

# АНАЛИЗА НОСИВОСТИ СТУБА СПРЕГНУТОГ ПРЕСЕКА У ФУНКЦИЈИ ОСНОВНОГ МАТЕРИЈАЛА

Александар Ландовић<sup>1</sup>  
Мирослав Бешевић<sup>2</sup>  
Данијел Кукарас<sup>3</sup>

УДК: 624.046.2:693.814

DOI: 10.14415/zbornikGFS24.006

**Резиме:** У раду су приказани резултати експериментално-теоријских моделских испитивања стубова спрегнутог пресека од челика и бетона. Стубови су формирани од бетоном испуњених челичних цеви. Гранична носивост стубова анализирана је кроз варирање механичких карактеристика основних материјала применом европских прописа Eurocode 4 (EC 4).

**Кључне речи:** Стуб, спрегнут пресек, гранична носивост, параметарска анализа

## 1. УВОД

Бетоном испуњене челичне цеви показују изузетне перформансе кад су у питању крутост, чврстоћа, дуктилност и отпорност на дејство пожара. Челичне цеви кружног попречног пресека испуњене бетоном пружају значајне структуралне предности у односу на класичне армиранобетонске стубове. Једна од главних предности бетоном испуњених челичних цеви је интеракција између челичне цеви и бетона. Локално избочавање челичне цеви спречава се испуном од бетона, а носивост бетона повећава се захваљујући ограничавајућим ефектом који му обезбеђује челична цев. Производња бетона високих чврстоћа омогућује извођење витких стубова што доприноси архитектонским предностима коришћења простора. Гранична носивост стубова спрегнутог пресека зависи од својстава композитних материјала, чврстоће при притиску бетона и чврстоће челика при затезању [5].

Ефекат повећања чврстоће највише је изражен код кратких стубова оптерећених аксијалним оптерећењем, док се овај ефекат смањује повећањем виткости и ексцентрицитета. Употреба композитних елемената код мостова и зграда показује неколико предности у поређењу са објектима направљених од само челика или само од бетона. Конструктивним обједињавањем два или више материјала

<sup>1</sup> Асистент мр Александар Ландовић, дипл.грађ.инж., Универзитет у Новом Саду, Грађевински факултет Суботица, Козарачка 2а, тел:024/554-300, [landovic1@gmail.com](mailto:landovic1@gmail.com)

<sup>2</sup> Проф. др Мирослав Бешевић, дипл.грађ.инж., Универзитет у Новом Саду, Грађевински факултет Суботица, Козарачка 2а, тел:024/554-300, [miroslav.besevic@gmail.com](mailto:miroslav.besevic@gmail.com)

<sup>3</sup> Проф. др Данијел Кукарас, дипл.грађ.инж., Универзитет у Новом Саду, Грађевински факултет Суботица, Козарачка 2а, тел:024/554-300, [danijel.kukaras@gmail.com](mailto:danijel.kukaras@gmail.com)

различитих физичко – механичких особина у јединствени – спрегнути пресек, постиже се повољнија расподела материјала и много боље се користе особине бетона и челика.

