

ПОЖАРНА ОТПОРНОСТ ЦЕНТРИЧНО ОПТЕРЕЂЕНИХ СПРЕГНУТИХ СТУБОВА У ФУНКЦИЈИ ПРОМЕНЕ ДИМЕНЗИЈА ПРЕСЕКА И ПОЖАРНОГ СЦЕНАРИЈА

Миливоје Милановић¹

Мери Цветковска²

Маријана Ефтоска³

Ана Тромбева Гаврилоска⁴

УДК: 624.074.6:699.81

DOI: 10.14415/konferencijaGFS2014.018

Резиме: У раду је нумерички анализирана пожарна отпорност два типа пресека центрично оптерећених спрегнутих стубова, у функцији промене димензија пресека, и дејства три врсте пожара по целом обиму стуба. Усвојени попречни пресеци стубова су: делимично убетонирани челични профили и шупљи челични профили испуњени бетоном, са варијацијама димензија у оквиру наведених типова пресека. Стубови су излагани стандардном ISO 834, хидрокарбонском и параметарском пожару. Усвојене карактеристике стубова, материјала и оптерећења у сагласности су са важећим Еврокодима. При анализи је коришћен софтвер SAFIR (Универзитет у Лијежу, Белгија), базиран на методи коначних елемената (МКЕ).

Кључне ријечи: Спрегнути стубови, пожарна отпорност, температура, пренос топлоте

1. UVOD

Kao vertikalni (eventualno zakošeni) linijski konstruktivni elementi, stubovi imaju vrlo bitnu ulogu u obezbeđivanju nosivosti i stabilnosti objekta u celini. Njihovo pravilno projektovanje, obzirom da su izloženi različitim dejstvima, omogućuje sigurnost i bezbednost u toku eksploatacije objekta. Kada se dejstvu vertikalnih i horizontalnih uticaja u preseku spregnutih stubova, doda i požarno opterećenje, problem proračuna i dimenzionisanja istih postaje složen. Osnovna potreba je da se obezbediti određeno vreme požarne otpornosti stubova, kako bi se omogućilo evakuisanje ljudi i bezbedno

¹ Assist. PhD, State University of Novi Pazar, Novi Pazar, Serbia, pbarhisnp@gmail.com

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

³ Assist. M-r Faculty of Civil Engineering, Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Macedonia, marijuana@gf.ukim.edu.mk

⁴ Assoc.prof. PhD, Faculty of Architecture, Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Macedonia, agavriloska@arh.ukim.edu.mk

gašenje požara. Strožiji kriterijum, u savremenom protivpožarnom projektovanju, je zahtev da se oštećenja konstrukcije od požara ograniče na oštećenja lokalnog karaktera. To znači da spregnute stubove treba projektovati tako da se, u toku trajanja požara, jave oštećenja koja će se kasnije lako sanirati, a da se ne dovede u pitanje stabilnost stubova i konstrukcije u celini. Zbog same prirode spregnutih stubova (spoj dva ili više materijala sa različitim karakteristikama), pri dejstvu požara potrebno je izvršiti analizu istih sa više aspekata, kao što su : upotreba različitih materijala, raspored pojedinih elemenata u poprečnom preseku stuba, krajnji uslovi oslanjanja stubova, intenzitet i položaja opterećenja u odnosu na ose stuba, procenta armiranja dodatnom armaturom, promene dimenzija poprečnog preseka stuba za isti tip preseka, otpornost preseka stuba pri dejstvu požara za dve glavne ose stuba i dr. [6]

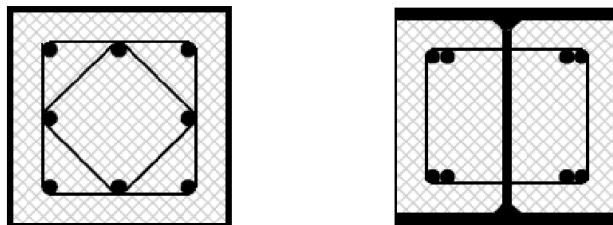
Kako je prednost spregnutih stubova da zadržavaju istu veličinu poprečnog preseka na većem broju etaža, interesantno je definisati kako utiče promena dimenzija preseka stuba na njegovu otpornost na požar. Ako se reši problem vitkosti, treba odgovoriti na pitanje da li, sa aspekta požarne otpornosti, treba usvajati manje preseke sa jačim čeličnim elementima i više armature ili veće dimenzije preseka sa tanjim čeličnim profilima i manje armature.

