



Banja Luka 03.03.2020  
II dio LLL kursa

# Knowledge **FOR** Resilient **soCiEtY**

KURS CJELOŽIVOTNOG UČENJA  
PROTIVPOŽARNE GRAĐEVINSKE MJERE

**PROJEKTOVANJE ČELIČNIH KONSTRUKCIJA  
NA DEJSTVO POŽARA**

**Mladen Slijepčević**

Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



*The European Commission support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents which reflects the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.*

Pod pojmom **požar** se podrazumijeva nekontrolisano gorenje čijim se širenjem ugrožavaju materijalne vrijednosti i ljudski životi. Dejstvo požara je stihijsko i zavisi od velikog broja parametara.

Potreba za istraživanjem ponašanja konstrukcija u požaru i iznalaženjem najbolje zaštite od požara je velika, na šta ukazuje stalno uvećanje broja i štetnih posledica od požara u inostranstvu. U svetu u požarima godišnje strada **2-6% stambenih zgrada, 40 000 - 50 000 ljudi** izgubi život i nastanu ogromne materijalne štete.

Primjenom savremenih metoda i u oblasti čeličnih konstrukcija mogu se postići vrlo strogi zahtevi u pogledu požarne otpornosti, uz smanjenje učešća zaštite od požara u ukupnoj cijeni objekta.



Primjenom savremenih metoda i u oblasti čeličnih konstrukcija mogu se postići vrlo strogi zahtjevi u pogledu požarne otpornosti, uz smanjenje učešća zaštite od požara u ukupnoj cijeni objekta.

Osnovni cilj bezbjednosti od požara je smanjenje rizika od gubitka ljudskih života i materijalnih dobara, naravno sa najvećom pažnjom usmjerenoj ka sigurnosti ljudi.

Dobar i prikladan koncept sigurnosti od požara podrazumeva primjenu kako sistema **aktivne zaštite** (npr. rano otkrivanje požara, gašenje požara i sl.), tako i **sistema pasivne zaštite** (npr. obezbjeđenje zahtjevanе požarne otpornosti konstrukcije, pregrađivanje objekta na posebne požarne sektore itd.).





*Slika 1 - Primjeri posledica požara čeličnih konstrukcija*

Pri određivanju vjerovatnoće pojave požara treba voditi računa o:

- **djelatnosti** koja se obavlja u objektu i sadržini zapaljivih materijala,
- **vrsti objekta** (npr. veće dimen. požarnih sektora povećavaju rizik),
- **aktivnoj prevenciji požara** (npr. postojanje detektora dima i sistema automatskih raspršivača vode smanjuje verovatnoću pojave požara).

**Požarna otpornost građevinske konstrukcije**, ili dela konstrukcije, definiše se kao vremenski period tokom koga ona ispunjava postavljene funkcionalne zahtjeve.

Ti zahtevi mogu se postaviti u pogledu:

- **funkcije nosivosti** (element nosi opterećenje),
- **funkcije celovitosti** (element ne dozvoljava prolaz požaru) i
- **funkcije izolacije** (element usporava širenje toplote provođenjem).





Dostizanje ***graničnog stanja pri dejstvu požara*** zapravo predstavlja trenutak kada konstrukcija ili njen element više ne zadovoljava jednu od nevedene tri funkcije, što je posledica pada mehaničkih svojstava materijala ugrađenih u elemente konstrukcije.

***Dokazivanje otpornosti konstrukcije***, odnosno elementa konstrukcije pri dejstvu požara može se predstaviti kao:

$$t_z \leq t_u$$

$t_z$  – zahtjevano vrijeme požarne otpornosti  
(klasa požarne otpornosti)

$t_u$  – utvrđeno vrijeme požarne otpornosti  
(eksperimentalno, analitički ili empirijskim formulama)



Zahtjevana požarna otpornost za nosive elemente konstrukcije definisana u propisima većine zemalja predstavljena je u jedinicama vremena (1/2,...,3h i više) i predstavlja **propisano minimalno vrijeme u kome konstrukcija ili njen element ne smije dostići granično stanje, u uslovima standardnog požara.**

Prema veličini zahtjevane požarne otpornosti, konstrukcije, odnosno elementi konstrukcija, svrstavaju se u odgov. klase požarne otpornosti (F30,...,F180).

| Klasa požarne otpornosti | Trajanje otpornosti prema požaru (min) | Oznaka                 |
|--------------------------|--|------------------------|
| R 30                     | $\geq 30$                              | Zadržava požar         |
| R 60                     | $\geq 60$                              | Otporan na požar       |
| R 90                     | $\geq 90$                              |                        |
| R 120                    | $\geq 120$                             | Visokootporan na požar |
| R 180                    | $\geq 180$                             |                        |



