

# ДГКС

Друштво грађевинских  
конструктора Србије



# ASES

Association of Structural  
Engineers of Serbia

SIMPOZIJUM 2016.

ZLATIBOR 15-17. SEPTEMBAR

# ZBORNİK RADOVA 2016

U SARADNJI SA



POKROVITELJ



Република Србија  
Министарство грађевинарства,  
саобраћаја и инфраструктуре  
Министарство просвете,  
науке и технолошког развоја

SPONZORI



CIP - Каталогизacija у публикацији  
Библиотека Матице српске, Нови Сад

624(082)

69(082)

**ДРУШТВО грађевинских конструктора Србије. Симпозијум (2016 ; Златибор)**

Zbornik radova [Elektronski izvori] / Društvo građevinskih konstruktora Srbije, Simpozijum, 15-17. septembar, Zlatibor ; [urednici Đorđe Ladinović, Zlatko Marković, Boško Stevanović]. - Beograd : Društvo građevinskih konstruktora Srbije, 2016. - 1 elektronski optički disk (CD-ROM) ; 12 cm

Radovi na srp. i engl. jeziku. - Bibliografija uz svaki rad. - Rezime na engl. jeziku uz pojedine radove.

ISBN 978-86-7892-839-0

а) Грађевинарство - Зборници

COBISS.SR-ID 308004359

<b>Izdavač:</b>	<b>Društvo građevinskih konstruktora Srbije</b> Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73/I
<b>Urednici:</b>	prof. dr <b>Đorđe Ladinović</b> prof. dr <b>Zlatko Marković</b> prof. dr <b>Boško Stevanović</b>
<b>Tehnički urednik:</b>	doc. dr <b>Jelena Dobrić</b>
<b>Tehnička priprema:</b>	asist. <b>Nina Gluhović</b> asist. <b>Marija Todorović</b>
<b>Grafički dizajn:</b>	asist. <b>Tijana Stevanović</b>
<b>Dizajn korica:</b>	asist. <b>Jelena Dragaš</b>
<b>Štampa:</b>	<b>Grafički centar – GRID</b> <b>Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu</b>
<b>Tiraž:</b>	<b>250 primeraka</b> <b>Beograd, septembar 2016.</b>

*Branko Milosavljević<sup>1</sup>, Drago Ostojić<sup>2</sup>*

## **PRIMER OJAČANJA ARMIRANOBETONSKOG STUBA DOBETONIRANJEM U ČELIČNOJ CEVI**

*Rezime:*

**S-6** U radu je prikazan primer proračuna ojačanja pretežno aksijalno napregnutog kvadratnog stuba dobetoniranjem u kružnoj čeličnoj cevi. Prikazan je proračun efekata utezanja na povećanje čvrstoće betona na pritisak. Razmatrani su uslovi vezani za nosivost i maksimalne napone pritiska, propisani u tehničkoj regulativi, sa aspekta primenjivosti na ovakvo rešenje ojačanja. Prikazan je proračun efekata utezanja betona za dva prečnika čelične cevi. Razmotrene su prednosti i nedostaci ovakvog rešenja sa aspekta kvalitetnog ugrađivanja betona.

*Ključne reči: ojačanje, kružni stub, čelična cev, utezanje preseka*

## **STRENGTHENING OF THE RC CONCRETE COLUMN BY CONCRETE SUPPLEMENT IN STEEL TUBE EXAMPLE**

*Summary:*

An example of the design of strengthening of the predominantly axially loaded reinforced rectangular concrete column by concrete supplement in steel tube is presented in this paper. Calculation of the confining effects on the increase of concrete compressive strength is presented. Technical regulations related to bearing capacity and compressive stress limitation, in the scope of their applicability on presented strengthening solution, are considered. The confining effect was presented for two different steel tube diameters. Advantages and disadvantages of presented solution in the scope of the concreting quality are considered.

*Key words: strengthening, circular column, steel tube, cross-section confining*

<sup>1</sup> Doktor, Docent, Građevinski fakultet univerziteta u Beogradu

<sup>2</sup> Viši stručni saradnik, Građevinski fakultet univerziteta u Beogradu

## 1 UVOD

Dogradnja postojećih objekata dodavanjem jednog ili više spratova može, kao što je poznato, dovesti do značajnog povećanja vertikalnih sila u nosećim elementima koji sprovode opterećenje do temelja. Na to su naročito osetljivi stubovi, gde i pri manjim povećanjima opterećenja može doći do prevelikog napona pritiska u eksploataciji, kao i isrcpljenja nosivosti postojećeg stuba. S tim u vezi je često neophodno pristupiti projektovanju i izvođenju ojačanja postojećih stubova u objektu nad kojim se vrši dogradnja.

