

ANALIZA NOSIVOSTI KRUŽNIH CFT STUBOVA PREMA EVROKODU 4

DESIGN OF CIRCULAR COMPOSITE CFT COLUMNS ACCORDING TO EUROCODE 4

UDK: 006.44:624.016.072.3

Originalni naučni rad

Marija LAZOVIĆ, dipl.inž.građ.¹⁾

Prof. dr Biljana DERETIĆ-STOJANOVIĆ, dipl.inž.građ.²⁾

Dr Svetlana M. KOSTIĆ, dipl.inž.građ.³⁾

Doc. dr Saša STOŠIĆ, dipl.inž.građ.⁴⁾

REZIME

U radu je prikazana uprošćena metoda proračuna nosivosti spregnutih stubova prema važećem evropskom standardu za proračun spregnutih konstrukcija od čelika i betona – Evrokodu 4. Analiza nosivosti, a time i stabilnosti pri aksijalnom pritisku izolovanog stuba bazira se na primeni evropskih krivih izvijanja. Provera nosivosti pri kombinaciji aksijalnog pritiska i momenta savijanja zasniva se na N-M interakcionoj krivoj. Na konkretnom brojnom primeru prikazano je konstruisanje krive interakcije za spregnuti stub poprečnog preseka u obliku kružnog šupljeg profila ispunjenog betonom. Razmatran je uticaj utezanja betona na povećanje čvrstoće betona i nosivosti preseka CFT stuba. Izvođenjem izraza za određivanje odsečenih površina i statičkih momenata odsečenih površina kod kružnog CFT stuba, a zatim i određivanjem koordinata tačaka koje pripadaju krivoj interakcije, konstruisana je kontinualana kriva interakcije. Za navedeni poprečni presek kod proračuna nosivosti pri kombinaciji aksijalnog pritiska i savijanja, analizirani su sledeći uticaji na graničnu nosivost spregnutog preseka: uticaj promene marke betona, uticaj promene klase čelika i uticaj promene odnosa prečnika i debljine čeličnog profila.

Ključne reči: spregnuti CFT stubovi, krive interakcije, granična nosivost, teorija plastičnosti

SUMMARY

This paper presents a simplified method for calculation of bearing capacity of composite columns according to the European standard for the calculation of composite steel and concrete structures – Eurocode 4. Resistance analysis, and also the stability analysis of the isolated column under axial compression is based on the application of the European buckling curves. Verification of the column capacity subjected to axial compression and bending is based on the N-M interaction curve. For the presented numerical example, construction of the interaction curve is explained for the composite column with the circular concrete filled steel tube cross section. The influence of the concrete core confinement on the increase of concrete strength and the column bearing capacity of a CFT column is discussed. The [N, M] coordinates of the continuous interaction curve are calculated from the derived expressions for determination of the area and the static moment of the cut-off portion of the circular CFT section. For the presented example, the effects of the strength of concrete, strength of steel and the diameter and wall thickness of the steel tube on the composite CFT cross section capacity is discussed.

Key words: composite CFT columns, curve of interaction, bearing capacity, theory of plasticity.

1. UVOD

Prema Evrokodu 4 [3] proračun nosivosti spregnutih stubova poprečnog preseka u obliku kružnog šupljeg čeličnog profila ispunjenog betonom (CFT stubova) moguće je sprovediti primenom uprošćene metode proračuna

na. Ova metoda se zasniva na primeni evropskih krivih izvijanja [4], a primenljiva je kod spregnutih stubova čiji su poprečni preseki dvostrano simetrični i konstantni po čitavoj dužini stuba [3, 8]. Takođe, relativna vitkost treba da zadovolji uslov $\bar{\lambda} \leq 2,0$, dok maksimalna površina poprečnog preseka podužne armature treba da se kreće u sledećim granicama: $0,3\% < \rho_s < 6\%$. Pri proračunu CFT stubova neophodno je dokazati njihovu stabilnost, kako opštu, tako i lokalnu. U zavisnosti od klase čelika uticaji lokalnog izbočavanja mogu da se zanemare ako su zadovoljeni sledeći uslovi dati u tabeli 1:

Adrese autora: Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 11000 Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73

¹⁾ E-mail: mlazovic@grf.bg.ac.rs

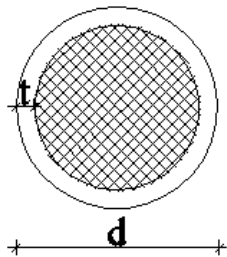
²⁾ E-mail: biljads@eunet.rs

³⁾ E-mail: svetlana@grf.bg.ac.rs

⁴⁾ E-mail: sasa@grf.bg.ac.rs

Tabela 1. Uslovi za zanemarivanje uticaja lokalnog izbočavanja

klasa čelika	S235	S275	S355	S460
	$d/t \leq 90$	$d/t \leq 77$	$d/t \leq 60$	$d/t \leq 46$



Slika 1. Poprečni presek stuba

Da bi se posmatrani stub računao kao spregnuti potrebno je da δ bude u sledećim granicama $0.2 \leq \delta \leq 0.9$, gde je δ koeficijent doprinosa čelika koji se računa na sledeći način:

$$\delta = \frac{A_a f_{yd}}{N_{pl,Rd}} \quad (1)$$

gde su: A_a – površina poprečnog preseka čeličnog profila;

f_{yd} – proračunska vrednost granice razvlačenja za čelik; $N_{pl,Rd}$ – nosivost potpuno plastifikovanog poprečnog preseka pri aksijalnom pritisku.

U daljem radu prikazan je proračun nosivosti poprečnog preseka CFT stuba pri aksijalnom pritisku i kombinaciji aksijalnog pritiska i savijanja usvajajući pravougaone dijagrame napona. Pretpostavlja se potpuna plastifikacija poprečnog preseka, pri čemu se čvrstoća betona na zatezanje zanemaruje.

2. NOSIVOST POPREČNOG PRESEKA SPREGNUTOG STUBA

2.1. Nosivost poprečnog preseka pri aksijalnom pritisku

Nosivost potpuno plastifikovanog poprečnog preseka CFT stuba pri aksijalnom pritisku $N_{pl,Rd}$ jednaka je zbiru nosivosti čeličnog profila (a), betona (c) i armature (s) [3, 6]:

$$N_{pl,Rd} = A_a f_{yd} + A_c f_{cd} + A_s f_{sd} \quad (2)$$

gde su A_a , A_c i A_s površine poprečnog preseka čeličnog profila, betona i armature, a $f_{yd} = f_y / \gamma_a$; $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$; $f_{sd} = f_{sk} / \gamma_s$ odgovarajuće proračunske vrednosti napona za čelik, beton i armaturu; f_y , f_{ck} , f_{sk} su njihove odgovarajuće karakteristične vrednosti u skladu sa EC3 i EC2; $\gamma_a = 1$, $\gamma_c = 1.5$, $\gamma_s = 1.15$ su odgovarajući koeficijenti sigurnosti.

Kod kružnih šupljih profila ispunjenih betonom može se uzeti u obzir povećanje čvrstoće betona pri pritisku nastalo usled utezanja betona čeličnom cevi ukoliko su ispunjeni sledeći uslovi [3]:

– relativna vitkost $\bar{\lambda} \leq 0.5$

– $e/d < 0$ gde je e ekscentricitet opterećenja koji je jednak odnosu M_{ed} / N_{Ed} , a d je spoljni prečnik šupljeg profila.

U tom slučaju nosivost potpuno plastifikovanog poprečnog preseka pri aksijalnom pritisku može se izračunati na sledeći način [3]:

$$N_{pl,Rd} = \eta_a A_a f_{yd} + A_c f_{cd} \left[1 + \eta_c \frac{t f_y}{d f_{ck}} \right] + A_s f_{sd} \quad (3)$$

gde je t debljina zida. Koeficijentima η_c i η_a se uvode efekti utezanja betona i oni zavise od relativne vitkosti $\bar{\lambda}$ i odnosa e/d [3]:

$$\eta_c = \eta_{c0} \left(1 - \frac{10e}{d} \right) \quad (4)$$

$$\eta_a = \eta_{a0} + (1 - \eta_{a0}) \frac{10e}{d} \quad (5)$$

$$\eta_{c0} = 4.9 - 18.5\bar{\lambda} + 17\bar{\lambda}^2 \quad (\text{ali } \eta_{c0} \geq 0.0) \quad (6)$$

$$\eta_{a0} = 0.25(3 + 2\bar{\lambda}) \quad (\text{ali } \eta_{a0} \leq 1.0) \quad (7)$$

