

**ANALIZA ČELIČNE KONSTRUKCIJE NA DEJSTVO POŽARA PREMA EN 1993-1-2****FIRE DESIGN OF STEEL STRUCTURES ACCORDING TO EN 1993-1-2**Tanja Ivančević, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – GRAĐEVINARSTVO**

**Kratak sadržaj** – U ovom radu prikazana je požarna analiza nosača čelične konstrukcije analitičkim modelima požarnog dejstva u obliku standardne krive požara u skladu sa odredbama standarda Evrokod. Takođe, primjenom numeričkih metoda i programa PyroSim u kojem je predstavljen realan razvoj požara, izvršena je parametarska analiza nosive čelične konstrukcije na dejstvo požara.

**Ključne reči:** Požarna analiza, standardna kriva, PyroSim

**Abstract** – This document presents the fire analysis of steel structure girders by analytical models of fire action in the form of a standard fire curve in accordance with the provisions of the Eurocode standard. Also, using numerical methods and the PyroSim program in which the real development of fire is presented, a parametric analysis of the load-bearing steel structure on the effect of fire was performed.

**Keywords:** Fire Design, Standard time-temperature curves, PyroSim

**1. UVOD**

Požarom se smatra svako nekontrolisano gorenje koje ugrožava sigurnost ljudi i uzrokuje uništavanje materijalnih dobara. Prema Evropskim normama, analiza požarne otpornosti se sprovodi primjenom ili jednostavnije elementarne metode ili napredne metode. Jednostavnom reprezentacijom požarnog dejstva u obliku standardne krive požara i korišćenjem tabličnih podataka za određivanje požarne otpornosti konstrukcije ili složenim metodama koje su bazirane na korišćenju modela razvoja požara i modela provođenja toplote kako bi se dobile realne temperature konstrukcije.

Prema EC, požar se smatra incidentnim dejstvom, pošto se razlikuje od situacije pri ambijentalnoj temperaturi, pa se pri proračunu koriste incidentne kombinacije dejstva za požarno granično stanje. Proračunom se treba dokazati da konstrukcija ima zadovoljavajuću otpornost na požar. Odnosno, konstrukcija treba da bude projektovana i izvedena tako da u slučaju izbijanja požara održi kapacitet nosivosti određeni vremenski period, ograniči širenje požara i dima u konstrukciji i na okolne konstrukcije, te omogući pravovremenu evakuaciju.

Razmatrana konstrukcija u ovom radu jeste čelična hala čija je namjena skladištenje proizvedene stolarije.

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Milan Spremić, van. prof.

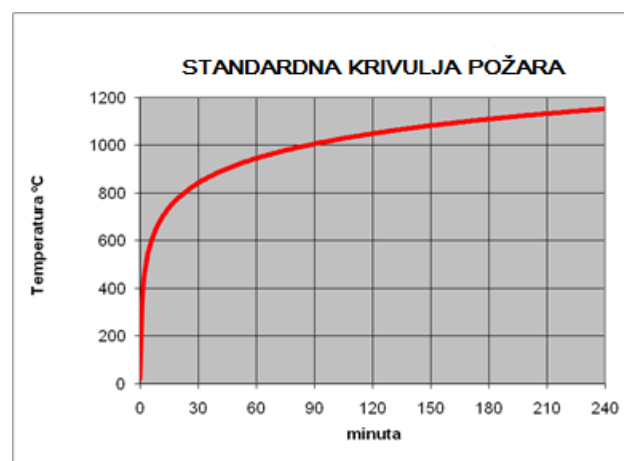
Da bi se pokazala razlika dobijenih temperatura zavisnosti od vrste materijala koji je izložen požaru razmatrana je stolarija od dva materijala: PVC i aluminium. PVC kao zapaljivi i aluminijum kao nezapaljivi materijal. Proračun je sproveden korišćenjem standardne krive požara, ali i modeliranjem stvarnog požara pomoću programa PyroSim.

**2. STANDARDNA KRIVA POŽARA**

Na osnovu detaljnih analiza specifičnosti požara i otpornosti konstrukcije na požar došlo se do zaključka da je većinu požara moguće modelirati preko krive zavisnosti temperatura – vrijeme. Tako je nastala standardna kriva temperatura – vrijeme koja je definisana standardom ISO 834-1 iz 1996. godine. Ova kriva se definiše kao:

$$\theta_g = 345 \log_{10}(8t + 1) + 20 \quad (1)$$

Na slici 1. data je kriva standardnog požara temperatura – vrijeme prema ISO 834-1 iz 1999. godine.

