

# ИНТЕРАКЦИОНИ ДИЈАГРАМИ ПОЖАРНО ОПТЕРЕЂЕНИХ СПРЕГНУТИХ СТУБОВА

Миливоје Милановић<sup>1</sup>

Мери Цветковска<sup>2</sup>

Петар Кнежевић<sup>3</sup>

УДК: 624.074.6 : 624.042

DOI:10.14415/zbornikGFS26.08

**Резиме:** У овом раду анализирана је отпорност попречног пресека спрегнутог стуба у условима пожара, са акцентом на интеракционе дијаграме. Интеракционе криве дефинишу редуцију аксијалне носивости попречног пресека  $N_{pl,Rd}$  спрегнутог стуба са порастом момента савијања,  $M_{pl,Rd}$ . Познато је да са порастом температуре долази до знатног смањења носивости материјала који чине попречни пресек стуба. Ово се директно пројектује на смањење његове аксијалне носивости и носивости на савијање. За три усвојена типа попречног пресека стуба прорачунати су интеракциони дијаграми за 5 стадијума температуре, развијених у току пожарног дејства. При анализи пожарног дејства коришћен је софтверски пакет САФИР (за анализу елемента изложених температурном дејству). Усвојене карактеристике пресека стубова и материјала у сагласности су са важећим Еврокодovima и теоријом спрегнутих стубова.

**Кључне речи:** Спрегнути стуб, пожарна отпорност, интеракциона крива

## 1. УВОД

Спрегнути стубови (челик и бетон) су незаменљиви код објеката високих спратности и у случају прихватања великих сила притиска. Одликују се великом носивошћу јер у свом пресеку имају два материјала које карактерише: велика носивост –челик и велика крутост – бетон.

Спрегнути стубови су изложени утицајима: аксијалних сила (притисак), момената савијања и смичућих сила. Ретко се дешава да је стуб изложен појединачном утицају, већ је редовно у питању њихово садејство (комбинација).

Појавом и порастом момента савијања долази до редуције аксијалне отпорности пресека. Зависност аксијалне отпорности пресека стуба од момента савијања представља се интеракционим дијаграмом (слика 2).

Многим експериментима и нумеричким анализама [3,4] утврђивана је носивост спрегнутих стубова изложених дејству неког од модела пожара. Овај рад је

<sup>1</sup> Assist. PhD, State University of Novi Pazar, Novi Pazar, Serbia, pbarhisnp@gmail.com

<sup>2</sup> Prof. PhD, Faculty of Civil Engineering, Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Macedonia, cvetkovska@gf.ukim.edu.mk

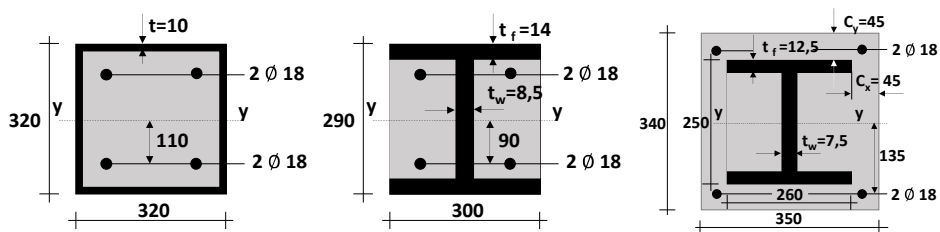
<sup>3</sup> Assist. PhD, State University of Novi Pazar, Novi Pazar, Serbia, petar.knezevic.dunp@gmail.com

покушај да се да одговор на питање шта се дешава са интеракционим дијаграмом пресека спрегнутог стуба за различите стадијуме пораста температуре.

Софтвер САФИР [5], верификован на резултатима великог броја експеримената, је наменски рачунарски програм за анализу конструктивних елемената и конструкција у условима повишених температура. Програм је развијен на Универзитету у Лијежу (Белгија) и базира на методи коначних елемената (МКЕ). Први корак анализе је прорачун расподеле температуре унутар пресека елемената – “термичка анализа“. Други корак је “статичка анализа“ - одређивање одговора елемената или конструкције услед статичког и топлотног оптерећења. Да би се сагледао утицај високих температура на отпорност пресека спрегнутих стубова, извршена је анализа усвојених пресека стубова, сукцесивно за изложеност температурама од 200°C, 400°C, 600°C, 800°C и 1000°C. Резултати су дати преко интеракционих дијаграма. Модел температурног дејства је дефинисан тако да приближно створи амбијент константне температуре у окружењу пресека стуба.