Tabela 2. Zavisnost između koeficijenata η_{c0} , η_{a0} i relativne vitkosti $\bar{\lambda}$

$\bar{\lambda}$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
η_{c0}	4,90	3,22	1,88	0,88	0,22	0,00
η_{a0}	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00

2.2. Nosivost poprečnog preseka pri aksijalnom pritisku i jednoosnom savijanju

Nosivost poprečnog preseka pri aksijalnom pritisku i savijanju može se prikazati pomoću N-M interakcione krive. Sa porastom momenta savijanja dolazi do pada nosivosti poprečnog preseka pri aksijalnom pritisku. Nosivost poprečnog preseka biće zadovoljena ako se tačka sa koordinatama (N_{Ed} , M_{Ed}) nalazi unutar oblasti ograničene interakcionom krivom, pri čemu su N_{Ed} – proračunska aksijalna sila i M_{Ed} – proračunski moment savijanja koji deluju na spregnuti presek. Neutralna osa se postepeno pomera, od položaja koji odgovara momentu pune plastičnosti $M_{pl,Rd}$ prema donjoj ivici poprečnog preseka. Za svaki položaj neutralne ose, iz uslova ravnoteže, se računaju vrednosti aksijalne sile i odgovarajućeg momenta savijanja. Primenjujući uprošćenu metodu koju predlaže EC4 stvarna interakciona kriva se može zameniti poligonalnim dijagramom računajući samo koordinate karakterističnih tačaka A, B, C, D, E [2].

U primeru koji sledi prikazan je detaljan postupak određivanja dijagrama interakcije približno, prema predlogu EC4, kao i koristeći izvedene analitičke izraze za određivanje odsečenih površina i statičkih momenata odsečenih površina kod kružnog CFT stuba pomoću kojih se dobija kontinualna kriva interakcije.

2.3. Uticaj poprečne smičuće sile

Prema Evrokodu 4 [3] uticaj poprečnih sila smicanja na nosivost na savijanje i aksijalnu silu treba uzeti u obzir pri određivanju interakcione krive, ako je smičuća

sila $V_{a,Ed}$ koja deluje na čelični presek veća od 50% proračunske nosivosti na smicanje čeličnog preseka $V_{pl,a,Rd}$:

$$V_{pl,a,Rd} = A_v \frac{f_y}{\sqrt{3}} \frac{1}{\gamma_a} \quad (8)$$

gde je A_v površina smicanja. Kada je $V_{a,Ed} > 0.5 V_{pl,a,Rd}$ uticaj poprečnog smicanja na nosivost pri kombinovanom naprezanju na savijanje i pritisak treba uzeti u obzir pomoću redukovane granice razvlačenja $(1 - \rho)f_{yd}$ za površinu smicanja A_v , gde je

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$$

3. BROJNI PRIMER

Za stub poprečnog preseka u obliku kružnog šupljeg čeličnog profila ispunjenog betonom biće određena granična nosivost. Razmatrana su dva slučaja:

a) uzimanjem u obzir povećanje čvrstoće betona usled utezanja

b) ne uzimanjem u obzir povećanje čvrstoće betona usled utezanja.

Za slučaj ne uzimanja u obzir povećanje čvrstoće betona usled utezanja prikazan je odgovarajući dijagram interakcije.