Nosivost preseka spregnutog stuba, u ambijentalnim uslovima, generalno zavisi od dimenzija i nosivih karakteristika materijala elemenata koji čine taj presek [5][6]. Čelični profil, beton i armatura gube nosivost usled povećanja temperature [3][4]. Posebno su čelični delovi preseka stuba osetljivi na porast temperature. Povećanje dimenzija preseka omogućava sporiji prenos toplote sa spoljašnje površine elementa ka dubini preseka. Duži put, kojim se toplota mora preneti do unutrašnjosti preseka direktno, utiče na sporije zagrevanje pojedinih elemenata preseka [4]. Sa sporijim zagrevanjem elemenata u preseku stuba, odlaže se lom stuba usled dejstva povišene temperature.

Analiza ponašanja spregnutih stubova od čelika i betona sa varijacijom dimenzija poprečnog preseka, u okviru dva različita tipa spregnutog preseka, izvršena je pomoću numeričkog modula SAFIR. SAFIR je namenski računski program za analizu konstrukcija i konstruktivnih elemenata u uslovima ambijentne temperature i povišenih temperatura za vreme dejstva požara. Program je baziran na metodi konačnih elemenata (MKE). Razvijen je na Univerzitetu u Liježu, Belgija. [7] Odnos napon-deformacija je uglavnom linearno-elasto-plastični za čelik i nelinearni za beton. Prvi korak analize je proračun raspodele temperature unutar preseka konstruktivnih elemenata – “termička analiza”. Drugi korak je “statička analiza” čija svrha je određivanje odgovora konstrukcije usled statičkog i toplotnog opterećenja. Pri analizi su korišćena tri požarna scenarija: ISO 834, hidrokarbonski I parametarski požar.

2. POŽARNA OTPORNOST SPREGNUTIH STUBOVA ISTOG TIPA I RAZLIČITIH DIMENZIJA POPREČNOG PRESEKA

Elementi koji formiraju poprečni presek stuba i njihov raspored u preseku usvojeni su prema važećim pravilima odgovarajućih Eurocodova. Na Slici 1. prikazani su poprečni preseki razmatranih stubova koji se uglavnom najčešće sreću u praksi.[2][5][4].

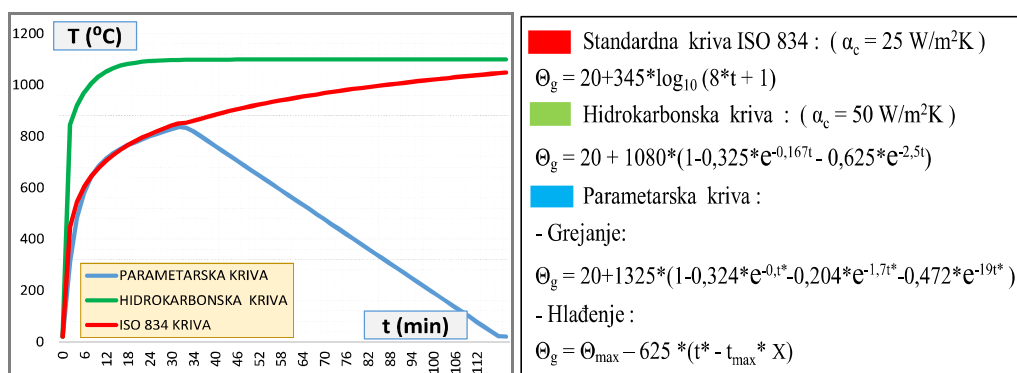


Slika 1. Tipovi razmatranih preseka spregnutih stubova

Pri analizi vremena požarne otpornosti u zavisnosti od tipa preseka stuba usvojeni su sledeći parametri, karakteristike i uslovi :