*Tabela 1 - Klase požarne otpornosti*

| Vrsta građevinske konstrukcije      | Jugoslavenski standard za ispitivanje otpornosti prema požaru | Položaj                  | Stepen otpornosti prema požaru [h]<br>za standardne tipove konstrukcije |                |                   |                |                  |
|-------------------------------------|---|--------------------------|---|----------------|-------------------|----------------|------------------|
|                                     |   |                          | I   | II             | III               | IV             | V                |
|                                     |   |                          | bez otpornosti  | mala otpornost | srednja otpornost | veća otpornost | velika otpornost |
| Nosivi zidovi                       | U.J1.090  | Unutar požarnog sektora  | -   | 1/2            | 1,0               | 2,0            | 3,0              |
| Nosivi stubovi                      | U.J1.100  |                          | -   | 1/2            | 1,0               | 2,0            | 3,0              |
| Nosive grede                        | U.J1.114  |                          | -   | 1/4            | 1/2               | 1,0            | 2,0              |
| Međuspratne konstrukcije            | U.J1.114  |                          | -   | 1/4            | 1/2               | 1,0            | 2,0              |
| Krovni pokrivač                     | U.J1.140  |                          | -   | 1/4            | 1/2               | 3/4            | 1,0              |
| Nenosivi pregradni i fasadni zidovi | U.J1.090  |                          | -   | 1/4            | 1/4               | 1/4            | 1/4              |
| Konstrukcija evakuacionog puta      |   |                          | 1/4   | 1/2            | 1,0               | 2,0            | 3,0              |
| Zidovi                              | U.J1.090  | Granica požarnog sektora | 1,0   | 1,0            | 1,5               | 2,0            | 3,0              |
| Međuspratne konstrukcije            | U.J1.110  |                          | 1/2   | 1/2            | 1,0               | 1,5            | 2,0              |
| Otvori                              | U.J1.160  |                          | 1/2   | 1/2            | 1,0               | 1,0            | 1,5              |

Tabela 2 - Tipovi konstrukcija prema unutrašnjoj otpornosti prema požaru

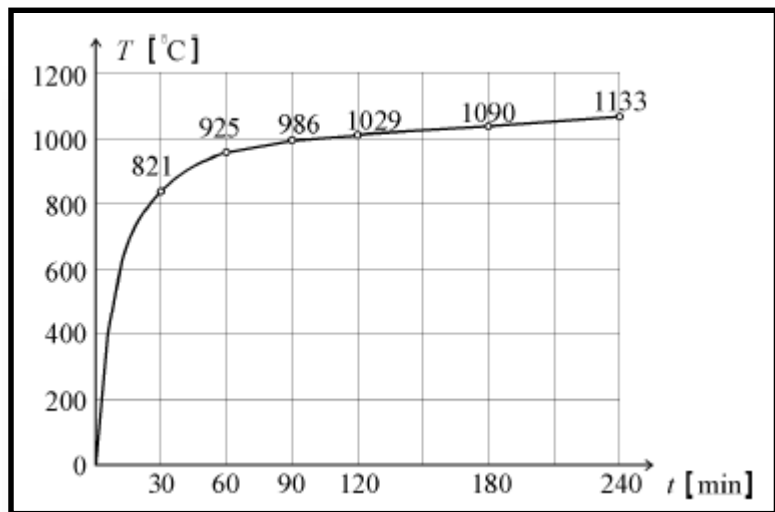




Požar predstavlja nekontrolisanu pojavu, zavisnu od velikog broja parametara. Stoga i standardizacija modeliranja dejstva požara nije ni najmanje jednostavan poduhvat.

Zavisnost temperature vazduha u požarnom prostoru od vremena trajanja standardnog požara, definisana je **standardnom krivom**:

$$T - T_0 = 345 \cdot \log_{10}(8t + 1)$$



t vrijeme [min],  
T temp. peći u t [°C],  
T<sub>0</sub> temp. peći u t = 0 [°C],



Slika 2 - Standardna požarna kriva

**Evrokodom 1: Osnove proračuna i dejstva na konstrukcije - Deo 1-2: Dejstva na konstrukcije izložene požaru**, definisane su **Nominalne požarne krive**, tri različite konvencionalne krive zagrevanja u požarnim uslovima, koje su usvojene za klasifikaciju i verifikaciju požarne otpornosti primenom analitičkih postupaka proračuna.