Poznate su razne metode ojačanja stubova, dodavanjem armiranobetonskih ili čeličnih delova preseka, uz različito njihovo međusobno povezivanje i sprezanje, ojačanje stuba čeličnim profilima na uglovima koji su međusobno povezani flahovima, sa dodavanjem sloja torkret ili ugrađenog betona, itd.

U ovom radu je prikazan jedan primer ojačanja kvadratnog stuba, dobetoniranjem kvadratnog stuba u čeličnoj cevi, tako da se dobije stub kružnog poprečnog preseka. Cev je formirana od relativno tankog lima, i nije projektovana da direktno doprinese nosivosti stuba na vertikalne sile, već, osim što služi kao oplata u fazi betoniranja, doprinosi značajnijem bočnom utezanju postojećeg i dobetoniranog dela preseka stuba. Ovakav način ojačanja stuba nije, naravno, nepoznat u građevinskoj praksi. Projektanta čelični plašt oko kružnog preseka asocira na "veoma dobro" utegnuto preseka, što dovodi do "značajnog" poboljšanja karakteristika armiranobetonskog preseka ojačanog stuba. Može se postaviti pitanje kvantifikacije tog poboljšanja, kao i uslova koje tom prilikom treba zadovoljiti.

U ovom radu je izvršen numerički proračun efekata utezanja, a zatim ti efekti analizirani sa stanovišta ograničenja naprezanja i nosivosti postojećeg stuba u uslovima povećanog opterećenja prema još uvek važećem BAB87 i Evrokodu.

## 2 USVOJENO REŠENJE OJAČANJA STUBA

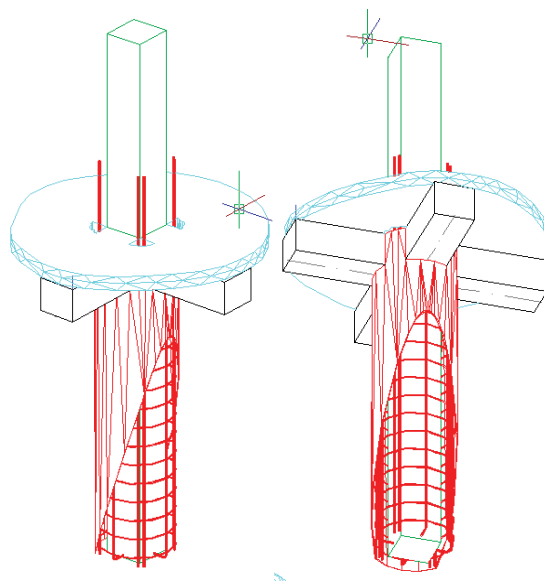
Rešenje ojačanja stuba koje je prikazano u ovom radu se odnosi na slučaj dogradnje postojećeg četvorospratnog objekta sa skeletnom ramovskom armiranobetonskom konstrukcijom. Stubovi si dimenzija 40x40cm, osim na najnižem spratu, gde je dimenzija 40x50cm. Dimenzije greda su 40x50cm. Međuspratne konstrukcije su krstaste armirano betonske ploče debljine 15cm oslonjene na grede. Ramovi su dakle postavljeni u dva pravca, u rasteru 6.0x6.0m. Objekat se dograđuje za još četiri sprata, uz odgovarajuće ojačanje temelja i formiranje novog sistema konstrukcije za prihvat horizontalnih sila dodavanjem armiranobetonskih zidova u dva pravca, koji zajedno sa postojećim ramovima čine mešoviti sistem.

S obzirom na broj spratova koji se u konkretnom slučaju dodaju, i konsekvntno povećanje vertikalne sile u stubovima, neophodno je ojačanje stubova postojeće konstrukcije. Ovde je prikazano ojačanje jednog srednjeg stuba, kod koga je povećanje sile usled dogradnje najviše izraženo.

