslov zadovoljen**
 $N_{pl,Rd} = A_a f_y / \gamma_a + A_s f_{sk} / \gamma_s + 0,85 \times A_c f_{ck} / \gamma_c$
 $N_{pl,a} = 9154.8 \text{ kN}$
 $N_{pl,s} = 2272 \text{ kN}$
 $N_{pl,c} = 7578.9 \text{ kN}$
 $N_{pl,Rd} = 19005.7 \text{ kN}$
 $\delta = N_{pl,a} / N_{pl,Rd} \quad \delta = 0.482 \quad 0.2 \leq \delta \leq 0.9$ **uslov zadovoljen**

• Uticaj od smičuće sile $V_{y,Ed}$
 $V_{pl,a,Rd} = A_w \times f_{yd} / \sqrt{3} \quad A_w = 2 \times t_f \times b_s = 320 \text{ cm}^2$
 $V_{pl,a,Rd} = 3972.2 \text{ kN}$
Radi pojednostavljenja smičuća sila: $V_{a,Ed} = V_{y,Ed} \quad V_{a,Ed} = 120 \text{ kN}$
Pošto je uslov $V_{a,Ed} \leq 0,3 \cdot V_{pl,a,Rd}$ zadovoljen, nije potrebno redukovati smičuću površinu.
Ukoliko prethodni uslov nije zadovoljen potrebna je redukcija površine rebra čeličnog profila.

Uticaj smičuće sile $V_{z,Ed}$
 $V_{pl,a,Rd} = A_w \times f_{yd} / \sqrt{3} \quad A_w = t_w \cdot h_w = 128.00 \text{ cm}^2$
 $V_{pl,a,Rd} = 1588.9 \text{ kN}$
Radi pojednostavljenja smičuća sila: $V_{a,Ed} = V_{z,Ed} \quad V_{a,Ed} = 240.00 \text{ kN}$

Uslov $V_{a,Ed} \leq 0,3 \cdot V_{pl,a,Rd}$
Uticaj momenata savijanja : **$M_{y,Ed}$ i $M_{z,Ed}$**

• **Savijanje oko Y ose**

Pretpostavljena neutralna osa u rebu čeličnog profila deo od zaobljenja valjanih profila:

$$W_{pa} = t_w \cdot ha^2 / 4 + (ba - t_w) \cdot (ha - t_f) \cdot t_f + (4 - \pi) / 2 \cdot r^2 \cdot (ha - 2 \cdot t_f) + (3\pi - 10) / 3 \cdot r^3$$

$$W_{pc} = 2 \times ((0.5 \times r^2 \times \pi) \times ((4 \cdot r) / (3 \times \pi))) - W_{pa} - W_{ps} \quad i \quad W_{ps} = \sum A_{si} \cdot |e_{zi}|$$

$$W_{pa} = 6784.00 \text{ cm}^3$$

$$W_{ps} = 1075.79 \text{ cm}^3$$

$$W_{pc} = 49306.73 \text{ cm}^3$$

za ubetonirane profile $\alpha = 0.85$

$As_n =$ suma površine armaturnih šipki koje se nalaze unutar $2h_n$ zone
 $\Rightarrow As_n = 11.36 \quad 4 \text{ komada}$

$$h_n = \frac{A_{fcd} \cdot \alpha - As_n \cdot (2 \cdot f_{sd} - f_{cd} \cdot \alpha)}{2bc \cdot f_{cd} \cdot \alpha + 2t_w \cdot (2 \cdot f_{yd} - f_{cd} \cdot \alpha)} = \frac{6220.598}{624.5} = 9.961 \text{ cm}$$

$h_n = 9.961 \text{ cm} \leq (ha/2) - t_f = 16 \text{ cm}$ neutralna osa u rebu

$$W_{pan} = t_w \cdot h_n^2 \quad W_{pan} = 396.9 \text{ cm}^3$$

$$V_{psn} = \sum A_{sni} \cdot |e_{zi}|$$

$$W_{psn} = 105.6 \text{ cm}^3$$

visina kružnog isečka uzima se sa crteža u Autocad-u

$$b_{is} = 67.0 \text{ cm}$$

$$W_{pan} = b_{is} \cdot h_n^2 - W_{pan} - W_{psn}$$

$$W_{pcn} = 6,145.2 \text{ cm}^3$$

$$M_{\max,Rd} = W_{pa} \cdot \frac{f_y}{\gamma_a} + W_{ps} \cdot \frac{f_{sk}}{\gamma_s} + \frac{W_{pc}}{2} \cdot \frac{0.85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \quad M_{\max,Rd} = 2,375.4 \text{ kNm}$$

$$M_{\max,Rd} = W_{pa} \cdot \frac{f_y}{\gamma_a} + W_{ps} \cdot \frac{f_{sk}}{\gamma_s} + \frac{W_{pc}}{2} \cdot \frac{0.85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \quad M_{ply,Rd} = 2,182.4 \text{ kNm}$$

