

## НУМЕРИЧКА АНАЛИЗА ПОЖАРНЕ ОТПОРНОСТИ ЧЕЛИЧНИХ РЕШЕТКАСТИХ КРОВНИХ НОСАЧА

Миливоје Милановић<sup>1</sup>

Мери Цветковска<sup>2</sup>

Назим Манић<sup>3</sup>

Петар Кнежевић<sup>4</sup>

УДК: 692.522:519.6

DOI:10.14415/konferencijaGFS 2015.025

**Резиме:** Челичне решетке представљају ефикасна решења при конструисању лаких кровних носача, носача међуспратних конструкција и тешких мостовских носача. Због техничких немогућности, недостатка експерименталних тестирања великих решетки на пожарна дејства, користе се резултати експеримента гредних носача и мањих решетки. Комбиновањем ових резултата са нумеричким прорачунима пожарне отпорности челичних елемената и конструкција, добијају се практични резултати за одређивање носивости челичних решеткастих носача при дејству пожара. Овај рад, анализом носивости једног, кровног, решеткастог носача од челика, изложеног дејству стандардног пожара ( ИСО 834 ), показује разлику пожарне носивости, незаштићене и изоловане решетки, у зависности од квалитета, врсте и дебљине заштите.

**Кључне речи:** челична решетка, температура, стандардни пожар, заштита

### 1. УВОД

Врло чести елементи челичних конструкција су решеткасти носачи. Они се појављују као лаке кровне конструкције, носачи међуспратних конструкција и др., али и тешки решеткасти главни носачи мостовских конструкција. Њихова основна предност лежи у томе да су елементи конструкције изложени само аксијалним силама, које омогућавају мале пресеке, лакшу конструкцију и мањи утрошак материјала. Основне карактеристике решеткастих носача, прорачун и димензионисање, су познати, па овде нису посебно анализирани [1]. Недостатак челика, као материјала, је недовољна отпорност на корозију и високе температуре. Повећањем температуре челик, као материјал, губи носивост уз повећање деформабилности [2]. Мале димензије пресека, елемената челичних решетки,

<sup>1</sup> Assist. PhD, State University of Novi Pazar, Novi Pazar, Serbia, milanovicnp@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> Doc.sc., State University of Novi Pazar, Novi Pazar, Serbia, nazimmanic@hotmail.com

<sup>4</sup> Assist. PhD, State University of Novi Pazar, Novi Pazar, Serbia, petar.knezevic.dunp@gmail.com

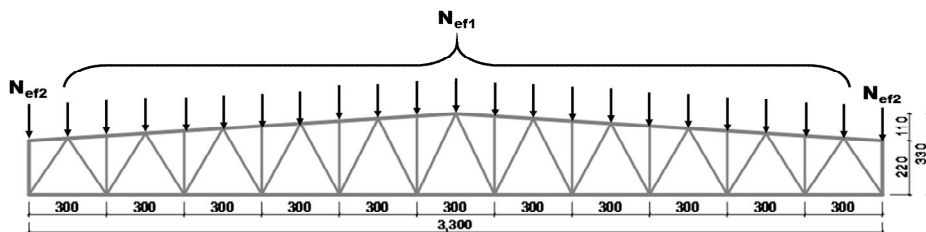
посебно утичу на значајан пад носивости истих при расту температуре разних врста објеката. Линејске или просторне решеткасте конструкције, имају врло велику примену код објеката великих распона: спортске дворане, индустријске хале, складишта, магацини, већи растери пословних и стамбених објеката и др. Да би се спречило брзо рушење и велике деформације решеткастих носача, поменутих објеката у случају пожарног дејства, потребно је анализирати утицај температуре на исте. Носивост елемената и челичног решеткастог носача у целини, у условима повишених температура, комплексан је проблем, базиран на принципима механике, отпорности материјала, статике конструкција и термодинамике. Због сложености проблема, габарита решеткастих носача и других утицајних параметара, експериментима није могуће потпуно обухватити и анализирати ову проблематику. То је разлог паралелног коришћења нумеричких метода. Један од тих нумеричких модела ( базиран на методи МКЕ ) је овде коришћени софтвер САФИР [3]. У раду је помоћу нумеричког модула САФИР, анализирана носивост главног решеткастог носача кровне конструкције једне магацинске зграде, који је изложен дејству стандардног пожара ( ИСО 834 ).