### 2.1 DISPOZICIJA I DETALJI OJAČANJA

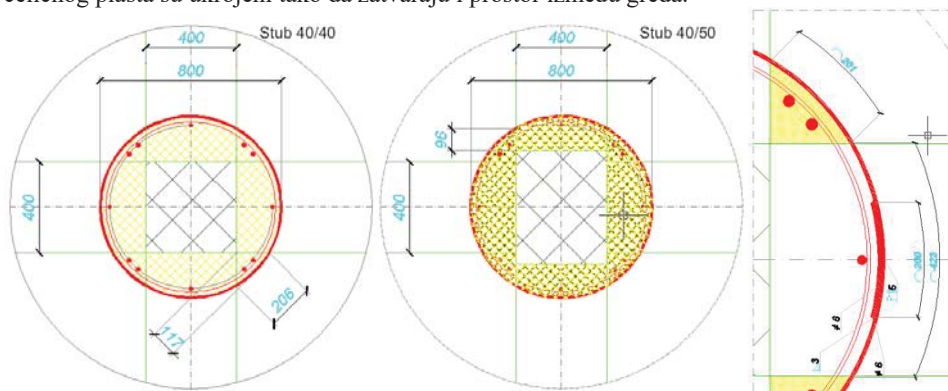
Predviđeno je da se ojačanje srednjeg stuba konstrukcije izvede nakon što se sa postojeće konstrukcije uklone pregradni zidovi, podovi i plafoni. U neposrednoj blizini stuba, u uglu između međuspratnih greda koje se susiće, ploča se štemovanjem probija. Oko postojećeg stuba se postavlja novoprojektovana podužna i poprečna armatura (*Slika 1*). Podužna armatura

je postavljena tako da je njen najveći deo postavljen na mestu gde je probijen otvor u ploči (Slika 2 levo). Time je omogućena kontinualizacija podužne armature kroz spratove preklapanjem.



Slika 1- Dispozicija ojačanja stuba

Nakon postavljanja uzengija Ø10/20cm, postavlja se čelični cilindrični plašt, i to iz dva dela koji se spajaju u cev prečnika 80cm zavarivanjem prema detalju (Slika 2 desno). Elementi čeličnog plašta su ukrojeni tako da zatvaraju i prostor između greda.



Slika 2 - Detalji ojačanja stuba

Nakon zatvaranja čeličnog plašta, vrši se betoniranje prostora između postojećeg stuba i čeličnog plašta sitnozrnim betonom kroz otvore probijene u ploči, korišćenjem levka za

nadvišenje sveže betonske mešavine i vibriranjem čelične cevi, kako bi se obezbedilo potpuno popunjavanje oplata betonom. Potpuno ispunjavanje prostora koji se betonira je od posebnog značaja, kako bi se obezbedio prenos sile pritiska sa sprata na sprat kroz dobetonirani deo stuba.

## 2.2 PRORAČUN NAPREZANJA OJAČANOG STUBA

Na osnovu proračunskog 3D modela za nedograđenu konstrukciju (postojeće stanje) i dograđenu konstrukciju (novoprojektovano stanje) sračunata su vertikalna naprezanja u najopterećenijem srednjem stubu, za koji se sprovodi proračun ojačanja.

U cilju analize efekata dodatnog utezanja stuba koji se ojačava, ovde će biti razmotrena dva rešenja, jedno sa dobetoniranim stubom do prečnika od 80cm, i drugo do prečnika od 75cm. Tako će analiza biti sprovedena za dva nivoa konačnog opterećenja, uz razmatranje uslova vezanih za maksimalne napone i nosivost utegnuto i neutegnuto preseka postojećeg stuba.

Već je napomenuto da se u konkretnom slučaju, u okviru projekta dogradnje konstrukcije, projektuju nova armiranobetonska platna, tako da ona preuzimaju veći deo uticaja od horizontalnih opterećenja. Stubovi i grede, svakako prihvataju deo horizontalnih sila, ali s obzirom na krutost armiranobetonskih zidova, ti uticaji su relativno mali. U prikazanoj analizi akcenat se stavlja na vertikalne, aksijalne sile u stubu, uz odgovarajuće razmatranje istovremenog uticaja savijanja.

### 2.2.1 Ograničenja naprezanja i nosivosti stuba

Prema Evrokodu, osim zadovoljenja nosivosti poprečnog preseka stuba za dejstva normalne sile i momenta savijanja u uslovima graničnog stanja (ULS), za granično stanje upotrebljivosti (SLS) naponi pritiska u betonu su ograničeni na vrednost  $/3/$ :

$$0.6 f_{ck} \quad (1)$$

kada je u pitanju ograničenje pojave podužnih prslina, i

$$0.45 f_{ck} \quad (2)$$

kada može da se usvoji linearno tečenje betona, gde je:

$f_{ck}$  karakteristična čvrstoća betona na pritisak (cilindra).

S druge strane, EC8 ograničava normalnu silu  $/2/$ , za srednju klasu duktilnosti (DCM), na nivo od:

$$v_{ed} = \frac{N_{ed}}{A_c f_{cd}} \leq 0.65 \quad (3)$$

gde je:

$N_{ed}$  proračunska aksijalna sila u stubu,

$A_c$  površina betonskog preseka,

$f_{cd}$  računski čvrstoća betona na pritisak.