Dati su sledeći podaci:

– hladno oblikovani šuplji profil kružnog preseka $d = 323.9$ mm, $t = 6.3$ mm S235

– beton C30/37

– $e/d = 0.01$

– relativna vitkosti $\bar{\lambda} = 0.1$

– $V_{a,Ed} < 0.5 V_{pl,a,Rd}$

3.1. Geometrijske karakteristike preseka

Kako je $d/t = 323.9/6.3 = 51,41 < 90 \rightarrow$ uticaj lokalnog izbočavanja može se zanemariti.

Površina čeličnog profila [9] iznosi: $A_a = 6290$ mm²

Površina betona iznosi:

$$A_c = \frac{d_c^2}{4} \pi = 76111.12 \text{ mm}^2$$

gde je $d_c = d - 2 \cdot t$ prečnik betonskog dela preseka.

3.2. Karakteristike materijala

Čelični nosač S235: $f_y = 235$ N/mm²; $f_{yd} = 235/1.0 = 235$ N/mm²; $E_a = 210$ kN/mm²;

Beton C30/37: $f_{ck} = 30$ N/mm²; $f_{cd} = 30/1.5 = 20$ N/mm²; $E_{cm} = 32$ kN/mm².

3.3. Nosivost poprečnog preseka spregnutog stuba

a) Nosivost potpuno plastifikovanog poprečnog preseka pri aksijalnom pritisku uzimajući u obzir povećanje čvrstoće betona usled utezanja (3) jednaka je:

$$N_{pl,Rd} = \eta_a A_a f_{yd} + A_c f_{cd} \left[1 + \eta_c \frac{t}{d} \frac{f_y}{f_{ck}} \right]$$

Za $\bar{\lambda} = 0.1$ koeficijenti η_a i η_c su jednaki:

$$\eta_a = \eta_{a0} + (1 - \eta_{a0}) \frac{10e}{d} = 0.8 + (1 - 0.8) \cdot 10 \cdot 0.01 = 0.82$$

$$\eta_c = \eta_{c0} \left(1 - \frac{10e}{d} \right) = 3.22 \cdot (1 - 10 \cdot 0.01) = 2.898$$

$$\begin{aligned} N_{pl,Rd} &= \eta_a A_a f_{yd} + A_c f_{cd} \left[1 + \eta_c \frac{t}{d} \frac{f_y}{f_{ck}} \right] = \\ &= \left(0.82 \cdot 6290 \cdot 235 + 76111.12 \cdot 20 \cdot \right. \\ &\quad \left. \cdot \left(1 + 2.898 \cdot \frac{6.3}{323.9} \cdot \frac{235}{30} \right) \right) \cdot 10^{-3} \\ &= 3406.43 \text{ kN} \end{aligned}$$

Koeficijent doprinosa čeličnog nosača (1) iznosi:

$$\delta = \frac{A_a f_{yd}}{N_{pl,Rd}} = \frac{6290 \cdot 235 \cdot 10^{-3}}{3406.43} = 0.44$$

i nalazi se unutar propisanih granica za spregnute konstrukcije.

b) Nosivost potpuno plastifikovanog poprečnog preseka pri aksijalnom pritisku ne uzimajući u obzir povećanje čvrstoće betona usled utezanja (2) je:

$$\begin{aligned} N_{pl,Rd} &= A_a f_{yd} + A_c f_{cd} = \\ &= (6290 \cdot 235 + 76111.12 \cdot 20) \cdot 10^{-3} = \\ &= 3000.37 \text{ kN} \end{aligned}$$

Koeficijent doprinosa čeličnog nosača (1) iznosi:

$$\delta = \frac{A_a f_{yd}}{N_{pl,Rd}} = \frac{6290 \cdot 235 \cdot 10^{-3}}{3000.37} = 0.49$$

Može se zaključiti da povećanje nosivosti pri aksijalnom pritisku usled utezanja iznosi 13.53%.

