



# POŽARNA ODPORNOST KONSTRUKCIJ (seminar)

---

Anita Kaplan in Simon Brdar, skupina 3

---

# **KAZALO:**

<b>VAJA 1: Razvoj požara v prostoru in izračun razvoja temperatur v jeklenem nosilcu ...</b>	<b>2</b>
PROJEKTNA GOSTOTA POŽARNE OBTEŽBE .....	3
HITROST SPROŠČANJA TOPLOTE .....	4
RAZVOJ TEMPERATURE V OBRAVNAVANEM PROSTORU.....	6
RAZVOJ TEMPERATURE V NEIZOLIRANEM IN IZOLIRANEM JEKLENEM NOSILCU PREREZA HEA .....	8
<i>Razvoj temperature za standarden požar .....</i>	<i>8</i>
<i>Razvoj temperature za parametričen požar .....</i>	<i>11</i>
<b>VAJA 2: Požarna odpornost upogibnega jeklenega nosilca HEA.....</b>	<b>14</b>
<i>Standarden požar .....</i>	<i>14</i>
<i>Parametričen požar .....</i>	<i>15</i>
<b>VAJA 3: Požarna odpornost jeklenega lepljenega nosilca .....</b>	<b>17</b>
<i>Metoda efektivnega prečnega prereza .....</i>	<i>17</i>
<i>Metoda zmanjšanih materialnih karakteristik .....</i>	<i>18</i>
<b>ZAKLJUČEK.....</b>	<b>19</b>

# VAJA 1: Razvoj požara v prostoru in izračun razvoja temperatur v jeklenem nosilcu

Najprej sva obravnavala razvoj požara v objektu določene tlorisne površine, pri tem pa sva morala določiti naslednje količine:

- projektno gostoto požarne obtežbe skladno s SIST EN 1991-1-2:2004 (dodatek E),
- hitrost sproščanja toplote skladno s SIST EN 1991-1-2:2004 (dodatek E), ter ali je požar kontroliran s strani zaloge gorljivega materiala ali s strani kisika,
- razvoj temperature v obravnavanem prostoru skladno s SIST EN 1991-1-2:2004 (dodatek A)
- razvoj temperature v neizoliranem in izoliranem jeklenem nosilcu prereza HEA.

Izračune sva preverjala s programom Excel, na koncu pa sva rezultate primerjala še s programom OZONE, jih komentirala in opisala razloge za morebitna odstopanja.

Za seminar sva potrebovala naslednje podatke:

- Geometrijski podatki:

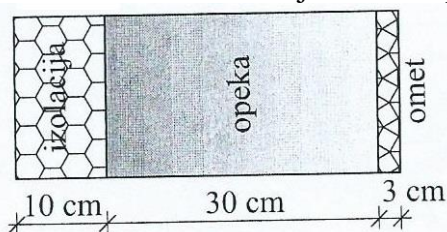
SKUPINA	Š (m)	D (m)	H (m)	NAMEMBNOST	$A_{fi}/A_{tal}$	$H_v$	$L_v$
3	16	30	5	Nakupovalno središče	75 %	4	4

Legenda:  $H_v$  – višina odprtine,  $L_v$  – dolžina odprtine

- Ovoj prostora:

Talna plošča je sestavljena samo iz betona debeline  $d=15\text{cm}$ .

Obodne stene so sestavljene iz sklopa A:



Stropna plošča je sestavljena iz betona debeline  $d=15\text{cm}$  ter mavčno kartonskih plošč (MKP) debeline  $1,6\text{cm}$ .

- Materialni podatki:

MATERIAL	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	C (kJ/kgK)	$\lambda$ (W/mK)
beton	2500	0.9	1.5
opeka	1600	0.5	0.9
izolacija	50	2.1	0.04
MKP	700	1.1	0.25
omet	1600	0.8	1.2

- Podatki za toplotno analizo HEA profila:

SKUPINA	PREREZ HEA	$T_{crit}$ (°C)
3	300	650

## PROJEKTNA GOSTOTA POŽARNE OBTEŽBE:

Za izračun projektne gostote požarne obtežbe sva potrebovala naslednje podatke:

- karakteristično gostoto požarne obtežbe na enoto ploščine tal,  $q_{f,k}$  (tabela E.4),
- faktor zgorevanja (za celulozne materiale),  $m$ ,
- površino tal požarnega sektorja,  $A_f$ ,
- največje območje požara,  $A_{fi}$ ,
- faktor, ki upošteva nevarnost nastanka požara glede na velikost sektorja,  $\delta_{q1}$  (tabela E.1),
- faktor, ki upošteva nevarnost nastanka požara glede na rabo,  $\delta_{q2}$  (tabela E.1),
- faktor, ki upošteva uporabo različnih aktivnih ukrepov gašenja,  $\delta_n$  (tabela E.2)

$$\delta_n = \prod_{i=1}^{10} \delta_{ni}$$

Pri računanju sva si pomagala s SIST EN 1991-1-2:2004 (dodatek E), kjer sva našla vse potrebne podatke in enačbe.

### Rezultat najinega izračuna:

Iz zgornjih podatkov sva izračunala projektno gostoto požarne obtežbe  $q_{f,d}$ , ki znaša:

$$q_{f,d} = 271,61 \text{ MJ/m}^2$$

### Izračun v Excelu:

3. PROJEKTNA VREDNOST POŽARNE OBTEŽBE:				
$q_{f,k}(\text{MJ/m}^2) =$	730			
$m =$	0.8			
$\delta_{q1} =$	1.54			
$\delta_{q2} =$	1			
$\delta_n =$	0.302			
$q_{f,d}(\text{MJ/m}^2) =$	271.6067			

### Izračun v OZONE:

Program OZONE je za končno vrednost  $q_{f,d}$  izračunal vrednost **277,1 MJ/m<sup>2</sup>**. Do odstopanja je prišlo, ker sva midva pri izračunu  $\delta_{q1}$  uporabila linearno interpolacijo, program OZONE pa je izbral drugačno metodo izračuna.