**Standardna požarna kriva** prema standardu ISO-834:

$$\Theta_g = 345 \cdot \log_{10}(8t+1) + 20$$

**Eksterna požarna kriva:**

$$\Theta_g = 660 \cdot (1 - 0,687 \cdot e^{-0,32t} - 0,313 \cdot e^{-3,8t}) + 20$$

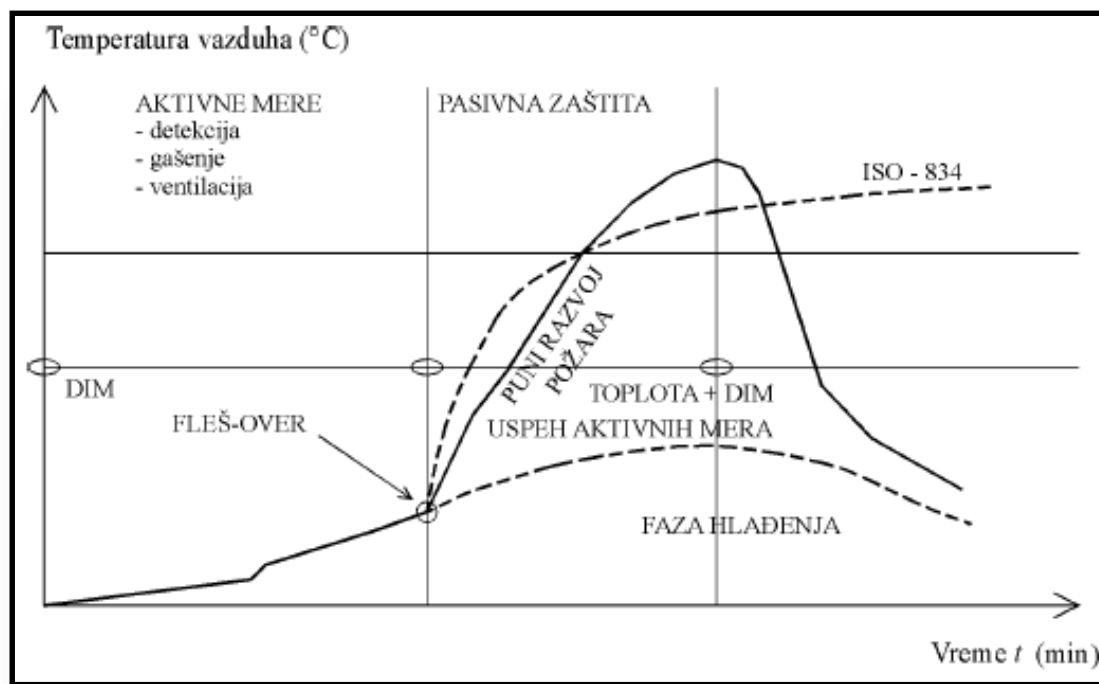
**Hidrokarbonska požarna kriva:**

$$\Theta_g = 1080 \cdot (1 - 0,325 \cdot e^{-167t} - 0,675 \cdot e^{-2,5t}) + 20$$

t vrijeme [min],

$\Theta_g$  temperatura vazduha u požarnom sektoru [°C]





Slika 3 – Prikaz razvoja stvarnog požara

**Požarno opterećenje  $Q$**  definiše se kao ukupna količina energije oslobođena sagorjevanjem svih zapaljivih materija u požarnom prostoru. To podrazumeva kako sadržaje objekta, tako i elemente konstrukcije.

**Specifično požarno opterećenje  $q$**  predstavlja požarno opterećenje po jedinici površine. U zavisnosti od karakteristične referentne površine razlikujemo:

$q_{f,k}$  specifično požarno opterećenje u odnosu na površinu osnove požarnog sektora  $A_f$ ,

$q_{t,k}$  specifično požarno opterećenje u odnosu na obimnu površinu požarnog sektora  $A_f$  koja uključuje površinu svih otvora

**Karakteristična vrednost požarnog opterećenja  $Q_{fi,k}$  defin. je kao:**

$$Q_{fi,k} = M_{k,i} \cdot H_{ui} \cdot m_i \cdot \psi_i = \sum Q_{fi,k,i} \text{ [MJ]}$$

$M_{k,i}$  količina zapaljivog materijala [kg]

$H_{ui}$  neto kalorična vrijednost (toplotna moć) zapaljivog materijala [MJ]

$m_i$  faktor koji opisuje osobinu sagorevanja, za pretežno celulozne materijale može se usvojiti konzervativna vrijednost 1,0

$\psi_i$  faktor procjene zaštićenih požarnih opterećenja, uzima vrijednosti od 0,0 do 1,0.