• **Savijanje oko Z ose**

Pretpostavljena neutralna osa u rebru čeličnog profila

$$W_{pa} = (t_f \cdot b_a^2 / 2) + ((h_a - 2 \cdot t_f) / 4)$$

$$W_{pc} = 2 \times ((0.5 \times r^2 \times \pi) \times ((4 \times r) / (3 \times \pi))) - W_{pa} - W_{ps} \quad i \quad W_{ps} = \sum A_{si} \cdot |e_{zi}| \left(h_n \leq \frac{t_w}{2} \right)$$

$$W_{pa} = 3208.00 \text{ cm}^3$$

$$W_{ps} = 1075.8 \text{ cm}^3$$

$$W_{pc} = 52882.7 \text{ cm}^3$$

za ubetonirane profile

$$a = 0.85$$

suma površine armaturnih šipki koje se nalaze unutar $2h_n$ zone $\Rightarrow A_{sn} = 0$ kom

$$h_n = \frac{A_c \cdot f_{cd} \cdot \alpha - A_{sn} (2 \cdot f_{sd} - f_{cd} \cdot \alpha)}{2 h_c \cdot f_{cd} \cdot \alpha + 2 h (2 \cdot f_{yd} - f_{cd} \cdot \alpha)}$$

$$h_n = \frac{7105.258}{3567.5} = 1.992 \text{ cm}$$

Ispunjen uslov:

$$h_n \leq t_w / 2 = 2 \text{ cm} \quad \text{neutralna osa u rebru}$$

$$W_{psn} = \sum_{i=1}^n A_{sni} \cdot |e_{zi}|$$

$$W_{pan} = h_a \cdot h_n^2$$

$$W_{pan} = 158.7 \text{ cm}^3$$

$$W_{pcn} = h_c \cdot h_n^2 - W_{pan} - W_{ps}$$

$$W_{nsn} = 0.0 \text{ cm}^3$$

$$W_{pcn} = 119.00 \text{ cm}^3$$

$$M_{\max,Rd} = W_{pa} \cdot \frac{f_y}{\gamma_a} + W_{ps} \cdot \frac{f_{sk}}{\gamma_s} + \frac{W_{pc}}{2} \cdot \frac{0.85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$M_{pl,Rd} = (W_{pa} - W_{pan}) \cdot \frac{f_y}{\gamma_a} + (W_{ps} - W_{psn}) \cdot \frac{f_{sk}}{\gamma_s} + \frac{1}{2} \cdot (W_{pc} - W_{pcn}) \cdot \frac{0.85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$M_{\max,Rd} = 1685.2 \text{ kNm}$$

$$M_{plz,Rd} = 1,651.4 \text{ kNm}$$

Prilikom određivanja ukupne nosivosti na aksijalno opterećenje – neophodno je prema EC4 sračunati karakterističnu vrednost plastične nosivosti na aksijalni pritisak:

$$N_{pl,Rk} = f_y \cdot A_a + f_{sk} \cdot A_s + 0.85 \cdot f_{ck} \cdot A_c$$

$$N_{pl,Rk} = 24509.2 \text{ kN}$$

Efektivna elastična krutost na savijanje za obe ose:

$$(EI)_{eff} = E_a \cdot I_a + E_s \cdot I_s + 0.59 \cdot E_{cm} \cdot I_c$$

$$\text{Osa Y} \quad (EI)_{eff,y} = 5,096,494,010.1 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Osa Z} \quad (EI)_{eff,z} = 3,729,538,490.1 \text{ kN/cm}^2$$

koeficijent izvijanja za obe ravni:

$$k = 0.7$$

Osa Y Kriva izvijanja b

$$\alpha = 0.340$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{N_{pl,R}}{N_{cr,y}}} = \frac{k \cdot I_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y \cdot A_a + f_{sk} \cdot A_s + 0.85 \cdot f_{ck} \cdot A_c}{E_a \cdot I_{a,y} + E_s \cdot I_{s,y} + 0.59 \cdot E_{cm} \cdot I_{c,y}}}$$

$$\phi = 0.5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2] \quad \chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_y^2}} \leq 1$$

$$l_y = 120.3211 \times 24,509.2/5,096,494,010 = \mathbf{0.264} < \mathbf{0.8} \quad N_{cr,y} = 352,036.5 \text{ kN}$$

$$\Phi = 0.546$$

$$x_y = 0.977$$

Pošto je relativna vitkost manja od granične vitkosti iz tabelle 4.1 EC4, nije potrebna redukcija modula elastičnosti betona E cm usled skupljanja i tečenja betona.

$$\text{Osa Z Kriva izvijanja c} \quad \alpha = 0.49$$

$$l_z = 120.3211 \times 24,509.2/3,729,538,490 = 0.308 < 0.8 \quad N_{cr,z} = 257,615.1 \text{ kN}$$

$$\Phi = 0.574 \quad \chi_z = 0.945$$

$$\chi_z = 0.945 < x_y = 0.977 \Rightarrow \min \chi = 0.945$$

Uslov koji mora da zadovolji aksijalno opterećen presek: $N_{Ed} < \min \chi \cdot N_{pl,Rd}$

$$\min \chi \times N_{pl,Rd} = 17957.26 \text{ kN}$$

$$\mathbf{5460.00 \text{ kN}} < \mathbf{17957.26 \text{ kN}} - \text{uslov zadovoljen}$$

Pošto je presek pored aksijalne sile opterećen i momentom savijanja oko obe ose konstruišu se interakcioni dijagrami za obe ose Primer je rađen sa uprošćenim M-N interakcionim dijagramom.

Savijanje oko ose Y

$$M'_{y,Ed} = 650 \text{ kNm}, \quad M_{y,Ed} = -480 \text{ kNm}, \quad \Psi_y = M_{y,Ed}/M'_{y,Ed} = -0.738, \quad \chi_y = 0.977$$

$$\chi_d = N_{Ed}/N_{pl,Rd} = 0.287, \quad \chi_n = \chi_y \times (1 - \psi) / 4 = 0.425$$

$$\chi_{pm} = N_{pl,c}/N_{pl,Rd} = 0.399,$$

$$m_k = (1 - \chi) / (1 - \chi_{pm}) = 0.038, \quad m_d = (1 - \chi_d) / (1 - \chi_{pm}) = 1.185$$

Uticaj imperfekcije opada kada je odnos $\chi_d = N_{Ed}/N_{pl,Rd}$ manji od χ i on opada do vrednosti χ_n . Za vrednosti $\chi_d < \chi_n$ i kod krutih štapova (ordinata $\chi = 1,0$), uticaji imperfekcija, odnosno efekata po teoriji II reda se izostavljaju.

$$\mu = \mu_d \cdot \mu_k \cdot \frac{(1 - \chi_d)}{(1 - \chi_{pm})} = 1.360$$

Kako je $\mu > 1$ usvaja se: Prema EC4 uticaji drugog reda mogu da se zanemare ukoliko su zadovoljeni sledeći uslovi: $\square \mu = 1.00$

$$\text{a) } N_{Ed}/N_{cr,y} \leq 0.1 = 0.016 \leq 0.100 \text{ uslov zadovoljen}$$

$$\text{b) } \lambda \leq 0.2 \times (2 - \psi) = 0.264 \leq 0.548 \text{ uslov zadovoljen}$$

Uslovi koje mora da zadovolji presek opterećen interakciom M_{Ed} i N_{Ed} :

osa Y

$$M_{y,Ed} \leq M_u = 0.9 \cdot \mu_y \cdot M_{pl,y,Rd}$$

$$\text{Prvi uslov: } 650 \leq 1964.17$$

uslov zadovoljen

$$\frac{M_{y,Ed}}{\mu_y \cdot M_{pl,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{\mu_z \cdot M_{pl,z,Rd}} \leq 1.0$$

$$\text{Drugi uslov } 0.47 \leq 1$$

uslov zadovoljen

Kontrola na izbočavanje

Da bi se uticaj lokalnih izbočavanja mogao zanemariti, kod ubetoniranih preseka, mora biti zadovoljen uslov:

$$c \geq \max [40 \text{ mm ili } b/6] \quad \Rightarrow b/6 = 66.7 \text{ mm} \quad c = 67.0 \text{ mm} \quad \text{uslov zadovoljen}$$

Zaštitni sloj betona, čija je svrha da spreči odvajanje betona, mora biti bočno armiran, da bi sprečio spoljašnji uticaj na ubetonirani čelični element i omogućio adekvatan otpor protiv lokalnog izbočavanja (definisano EN 1992-1-1, poglavlje 4).