## HITROST SPROŠČANJA TOPLOTE:

Za izračun hitrosti sproščanja toplote sva potrebovala naslednje podatke:

- največjo hitrost sproščanja toplote na  $1 \text{ m}^2$  požara v gorivno nadzorovanih pogojih gorenja,  $RHR_f$  (tabela E.5),
- čas, potreben, da se doseže hitrost sproščanja toplote  $1 \text{ MW}$ ,  $t_a$  (tabela E.5),
- največje območje požara,  $A_{fi}$ ,
- projektno vrednost požarne obtežbe,  $q_{f,d}$ ,
- maksimalno hitrost sproščanja toplote,  $Q_{max}$ .

Ugotoviti sva morala, ali je požar kontroliran s strani zaloge gorljivega materiala ali s strani kisika.

Pri izračunu hitrosti sproščanja požara sva si pomagala z dodatkom E iz SIST EN 1991-1-2:2004. V tem dodatku sva dobila tudi vse potrebne podatke in enačbe.

### Rezultat najinega izračuna:

Požar je kontroliran s strani kisika, ker je  $Q_{max,vent}$  (**51,2 MW**) manjši od  $Q_{max}$  (90 MW).

$$t_1 = 17,89 \text{ min}$$

$$E_1 = 18312,54 \text{ MJ}$$

$$t_2 = 34,20 \text{ min}$$

$$E_2 = 50133,18 \text{ MJ}$$

$$t_3 = 53,29 \text{ min}$$

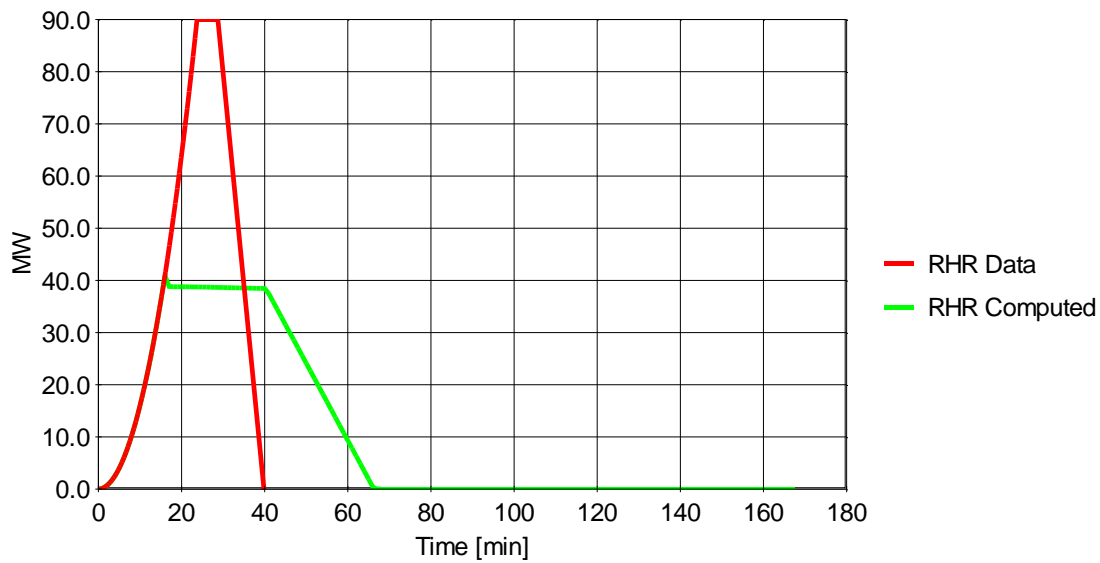
$$E_3 = 29333,88 \text{ MJ}$$

### Izračun v Excelu:

$h_{ex}$ (m) =	4		
$m$ =	0.8		
$H_u$ (MJ/kg) =	20	$Q_{max,vent}$ (MW) =	51.2
$Q_{max}$ (MW) =	51.2		
$t_1$ (s) =	1073.31	17.8885 min	
$t_2$ (s) =	2052.36	34.2059 min	
$t_3$ (s) =	3198.2	53.3033 min	
$E_1$ (MJ) =	18317.9		
$E_2$ (MJ) =	50127		
$E_3$ (MJ) =	29333.5		
$E_{m,q_{f,d}}$ (MJ) =	68444.9		
$E_{tot}$ (MJ) =	97778.4		

Izračun v OZONE:

### Rate of Heat Release



Analysis Name:

Rdeča črta predstavlja hitrost sproščanja toplote pri požaru kontroliranem s strani zaloge gorljivega materiala, zelena črta pa hitrost sproščanja toplote pri požaru kontroliranem s strani kisika (najin požar). Rezultati se nama bolj ujemajo pri požaru kontroliranem s strani zaloge gorljivega materiala, pri drugem požaru pa pride do odstopanj, ker OZONE uporablja drugačne formule za izračun hitrosti sproščanja toplote.

## RAZVOJ TEMPERATURE V OBRAVNAVANEM PROSTORU:

Za določitev razvoja temperature sva potrebovala naslednje podatke:

- čas  $t$ ,
- faktor  $\Gamma$ ,
- faktor  $b$ ,
- gostoto ločilnega oboda  $\rho$ ,
- specifično toploto ločilnega oboda  $c$ ,
- toplotno prevodnost ločilnega oboda  $\lambda$ ,
- faktor odprtih  $O$ ,
- celotno površino navpičnih odprtih v vseh stenah  $A_v$ ,
- uteženo povprečje višin oken v vseh stenah  $h_{eq}$ ,
- celotno površino oboda (stene, stropi in tla, vključno z odprtinami),  $A_t$ .

Ker so bile najine stene in stopna plošča prostora sestavljeni iz različnih plasti materiala, sva morala upoštevati nekaj omejitev.

Pri izračunu nama je pomagal dodatek A iz SIST EN 1991-1-2:2004.