## 2. ИНТЕРАКЦИОНИ ДИЈАГРАМИ ЗА ЈЕДНОАКСИЈАЛНО САВИЈАЊЕ

Прорачун отпорности при повишеним температурама (преко интеракционих дијаграма), извршен је за три типа пресека спрегнутих стубова са Сlike 1.



Слика 1. Пресеци спрегнутих стубова: а) шупљи профил 320x320x10 ; б) делимично убетониран челични профил HE 300 A ; в) убетонирани профил HE 260 A

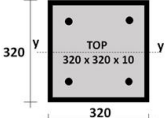
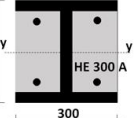
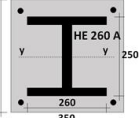
Разматрана отпорност попречних пресека стубова је ограничена на једноаксијално савијање пресека око јаче осе. Усвојене претпоставке које ограничавају прорачун отпорности пресека на упрошћену методу прорачуна су дате у Табели 1.

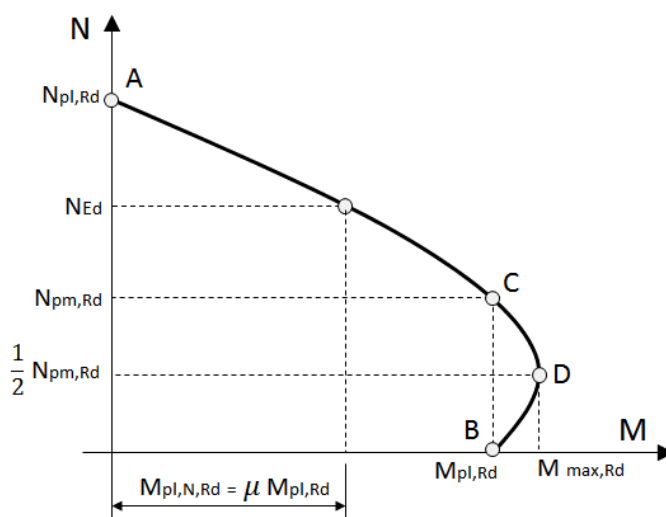
Отпорност попречног пресека спрегнутог стуба, приказана помоћу интеракционог дијаграма, карактерише неколико тачака са односом аксијалне силе и момента савијања пресека, Слика 2. Тачке интеракционе криве А, В, С и D су одређене под претпоставком правоугаоне расподеле нормалних напона. Отпорност пресека стуба је дефинисана у границама  $N_{pl,Rd}$  и  $M_{pl,Rd}$  [1,2] (Слика 2). За било које вредности спољашњих утицаја  $N_{Sd}$  и  $M_{Sd}$ , стуб има одговарајућу отпорност уколико се ове вредности налазе унутар интеракционог дијаграма.

Тачка А на интеракционој дијаграму представља отпорност пресека  $N_{pl,Rd}$  у случају када је отпорност на савијање  $M_{pl,Rd} = 0$ , а тачка В отпорност на једноосно савијање (око јаче осе) где је  $N_{pl,Rd} = 0$ . Тачка С је отпорност на једноосно

савијање када постоји аксијална сила притиска  $N_{pm,Rd}$  (није мала). На крају, тачка D представља отпорност на савијање  $M_{max,Rd}$  када аксијална сила  $0,5N_{pm,Rd}$  онемогућава појаву пукотина у бетону и повећава отпорност на савијање на максимум. Дејство смичуће силе (коју прихвата челични профил) није разматрано у овом раду.

Табела 1 : Карактеристике пресека спрегнутих стубова

			
$\delta$	0,64	0,71	0,58
$h/t$	32	-	-
$b/tf$	-	21,4	20,8
$Cz/Cy$	-	-	45/45
$\rho$ (%)	1,1	1,4	0,9
$H/B$	1	0,97	0,97



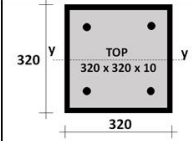
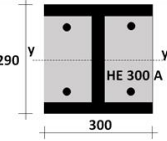
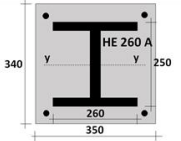
Слика 2 : Интеракциона крива – општи приказ карактеристичних вредности .

Подаци прорачуна за собну температуру дати су у Табели 2. Интеракционе криве за собну температуру приказане су на упоредним дијаграмима са интеракционим кривама за поједине стадијуме температуре – Слика 3, 4 и 5 .

Прорачун отпорности пресека стубова извршен је на основу правила дефинисаних у нормама, правилницима, прописима и литератури.

За спрегнуте стубове изложене повишеним температурама, усвојене термичке карактеристике материјала у саставу пресека стуба дате су у Табели 3.