## 2. САФИР – МОДУЛ ЗА ПОЖАРНУ АНАЛИЗУ КОНСТРУКЦИЈА

САФИР је наменски рачунарски програм за анализу конструкција и конструктивних елемената у условима амбијенталне температуре као и повишених температура за време дејства пожара [3]. Програм је базиран на методи коначних елемената (МКЕ). Развијен је на Универзитету у Лијежу, Белгија. Први корак анализе је прорачун расподеле температуре унутар пресека конструктивних елемената – “термичка анализа”. Други корак је “статичка анализа“ чија сврха је одређивање одговора конструкције услед статичког и топлотног оптерећења.

## 3. ДИМЕНЗИЈЕ И ОПТЕРЕЋЕЊЕ РЕШЕТКАСТОГ НОСАЧА

За анализу носивости при дејству стандардног пожарног оптерећења, усвојен је полигонални, симетрични, челични решеткасти носач дужине  $L = 33$  м, средишње висине  $H_1 = 3,30$  м и висине на крајевима  $H_2 = 2,0$  м, приказан на слици 3. Нагиб горњег појаса решетке од средине према крајевима је 6 %.



Слика 1. Изглед димензије полигоналног решеткастог носача од челика

Елементи решетке су од кутијастих хладнообликованих профила ( НОР ) и то: горњи појас 150 x 150 x 6,5 мм, доњи појас 150 x 150 x 6 мм, вертикале и дијагонале 100 x 100 x 5 мм . Све везе елемената решеткастог носача су заварене. Међусобно растојање решеткастих носача износи 6 м. Вертикале и дијагонале скраћују дужину штапова горњег појаса на 1,5 м. Челик је квалитета S 355.

Усвојено оптерећење носача је:

- од кровног покривача, рожњача, спрегова и тежине решетке:  $g = 1,30 \text{ кN/м}^2$
- од снега и ветра :  $s + w = 2,20 \text{ кN/м}^2$  ;

Укупно оптерећење горњег појаса носача је :

$$q = ( 1,35 \times 1,30 + 1,50 \times 2,20 ) \times 6,00 = 30,33 \text{ кN/м,}$$

односно оптерећење у средњим чворовима решетке је :

$$N_{ed,1} = 45,5 \text{ кN} , \text{ а два крајња чвора : } N_{ed,2} = 22,75 \text{ кN} .$$

Димензионисање решетке је извршено помоћу софтвера TOWER 6 (за статичку анализу конструкција ), узимајући у обзир отпорност елемената на смичуће силе

$$Q_{ed} / Q_{pl} \leq 1 \quad (1)$$

и једноаксијално савијање према EN 1993-1-1.

$$N_{ed} / \chi N_{pl} + k_{yy} \times M_{y,ed} / M_{pl} \leq 1 \quad (2)$$

Елементи решеткастог носача су усвојени према граничном оптерећењу у чворовима, за анализу према [1], у условима собне температуре (20°C). При анализи носивости носача у условима стандардног пожарног сценарија , према [2] , усвојено је оптерећење :

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} E_d \quad (3)$$

где је  $E_d$  - вредност оптерећења ( сила и момент савијања ) при нормалним температурама ,  $E_{d,fi}$  – оптерећење у пожарним условима ,  $\eta_{fi}$  – редукциони коефицијент за пожарни сценарио оптерећења. Овај фактор се одређује према :

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}} \quad (4)$$

где су :

- $G_k$  – вредност сталног оптерећења ;
- $Q_{k,1}$  – вредност променљивог оптерећења ( снег и ветар ) ;
- $\gamma_g, \gamma_{Q,1}$  - парцијални коефицијенти за стално и променљиво оптерећење ;
- $\psi_{fi}$  – фактор комбинације за пожарно дејство – снега и ветра - 0,30

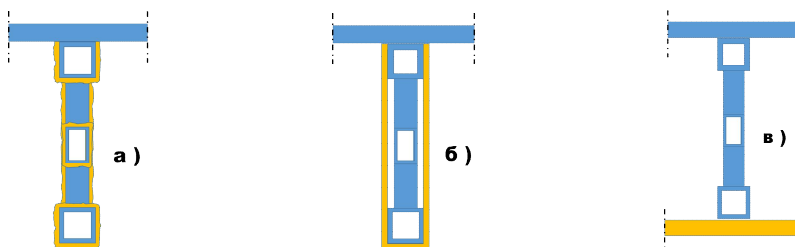
Заменом усвојених оптерећења у једначину (4), добија се  $\eta_{fi} = 0,356$  , па је оптерећење дуж носача на основу релације (3) :  $q_{fi} = 0,356 \times 30,33 = 10,80 \text{ кN/м}$  , односно у чворовима :  $N_{efi,1} = 16,20 \text{ кN}$  , односно  $N_{efi,2} = 8,1 \text{ кN}$ .