3.4. Kriva interakcije

Kriva interakcije ne uzimajući u obzir povećanje čvrstoće betona usled utezanja [1]:

Koordinate karakterističnih tačaka krive interakcije: Tačka A

$$N_A = N_{pl,Rd} = 3000.37 \text{ kN}$$

$$M_A = 0$$

Tačke B, C, D:

$$N_c = N_{pm,Rd} = A_c f_{cd} = (76111.12 \cdot 20) \cdot 10^{-3} = 1522.22 \text{ kN}$$

$$M_c = M_{pl,Rd}$$

$$N_D = N_{pm,Rd} / 2 = 761.11 \text{ kN}$$

$$M_D = M_{max,Rd}$$

$$W_{pc} = \frac{(d-2t)^3}{6} = \frac{(323.9-2 \cdot 6.3)^3}{6} = 5027893.98 \text{ mm}^3$$

$$W_{pa} = \frac{d^3}{6} - W_{pc} = \frac{323.9^3}{6} - 5027893.98 = 635562.8 \text{ mm}^3$$

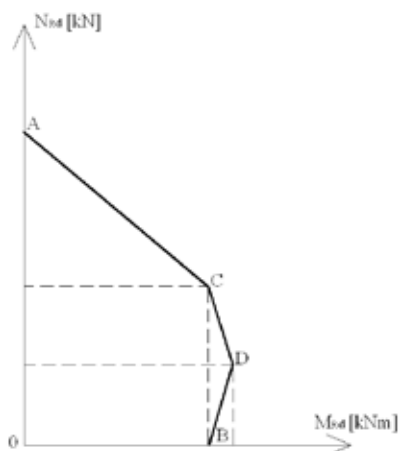
$$M_D = M_{max,Rd} = \frac{1}{2} W_{pc} f_{cd} + W_{pa} f_{yd} = \left(\frac{1}{2} \cdot 5027893.98 \cdot 20 + 635562.8 \cdot 235 \right) \cdot 10^{-6} = 199.64 \text{ kNm}$$

Određivanje položaja neutralne ose za tačke B i C koristeći približan izraz za pravougaoni presek i zamenom dimenzije b u d [7]:

$$h_n = \frac{A_c f_{cd}}{2df_{cd} + 4t(2f_{yd} - f_{cd})} = \frac{1522.22}{2 \cdot 323.9 \cdot 20 + 4 \cdot 6.3 \cdot (2 \cdot 235 - 20)} \cdot 10^3 = 62.65 \text{ mm}$$

$$W_{pcn} = (d-2t)h_n^2 = (323.9-2 \cdot 6.3) \cdot 62.65^2 = 1221984.73 \text{ mm}^3$$

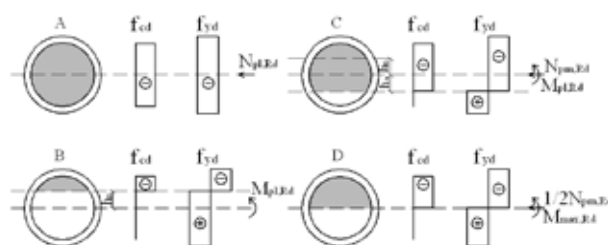
$$W_{pan} = 2th_n^2 = 2 \cdot 6.3 \cdot 62.65^2 = 49460.35 \text{ mm}^3$$



Slika 2. Kriva interakcije

$$M_{n,Rd} = \frac{1}{2} W_{pcn} f_{cd} + W_{pan} f_{yd} = \left(\frac{1}{2} \cdot 1221984.73 \cdot 20 + 49460.35 \cdot 235 \right) \cdot 10^{-6} = 23.84 \text{ kNm}$$

$$M_c = M_{pl,Rd} = M_{max,Rd} - M_{n,Rd} = 175.79 \text{ kNm}$$



Slika 3. Raspodela napona za karakteristične tačke na interakcionoj krivoj

3.5. Kontinualna kriva interakcije

Za određivanje kontinualne N-M krive interakcije potrebno je sračunati odgovarajuće površine i statičke momente odsečenih površina delova preseka CFT stuba, u funkciji od položaja plastične neutralne ose. Stoga su, za kružni CFT stub, izvedeni analitički izrazi za određivanje ovih veličina. Na ovaj način dobijaju se kontinualne krive interakcije.