Rezultat najinega izračuna:

$$T_{\max} = 728,81 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\max} = 36,73 \text{ min}$$

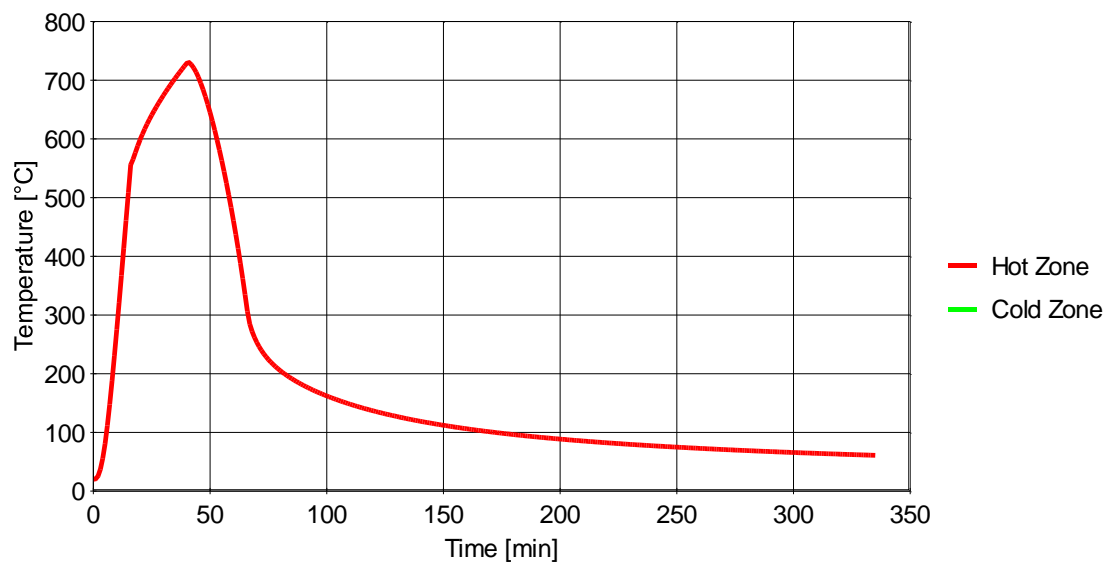
$$t_{\text{kon}} = 238,92 \text{ min}$$

Izračun v Excelu:

2. DOLOČITEV $t_{\max}$ :		3. DOLOČITEV $T_{\max}$ :		4. FAZA OHLAJEVANJA:	
$t_i(\text{h}) = 0.61111512$	36.6669072 min	$t^*_{\max}(\text{h}) = 0.205107$		$t^*_{\max}(\text{h}) = 0.2051075$	
$t_{\text{lim}}(\text{min}) = 15$	0.25 h	$T_{\max}(\text{ }^{\circ}\text{C}) = 729.5291$		$T_G(\text{ }^{\circ}\text{C}) = 20$	
$t_{\max}(\text{min}) = 36.6669072$	$0.61111512 \text{ h}$			$x = 1$	OMEJITEV!!
				$t^*_{\text{končni}}(\text{h}) = 1.3403541$	
$t_{\text{lim}}(\text{min}) = 25 \rightarrow$	$t_a(\text{s}) = 600$			$t_{\text{končni}}(\text{h}) = 3.9935682$	$239.614092 \text{ min}$
$t_{\text{lim}}(\text{min}) = 20 \rightarrow$	$t_a(\text{s}) = 300$				
$t_{\text{lim}}(\text{min}) = 15 \rightarrow$	$t_a(\text{s}) = 150$				

Pri višini prostora je v standardu navedena omejitev na 4m, najin prostor pa je višine 5m, zato sva računala s tem podatkom. Z Excelom pa sva preverila tudi kakšna bi bila odstopanja, če upoštevava omejitev višine 4m in ugotovila, da se  $t_{\max}$  ne spremeni, maksimalna temperatura ( $T_{\max}$ ) se je povišala za približno 15 °C, končni čas ( $t_{\text{kon}}$ ) pa se je zmanjšal za približno 19 min.

## Gas Temperature



Analysis Name:

Program izračuna maksimalno temperaturo ( $T_{\max}$ ) pri **730°C**, kar je zelo blizu najinemu izračunu in sicer pri času ( $t_{\max}$ ) **41 min**, kjer pride do manjšega odstopanja. Končni čas ( $t_{\text{kon}}$ ) pa sega dlje od 300 min, kjer pride do precejšnjega odstopanja, a meniva, da ta podatek ni tako pomemben pri izračunu požarne odpornosti konstrukcij.



# RAZVOJ TEMPERATURE V NEIZOLIRANEM IN IZOLIRANEM JEKLENEM NOSILCU PREREZA HEA:

## Razvoj temperature za standarden požar:

### 1. NEIZOLIRAN NOSILEC:

Potrebovala sva naslednje podatke:

- korekcijski faktor za vplive zasenčenja  $k_{sh}$ ,
- površino prereza namišljene škatle, ki objema I prerez na enoto dolžine,  $A_{m,b}$ ,
- volumen elementa na enoto dolžine  $V$ ,
- v najinem primeru je bila kritična temperatura ( $T_{crit}$ ) enaka  $650^{\circ}C$ .

### Rezultat najinega izračuna:

Pri izračunu sva si pomagala s preglednico I-1 (razvoj temperature nezaščitenih jeklenih elementov za različne vrednosti faktorja  $A_m^*/V$ ). Za faktor  $A_m^*/V$  sva izračunala vrednost  $70,41m^{-1}$  in jo zaokrožila na **71  $m^{-1}$** , ker smo s tem na varni strani. Nato sva s pomočjo grafa I-1 določila čas, pri katerem najin nosilec doseže kritično temperaturo ( $650^{\circ}C$ ) in ta znaša približno **25min**.

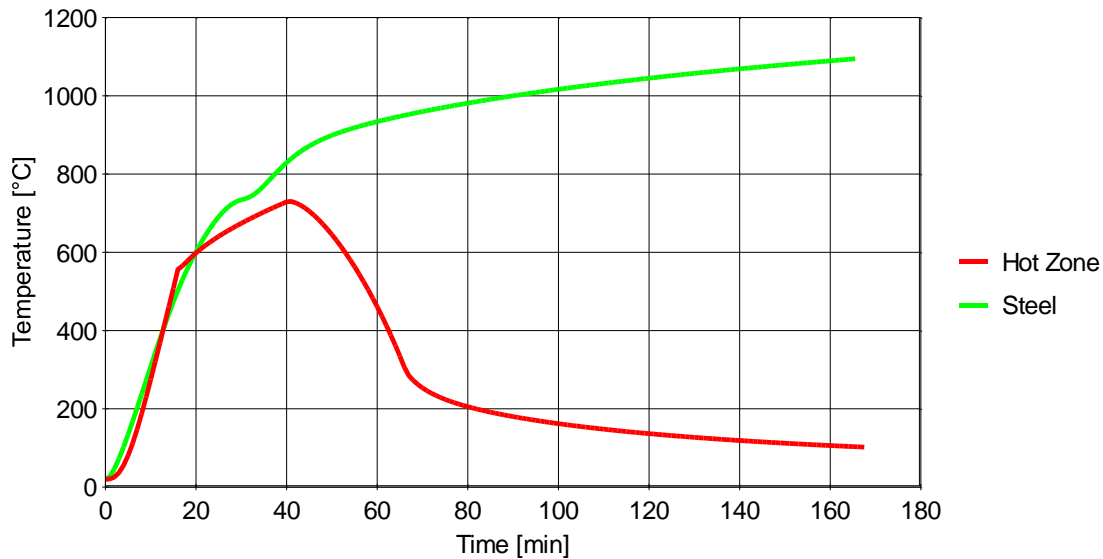
### Izračun v Excelu:

Pogledamo v tabelo 1-1 (TA):			
t(min)	T( $A_m^*/V=60$ )	T( $A_m^*/V=100$ )	T( $A_m^*/V=71$ )
22	605	707	633.05
24	643	727	666.1
T( $A_m^*/V=71$ )	t(min)		
633.05	22		
666.1	24		
650	23.02571861		

Tu sva kritični čas določila s pomočjo interpolacije in znaša približno **23 min**. Pride do manjšega odstopanja zaradi nenatančnega odčitavanja z grafa. Nosilec spada v razred nosilnosti **R15**, kar pomeni da "preživi" 15-minutni požar.

Izračun v OZONE:

### Steel Temperature



Analysis Name:

Rdeča krivulja predstavlja temperaturo v prostoru, zelena krivulja pa predstavlja temperaturo jekla in lahko vidimo, da kritično temperaturo 650 °C res doseže nekje pri **23-ih minutah**.

#### **2. IZOLIRAN NOSILEC:**

Potrebovala sva naslednje podatke:

- faktor  $k_p$ ,
- toplotno prevodnost požarne zaščite  $\lambda_p$ ,
- debelino materiala za požarno zaščito  $d_p$ ,
- volumen elementa na enoto dolžine  $V$ ,
- površino materiala požarne zaščite elementa na enoto dolžine elementa,  $A_p$ .

#### Rezultat najinega izračuna:

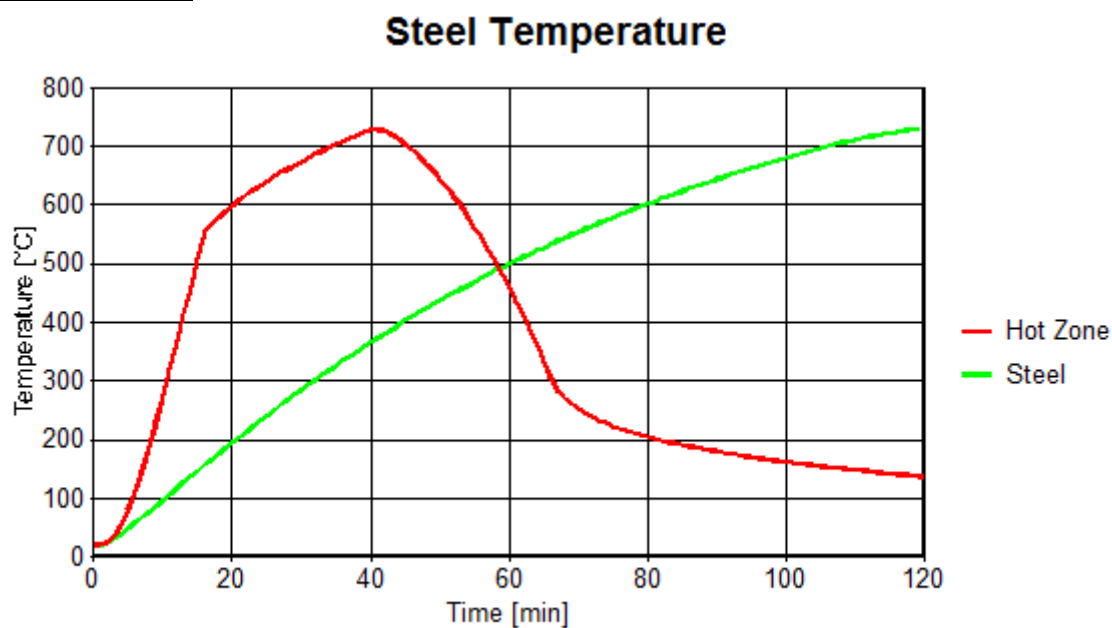
Pri izračunu sva si pomagala s preglednico I-2 (razvoj temperature zaščitjenih jeklenih elementov za različne vrednosti faktorja  $k_p$ ). Za faktor  $k_p$  sva izračunala vrednost 1222,22  $W/m^3K$  in jo zaokrožila na **1223  $W/m^3K$** , ker smo s tem na varni strani. Nato sva s pomočjo grafa I-2 določila čas, pri katerem najin nosilec doseže kritično temperaturo (650°C) in ta znaša približno **96 min**.

Izračun v Excelu:

Pogledamo v tabelo 1-2 (TA):			
t(min)	T(k <sub>p</sub> =1000)	T(k <sub>p</sub> =1300)	T(k <sub>p</sub> =1223)
85	593	662	644.29
90	613	681	663.54667
T(k <sub>p</sub> =1223)	t(min)		
644.29	85		
663.546667	90		
650	86.4826034		

Tu sva kritični čas določila s pomočjo interpolacije in znaša približno **87 min**. Pride do odstopanja zaradi nenatančnega odčitavanja z grafa. Nosilec torej spada v razred nosilnosti **R60**.

Izračun v OZONE:



Analysis Name:

Vidimo, da kritično temperaturo 650°C zaščiteno nosilec res doseže nekje pri **90 minutah**.

## Razvoj temperature za parametričen požar:

### 1. NEIZOLIRAN NOSILEC:

Potrebovala sva naslednje podatke:

- neto toplotni tok  $h_{net}$ ,
- konvekcijski del neto toplotnega toka  $h_{net,c}$ ,
- radiacijski del neto toplotnega toka  $h_{net,r}$ ,
- prestopni koeficient  $\alpha_c$ ,
- temperaturo plinov v okolici požaru izpostavljenega elementa  $T_G$ ,
- temperaturo površine elementa v času  $t$ ,  $T_{a,t}$ ,
- emisivnost površine elementa  $\varepsilon_m$ ,
- emisivnost plamena  $\varepsilon_f$ ,
- oblikovni faktor  $\Phi$ ,
- Stefan-Boltzmannovo konstanto  $\sigma$ ,
- gostota jekla  $\rho_a$ ,
- specifično toplota jekla  $C_a$ .