Uticaj podužnih smičućih sila i unošenje opterećenja:

Proba da se podužna sila unosi u spregnut presek preko čeličnog dela

$$N_{a,Ed} = N_{Ed} \times (1 - N_{pl,c}/N_{pl,Rd}) = 3,282.7 \text{ kN}$$

$$N_{c,Ed} = N_{Ed} - N_{a,Ed} = 2,177.3 \text{ kN}$$

Za čelični I profil potpuno ubetoniran prema tabeli 5.9 EC4 proračunska čvrstoća pri smicanju je:

$$\tau_{Rd} = N_{a,Ed} / u_a \times l_v \leq \tau_{Rd}$$

$$\tau_{Rd} = 0.3 \text{ N/mm}^2 = 0.03 \text{ kN/cm}^2$$

$$l_v = N_{a,Ed} / u_a \times \tau_{Rd} = 312.8 \text{ cm} > 2 \times h_a = 80 \text{ cm}$$

Podužna sila se unosi u spregnut presek preko betonskog dela

$$N_{cs,Ed} = N_{Ed} \times (1 - N_{pl,c}/N_{pl,Rd}) = 2,830.0 \text{ kN}$$

$$N_{a,Ed} = N_{Ed} - N_{cs,Ed} = 2,630.0 \text{ kN}$$

$$u_a - \text{obim čeličnog profila} \quad u_a = 4 \times b_a - 2 \times t_w + 2 \times h_a = 232.0 \text{ cm}$$

Za čelični I profil potpuno ubetoniran prema tabeli 5.9 EC4 proračunska čvrstoća pri smicanju je:

$$\tau_{Rd} = N_{a,Ed} / u_a \times l_v \leq \tau_{Rd}$$

$$\tau_{Rd} = 0.3 \text{ N/mm}^2 = 0.03 \text{ kN/cm}^2$$

$$l_v = N_{a,Ed} / u_a \times \tau_{Rd} = 377.9 \text{ cm} > 2 \times h_a = 80 \text{ cm}$$

Pošto je dužina unošenja opterećenja ograničena na $l_v = 2 \times \min(h_a, b_a) = 80 \text{ cm}$, Potrebna su sredstva za prihvatanje smicanja za oba načina unošenja sile

Proračun sredstava za sprezanje

Kod moždanika sa glavom prema EC4 za nosivost moždanika se uzima manja od vrednosti:

γ_v - parcijalni koeficijent, preporučena vrednost 1,25

d - prečnik vrata moždanika, $13 \text{ mm} < d < 25 \text{ mm}$

f_u - propisana granična čvrstoća pri zatezanju materijala od kog je moždanik napravljen, ne veća od 500 N/mm^2

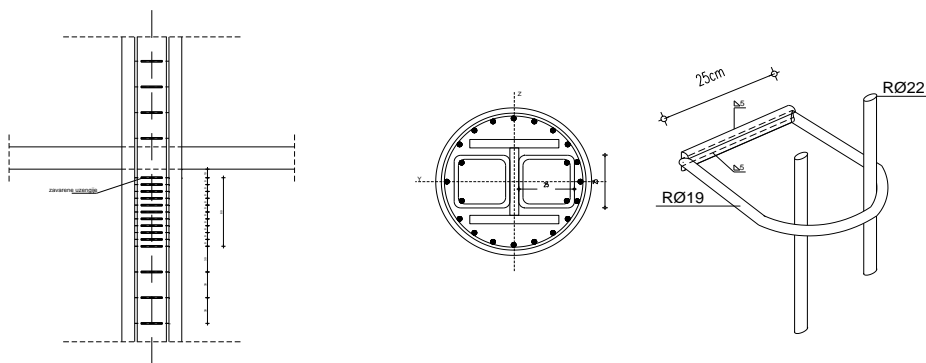
f_{ck} - karakteristična vrednost čvrstoće betona pri pritisku na cilindar razmatrane starosti, sa specifičnom težinom od najmanje 1750 kg/m^3

h - ukupna nominalna visina moždanika

P_{Rd} - proračunska nosivost moždanika na smicanje

Ovim su obuhvaćene dve mogućnosti otkaza: kada je merodavan otkaz nosivosti moždanika ili kada je merodavno gnječenje betona.