Za beton:

$$\varphi_1 = \arcsin\left(\frac{z}{R_c}\right) \text{ pri čemu je } 0 \leq \varphi_1 \leq 90^\circ$$

$$\varphi_2 = 180^\circ - \varphi_1 \text{ pri čemu je } 90^\circ \leq \varphi_2 \leq 180^\circ$$

$$\alpha = 180^\circ - 2\varphi_1$$

$$A_{isečka} = \frac{R_c \pi \alpha}{360} \quad (9)$$

$$A_V = 2zR_c \cos \varphi_1 \quad (10)$$

$$A_{odsečka} = A_{isečka} - A_V = \frac{R_c \pi \alpha}{360} - 2zR_c \cos \varphi_1 = R_c \left(\frac{\pi \alpha}{360} - 2z \cos \varphi_1 \right) \quad (11)$$

$$dS_{isečka} = \frac{1}{2} R_c dz = \frac{1}{2} R_c R_c d\varphi \frac{2}{3} R_c \sin \varphi = \frac{1}{3} R_c^3 \sin \varphi \quad (12)$$

$$S_{isečka} = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{1}{3} R_c^3 \sin \varphi d\varphi = -\frac{1}{3} R_c^3 (\cos \varphi_2 - \cos \varphi_1) \quad (13)$$

$$S_{\nabla} = \frac{1}{2} B z \frac{2}{3} z = \frac{1}{2} 2 R_c \cos \varphi_1 \frac{2}{3} z^2 = \frac{2}{3} R_c z^2 \cos \varphi_1 \quad (14)$$

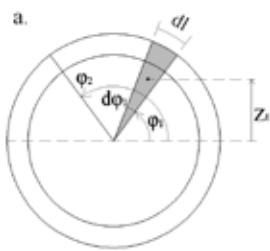
$$S_{odsečka} = S_{isečka} - S_{\nabla} = -\frac{1}{3} R_c^3 (\cos \varphi_2 - \cos \varphi_1) - \frac{2}{3} R_c z^2 \cos \varphi_1 \quad (15)$$

Za čelik:

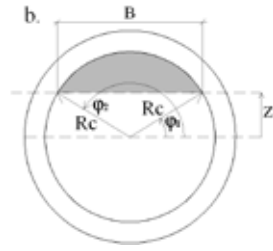
$$\varphi_3 = \arcsin\left(\frac{z}{R}\right) \quad \text{pri čemu je } 0 \leq \varphi_3 \leq 90^\circ;$$

$$\varphi_4 = 180^\circ - \varphi_3 \quad \text{pri čemu je } 90^\circ \leq \varphi_4 \leq 180^\circ;$$

$$\beta = 180^\circ - 2\varphi_3$$



Slika 4.a. Element kružnog isečka betonskog dela preseka



Slika 4.b. Kružni odsečak betonskog dela preseka određen položajem plastične neutralne ose

$$A_{isečka} = \frac{R\pi\beta}{360} \quad (16)$$

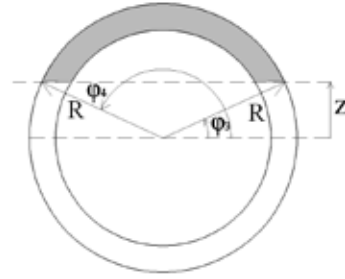
$$A_{\nabla} = 2zR \cos \varphi_3 \quad (17)$$

$$A_{odsečka} = R \left(\frac{\pi\beta}{360} - 2z \cos \varphi_3 \right) - R_c \left(\frac{\pi\alpha}{360} - 2z \cos \varphi_1 \right) \quad (18)$$

$$S_{isečka} = \int_{\varphi_3}^{\varphi_4} \frac{1}{3} R^3 \sin \varphi d\varphi = -\frac{1}{3} R^3 (\cos \varphi_4 - \cos \varphi_3) \quad (19)$$