Табела 2. : Карактеристичне вредности отпорности усвојених пресека стубова

				
$N_{pl,Rd}$	kN	5921,37	5618,07	5294,09
$M_{pl,Rd}$	kNm	597,62	518,53	394,29
$N_{pm,Rd}$	kN	1779,65	1270,45	1858,11
$M_{max,Rd}$	kNm	617,22	536,89	432,93

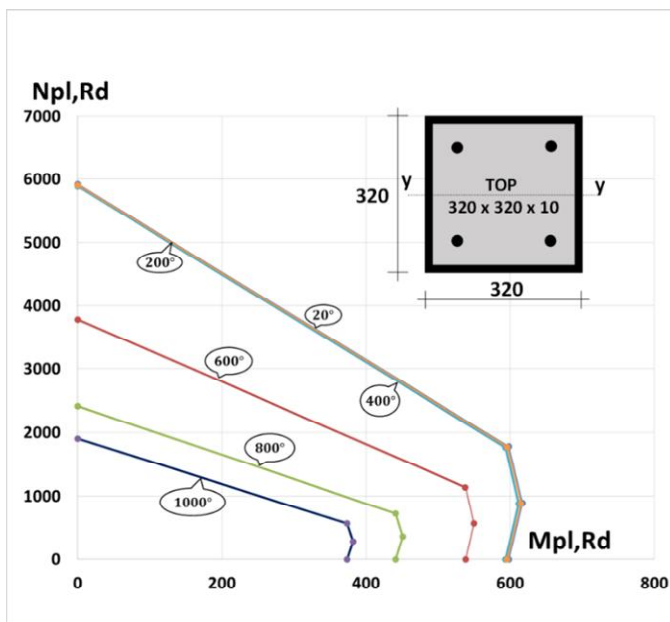
Табела 3.: Термичке карактеристике материјала у попречном пресеку стубова

ТЕРМИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ	Jed. mera	ČELIK S355	BETON C30/37	ARMATURA RA 400/500
Koeficijent konvekcije za zagrejanu površinu	$W / m^2 K$	25	25	25
Koeficijent konvekcije za hladnu površinu	$W / m^2 K$	9	9	9
Parametar termičke kondukcije	-	-	0,5	-
Relativna emisija	-	0,9	0,8	0,9
Vlažnost	$kg / m^3$	-	20	-

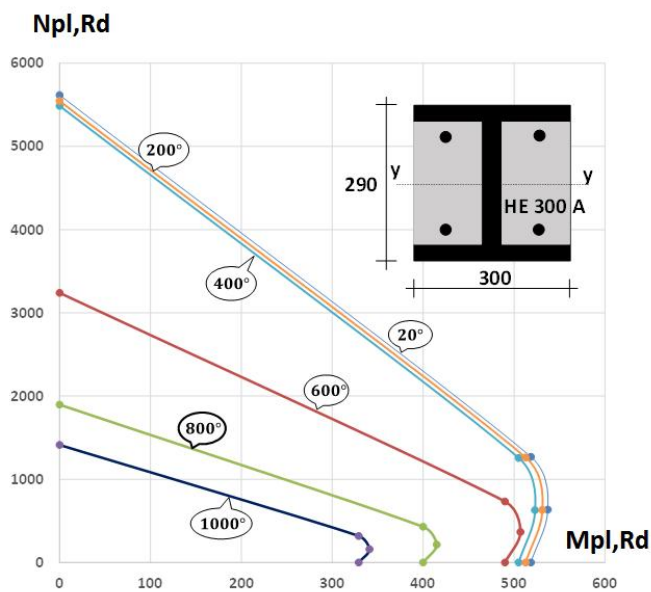
За поједине стадијуме температуре је као улазни податак формирана посебна крива развоја температуре у времену, која је омогућила да се анализира отпорност пресека за конкретну температуру.

На Слици 3, која представља интеракционе криве шупљег челичног профила испуњеног бетоном, евидентно је да са повећањем температуре отпорност на аксијалну силу притиска брже опада од отпорности на савијање. Разлог томе је што се челични профил који знатно доприноси за носивост пресека на аксијалну силу притиска налази у периферним слојевима самог пресека, брзо се загрева и брзо губи своју носивост. Аксијалну силу преузима само средишњи део бетонског пресека који је хладнији, али бетон у поређењу са челиком има знатно мању носивост. Носивост пресека на момент савијања спорије опада јер силе затезања преузима допунска арматура која се налази у хладнијим зонама пресека, па се граница развлачења челика мање редуцира.