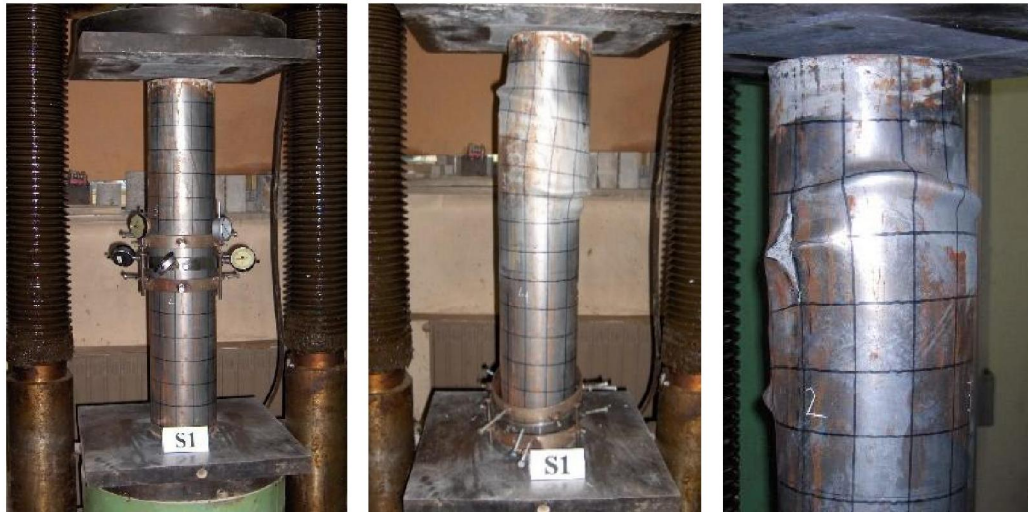
Сарадњом два различита материјала постиже се знатно повољније напонско стање у пресеку носача и знатно смањење његове деформације [6].

## 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО – МОДЕЛСКО ИСТРАЖИВАЊЕ

Експериментално – моделско истраживање приказано у раду спроведено је на стубовима од кружних челичних цеви испуњених ситнизрним бетоном.

За израду узорак употребљене су челичне цеви спољашњег пречника  $D_o=159mm$ , дебљине зида  $t=2mm$  и дужине  $l=850mm$ .

Механичке карактеристике челика су:  $\sigma_v=235MPa$ ,  $\sigma_u=310MPa$ ,  $E_s=210GPa$ , док су карактеристике бетона којим су испуњене цеви  $f_{b,k}=60MPa$ ,  $f_{b,c}=48.4MPa$ ,  $E_{b,st}=34GPa$ .



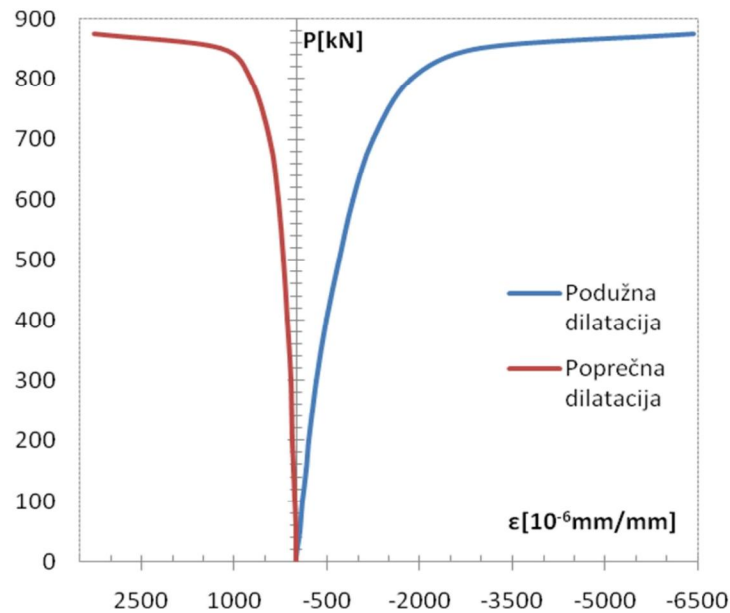
Слика 1. Модел стуба пре и после испитивања

Експериментално истраживање је обухватило испитивање на три модела стуба који су били оптерећени преко целе површине попречног пресека.

Мерна места за регистровање специфичних деформација лоцирана су на средини дужине стуба, а постављена су на челични плашт симетрично у односу на уздужну осу. Испитивање стубова вршено је помоћу хидрауличне пресе, на коју су модели стубова постављени директно. Узорци су оптерећивани континуирано све до достизања граничне носивости и лома стуба.

Инкремент наношења оптерећења је усвојен као вредност једне десетине процењене носивости узорка. Током испитивања вршено је пажљиво регистровање процеса настанка и развоја деформација, максимално оптерећење као и карактеристичан облик лома [2]. До отказивања носивости, односно до лома долазило је услед локалног избочавања челичног плашта у зони уноса силе. Након

достизања напона течења у челику дошло је до великих деформација цеви. Ефекти попречног утезања бетона челичним омотачем били су умањени услед директног наношења оптерећења на целокупни попречни пресек стуба.