Prema još uvek važećem "Pravilniku o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim propisima", za stubove u ramovskim konstrukcijama, napon od vertikalnog opterećenja se ograničava na:

$$\sigma \leq 0.35 \times 0.7 \times \beta_k \quad (4)$$

gde je:

$\beta_k$  čvrstoća kocke  $d=20\text{cm}$  (marka betona).

## 2.2.2 Efekat poprečnog utezanja na čvrstoću betona

Sva navedena ograničenja prikazana u prethodnoj tački, zavise od čvrstoće betona na pritisak. U literaturi postoji veliki broj objavljenih istraživanja karakterisitka i ponašanja utegnutoг betona. Tako se, na osnovu /1/, može prikazati zavisnost povećanja čvrstoće usled utezanja poprečnom armaturom:

$$f_{cck} = f_{ck} \cdot \left[ -1.254 + 2.254 \sqrt{1 + \frac{7.94 \cdot f_p}{f_{ck}} - 2 \frac{f_p}{f_{ck}}} \right] \quad (5)$$

gde je:

$f_p$  poprečni napon od utezanja,  
 $f_{cck}$  karakteristična čvrstoća utegnutoг betona.

Poprečni napon od utezanja dat je izrazom:

$$f_p = \frac{1}{2} \omega_{wd} \cdot f_y \quad (6)$$

gde je:

$f_y$  napon tečenja u čeliku kojim se presek uteže,  
 $\omega_{wd}$  zapreminski koeficijent armiranja poprečnom armaturom, koji je, za slučaj utezanja limom debljine  $t$ , definisan izrazom:

$$\omega_{wd} = \frac{4t}{D} \quad (7)$$

gde je:

$D$  prečnik čelične cevi.

Za konkretni slučaj ojačanja stuba, marka ugrađenog betona kod postojećeg i novoprojektovanog dela stuba je MB30, odnosno C25/30, prema EC2. U Tabela 1 su prikazani rezultati proračuna čvrstoće na pritisak betona utegnutoг čeličnom cevi debljine zida 6mm, prema BAB, za marku MB30 i prema EC, za klasu betona C25/30, a prema izrazima (5) do (7). Proračun je sproveden za dva prečnika stuba, 80 i 75 cm.

**Tabela 1 - Čvrstoće utegnutoг betona**

			Prečnik stuba D	80	75	cm	
$MB=$	30	MPa	$D_{ef} =$	79.4	74.4	cm	
$f_B=$	20.5	MPa	$\omega =$	0.030	0.032		
$0.35f_B=$	7.35	MPa	$f_p =$	3.552	3.790	MPa	
C25/30			Čvrstoća prema BAB	$f_p/MB =$	0.118	0.126	
$f_{ck} =$	25	MPa		$f_{cc}/MB =$	1.649	1.683	
$f_{cd} =$	16.7	MPa		$f_{ccBAB}=$	49.460	50.504	MPa
$0.45f_{ck} =$	11.3	MPa	Čvrstoća prema EC	$f_p/f_{ck} =$	0.142	0.152	
$0.6f_{ck} =$	15.0	MPa		$f_{cck}/f_{ck} =$	1.750	1.789	
$f_y =$	235	MPa		$f_{cckEC}=$	43.748	44.722	MPa
$t_{lima}=$	0.6	cm		$f_{ccEC,d}=$	29.165	29.815	MPa

Povećanje čvrstoće betona pri troosnom stanju naprezanja je definisano u EC2 (3.1.9 (2)), gde je za vrednost bočnog napona  $\sigma_2 = \sigma_3 \geq 0,05f_{ck}$ , uvećana karakteristična čvrstoća data je izrazom:

$$f_{ck,c} = f_{ck}(1.125 + 2.5\sigma_2 / f_{ck}) \quad (8)$$

što, za utezanje u cevi debljine 6mm, prečnika 80cm, sa  $\sigma_2 = f_p = 3.552\text{MPa}$  (Tabela 1), iznosi:

$$f_{ck,c} = 1.6f_{ck} \quad (9)$$

dakle, nešto na strani sigurnosti u odnosu na vrednosti iz Tabela 1.

U Tabela 2 prikazane su veličine sila u predmetnom stubu po fazama (F1- postojeće stanje, F2 - dograđen objekat) i po opterećenjima g i p. Kolona 4 predstavlja razliku kolona 3 i 1, a kolona 6 zbir kolona 4 i 5.