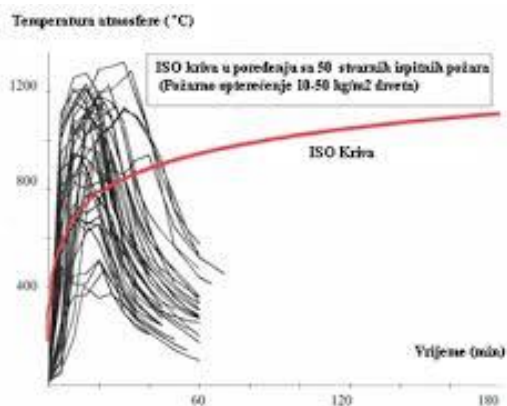


Slika 1. Standardna kriva požara ISO-834 [1]

EN 1991-1-2:2015 usvaja ovu krivu požara kao nominalnu.

Razmatrajući oblik ove krive uočava se da temperatura gasa u požarnom sektoru ima samo uzlaznu granu požara, što je u suprotnosti sa stvarnim razvojem požara gdje postoji i silazna grana požara.

Na slici 2 daje se grafik poređenja ISO krive i 50 ispitivanih stvarnih požara.



Slika 2. Poređenje ISO požarne krive s 50 ispitivanih stvarnih požara [1]

### 3. PRORAČUN I DIMENZIONISANJE

Mehanička analiza konstrukcije ili njenog elementa se sprovodi za trajanje požara isto koje se koristi i kod temperature analize. Sprovodi se prema EN 1991-1-2 i EN 1993-1-2, u kome se požarni otpor treba odrediti u jednom od sledeća tri domena (vremenski domen, domen čvrstoće i temperaturni domen) :

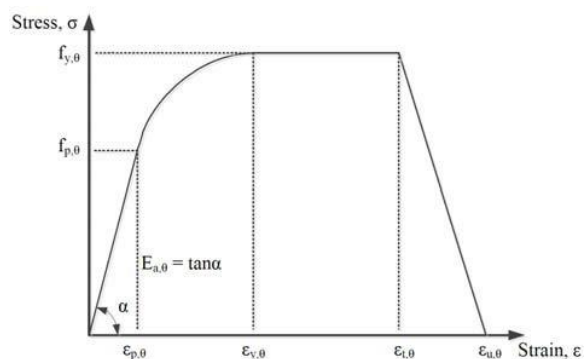
$$t_{fi,d} \geq t_{fi,requ} \quad (3)$$

$$R_{fi,d,t} = E_{fi,d,t} \quad (4)$$

$$\theta_d = \theta_{cr,d} \quad (5)$$

Povećanje temperature čelika uzrokuje i degradaciju mehaničkih karakteristika materijala. To se ogleda na njihove radne dijagrame.

Zbog toga se u EN 1993-1-2 daju izrazi za određivanje ovih dijagrama. Prikazan dijagram se nalazi na slici 11. Ova degradacija mehaničkih karakteristika se uzima u obliku faktora smanjena  $k_{y,\theta}$ ,  $k_{p,\theta}$  i  $k_{E,\theta}$ .



Slika 11. Dijagram napon – deformacija čelika pri povišenim temperaturama [4]

Tačan proračun za određivanje projektovane vrijednosti uticaja u trenutku t u slučaju dejstva požara  $E_{fi,d,t}$  dat je izrazom:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + (\psi_{1,1} \text{ ili } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6)$$

Uprošćen proračun projektovane vrijednosti uticaja u trenutku t u slučaju dejstva požara  $E_{fi,d,t}$  dat je izrazom:

$$E_{fi,d,t} = \eta_{fi} E_d \quad (7)$$

gdje je

$$\eta_{fi} = 0,65 - 0,70 \quad (8)$$

ili

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,i}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,i}} \quad (9)$$

EN 1993-1-1 [2] daje izraze za određivanje proračunskih vrijednosti uticaja u trenutku t:

$$N_{fi,\theta,Rd} = \frac{A k_{y,\theta} f_y}{\gamma_{m,fi}} \quad (10)$$

$$N_{b,fi,t,Rd} = \frac{\chi_{fi} A k_{y,\theta} f_y}{\gamma_{m,fi}} \quad (11)$$

$$V_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta,web} V_{Rd} \left[ \frac{\gamma_{MO}}{\gamma_{m,fi}} \right] \quad (12)$$

$$M_{fi,\theta,Rd} = k_{y,\theta} M_{Rd} \left[ \frac{\gamma_{MO}}{\gamma_{m,fi}} \right] \quad (13)$$