Слика 2. Деформацијски одговор стуба S1

Средња вредност граничне носивости стуба износи  $P_u = 876.0 \text{ kN}$ . Детаљан приказ експерименталних истраживања приказан је у [4].

### 3. РАЧУНСКА АНАЛИЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИХ МОДЕЛА

Рачунска анализа носивости стубова спрегнутог пресека спроведена је према према европском Правилнику за спрегнуте конструкције од челика и бетона ЕС 4.

Табела 1. Геометријске и механичке карактеристике материјала

Део пресека	$f$ [MPa]	$\gamma$	$E$ [GPa]	$A$ [cm <sup>2</sup> ]	$I$ [cm <sup>4</sup> ]
Бетон - испуна	$f_{ck}=48.4$	$\gamma_c=1.5$	$E_c=34$	$A_c=188.7$	$I_c=2833$
Челик - цев	$f_y=235$	$\gamma_a=1.0$	$E_a=210$	$A_a=9.9$	$I_a=304$

Гранична носивост стуба спрегнутог пресека према прописима ЕС 4 одређена је према изразу (2) узимајући у обзир увећање чврстоће бетона услед триаксијалних ефекта:

$$N_{pl,Rd} = \eta_a \cdot \frac{A_a \cdot f_y}{\gamma_a} + \frac{A_c \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \left[ 1 + \eta_c \frac{t}{d} \frac{f_y}{f_{ck}} \right] \quad (1)$$



$$N_{pl,Rd} = 858.32kN$$

Редукована носивости за одговарајући модел извијања износи:

$$\chi N_{pl,Rd} = 846.40kN$$

Анализом носивости пресека у пластичној области применом европских прописа за прорачун спрегнутих конструкција ЕС 4 добија се гранична сила лома која је за око 3.5% мања од експерименталне.

Ово наводи на закључак да је примена ових прописа, уз одговарајуће парцијалне коефицијенте сигурности, за прорачун граничне носивости стубова оправдана [1].

#### 4. ПАРАМЕТАРСКА АНАЛИЗА НОСИВОСТИ СТУБОВА

Гранична носивост стубова уз варирање параметара одређена је за модел стуба који има идентичне геометријске карактеристике као и стуб испитиван експерименталним путем, тј. спољашњи пречник цеви  $D_o=159mm$  и висина стуба  $l=850mm$ . Параметарска анализа обухватала је варирање механичких карактеристика челика, бетона, као и дебљине зида цеви.

Табела 2. Механичке карактеристике челика

Челик	$f_y$ [MPa]	$f_u$ [MPa]	Напомена
DC04	235	310	Experiment, Č0148
ASTM A36	250	400	US Standard
API 5L X65	448	531	US Petroleum Institute
AISI 302	520	860	Stainless steel
ASTM A514	690	760	High strength