**Tabela 2 – Sile u stubu koji se ojačava**

Sprat	F1: Postojeće		F2: Dogradnja			
	$N_{F1g}$ kN	$\sigma_{un,F1}$ MPa	$N_{F2g,tot}$ kN	$N_{F2g}$ kN	$N_{F2p}$ kN	$N_{max,F2}$ kN
	1	2	3	4	5	6
Suteren	1190	6.0	3684	2494	820	3314
Prizemlje	954	6.0	3295	2341	738	3079
1	674	4.2	3294	2620	659	3279
2	448	2.8	2585	2137	559	2696
3	228	1.4	2196	1968	459	2427

### 2.2.3 Nosivost ojačanog stuba

Prikazane su proračunske granične vrednosti sila u stubu  $N_d$  prema EC2, upoređene sa nosivošću stuba  $N_{rd}$  pri centričnom pritisku, za unutrašnji (postojeći) i spoljni (novoprojektovani) deo stuba (Tabela 3). Raspodela sile na dva dela preseka stuba izvršena je prema pripadajućim površinama. Proračunska sila u unutrašnjem delu  $N_{d,un}$  (kol. 4 i 11) dobijena je sabiranjem  $1,35 \times N_{F1g}$  (Tabela 2, kol. 1) i  $N_{d,unF2}$  (kol. 3 i 10).

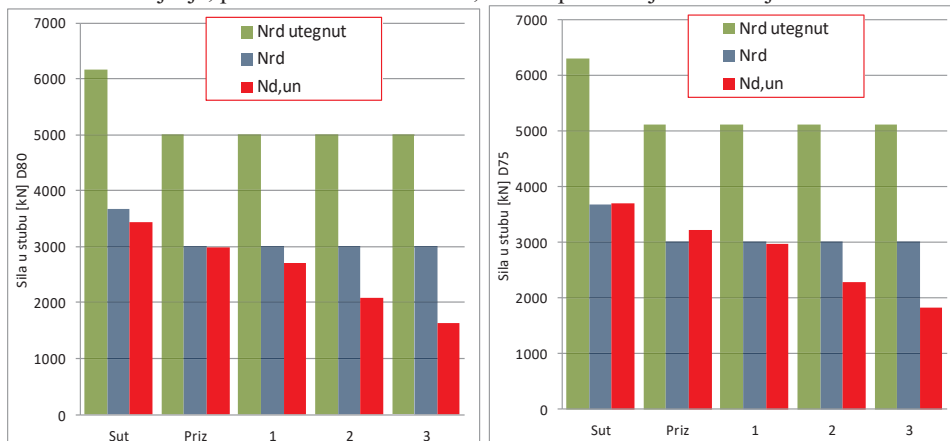
**Tabela 3 – Granične sile i nosivost ojačanog stuba (kN)**

Sprat	$N_d$	D=80cm									D=75cm					
		Unutrašnji					Spoljni				Unutrašnji				Spoljni	
		$N_{d,un,F2}$	$N_{d,un}$	$N_{rd}$	$N_{rd,UT}$	$N_{d,sp,F2}$	$N_{rd}$	$N_{rd,UT}$	$N_{d,un,F2}$	$N_{d,un}$	$N_{rd}$	$N_{rd,UT}$	$N_{d,sp,F2}$	$N_{rd}$	$N_{rd,UT}$	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Sut.	6203	4597	1830	3436	3668	6168	2767	6132	9912	2082	3689	3668	6298	2515	5118	8294
Priz.	5555	4267	1699	2987	3001	5001	2569	6799	11078	1933	3221	3001	5105	2335	5785	9487
1	5435	4526	1802	2711	3001	5001	2724	6799	11078	2050	2960	3001	5105	2476	5785	9487
2	4328	3723	1482	2087	3001	5001	2241	6799	11078	1686	2291	3001	5105	2037	5785	9487
3	3653	3345	1332	1640	3001	5001	2014	6799	11078	1515	1823	3001	5105	1830	5785	9487

Kao što je već napomenuto, stub je deo ramovske konstrukcije koja, u sistemi sa AB zidovima, prihvata i deo momenata savijanja, pre svega od horizontalnih dejstava. Maksimalni moment u stubu iznosi  $304\text{kNm}$ , što predstavlja relativno malu vrednost u odnosu na ukupnu graničnu aksijalnu silu (Tabela 3, kol. 1), i može se zanemariti u ovoj analizi. Ukoliko se



posmatraju pojedini delovi preseka, unutrašnji deo stuba, posmatrano prema pripadajućoj krutosti na savijanje, prihvata 10.6% momenta, što tek predstavlja zanemarljivu vrednost.