#### 4. ПОЖАРНА ОТПОРНОСТ РЕШЕТКАСТОГ НОСАЧА

Анализа носивости, усвојене челичне решетке, извршена је за незаштићени и изоловани носач. Заштита челичних решеткастих носача, од пожара, може се извршити на више начина. Три најчешћа вида заштите оваквих конструкција [4], приказаних на слици 2, су :

- Облагање противпожарним спрејом (прскање) у одређеним дебелинама – (а);
- Облагање изолационим материјалима, најчешће гипсаним таблама ( б ) ;
- Заштита противпожарним баријерама – изолационим плафонима ( в ) ;

Најчешћи и најједноставнији вид заштите челичних решеткастих носача, од пожара је заштита специјалним противпожарним спрејевима (прскањем).



Слика 2 : Заштита челичних решеткастих носача од пожара: а) облога од спреја; б) – облога изолационим таблама ; в)– заштита помоћу изолационих плафона

Ови спрејеви се производе од изолационих материјала и наносе се у различитим дебелинама, у зависности од класе пожарне отпорности која се захтева. Друга два вида заштите су такође ефикасни начини заштите, али изискују доста рада, додатне конструкције за изолацију, помоћне скеле и др.

У раду је за изолацију елемената носача коришћен противпожарни спреј САFCО 300. То је спреј на бази природног минерала вермикулита и гипса [5], са термичким и физичким карактеристикама које су дате у Табели 1. Анализа носивости решетке је извршена за три дебљине заштитног спреја : 20, 30 и 40 мм.

Табела 1: Термичке карактеристике челика и спреја САFCО 300

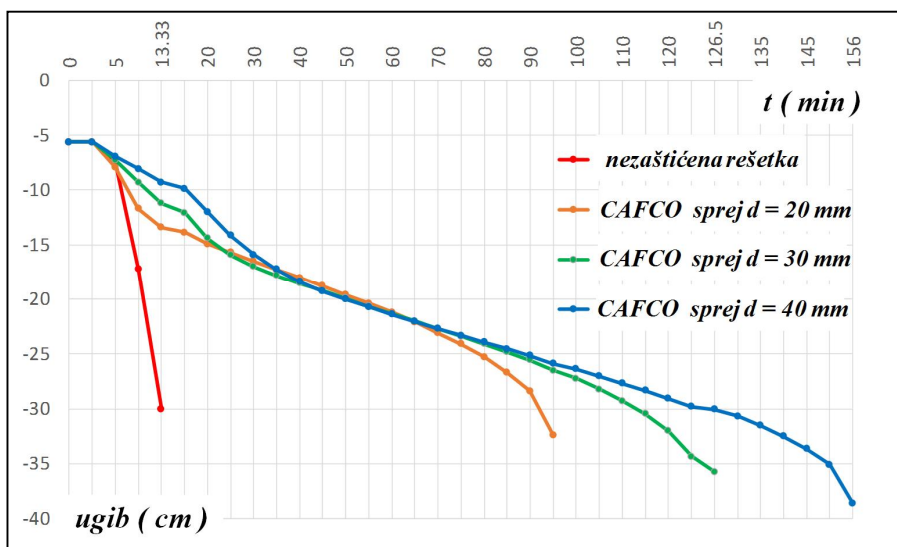
Материјал / Термичке карактеристике		Челик S 355	САFCО 300
Коефицијент конвекције - грејана пов.	$W / m^2K$	25	25
Коефицијент конвекције - хладна пов.	$W / m^2K$	9	5
Коефицијент релативне емисије	-	0.7	0.6
Термички кондуктивитет ( провод. )	$W / m K$	54 - 27.3	0.078
Специфични топлотни капацитет	$J / kg K$	425 - 650	900
Специфична тежина	$kg / m^3$	7850	310
Садржај влаге ( вода по $m^3$ )	$kg / m^3$	-	10

На слици 3, види се резултат носивости челичног решеткастог носача при дејству стандардног пожара ( ИСО 834 ) .

Дијаграм показује угиб носача од тренутка када почиње загревање, до тренутка лома – колапса конструкције. Евидентно је, што се види са дијаграма, да незаштићени носач има врло малу носивост у току развоја пожара. Време рушења незаштићене конструкције је 13,33 мин.