Obzirom da nosivost moždanika zavisi od prečnika d , ali i od debljine flanše t za koju se vari EC4 daje granicu $d/t \leq 2,5$. Glava moždanika ne treba da ima prečnik manji od $1,5d$, niti visinu manju od $0,4d$. Ukupna visina moždanika sa glavom ne sme biti manja od $3d$



Sika 6 – Raspored sredstava za sprezanje – uzengijama

visina moždanika (u ovom slučaju uzengije) =26 cm
 prečnik vrata uzengije (moždanika) =1.9 cm
 parcijalni koeficijent =1.25

Kako je usvojena RA 400/500 šipka RØ19 granica razvlačenja je

$$\sigma_a = 40.00 \text{ kN/cm}^2$$

$$h/d = 13.7 \text{ cm}$$

$$\alpha = 0,2(h/d + 1) \quad \text{za} \quad 3 \leq h/d \leq 4$$

$$\alpha = 1 \quad \text{za} \quad h/d > 4$$

$$P_{rd} = (0,8 \times f_u \times \pi \times d^2 / 4) / \gamma_v = 72.58 \text{ kN}$$

$$P_{rd} = (0,29 \times \alpha \times d^2 \times \sqrt{f_{ck} \times E_{cm}}) / \gamma_v = 99.10 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \min(P_{Rd1}, P_{Rd2}) \quad P_{Rd} = 72.58 \text{ kN}$$

$$t_w = 4.00 \text{ cm}$$

$$d/t_w \leq 2,5 \quad d/t_w = 0.475 \text{ cm} \quad \text{Uslov zadovoljen}$$

$$N_{cs,Ed} = V_{Ed} = 2830.0 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} < n \times P_{Rd}$$

V_{Ed} - proračunska vrednost smičuće sile

n - broj moždanika

P_{Rd} - proračunska nosivost moždanika na smicanje

$$n = V_{Ed} / P_{Rd} = 38.99 \text{ kom}$$

Usvojeno (moždanika) uzengija Ø19 RA 400/500 dužine 26cm preklapljenim po kraćoj strani 9 parova. Prema EC4: maksimalno rastojanje između moždanika:

$$22 \times t_f \times \sqrt{(235 / f_y)} = 88 \text{ cm}$$

$$\text{maksimalno rastojanje od ivice pritisnute nožice:} \quad 9 \times t_f \times \sqrt{(235 / f_y)} = 36 \text{ cm}$$

rastojanje najudaljenijeg reda moždanika od težišta grede je manje od

$$2 \times h_a = 80 \text{ cm, uslov dužine unošenja opterećenja zadovoljen}$$

5. IZRADA I MONTAŽA KONSTRUKCIJE

Elementi čelične konstrukcije se izrađuju u radionici zavarivanjem čeličnih limova i dovoze na objekat, gde se vrši montaža. Montažni nastavci stubova se izvode zavarivanjem na licu mesta. Konstrukcija se u fazi montaže mora pridržati pomoćnom čeličnom konstrukcijom. Betonska konstrukcija izvodi se livenjem na licu mesta. Beton je marke MB 30 za zidove, stepeništa, temeljnu ploču a MB 40 za stubove međuspratne ploče i grede. Armatura je RA 400/500 za sve konstruktivne elemente.