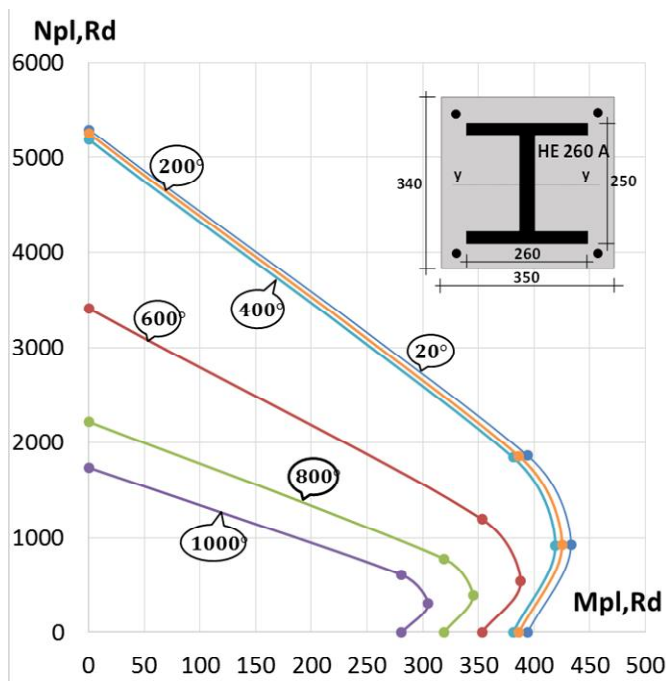
Закључак важи и за друга два пресека спрегнутих стубова Слика 4 и Слика 5. Код пресека са потпуно убетонираним челичним профилем најмањи је пад отпорности пресека на савијање јер бетон штити челични дио пресека од брзог загревања. Пад отпорности пресека стубова на аксијалну силу притиска се креће од 75 % (делимично убетонирани челични профил HE 300 A) па до приближно 67 % за остала два профила. Пад отпорности пресека на савијање је најмањи код потпуно убетонираног челичног профила HE 260 A – 29 % , а код остала два пресека је око 37 %. Разлог томе је што се челични профил налази у унутрашности пресека где су температуре знатно ниже, па је редуција његових јакосних карактеристика мања.



Слика 3: Интеракционе криве за различите температуре шупљег челичног профила испуњеног бетоном



Слика 4: Интеракционе криве за различите температуре делимично убетонираног челичног профила HE 300 A .



Слика 5: Интеракционе криве за различите температуре потпуно убетонираног челичног профила HE 260 A ,

### 3. ЗАКЉУЧАК

Повишене температуре значајно утичу на пад отпорности стуба на аксијалне силе притиска а знатно мање на отпорност на савијање. Ово је резултат томе што бетон штити арматуру (у прва два случаја) односно штити убетонираног профила (у трећем случају) од загревања, а тиме одлаже редукцију носивости челика и пресека у целини.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] EN 1992-1-2 : Eurocode 2 : Design of concrete structures - Part 1-2: General rules. Structural fire design ,
- [2] EN 1992-1-2: Eurocode 4 :Design of coand concrete structures – Part 1-2 : General rules. Structural fire design ( 2005 ),
- [3] Цветковска М., Милановић М., Јованоска М., Цићлиганец С., *Parametric analysis of fire resistance of centrally loaded composite steel-concrete columns*, 15th International Symposium of Macedonian Association of Structural Engineers, Охрид, Македонија, 2013

- [4] Gillie M., The behaviour of framed composite structures in fire, University of Edinburgh, 2000.
- [5] SAFIR-Computer program, University of Liege, Belgium,

## INTERACTION DIAGRAMS FOR COMPOSITE COLUMNS EXPOSED TO FIRE

**Summary:** *The bearing capacity of the cross section of composite column in fire conditions through changes in the interaction diagram "bending moment-axial force" were analyzed in this paper. The M-N interaction diagram presents the relationship between the intensities of the bending moment and the axial force as actions on the column cross section, or the relationship between the design value of the plastic resistance to axial compression of the total cross-section  $N_{pl,Rd}$  and the design value of the bending moment resistance  $M_{pl,Rd}$ . It is well known that the temperature increase causes decrease of the load-bearing characteristics of the constitutive materials. This effect directly reflects on the reduction of the axial force and the bending moment that could be accepted by the column cross section. Interaction diagrams for three different types of column cross sections for five different maximal temperatures developed during the fire action were defined. For that purpose the software package SAFIR was used. The columns, materials and load characteristics, as well as all other terms and conditions, were taken in accordance with the relevant Eurocodes and the theory of composite columns.*

**Keywords:** *Composite columns, fire resistance, interaction diagrams*