Slika 3 - Nosivost unutrašnjeg dela stuba za  $D=80\text{cm}$  (levo) i  $D=75\text{cm}$  (desno)

Nosivost spoljnog dela peseka je značajno iznad odgovarajuće proračunske sile. Na dijagramima (Slika 3) je prikazana granična sila za unutrašnji deo preseka, kao i odgovarajuća nosivost za neutegnut i utegnut beton, za dva razmatrana prečnika stuba. Kod stuba prečnika 75cm u unutrašnjem delu preseka sila premašuje nosivosti u prva dva sprata, gde je neophodno uvesti efekte utezanja betona. U oba slučajeva, s obzirom na iscrpljenu ili skoro iscrpljenu nosivost unutrašnjeg dela, uvođenje značajnijih momenata savijanja, na primer, u slučaju dominantno ramovske konstrukcije, bilo bi nemoguće bez pozitivnih efekata utezanja na nosivost ojačanog stuba, kao i duktilnost krivine preseka /4/.

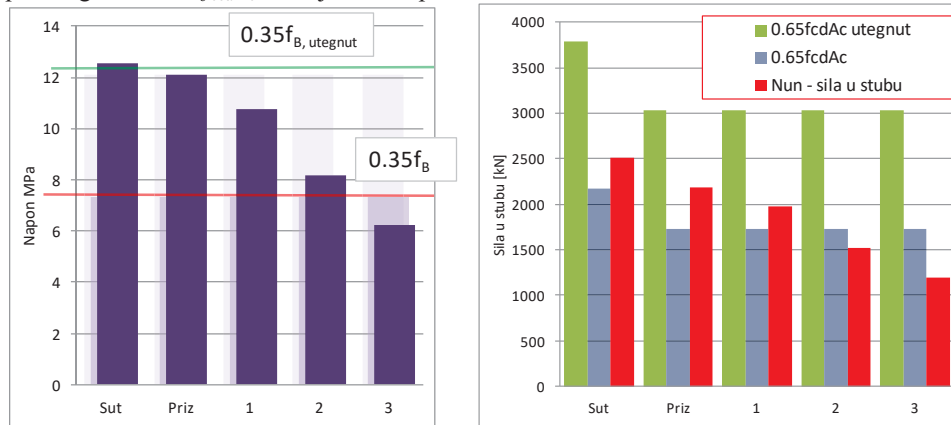
#### 2.2.4 SLS sile i naponi u stubu

Eksploatacione sile i naponi u unutrašnjem i spoljnom delu stuba prečnika 80cm su prikazani u Tabela 4. Treba naglasiti da ukupna sila u unutrašnjem stubu (kolona 4) je dobijena sabiranjem postojeće sile u stubu (pre početka dogradnje, Tabela 2) i njegove pripadajuće sile od dodatnog opterećenja usled dogradnje (Tabela 4, kolona 1).

Tabela 4 – SLS sile i naponi u stubu

Sprat	Unutrašnji deo stuba						Spoljni deo stuba			
	$N_{un,F2}$	$\sigma_{un,F2}$	$N_{un}$	$\sigma_{un}$	$0.65f_{cd}A_c$	$0.65f_{ccd}A_c$	$N_{sp}$	$\sigma_{sp}$	$0.65f_{cd}A_c$	$0.65f_{ccd}A_c$
	kN	MPa	kN	MPa	kN	kN	kN	MPa	kN	kN
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sut.	1319	6.6	2509	12.5	2167	3792	1995	6.6	3276	5733
Priz.	1226	6.1	2180	12.1	1733	3033	1853	5.4	3709	6491
1	1305	6.5	1979	10.7	1733	3033	1974	5.8	3709	6491
2	1073	5.4	1521	8.2	1733	3033	1623	4.7	3709	6491
3	966	4.8	1194	6.3	1733	3033	1461	4.3	3709	6491

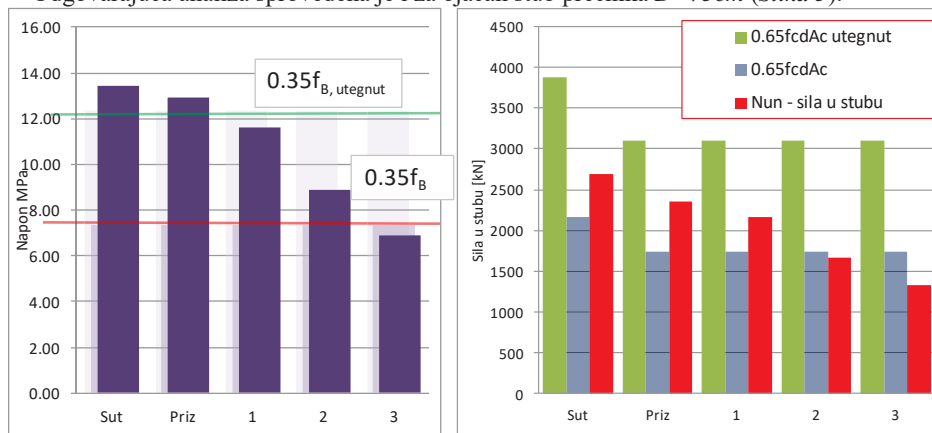
Naponi i odgovarajuće sile u unutrašnjem delu stuba su prikazani na dijagramima (Slika 4), gde se na dijagramu levo vidi da, za neutegnut beton, naponi prevazilaze granicu iz uslova (4) od  $0.7f_B=7.35MPa$  (Tabela 1). Pri utezanju betona čeličnim plaštom ova granica se uvećava odnosom čvrstoća utegnuto i neutegnuto betona, koja u ovom slučaju u iznosu 1.649 (Tabela 1), pa napon u unutrašnjem utegnutom stubu zadovoljava uslov (4). Na desnom dijagramu prikazan je uslov (3), koji za prva tri sprata nije ispunjen za neutegnut beton. Efekat utezanja podiže granicu  $0.65f_{cd}A_c$  značajno iznad potrebnih vrednosti.