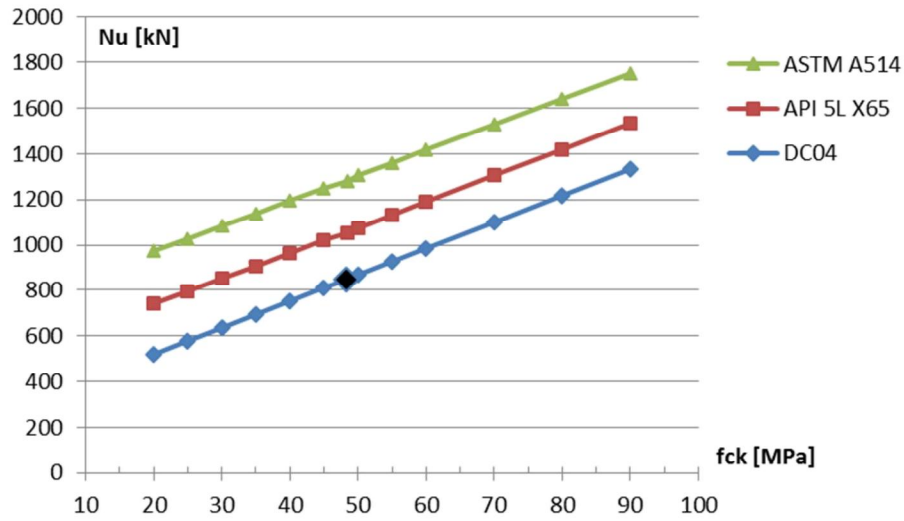
Усвојени су челици различитих механичких карактеристика, што је приказано у табели 2. Модул еластичности за све типове челика усвојен је у вредности  $E_s=210GPa$ . За чврстоћу  $f_{ck}$  и модул еластичности бетона  $E_c$ , поред експериментално одређене вредности, усвојене су и вредности према прописима ЕС 2. Дебљина зида цеви варирана је кроз приказане вредности  $t=\{1.5, 2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 8, 10\}mm$ .

На слици 3. приказани су дијаграми носивости стуба у функцији притисне чврстоће бетона за различите квалитете челика.

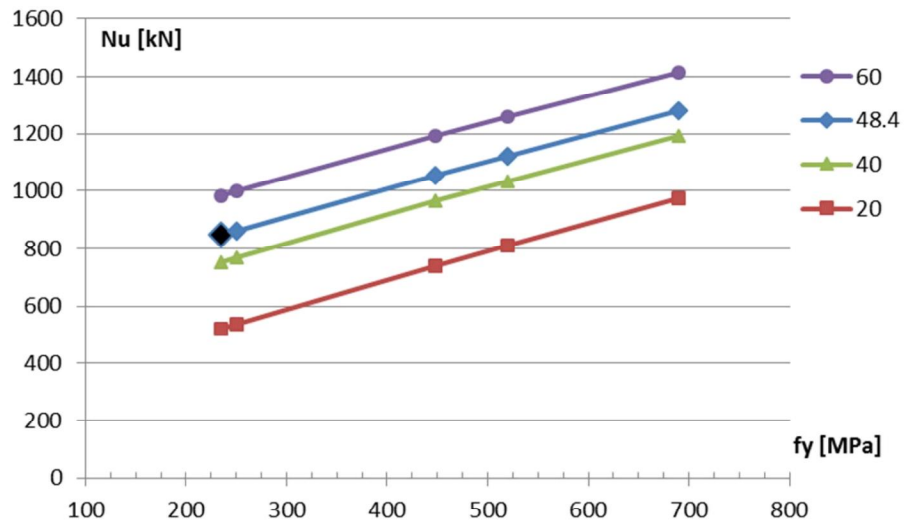
У овој анализи усвојена геометрија стуба је идентична са стубом из експерименталне анализе. Дијаграми приказани на слици 4. приказују промену граничне носивости стуба у функцији квалитета челика, од којег је израђена цев, за различите чврстоће бетона. Геометрија стуба одговара експерименталном моделу.

Слика 5. приказује дијаграме промене пластичне носивости стуба у функцији промене дебљине зида челичне цеви. Рачунске вредности одређене су за стуб испуњен бетоном који по квалитету одговара бетону из експерименталне анализе.