### Rezultat najinega izračuna:

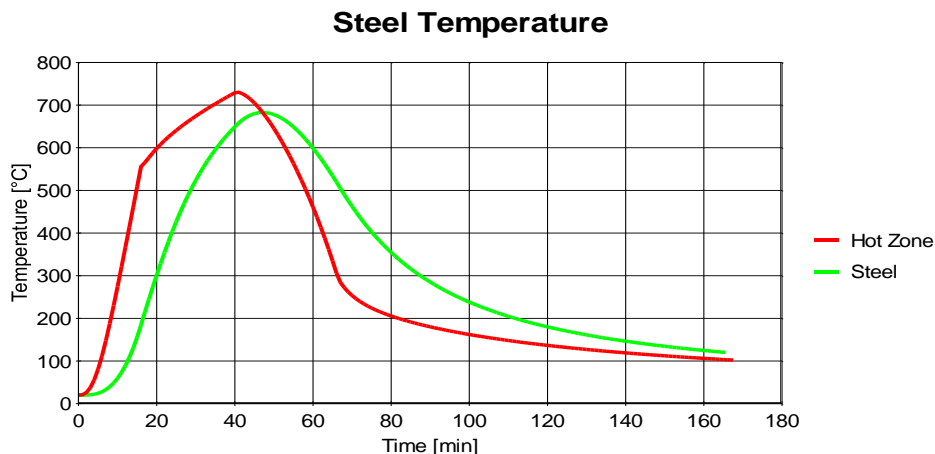
Pri izračunu sva si pomagala z Excelom, saj bi bilo računanje "peš" zelo dolgotrajno, ker je za časovni interval ( $\Delta t$ ) potrebno vzeti 5s, če želimo dobiti natančne rezultate.

### Izračun v Excelu:

438	2060	0.192053913	720.598311	2565.605432	10213.22533	12778.8308	809.3443	0.786662	648.082
439	2065	0.192520063	720.93477	2549.84831	10168.17954	12718.0279	810.5983	0.781708	648.8637
440	2070	0.192986213	721.269838	2534.2159	10123.3361	12657.552	811.8664	0.776776	649.6404
441	2075	0.193452363	721.603526	2518.707828	10078.69768	12597.4055	813.1488	0.771865	650.4123
442	2080	0.193918514	721.935845	2503.323712	10034.26689	12537.5906	814.4455	0.766977	651.1793
443	2085	0.194384664	722.266807	2488.063164	9990.046293	12478.1095	815.7569	0.762112	651.9414
444	2090	0.194850814	722.596422	2472.925788	9946.03838	12418.9642	817.0831	0.757268	652.6987

Ugotovila sva, da neizoliran nosilec doseže kritično temperaturo 650 °C pri času pribl. 2075s, kar znaša pribl. **35 min.**

### Izračun v OZONE:



Analysis Name:

Rezultati se ujemajo tudi v OZONE-u, saj vidimo, da kritično temperaturo res dosežemo nekje pri **35 minutah.**

## 2. IZOLIRAN NOSILEC:

Potrebovala sva naslednje podatke:

- temperatura plinov v okolici požaru izpostavljenega elementa  $T_G$ ,
- temperatura površine elementa v času  $t$ ,  $T_{a,t}$ ,
- gostota jekla  $\rho_a$ ,
- specifična toplota jekla  $C_a$ ,
- faktor  $k_p$ ,
- toplotno prevodnost požarne zaščite  $\lambda_p$ ,
- debelino materiala za požarno zaščito  $d_p$ ,
- volumen elementa na enoto dolžine  $V$ ,
- površina materiala požarne zaščite elementa na enoto dolžine elementa  $A_p$ .

### Rezultat najinega izračuna:

Izračun je potekal na podoben način kot pri neizoliranem nosilcu, le da je bil tu časovni interval ( $\Delta t$ ) enak 30s, drugačna pa je bila tudi formula za izračun temperature površine elementa ( $T_{a,t}$ ), kjer je bilo potrebno upoštevati faktor  $k_p$ .

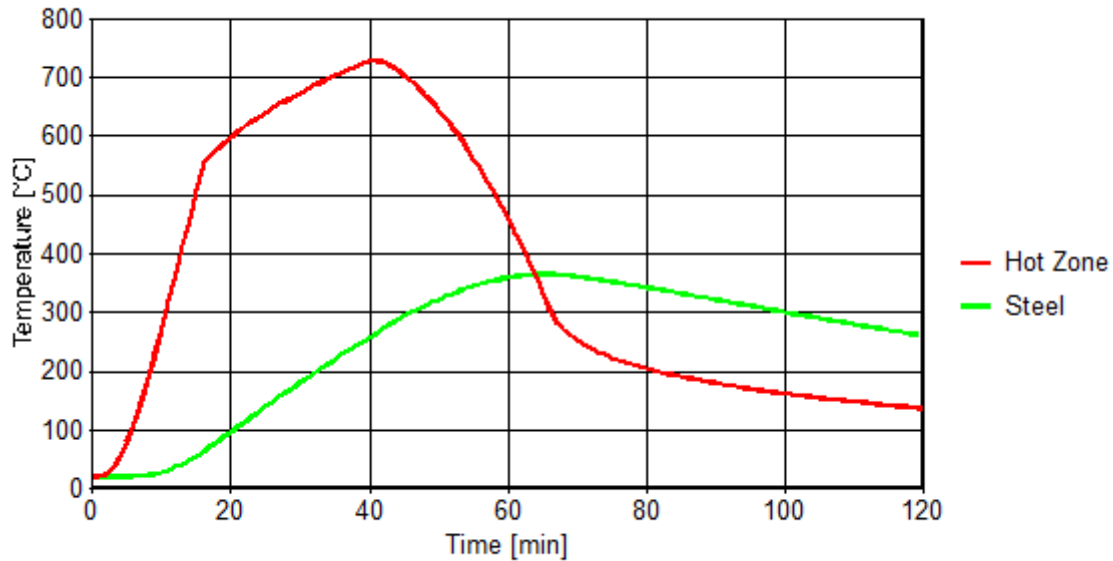
### Izračun v Excelu:

6330	0.590146	488.879905	655.4102198	0.030006373	484.699496
6360	0.592943	487.131842	655.4312041	0.017334045	484.71683
6390	0.59574	485.383778	655.4433275	0.004752898	484.721583
6420	0.598537	483.635714	655.4466519	-0.00773823	484.713845
6450	0.601334	481.887651	655.4412395	-0.02014049	484.693704
6480	0.604131	480.139587	655.4271535	-0.03245499	484.661249

Tukaj vidimo, da zaščiten nosilec ne doseže kritične temperature 650 °C, saj maksimalno temperaturo doseže že pri okoli **485°C** in sicer pri času okoli **107 minut**.