Slika 4 - Normalni napon pritiska i sila u ojačanom stubu  $D=80cm$

Uslovi ograničenja napona (1) i (2), propisani u EC2, se ne pokazuju kao merodavni. Uslov  $0.6f_{ck}$  daje relativno visoku vrednost napona, a uslov (2) nije od značaja za unutrašnji deo stuba zbog njegove starosti, kada tečenje betona dostiže asimptotu.

Odgovarajuća analiza sprovedena je i za ojačan stub prečnika  $D=75cm$  (Slika 5).



Slika 5 - Normalni napon pritiska i sila u ojačanom stubu  $D=75cm$

U ovom slučaju zbog većeg udela unutrašnjeg dela stuba u preraspodeli sila u ojačanom preseku, za neutegnut beton uslov (4) nije ispunjen praktično po celoj visini, a uslov (3) na prva tri sprata. Uvođenje efekata utezanja nije, u ovom slučaju, dovoljno da se ispuni uslov (4), kao što se vidi na levom dijagramu (*Slika 5*). Uslov ograničenje sile pema EC8 je zadovoljen kada se uzme uticaj poprečnog utezanja u obzir.

### 2.2.5 Analiza rezultata proračuna

Prikazano ojačanje stuba obuhvata i proračun odnosa čvrstoće neutegnuto i utegnuto betona (Tabela 1), odnosno kvantifikaciju efikasnosti utezanja. Efekat utezanja je direktno proporcionalan, kao što je poznato, debljini čelične cevi, a obrnuto proporcionalan njenom prečniku. Treba napomenuti da se i kružne uzengije usvojene u preseku mogu uključiti površinu čelika koja uteže beton. U ovom primeru je to zanemareno, jer bi uključenje usvojenih uzengija Ø10/20, u ovom slučaju, efektu utezanja doprinelo manje od 10%.

U primeru je razmatrana nosivost ojačanog stuba u celini, kao i unutrašnjeg (postojećeg) dela preseka, samo za aksijalnu silu pritiska, što je, u ovom slučaju, opravdano zbog zanemarljivih momenata savijanja, s obzirom da u konstrukciji postoje i AB zidovi. Generalno, ukoliko savijanje nije zanemarljivo, efekat utezanja je još značajniji, jer osim nosivosti treba obezbediti i duktilnost krivine. Treba pritom imati u vidu, da zbog usvojene dispozicije preseka, gde se postojeći stub nalazi unutar novoprojektovanog preseka, udeo unutrašnjeg preseka u nošenju i većih momenata savijanja, je relativno mali.

Uslov (1) koji predstavlja ograničenje vertikalnih napona se svakako mora ispuniti. Ovaj uslov dobija na značaju kada je unutrašnji deo preseka više opterećen normalnom silom od spoljnog, što je može desiti u slučaju velikih "zarobljenih" sila, ili kada je relativno mala površina dobetoniranog dela preseka, što, s druge strane, može kompromitovati pravilno ugrađivanje betona. U slučaju ojačanja postojećih stubova uslov (2), koji se odnosi na tečenje, nije od značaja, kao što je već naglašeno.

U primeru je razmatrano ispunjenje uslova (3) i (4). Uslov ograničenja sile (3), koji propisuje EC8, merodavan je kod ramovskih konstrukcija, i pre svega je usmeren na obezbeđenje projektovane duktilnosti, za stubove sa značajnim momentima savijanja, ili kod konstrukcija sa velikim horizontalnim pomeranjima. Uslov (4), iz naših važećih propisa, ima praktično isti smisao kao i uslov (3). Dakle, ako stub koji se ojačava predstavlja sekundarni element u sistemu koji prihvata horizontalne uticaje, ne mora nužno da ispunjava ova dva uslova. Ovo naročito dobija na značaju kada se uzme u obzir, već opisano, relativno malo učešće postojećeg stuba u nosivosti ojačanog preseka na savijanja.