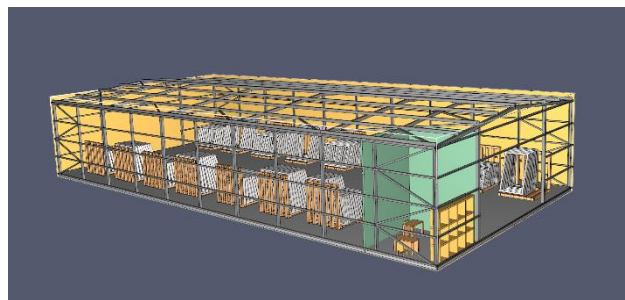
### 4. NUMERIČKA ANALIZA

Da bi se dobile realne temperature usled požara, izabran je složeniji metod analize požarne otpornosti bazira na podacima stvarnog požara. Ova analiza se sprovodi pomoću programa PyroSim.

Neki od parametara koji figurišu u ovoj analizi su:

- Izvor požara (toplotne karakteristike, položaj, veličina...)
- Veličina požarnog sektora
- Stopa rasta požara (HRR)
- Karakteristike primjenjenih materijala i sl.

Na slikama 3 i 4 prikazan je model konstrukcije napravljen u programu PyroSim.

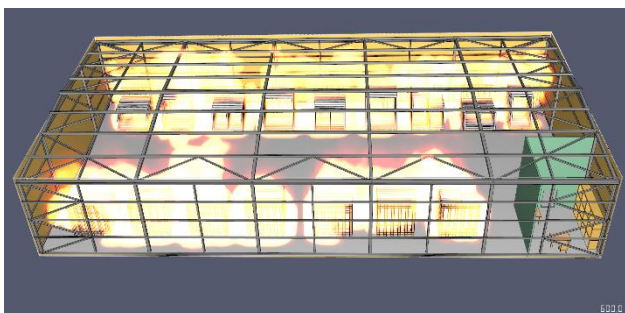


Slika 3. Model konstrukcije

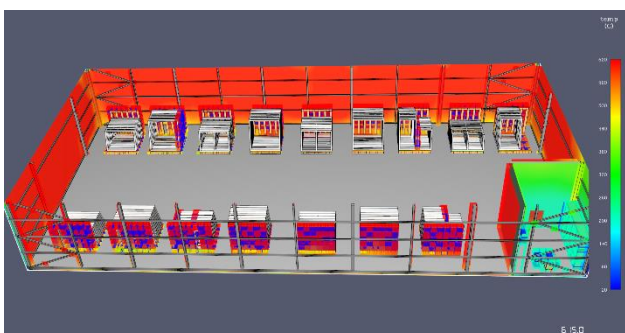
#### 4.1. Rezultat proračuna u PyroSim-u

Kao rezultat proračuna u programu PyroSim dobija se veliki broj podataka, a najznačajniji za ovu analizu jesu temperature gasa u razmatranom sektoru, temperature

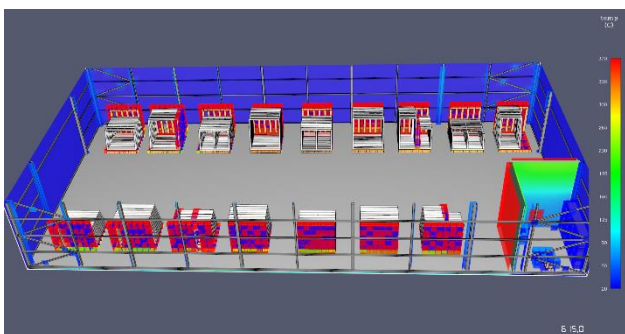
površina elemenata konstrukcije kao i potrošnja kapaciteta snage požara. Navedene temperature su veoma bitne za dalju analizu, pošto figurišu u izrazu za određivanje stvarne temperature, koji je prikazan u daljem tekstu. Na slikama 5,6 i 7 prikazan je primjer dobijenih rezultata proračuna u PyroSim-u.