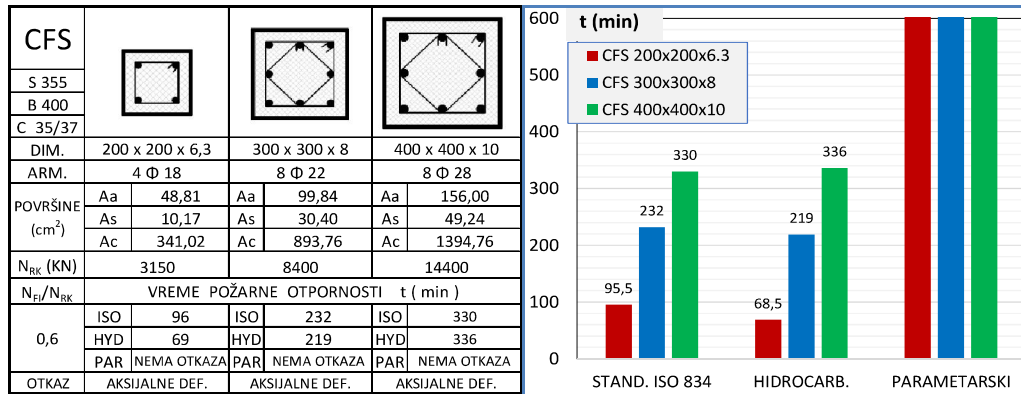
- Stub je sa svih strana izložen požarnom opterećenju i opterećen centrično,
- Analizirani su stubovi sa visinom $H = 3$ m, (najčešća spratna visina),
- Oslanjanje stubova na krajevima je Z – Z (obostrana zglobna veza),
- Požari : (1) nominalni-ISO 834 i hidrokarbonski; (2) prirodni: parametarski,
- Usvojeni čelik profila je S 355, armatura kvaliteta B 400/500, beton - C 30/37,[4]
- U gornjem zglobnom osloncu je omogućena dilatacija u pravcu podužne ose .

Parametarski požarni scenario je usvojen za stambeni prostor , dimenzija prostorije 4 x 5 m, dva otvora na prostoriji (vrata (1,0 x 2,20) i prozor (1,20 x 1,40), $q_{tk} = 948$ MJ/m², $O = 0,043$ m^{1/2}, $b = 1301$ J/(m²s^{0,5}K). Parametarska kriva je prikazana sa delom krive koja predstavlja zagrevanje, i drugim delom koja predstavlja hlađenje. Sve tri požarne krive, za usvojene požarne scenarije, prikazane su na slici 2 .



Slika 2. Usvojene požarne krive i njihova definicija

Na Slici 3, data je tabela sa podacima i dijagrami vremena požarne otpornosti za različite dimenzije šupljih čeličnih profila ispunjenih betonom CFS (concrete filled sections).

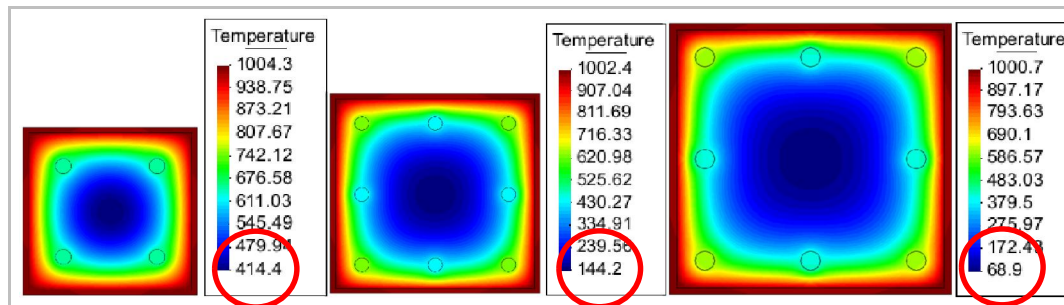


Slika 3. Tabela sa rezultatima proračuna i dijagram vremena požarne otpornosti za različite dimenzije CFS stubova (šuplji čelični profili ispunjeni betonom)

U uslovima delovanja požara projektna opterećenja su manja od projektnih opterećenja koja se usvajaju pod normalnim temperaturama. Činjenica je da se faktori opterećenja i materijala u uslovima normalnih temperature, razlikuju od faktora pri požarnim uslovima.

Vrednosti aksijalnog centričnog opterećenja (pritisak) analiziranih spregnutih stubova (čelik-beton) pri dejstvu požara su usvojena je u odnosu na vrednost karakteristične plastične otpornosti preseka: $N_{u,fi} = 0,60 \cdot N_{pl,Rk}$. Karakteristična plastična nosivost spregnutog preseka $N_{pl,Rk}$ određena je prema EC3 i EC4.