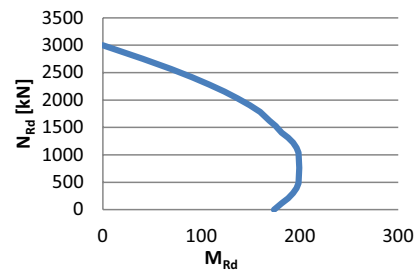
$$S_{\nabla} = \frac{1}{2} 2R \cos \varphi_3 \frac{2}{3} z^2 = \frac{2}{3} R z^2 \cos \varphi_3 \quad (20)$$

$$S_{odsečka} = -\frac{1}{3} R^3 (\cos \varphi_4 - \cos \varphi_3) - \frac{2}{3} R z^2 \cos \varphi_3 - \left(-\frac{1}{3} R_c^3 (\cos \varphi_2 - \cos \varphi_1) - \frac{2}{3} R_c z^2 \cos \varphi_1 \right) = -\frac{1}{3} R^3 (\cos \varphi_4 - \cos \varphi_3) - \frac{2}{3} R z^2 \cos \varphi_3 + \frac{1}{3} R_c^3 (\cos \varphi_2 - \cos \varphi_1) + \frac{2}{3} R_c z^2 \cos \varphi_1 \quad (21)$$



Slika 5. Kružni odsečak za čelični deo preseka određen položajem plastične neutralne ose

Primenom izvedenih izraza, za dati brojni primer, određena je kontinualna kriva interakcije prikazana na slici 6.



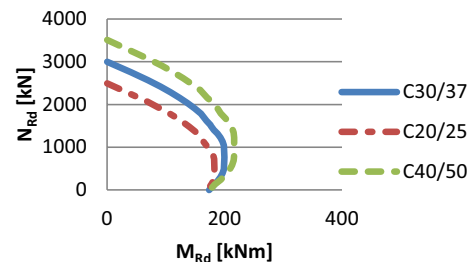
Slika 6. Kontinualna kriva interakcije za brojni primer

4. ANALIZA INTERAKCIONIH KRIVIH

U ovom delu rada za spregnuti stub kružnog poprečnog preseka prikazana je analiza zavisnosti N-M interakcionih krivih od klase betona, klase čelika i odnosa d/t . Primenjujući izvedene izraze za određivanje odsečne površine i statičkog momenta odsečene površine za kružni CFT stub, prikazane su odgovarajuće kontinualne krive interakcije koje su pogodne i za praktičnu primenu kod dimenzionisanja ove vrste stubova.

4.1. Uticaj klase betona

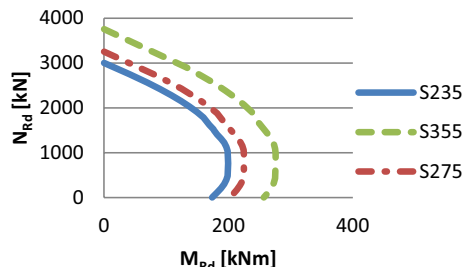
Za klase betona koje se najčešće koriste u praksi: C20/25, C30/37 i C40/50 pomoću interakcionih krivih prikazan je uticaj klase betona na graničnu nosivost spregnutog poprečnog preseka iz brojnog primera. Kao što je očekivano, sa porastom klase betona dolazi do širenja krive interakcije, a samim tim i do porasta nosivosti spregnutog preseka. Ovo se naročito odnosi na aksijalnu nosivost preseka.



Slika 7. Promena krive interakcije sa promenom klase betona

4.2. Uticaj klase čelika

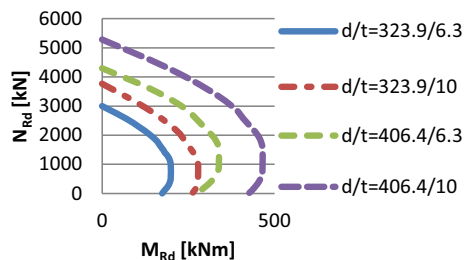
Analizira se isti spregnuti poprečni presek, sa betonom klase C30/37, a različitim klasama čelika: S235, S275 i S355. Može se zaključiti da se sa porastom klase čelika pored povećanja aksijalne nosivosti javlja i znatno veći priraštaj momenta savijanja.