Izračun v OZONE:

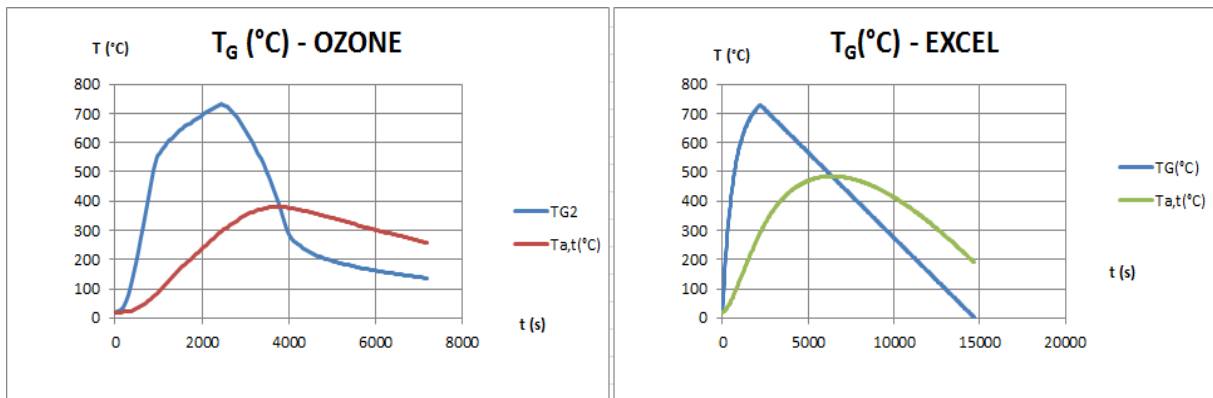
### Steel Temperature



**Analysis Name:**

Vidimo, da izoliran nosilec doseže maksimalno temperaturo pri okoli **380°C** in maksimalni čas nekje pri **62 minut**. Vidimo do rezultati OZONE-a precej odstopajo od najinih rezultatov, ki sva jih naredila s pomočjo Excela.

Za primerjavo sva iz OZONE-a kopirala parametrično krivuljo temperature v prostoru in jo nadomestila s tisto v Excelu.



Vidimo, da OZONE uporablja bolj natančno obliko parametrične krivulje (modra krivulja) medtem, ko jo mi precej poenostavimo, kar očitno zelo vpliva na končne rezultate. Kot razliko sva torej ugotovila, da s poenostavljanjem krivulje pride do odstopanj v temperaturnem območju do okoli **100°C**, v časovnem območju pa do okoli **45 min!**

## VAJA 2: Požarna odpornost upogibnega jeklenega nosilca HEA

Obravnavala sva prostoležeči nosilec dolžine  $L$  prečnega prereza HEA iz jekla S275, ki je obtežen s stalno enakomerno zvezno obtežbo  $g$  ter s spremenljivo enakomerno zvezno obtežbo  $q$ . Nosilec je bočno podprt, tako da sva preverila samo upogibno nosilnost elementa. Nosilec je požaru izpostavljen iz treh strani in je nezaščiten.

Pod točko A sva preverila ali je pri standardni požarni obtežbi pogoj **R60** izpolnjen. Izračun nama je pokazal, da pogoj ni izpolnjen, zato sva dodala ustrezno protipožarno oblogo in določila potrebno debelino.

V B točki pa sva preverila ali je nosilec sposoben kljubovati požaru, ki smo ga določili pri Vaji 1: »Razvoj požara v prostoru in izračun razvoja temperatur v jeklenem nosilcu«.

Vhodni podatki, ki sva jih potrebovala pri izračunu:

- profil HEA
- dolžina nosilca  $L$ ,
- $f_{y,20}$ , ki jo razberemo iz vrste jekla (S275),
- stalna enakomerna zvezna obtežba  $g$ ,
- spremenljiva enakomerna zvezna obtežba  $q$ ,
- odpornostni moment  $W$ .

### Standarden požar:

#### **1. NEIZOLIRAN NOSILEC:**

##### Rezultat najinega izračuna:

Kritično temperaturo sva določila s pomočjo faktorja  $k_{y,\theta}$  iz tabele II-2 dodatka »Mehanska analiza (določitev požarne odpornosti po poenostavljenem postopku) in jo izračunala s pomočjo interpolacije  $T_{crit} = 686,25^{\circ}\text{C}$ . Nato sva s pomočjo še ene interpolacije dobila kritičen čas, pri katerem najin nezaščiten nosilec doseže kritično temperaturo in sicer

$$t_{crit} = 25,6 \text{ min} \rightarrow \text{pogoj ni izpolnjen!}$$

#### **2. IZOLIRAN NOSILEC:**

##### Rezultat najinega izračuna:

Za toplotno zaščito sva izbralo mavčno-kartonske plošče debeline 2 cm. Kritično temperaturo sva izračunala s pomočjo faktorja  $k_p$ , ki znaša **977,78**. Nato sva v preglednici I-2(b) dodatka »Temperaturna analiza« poiskala najino kritično temperaturo s pomočjo faktorja  $k_p$  in ugotovila, da bo najin zaščiten nosilec dosegel kritično temperaturo, ki znaša **686,25 °C**, med 110-imi in 115-imi minutami.

$$t_{crit} = 113,6 \text{ min} \rightarrow \text{pogoj je izpolnjen!}$$

Dodatno sva izračunala še minimalno debelino mavčno-kartonske plošče in ugotovila, da nosilec "prenese" požar pri 60-ih minutah tudi, ko je  $k_p$  večji od 2000, torej tudi pri debelini MKP manjši od **0,9 cm**.