Kod većih dimenzija stubova betonski deo preseka ima ulogu „hladjaka” čeličnog profila koji je direktno izložen požaru [1][3]. Ovu tvrdnju najbolje potvrđuje Slika br.4 :



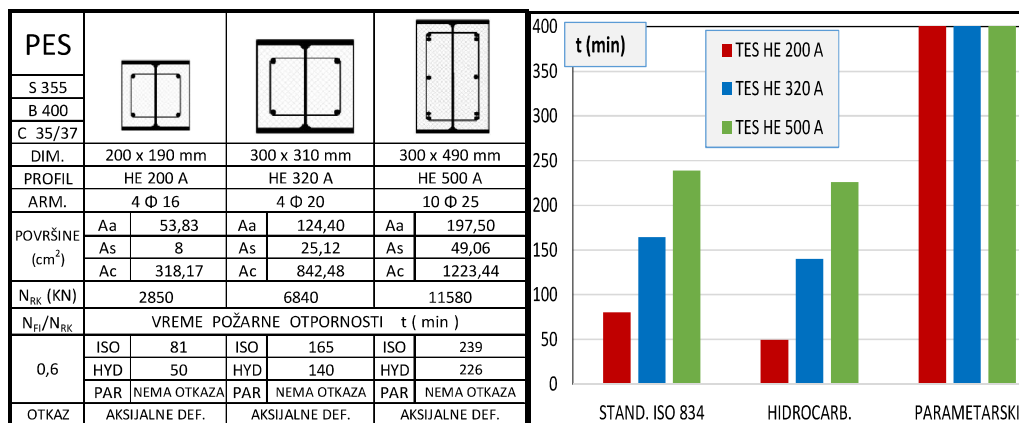
Slika 3. Prikaz promene temperature, kroz presek tri PES stuba različitih dimenzija, za vremenski trenutak $t = 82$ min (otkaz stuba sa najmanjim dimenzijama preseka)

Na slici su prikazane i obeležene temperature u preseku tri stuba CFS različitih dimenzija. Reperno vreme je vreme loma stuba CFS 200 x 200 x6,3 mm ($t = 96$ min). U

istom trenutku temperature središta betonskog preseka su sukcesivno 337.8°C - 93.8°C - 46.1°C od manjih dimenzija prema većim. Temperature spoljašnjih površina stubova su skoro identične. Izloženi deo stuba (čelični profil) pri porastu temperature vrlo brzo gubi svoju nosivost, nakon čega nosivost stuba zavisi samo od nosivosti betonskog preseka. Povećanjem dimenzija preseka stuba usporava se prenos topline po dubini preseka, a time i gubitak nosivosti stuba u celini.

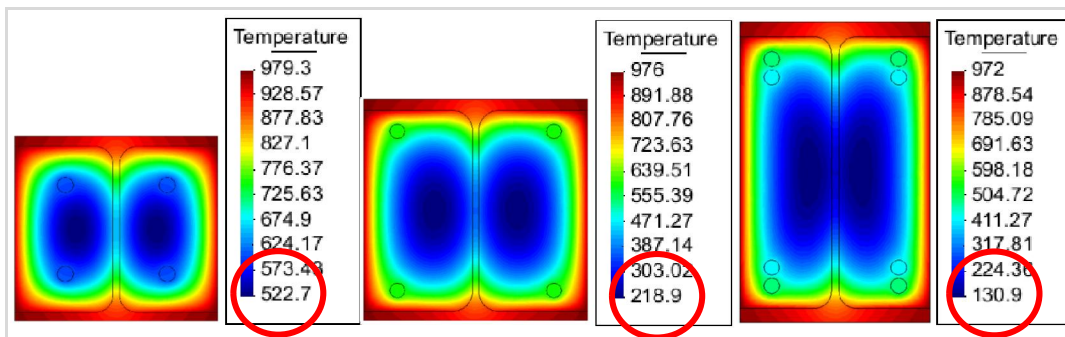
Kod delimično ubetoniranih čeličnih profila (PES - partially enhanced sections) rebro profila je zaštićeno od direktnog zagrevanja. Vreme požarne otpornosti ovih stubova u zavisnosti od dimenzija elemenata u preseku stuba je dato na Slici 4. I ovde sa rastom dimenzija stuba raste požarna otpornost. Razlika u vremenu požarne otpornosti za prva dva preseka direktno zavisi od dimenzija stuba. Kod stuba sa delimično ubetoniranim čeličnim HE 500A profilom, veća požarna otpornost u odnosu na stub sa profilom HE 320A je rezultat veće visine rebra profila. Ostale dimenzije i izloženost ostalih delova profila temperaturi su isti.