Slika 8. Promena krive interakcije sa promenom klase čelika

4.3. Uticaj odnosa d/t

Konstruisane su kontinualne krive interakcije za spregnuti stub u obliku kružnog šupljeg profila ispunjenog betonom za sledeći odnos prečnika i debljine čeličnog profila: 323.9/6.3; 323.9/10; 406.4/6.3 i 406.4/10. Proračun je izvršen za klasu betona C30/37 i klasu čelika S235. Pri tome, za svaki od pomenutih primera, proveren je koeficijent doprinosa čelika, koji se prema Evrokodu 4 mora kretati u granicama od 0.2 do 0.9. Posmatrajući dijagrame interakcija na slici 9 može se zaključiti da debljina čeličnog nosača znatno utiče na porast kako aksijalne sile tako i momenta savijanja. U posmatranim slučajevima, ovo povećanje iznosi oko 25% za aksijalnu silu i oko 50% za moment savijanja.



Slika 9. Promena krive interakcije sa promenom odnosa d/t

4. ZAKLJUČAK

U radu je, na konkretnom brojnom primeru prikazano konstruisanje N-M krive interakcije za spregnuti CFT stub kružnog poprečnog preseka. Proračun je izvršen prema važećem evropskom standardu za proračun spregnutih konstrukcija od čelika i betona – Evrokodu 4. Razmatrana su dva slučaja: uzimajući u obzir efekat

utezanja i ne uzimajući u obzir efekat utezanja betona na povećanje nosivosti spregnutog stuba.

Za poprečni presek kružnog CFT stuba su izvedeni analitički izrazi za određivanje odsečenih površina i statičkih momenata odsečenih površina. Koristeći ove izraze, moguće je odrediti kontinualne krive interakcije. Time se olakšava postupak proračuna nosivosti spregnutog CFT stuba kružnog preseka u praksi.

Takođe, za posmatrani kružni poprečni presek CFT stuba analizirani su i sledeći uticaji na graničnu nosivost spregnutog preseka: uticaj promene marke betona, uticaj promene klase čelika i uticaj promene odnosa prečnika i debljine čeličnog profila. Sa porastom marke betona značajno se povećava aksijalna nosivost spregnutog preseka. U koliko se povećava klasa čelika, pored povećavanja aksijalne nosivosti, dolazi do znatno većeg priraštaja momenta savijanja. Najveći uticaj na porast momenta savijanja ima debljina čeličnog profila.

NAPOMENA: Treći autor se zahvaljuje Ministarstvu nauke Republike Srbije na finansijskoj podršci u okviru projekta TR 36046.

LITERATURA

- [1] Bergmann R., Matsui C., Meinsma C., Dutta D.: Design guide for concrete filled hollow section columns under static and seismic loading, Verlag TV Rheinland, 1995.
- [2] Deretić-Stojanović B., Kostić S., Stošić S.: Proračun spregnutih stubova od čelka i betona, Građevinski materijali i konstrukcije, vol.br. 1,(2011), str.62-79
- [3] Evrokod 4: EN 1994-1-1:2004 Proračun spregnutih konstrukcija od čelika i betona, Beograd, februar 2006.
- [4] Evrokod 3: EN 1993-1-1:2005 Proračun čeličnih konstrukcija, deo 1-1: opšta pravila i pravila za zgrade, Beograd, februar 2006.
- [5] Evrokod 2: EN 1992-1-1:2004 Proračun betonskih konstrukcija, deo 1-1: opšta pravila i pravila za zgrade, Beograd, februar 2006.
- [6] Johnson R.P.: Composite Structures of Steel and Concrete, Volume 1, Beams, Columns and Frames for Buildings, Blackwell scientific Publication, Oxford 2004, Third Edition.
- [7] Johnson R. P. and Anderson D.: Designer's guide to en 1994-1– Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1.1: General Rules and Rules for Buildings, Thomas Telford, 2004.
- [8] Kostić S., Deretić-Stojanović B., Stošić S.: Prilog proračunu spregnutih stubova od čelka i betona, Građevinski materijali i konstrukcije, vol.br. 2, (2011), str. 3-16
- [9] Zarić B., Buđevac D., Stipanić B.: Čelične konstrukcije u građevinarstvu, Beograd 2004, VII izdanje.