Slika 4. Plamen



Slika 5. Temperatura vazduha



Slika 6. Temperatura elementa

#### 4.2. Stvarne temperature u elementima konstrukcije

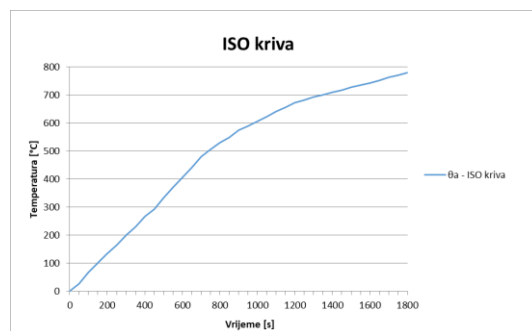
Da bi se dobile stvarne temperature u elementima čelične konstrukcije potrebno je odrediti prirast temperature u elementu  $\Delta Q_{t}$ , dat izrazom (2):

$$\Delta Q_{a,t} = k_{sh} \frac{A_m/V}{c_a \rho_a} h_{net,a} \Delta t \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2)$$

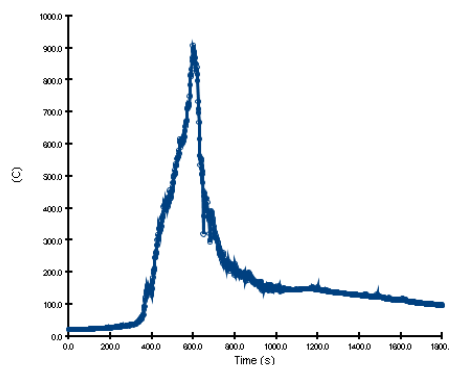
Osnovni parametar u ovom izrazu jeste odnos  $A_m/V$  koje je u funkciji poprečnog presjeka i stepena izloženosti i zaštite elementa od uticaja požara. Očekivano, kod većih poprečnih presjeka doće do sporijeg prirasta temperature u elementu nego kod manjih poprečnih presjeka. Isto se očekuje i kod elemenata koji su sa manje strana izloženi požari u odnosu na suprotno od toga.

#### 4.3. Poređenje temperatura dobijenih preko ISO krive i PyroSim-a

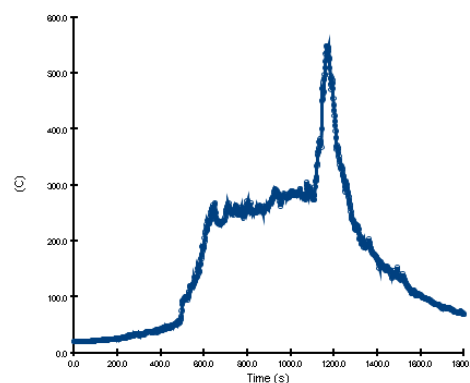
Poređenje je pokazano u slikama 7 do 9.



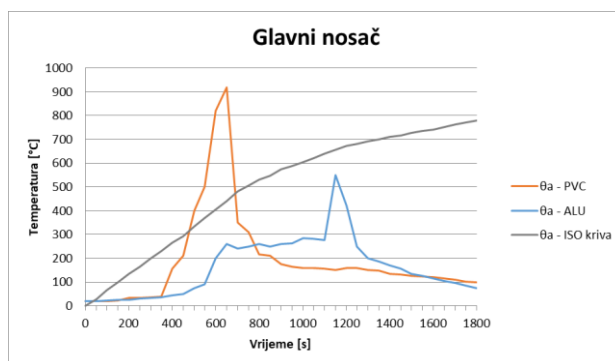
Slika 8. Temperatura prema ISO krivoj



Slika 7. Temperatura glavnog nosača u skladištu PVC profila u PyroSim-u



Slika 8. Temperatura glavnog nosača u skladištu ALU profila u PyroSim-u



Slika 9. Uporedba dobijenih rezultata

U narednoj tabeli dat je prikaz dobijenih maksimalnih temperatura u elementima konstrukcije:

	ISO kriva [°C]	$\theta_a$ PVC [°C]	$\theta_a$ ALU [°C]	$\theta_{a,crit}$ [°C]
Stub primarni	780	845	529	797
Stub sekundarni	830	700	538	622
Glavni nosač	780	918	560	550
Rožnjača	770	845	460	528
Rigla	805	800	600	540
Bočni spreg	810	825	528	744
Krovni spreg	810	800	554	898

Tabela 1. Temperatura elemenata

Velika odstupanja u vrijednostima temperatura dobijenih analitičkom, odnosno numeričkom metodom jeste posljedica dva potpuno različita koncepta proračuna. Analitičkom metodom, odnosno primjenom ISO krive, uzimaju se u obzir samo karakteristike profila preko odnosa Am/V, dok su same karakteristike požara iste za sve slučajeve. Međutim, primjenom numeričkog modela definiše se veliki broj parametara koji obuhvataju karakteristike stvarnog razmatranog požara, okruženja, požarnog sektora i sl. pa se dobijaju realnije temperature za razmatranu situaciju. Dobijene maksimalne temperature osim što imaju velika odstupanja u vrijednostima (tabela 1), one su postignute i u različitom trenutku vremena, što se može jasno vidjeti na datom grafiku uporedbe (slika 11). Dok kod ISO krive temperatura stalno raste i svoj maksimum ima na kraju, kriva temperatura dobijana numerički je potpuno drugačija. Ona ima svoj rast, dostizanje maksimuma i zatim opadanje, ali taj maksimum se u skladištu PVC profila postiže u trenutku  $t=615s$ , dok u skladištu ALU profila u  $t=1175s$ .