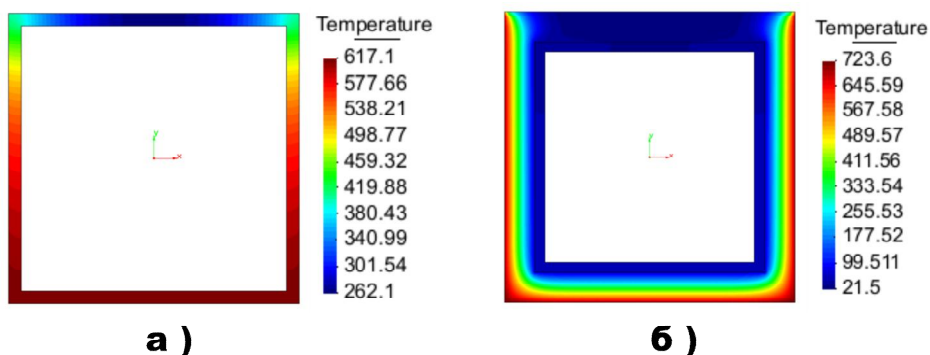
Иzolовани носачи имају знатно већу носивост, која расте са растом дебљине заштитног слоја. За дебљине заштитног спреја  $d = 20, 30$  и  $40$  мм , носивости решеткастог носача су респективно 95 , 126,5 и 156 минута.

Треба напоменути да је при анализи носивости челичне решетке при дејству стандардног пожара, усвојено да температура делује по целом обиму пресека елемената доњег појаса, дијагонала и вертикала. Код горњег појаса носача усвојено је да пожар делује са две бочне и доње стране пресека елемената, али не и са горње стране пресека , на коју се ослањају рожњаче и кровни покривач.



Слика 3. Угиб челичног решеткастог носача при дејству стандардног пожара ( ИСО 834 ) у зависности од дебљине слоја заштитног спреја..

Слика 4, приказује велику разлику просечних температура незаштићеног и изолованог горњег појаса решеткастог носача у тренутку лома незаштићене решетке (13,33 мин). Горњи појас незаштићене решетке има просечну температуру  $440^{\circ}\text{C}$  а горњи појас решетке са изолацијом 20 мм има температуру  $46,8^{\circ}\text{C}$  .



Слика 4. Температуре у пресеку горњег појаса челичне решетке : а) незаштићени горњи појас ; б) горњи појас изолован слојем спреја CAFCO  $d = 20$  мм ;

Из предходно изложене анализе носивости челичних решеткастих носача, у условима пожарног оптерећења, може се извући неколико закључака :

- Због брзог пада носивости челика и малих пресека, неизоловани, челични решеткасти носачи имају врло малу отпорност при дејству повишених температура. Времена отпорности на пожар, ових носача, знатно су мања него код других типова носача ( пуни челични носачи, спрегнути носачи, армиранобетонски и преднапрегнути носачи ).
- Заштитом елемената решетке знатно се повећава отпорност исте на дејство температуре, па обавезно треба извршити изолацију у објектима код којих је могућа појава пожарног дејства .
- Врсту изолације одредити према захтеваној класи пожарне отпорности , расположивим материјалима и могућностима уградње истих.
- Време отпорности изолованог носача, на пожарна дејства, одредити помоћу расположивих експерименталних података и савремених нумеричких модела.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] CSN EN 1993-1-1 , Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings ;
- [2] CSN EN 1993-1-2, Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design
- [3] SAFIR - Computer program, University of Liege, Belgium ;
- [4] Milke J.A., “ Analytical methods for determining fire resistance of steel members ,” SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 4<sup>th</sup> edition, P.J. DiNenno, 2002, National Fire Protection Association, Quincy, MA
- [5] [www.promet-sprey.com](http://www.promet-sprey.com)

## NUMERICAL ANALYSIS OF FIRE RESISTANCE OF STEEL ROOF TRUSSES

***Summary:** Construction of steel trusses provide effective solutions for lightweight construction roof trusses, floor structures and heavy bridge trusses. Due to technical impossibility, experimental testing of large truss on fire effects, we use the results of experiments beams and smaller trusses. Combining these results with numerical calculations of fire resistance of steel elements and structures, we obtain practical results to determine the bearing capacity of steel trusses at the effect of fire. This paper, by analyzing the payload of one roof, steel truss, exposed to the action of fire standard (ISO 834), shows a difference of fire load, unprotected and isolated trusses, depending on the quality, type and thickness of protection.*

***Keywords:** steel truss, temperature, standard fire, protection*