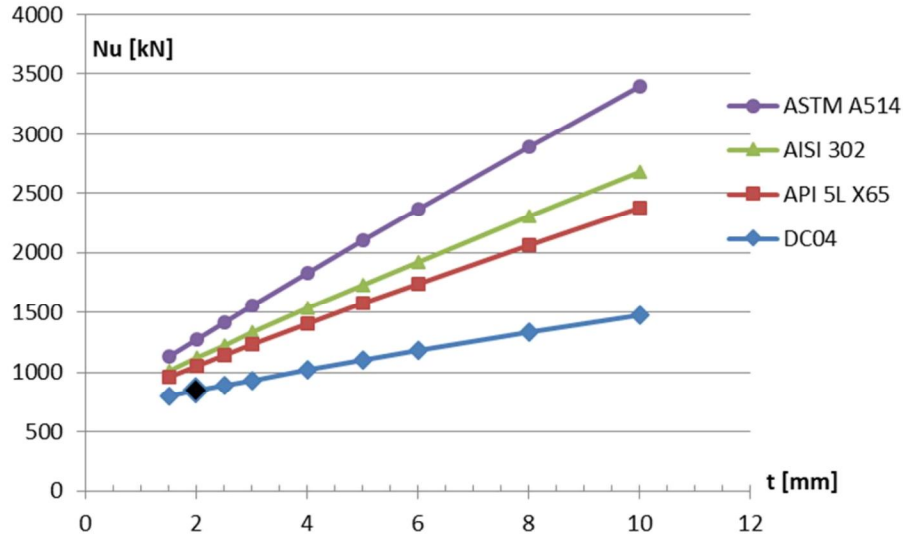
На дијаграмима са претходних слика већом, тамнијом тачком приказана је експериментално одређена вредност.



Слика 3. Носивост стуба у функцији квалитета бетона испуне



Слика 4. Носивост стуба у функцији квалитета челика



Слика 5. Носивост стуба у функцији дебљине зида цеви

## 5. ЗАКЉУЧЦИ

На основу експериментално теоријске анализе може се закључити како се гранична сила стуба, одређена применом прописа ЕС 4, доста добро се слаже са експерименталним вредностима, што указује да оправданост примене ових прописа. Параметарском анализом утврђено је да пластична носивост стуба директно и пропорционално зависи од механичких карактеристика основних материјала. Повећање дебљине зида цеви има израженији допринос повећању носивости стуба код челика високих механичких карактеристика.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бешевић М., Ландовић А., Кукарас Д., Труић Т.: *Анализа носивости спрегнутих АБ округлих стубова са крутим челичним профилима*, Зборник радова Грађевинског факултета бр.19, Суботица, **2010.** стр. 79-92.
- [2] Влајић Љ., Ландовић А., Кукарас Д.: *Експериментално-теоријска анализа понашања стубова спрегнутог пресека од челика и бетона оптерећених локалном силом пресека*, Зборник радова Грађевинског факултета бр.20, Суботица, **2011.**, стр. 87-99.
- [3] Vlajić Lj., Bešević M., Landović A., Kukaras D.: *Numerical analysis of steel-concrete composite columns under axial load*, Serbian journal Izgradnja 64 (9-10), **2010.**, pp. 513-520.
- [4] Билинц М.: *Анализа понашања стубова спрегнутог пресека од челика и бетона оптерећених локалном, централном силом притиска*, Дипломски рад, Грађевински факултет Суботица, новембар **2010.**, стр. 74.

- [5] Han Lin-Hai, Liu Wei, Yang You-Fu: *Behaviour of concrete-filled steel tubular stub columns subjected to axially local compression*, Journal of Constructional Steel Research 64, **2008.**, pp. 377–387.
- [6] Sakino K.; Nakahara H., Morino S., Nishiyama I.: *Behavior of Centrally Loaded Concrete-Filled Steel-Tube Short Columns*, Journal of Structural Engineering, Vol. 130, No. 2, February **2004.**, pp 180–188.
- [7] Yang You-Fu, Han Lin-Hai: Experiments on rectangular concrete-filled steel tubes loaded axially on a partially stressed cross-sectional area, Journal of Constructional Steel Research 65, **2009.**, pp. 1617-1630.

## **ANALYSIS OF CAPACITY COLUMN COMPOSITE SECTION WORK BASIC MATERIAL**

**Summary:** *This paper presents the results of experimental and theoretical studies of model columns composite cross section of steel and concrete. The columns are formed of concrete-filled steel tubes. Ultimate bearing capacity of the columns was analyzed through the variation of mechanical properties of the basic material by applying European regulations Eurocode 4*

**Keywords:** *Column, composite cross section, ultimate bearing capacity, parametric analysis*