Vreme loma stuba sa najmanjim presekom je $t = 81$ min. Temperaturno polje kroz sva tri preseka ovog tipa stuba u trenutku loma je prikazano na slici 5. Temperature u poprečnom preseku stubova sa većim dimenzijama su malih razlika jer je širina preseka ista i omogućava podjednako brzo poprečno širenje temperature prema rebro profila. Veća visina preseka stuba HE 500 A (490 mm) daje "hladnije" rebro, pa time i veće vreme otpornosti na požar. Razlika u vremenu požarne otpornosti za prva dva preseka je oko -103 %, a kod poslednja dva preseka - 30 %. Temperature spoljašnjih površina stubova su skoro identične.



Slika 4. Tabela sa rezultatima proračuna i dijagram vremena požarne otpornosti za različite dimenzije PES stubova (delimično ubetonirani čelični profili)

U slučaju hidrokarbonskog požara, kao što se vidi iz tabelarnih rezultata sa predhodnih slika, ponašanje temperaturnog polja je slično kao kod standardnog ISO 834 požara. Razlika u vremenima požarne otpornosti kod preseka manjih dimenzija (manji i srednji), je rezultat brzog rasta temperature kod hidrokarbonskog požara.



Slika 5. Prikaz promene temperature, kroz preseke tri PES stuba različitih dimenzija, za vremenski trenutak $t = 81$ min (otkaz stuba sa najmanjim dimenzijama preseka)

Pri dejstvu parametarskog požara, sa znatno manjim temperaturama od predhodna dva scenarija, ne dolazi do otkaza nosivosti nosača bez obzira na tip i veličinu preseka stuba.

3. ZAKLJUČAK

Požarna otpornost spregnutih stubova direktno zavisi od dimenzija poprečnog preseka stuba i intenziteta požarnog dejstva. Sa povećanjem dimenzija preseka, za isti tip stuba, temperaturno polje sporije zahvata središte stuba čime se duže zadržavaju nosive karakteristike materijala, a na taj način i produžava otpornost na požar. Takođe, požarna otpornost zavisi i od vida požarnog opterećenja. Za prirodni požar (srednje stambeno požarno opterećenje) razmatrani stubovi (svih preseka), su zadržali nosivost i stabilnost. Za druga dva požarna scenarija trenutak otkaza stuba je zavisio od vida požarnog opterećenja i dimenzija preseka stuba.

LITERATURA

- [1] Cvetkovska, M., *Nonlinear Stress Strain Behaviour of RC Elements and Plane Frame Structures Exposed to Fire*, Doctoral dissertation, "Ss Cyril and Methodius" University, Macedonia, 2002.
- [2] CHU Thi Binh, *Hollow steel section columns filled with self-compacting concrete under ordinary and fire conditions*, Doctoral dissertation, University of Liege, 2008
- [3] Cvetkovska M., Milanović M., Jovanoska M., Cifliganec C., *Parametric analysis of fire resistance of centrally loaded composite steel-concrete columns*, 15th International Symposium of Macedonian Association of Structural Engineers, Ohrid, Macedonia, 2013.
- [4] EN 1992-1-2 - *Design of Concrete Structures, General rules-Structural fire design*, 2004.
- [5] EN 1994-1-2 - *Design of Composite Steel and Concrete Structures, General rules-Structural fire design*, July 2005.

- [6] Johnson, R.P., *Composite structures of steel and concrete*, Vol. 1: *Beams, slabs, columns, and frames for buildings*, second ed., Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1994.
- [7] SAFIR-Computer program, University of Liege, Belgium.
- [8] FIRE RESISTANCE OF CENTRICALLY LOADED COMPOSITE COLUMNS AS FUNCTION OF THE CROSS SECTION DIMENSIONS

FIRE RESISTANCE OF CENTRICALLY LOADED COMPOSITE COLUMNS AS FUNCTION OF THE SHAPE AND THE CROSS SECTION DIMENSIONS

***Summary:** Fire resistance analysis of centrally loaded composite columns exposed to different fire models from all sides is presented in this paper. Two different types of composite columns, as: partially encased steel sections and hollow steel sections filled with concrete were analyzed and the fire resistance was defined by using the software SAFIR (University of Liege, Belgium). For the all two types of composite columns the cross section dimensions were varied and the influence on the fire resistance of the columns was defined. Design values for the geometrical data, material properties and actions are taken in accordance with the recommendations given in actual Eurocodes.*

***Keywords:** Composite column, fire resistance, temperature, heat transfer*