### Parametričen požar:

Potrebovala sva naslednje podatke:

- projektno gostoto požarne obtežbe  $q_{f,d}$ ,
- pretvorni faktor  $k_b$ ,
- faktor prezračevanja  $w_f$ ,
- korekcijski faktor za material nosilnega prečnega prereza  $k_c$ ,
- razmerje med površino navpičnih odprtin v fasadi ( $A_v$ ) in površino tal sektorja ( $A_f$ )  $\alpha_v$ ,
- višino požarnega sektorja  $H$ ,
- faktor odprtin  $O$

#### 1. NEIZOLIRAN NOSILEC:

##### Rezultat najinega izračuna:

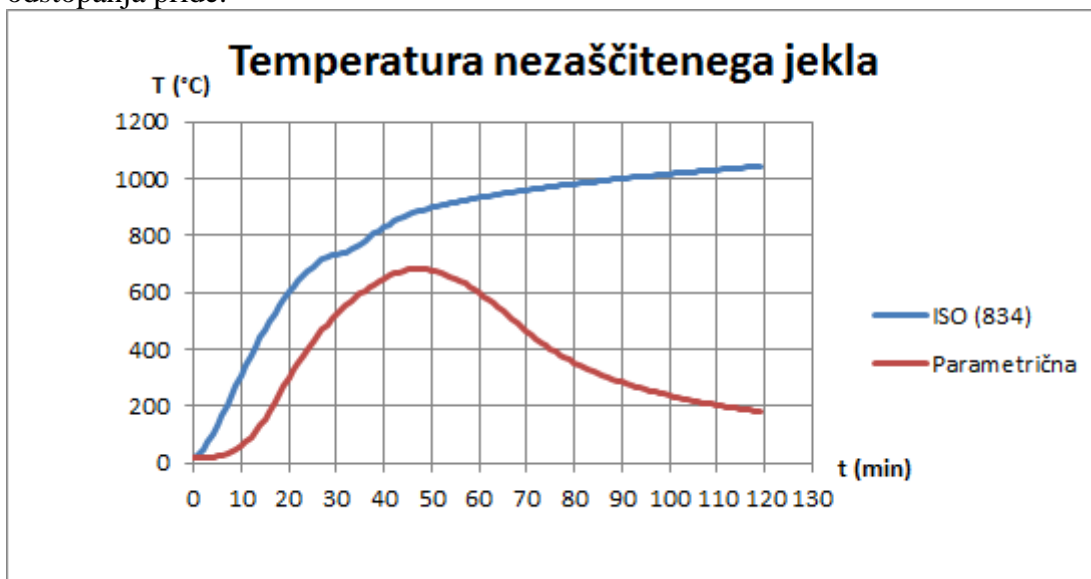
S podatki požara, ki sva ga izračunala v Vaji 1, sva določila enakovreden čas izpostavljenosti standardnemu požaru  $t_{e,d} = 10,93 \text{ min}$ . S pomočjo preglednice I-1 (razvoj temperature nezaščiteneh jeklenih elementov za različne vrednosti faktorja  $A_m^*/V$ ), sva za faktor  $A_m^*/V = 71 \text{ m}^{-1}$ , izračunala maksimalno temperaturo, ki jo doseže nosilec in sicer:

$$T = 341,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Torej vidimo, da po tem načinu reševanja nosilec sploh ne potrebuje dodatne toplotne zaščite, saj do kritične temperature sploh ne pride ( $T_{crit.} = 686,25^\circ\text{C}$ ). Meniva, da ta način reševanja ni najboljši za izračun temperatur nezaščitene nosilca.

##### Izračun v Excelu:

Krivulje temperature nezaščitene jekla sva kopirala v Excel in primerjala do kolikšnega odstopanja pride.



Ugotovila sva, da temperatura pri parametričnem požaru doseže  $683^\circ\text{C}$ , torej do kritične temperature res ne pride, je pa izračunana temperatura po konceptu maksimalne temperature  $t_{e,d}$  zagotovo napačna. Če zdaj preslikamo čas na standardno krivuljo vidimo, da bi moral  $t_{e,d}$  znašati približno  $25 \text{ min}$ , kar bi nam dalo bolj natančen rezultat maksimalne temperature. Meniva, da na čas  $t_{e,d}$  precej vpliva faktor odprtin  $O$ , ki je v najin primeru blizu spodnji omejitvi ( $0,02$ ), saj namreč znaša  $0,0225 \text{ m}^{1/2}$ .



## 2. IZOLIRAN NOSILEC:

### Rezultat najinega izračuna:

Izračunala sva tudi razvoj temperatur v zaščitenem nosilcu. Faktor  $k_p$  znaša **977,78**. Najprej sva izračunala vrednosti za dejansko vrednost  $k_b = 0,055$  in sicer:

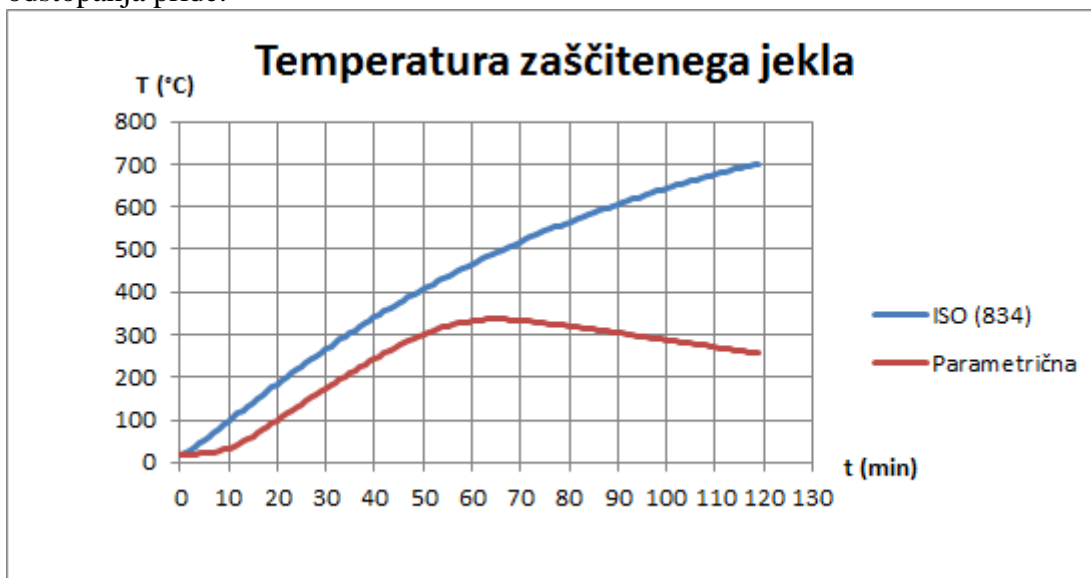
$$t_{e,d} = 35,46 \text{ min}$$
$$T = 308,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nato pa sva izračunala vrednosti še za vrednost  $k_b = 0,07$ , ki naj bi bil bolj na varni strani:

$$t_{e,d} = 45,13 \text{ min}$$
$$T = 375,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### Izračun v Excelu:

Krivulje temperature zaščitenega jekla sva kopirala v Excel in primerjala do kolikšnega odstopanja pride.



Ugotovila sva da temperatura pri parametričnem požaru doseže **336°C** in da  $t_{e,d}$  znaša okoli **40 min**, kar je ravno vrednost med obema izračunoma, torej vidimo, da so vrednosti za  $k_b = 0,07$  res bolj na varni strani.

Meniva, da je koncept maksimalne temperature dosti bolj natančen pri zaščitenih elementih, a tudi tu ne preveč in je za izračun bolje vzeti kar vrednost  $k_b = 0,07$ !

## VAJA 3: Požarna odpornost jeklenega lepljenega nosilca

Pri tej vaji sva obravnavala prostoležeči nosilec dolžine  $L$  ter prečenega prereza  $b/h$ . Nosilec je lepljen iz mehkega lesa z gostoto  $350 \text{ kg/m}^3$ . Nosilec je izpostavljen standardnemu požaru iz treh strani ter obtežen z zvezno projektno  $q_{fi,d}$ . Poleg tega je nosilec bočno podprt. Določiti sva morala požarno odpornost nosilca z metodo efektivnega prečnega prereza ter metodo zmanjšanih materialnih karakteristik. Odpornost nosilca sva izračunala za vsakih 10 minut ter izrisala graf odpornost nosilca v odvisnosti od časa trajanja požara. Na grafu sva izrisala tudi obremenitev v požarnem projektnejem stanju.

Les je GL28h:  $f_{m,k}=2,8 \text{ kN/cm}^2$ .

Podatki, ki sva jih potrebovala pri izračunu so naslednji:

- dolžina nosilca  $L$ ,
- prečni prerez nosilca,
- gostota lesa,
- zvezna projektna požarna obtežba  $q_{fi,d}$ .

### Metoda efektivnega prečnega prereza

Rezultat najinega izračuna:

Za projektno obremenitev v požarnem stanju sva dobila rezultat  $M_{Ed,fi} = 64000 \text{ kNcm}$ . Po metodi efektivnega prečnega prereza sva nato izračunala vrednosti projektne odpornosti v požarnem stanju za časovne intervale po 10 min. Čas kjer pride do porušitve sva dobila med 80 in 90 min. Z interpolacijo sva nato določila kritični čas.

$$t_{crit} = 84,98 \text{ min}$$

Torej nosilec spada v nosilnostni razred **R60!**

Izračun v Excelu:

75	5.25	1	5.95	8.1	134.05	24258.6934	3.22	78112.99
80	5.6	1	6.3	7.4	133.7	22046.6843	3.22	70990.32
85	5.95	1	6.65	6.7	133.35	19856.8151	3.22	63938.94
90	6.3	1	7	6	133	17689	3.22	56958.58

Vidimo, da do porušitve res pride nekje pri času **85 min**.

### Metoda zmanjšanih materialnih karakteristik:

#### Rezultat najinega izračuna:

Tu je bil postopek dela podoben, le da sva računala po metodi zmanjšanih materialnih karakteristik, ki je bolj točna od zgornje in s tem tudi manj na varni strani. Za kritični čas sva dobila vrednost med 80 in 90 minut, ter ga s pomočjo interpolacije natančno določila.

$$t_{\text{crit}} = 87,93\text{min}$$

Nosilec še vedno "pade" v razred nosilnosti **R60!**

#### Izračun v Excelu:

80	5.6	8.8	134.4	26492.928	2.776	0.118272	0.882643	2.842112	75295.86
85	5.95	8.1	134.05	24258.6934	2.762	0.1085805	0.872813	2.810459	68178.06
90	6.3	7.4	133.7	22046.6843	2.748	0.098938	0.861125	2.772823	61131.55
95	6.65	6.7	133.35	19856.8151	2.734	0.0893445	0.846997	2.727329	54156.08

Vidimo, da do porušitve res pride nekje pri času **87 min** in da je ta metoda dejansko manj na varni strani.

## ZAKLJUČEK:

V splošnem nama je bil seminar zelo všeč, saj sva z njim sproti spremljala snov predmeta Požarna odpornost konstrukcij, kar nama je pomagalo predvsem pri razumevanju predmeta. Hkrati pa sva ugotovila, da je sama snov zelo kompleksna in še ne v celoti raziskana, kar nama je povzročalo veliko preglavic pri računanju, saj so rezultati ponekod precej odstopajoči.

Na koncu sva preverila še kakšen vpliv na požar ima povečanje odprtin v prostoru in ugotovila, da s povečanjem odprtin pride predvsem do krajšega požara, temperature pa do neke meje s povečevanjem odprtin strmo naraščajo, pri neki meji pa začnejo počasi upadati. Torej ne velja, da večje kot so odprtine večjo temperaturo doseže požar.

Ugotavljala sva še kakšen vpliv ima poenostavljena enačba za račun spremembe temperature jekla

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p A_p}{d_p V} \frac{(\theta_{g,t} - \theta_{a,t})}{c_a \rho_a} \Delta t.$$

na končno rešitev in ugotovila, da z zanemarjanjem specifične toplote materiala za požarno zaščito ne vplivamo veliko na končno rešitev, saj gre le za odstopanje  $\pm 4$  min.