Slika 7 – Izvođenje spregnutih stubova sa krutim čeličnim profilima

Tabela 4 – Nosivost okruglih stubova prema različitim standardima

REKAPITULACIJA ISKORŠĆENOSTI PRESEKA											
Stub		STARI JUS STANDARDI					VAZEĆI JUS STANDARDI			EVROCOD 4	
Redni broj	Vrsta preseka	Dopušten napon					Granična stanja			Granična stanja u kombinaciji	
		pojedinačno	pojedinačno	spregnut presek		spregnut presek	Presek sa krutom armaturom		Duktilnost <0,35		
Uslovi opterećenja		Pritisak od normalne sile	Savijanje od momenta	Pritisak od normalne sile	Savijanje od momenta	Samo pritisak od normalne sile	Norm sile i mom. preko interacionih dijagrama	procenat armiranja bet.presom		Iskorišćenost	Iskorišćenost
Bet stub		Samo betonski deo stuba sa armaturom	Samo čelični	Samo betonski deo stuba sa armaturom	Samo čelični	Kompletan stub (beton+čelik)	Kompletan stub (beton+čelik)		Kompletan stub (beton+čelik)	Kompletan stub (beton+čelik+)	Kompletan stub (beton+čelik+)
1	Stub sa I presekom iskorišćenost	116%	156%	125%	156%	35%	90%	4%	0,35	53%	28%
2	Sandučast	112%	160%	120%	160%	41%	130%	4%	0,39	62%	33%
3	Sandučast	131%	143%	124%	142%	35%	90%	4%	0,35	49%	29%
4	Kružni presek	113%	242%	121%	242%	38%	105%	4%	0,38	45%	28%

6. ZAKLJUČAK

U tabeli 4 se daje pregled nosivosti spregnutih okruglih stubova sa krutim čeličnim profilima prema različitim standarda. Nosivost spregnutih stubova sa krutim čeličnim zavarenim profilima je sprovedeno prema Evrocod – u 4. Analiza armirano betonskog

stuba prema dopuštenom naponu pokazuje da normalnu silu u kombinovanom stubu ne može da primi samo beton i armatura ako je betonski deo stuba armiran sa 3% armature. Analiza čeličnog dela stuba prema dopuštenom naponu pokazuje da kompletan momenat može da primi ubačeni zavareni čelični profil i to sa iskorišćenjem preseka po dopuštenom naponu od 85%. Spregnut stub sa zamenjujućom površinom poprečnog preseka može da primi 70% veću normalnu silu nego što je maksimalni uticaj u elementu. Prema knjizi Milenka Pržulja za spregnute stubove i nacrtu za standard JUS U. Z1. 010. kaže se “ako je učešće površine krutih čeličnih profila manje od 15% neto površine betonskog preseka za stubove kažemo da su armirano betonski armirani krutom armaturom i betonskim gvožđem”. Proračun ovih stubova je isti kao i kod stubova sa vitkom armaturom.

LITERATURA

- [1] Bešević M., Vlajić Lj.: Adaptacija, sanacija i dogradnja objekta u Nemanjinoj ulici br. 9 u Beogradu, DGKS 13. KONGRES, **2010**, Zbornik radova, str.445 – 452.
- [2] EN 1994-1-1:2004 Evrokod 4 (Aneks A i B), EN 1991-1-6, EN 13670
- [3] Bešević M., Landović A., Eksperimentalno – teorijska analiza parametara od uticaja na nosivost pritisnutih HOP štapova od nerđajućeg čelika, Zbornik Građevinskog fakulteta br. 18, **2009**, str. 43 – 54.
- [4] Bešević M.: Nosivost centrično pritisnutih hladno oblikovanih štapova od visokovrednih i nerđajućih čelika, Izgradnja, broj 7 – 8, **2010**, str. 421 – 428.
- [5] Pravilnik o tehničkim merama i uslovima za montažu čeličnih konstrukcija, Sl. list SFRJ 29/70.
- [6] Zavarene noseće čelične konstrukcije; JUS C.H3.010 i JUS C.H3.0H (odgovara DIN 1913).

ANALYSIS OF THE BEARING CAPACITY OF COMPOSITE CIRCULAR COLUMNS MADE FROM REINFORCED CONCRETE AND STEEL PROFILES

Summary: *The building described in this paper has a rectangular shape with dimensions 60×50m at the ground level while upper stories are 44x32m. Height of the building is 20m. Traffic demands in the parking area and architectural demands in upper stories resulted in higher loads, discontinuation of some columns and reduction in their dimensions. This was solved with composite circular columns made from reinforced concrete and steel profiles (Ø70 – Ø100cm). Spans between columns are 7,6 m and 9,0 m, with some spans that are 9,6 m. Calculation and design of columns was conducted according to current domestic codes and Eurocode 4 for combined action of compression and biaxial bending. Most suitable steel profile was defined as welded „I“ profile. Load distribution of columns varies from 4000kN to 11000kN. Steel cross section was constructed from plates with thickness of t=40 mm.*

Key words: *Steel, composite, design, calculation, Eurocode, plates.*