Povećanje temperature uzrokuje degradaciju mehaničkih osobina čelika, pa pri dostizanju kritične temperature dolaze do gubitka nosivosti elemenata. U narednoj tabeli dat je prikaz ispunjavaju uslove po pitanju nosivosti u zavisnosti od primjenjane analize i vrste skladištene robe.

	ISO kriva [°C]	$\theta_a$ - PVC [°C]	$\theta_a$ - ALU [°C]
Stub primarni	Da	Ne	Da
Stub sekundarni	Ne	Ne	Da
Glavni nosač	Ne	Ne	Ne
Rožnjača	Ne	Ne	Da
Rigla	Ne	Ne	Ne
Bočni spreg	Ne	Ne	Da
Krovni spreg	Da	Da	Da

Tabela 2. Ispunjenje zahtjev po pitanje nosivosti

Kao što se može vidjeti, ni za jednu primjenjenu metodu, nije zadovoljena nosivost svih elemenata, što znači da je potrebno primijeniti neke od metoda zaštite elemenata.

## 5. ZAKLJUČAK

Razmatrana tematika predstavlja jedan od većih problema građevinarstva, iz razloga što konstrukcije u prošlosti nisu projektovane na ovu vrstu opterećenja, koje u današnje vrijeme postaje veoma bitno za mnoge tipove konstrukcija. Mnoge havarije u građevinarstvu nastale u prošlosti jesu uzrokovane baš požarom. Zbog toga se u budućnosti treba posvetiti rješavanju ovog problema, radeći na uvođenju novih propisa koji će od konstrukcije zahtijevati strožije kriterijume, a koji će biti direktno vezani za požarno opterećenje.

Najveći broj istraživanja, naučnih radova, propisa i zakona usmjereno je na obezbjeđenje nosivosti, sigurnosti i trajnosti konstrukcije na statička i dinamička opterećenja, dok je požarna analiza do prije par desetina godina bila gotovo pa i nepoznata. Iako su povećanje otpornosti na požarno dejstvo najčešće rešava premazima ili oblogama, što i bude dovoljno za ispunjavanje potrebnih zahtjeva otpornosti, postoje slučajevi i kada ove mjere nisu dovoljne. Iz takvih razloga, nedovoljne zaštite elemenata konstrukcije ili ipak nikakve zaštite od povišenih temperatura, dolazi do havarije. Konstrukcija gubi svoju nosivost, trajnost ili sigurnost, pa postaje neupotrebljiva. Kako bi se izbjegle ovakve situacije, potrebno je dodatno se posvetiti istraživanju na ovu temu, raditi na usvajanju dodatnih propisa i značaju ove tematike.

Priloženi projekat pokušava na najbolji način da prikaže značaj ove tematike, najjednostavnijim prikazom velikog pada mehaničkih karakteristika elemenata konstrukcije, samim ti i padom nosivosti tih elemenata usled dejstva visokih temperatura, koje su posljedica požara nastalog lakom zapaljivošću materijala koji je i više nego prisutan u građevinarstvu, drveta u kombinaciji sa drugim, također zapaljivim materijalom.

## 6. LITERATURA

- [1] Džidić S, *Otpornost betonske konstrukcije na požar*, Sarajevo 2015
- [2] Schleich J, B, *Fire Action in Building*, Leonardo da Vinci Project, Luxembourg 2005,
- [3] EN 1991-1-2, *Actions on structures – Part 1-2: General action – Action on structures exposed to fire*, European Committee for Standardization, Brussels (2002),
- [4] EN 1993-1-2, *Design of steel structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design*, European Committee for Standardization, Brussels (2005),
- [5] J.M.Franssen, P.Vila Real, *Fire Design of Steel Structures – 2nd Edition* (2015)

### Kratka biografija



**Tanja Ivančević** rođena je u Doboju 1996. godine. Osnovne akademska studije završila je 2019. godine na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Master rad, na masterskim studijama građevinarstva, na Fakultetu tehničkih nauka brani 2021. godine.  
kontakt: ivancevictanja1@gmail.com