## 2.3 TEHNOLOŠKI ASPEKTI PRIKAZANOG REŠENJA OJAČANJA STUBA

Pri opisu usvojenog rešenja ojačanja stuba je naglašeno da čelična cev, formirana iz dva zakrivljena lima, pored funkcije utezanja preseka, predstavlja i oplatu za betoniranje, što je pogodnost sa tehnološkog aspekta. Međutim sa aspekta tehnologije betoniranje i kontrole kvalitete ugrađenog betona, predloženo rešenje zahteva posebnu pažnju.

Problem pri betoniranju i ugrađivanju betona predstavlja mali prostor između površine stuba i čelične cevi. Težnja projektanta da primeni najmanje moguće proširenje stuba, uz zadovoljenje nosivosti, u direktnoj je suprotnosti sa potrebom da se sprovede kvalitetno ugrađivanje betona. Svakako treba težiti ka balansu između ove dve težnje, uz korišćenje sitnozrog ili samougradivog (SCC) betona.

Prilikom betoniranja beton se u cev može unositi kroz otvore u ploči, kao što je već opisano, gde je kritično normalno rastojanje od ivice stuba do zida cevi. Za rešenje ojačanja stuba 40x40cm do cevi  $D=80\text{cm}$  to rastojanje iznosi 10.6cm, za  $D=75\text{cm}$  9.2cm, a za  $D=70\text{cm}$  6.7cm. S obzirom na prisutnu podužnu armaturu u prostoru za betoniranje, u poslednja dva slučaja bi se morao, na primer, konično proširiti gornji deo stuba, ili vršiti betoniranje SCC betonom odozdo na gore.

Kada se oplata od lima zadržava kao deo preseka posle betoniranja, nemoguće je izvršiti vizuelnu kontrolu kvaliteta betoniranja. Već je ukazano na značaj dobro ugrađenog betona za transfer sila između spratova, što ponovo ističe neophodnost primene većih preseka cevi, SCC betona, kao i eventualnu kontrolu ugrađenog betona ultrazvukom.

### 3 ZAKLJUČAK

Prilikom dogradnje ramovskih konstrukcija koje podrazumevaju ojačanje stubova, prosto proširenje poprečnog preseka stuba nije dovoljno, jer su naprezanja u postojećem stubu, nastala usled "zarobljene" sile pre početka dogradnje i dodate sile od težine dograđenog dela objekta i dodatnog stalnog i povremenog opterećenja, često su, sa aspekta nosivosti i ograničenja napona pritiska, iznad odgovarajućih propisanih granica. Ukoliko su "zarobljene" sile u postojećem stubu velike, površina dodatog dela preseka, odnosno dimenzije ojačanog stuba postaju veoma velike. Poboljšanje karakteristika, kako postojećeg, tako i novougrađenog betona, efikasnim poprečnim utezanjem, predstavlja u takvim slučajevima dobro rešenje. Poznato je da je najefikasnije utezanje kod kružnog poprečnog preseka, a prisustvo čelične cevi ili plašta oko preseka obezbeđuje dovoljnu količinu čelika za utezanje.

Uslovi vezani za ograničenje sile i napona u postojećem stubu, kao unutrašnjem delu novoprojektovanog ojačanog elementa, zavise, pre svega, od uloge koju ojačani stub ima u konstrukciji. Što je veće njegovo učešće, u prihvatanju horizontalnih sila, odnosno što su veći uticaji savijanja, to raste potreba sa efikasnim utezanjem stuba, u cilju povećanja čvrstoće betona i duktilnosti elementa u celini.

Proračunom, na način koji je prikazan u radu, moguće je kvantifikovati efekte utezanja i, uz pravilnu analizu uslova koje po naponima i nosivosti ojačani stub treba da zadovolji, obezbediti sve propisane proračunske dokaze u okviru projekta ojačanja konstrukcije.

### LITERATURA

- [1] Mander J.B., Priestley M.J.N., Park R.: *Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete*, Journal of Structural Engineering, Vol. 114, No. 8, August 1988, pp. 1804-1826
- [2] Eurocode 8: *Design of structures for earthquake resistance/ Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildin*, 2004
- [3] Eurocode 2: *Design of concrete structures/ Part 1-1: General rules and rules for buildings*, 2004
- [4] D. Najdanović, B. Milosavljević: *Strength and ductility of concrete confined circular column*, Građevinar vol. 66, no. 5,1-10, pp. 417-423, 2014