Uticaj vlažnosti materijala na toplotnu moć može se uzeti u obzir na sledeći način:

$$H_u = H_{u0} (1 - 0,01 \cdot u) - 0,025 \cdot u$$

$u$  procentualni sadržaj vlage

$H_{u0}$  kalorična vrijednost suvog materijala

Karakteristična vrednost **specifičnog požarnog opterećenja**  $q_k$  definisana je kao:

$$q_k = Q_{fi,k} / A \text{ [MJ/m}^2\text{]}$$

| Tip požarnog sektora |                 | Specifično požarno opterećenje $q_{fi,k}$ [MJ/m <sup>2</sup> ] |
|----------------------|-----------------|--|
| STANOVI:             | Spavaće sobe    | 630  |
|                      | Dnevne sobe     | 510  |
| KANCELARIJE:         | Tehničke        | 720  |
|                      | Administrativne | 640  |
| ŠKOLE:               | Osnovne         | 370  |
|                      | Srednje         | 400  |
| HOTELI:              | Sobe            | 80   |
| BOLNICE:             | Sobe            | 420  |

Tabela 3 - Karakteristične vrednosti specifičnog požarnog opterećenja prema ECCS-u





Za vreme trajanja požara, brzina porasta temperature zavisi od količine kiseonika raspoloživog za sagorjevanje i od rasipanja energije kroz zidove i otvore. Uticaj ovih faktora (uslova ventilacije) uzima se u obzir preko **faktora otvora O**:

$$O = A_v \cdot h^{1/2} / A_t$$

O faktor otvora sa ograničenjem  $0,02 \leq O \leq 0,2$  [m<sup>1/2</sup>]

A<sub>v</sub> ukupna površina otvora [m<sup>2</sup>]

A<sub>t</sub> ukupna unutrašnja obimna površina požarnog sektora [m<sup>2</sup>], uključujući sve otvore,

h srednja visina vertikalnih otvora [m].

Na osnovu vrednosti ovog faktora, za požarne sektore manje površine osnove (A<sub>f</sub> < 100 m<sup>2</sup>), bez otvora u krovu, može se odrediti **faktor ventilacije w<sub>f</sub>**

$$w_f = A_f / (A_t \cdot O^{1/2})$$

Za sve ostale slučajeve, u obzir se uzima uticaj kako vertikalnih, tako i horizontalnih otvora, a faktor ventilacije se dobija na osnovu sledećeg izraza:

$$w_f = (6.0/H)^{0.3} [0,62 + 90(0,4 - \alpha_v)^4 / (1 + b_v \cdot \alpha_h)] \geq 0,5$$



$\alpha_v = A_v/A_f$  odnos površine vertikalnih otvora u obimnim zidovima i površine osnove požarnog sektora, u granicama  $0,025 \leq \alpha_v \leq 0,25$ ,

$\alpha_h = A_h/A_f$  odnos površine horizontalnih otvora u krovu i površine osnove požarnog sektora,

$b_v = 12,5(1 + 10\alpha_v - \alpha_v^2) \geq 10,0$ ,

H visina požarnog sektora [m].

Još jedan od faktora od kojih zavisi razvoj požara predstavljaju i termička svojstva materijala ugrađenog u obimne površine požarnog sektora. Osnovna veličina kojom se opisuju i kombinuju ova svojstva je **veličina toplotne inercije b**:

$$b = \lambda \cdot \rho \cdot c \text{ [J/m}^2\text{s}^{1/2}\text{K]}$$

$\lambda$  toplotna provodljivost [W/mK],

$\rho \cdot c$  toplotni kapacitet u [J/m<sup>3</sup>K], gde je  $\rho$  gustina u [kg/m<sup>3</sup>] a  $c$  specifična toplota materijala u [J/kgK].



U slučaju kada se materijal ugrađen u obimne površine sastoji iz više različitih slojeva, toplotna inercija definiše se izrazom:

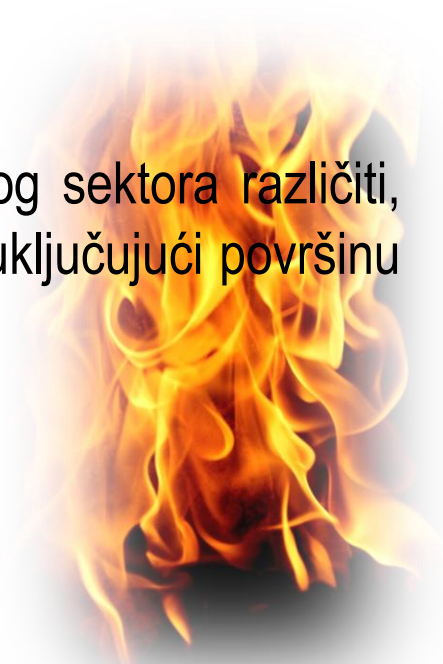
$$b = \frac{\sqrt{\sum s_i \cdot c_i \cdot \lambda_i}}{\sqrt{\sum (s_i \cdot c_i \cdot \lambda_i / b_i^2)}}$$

$s_i$  debljina sloja  $i$ , a

$c_i, \lambda_i, b_i$  termalna svojstva sloja  $i$ .

Ukoliko su materijali ugrađeni u zidove, pod i plafon požarnog sektora različiti, uvodi se modifikacija toplotne inercije prema površinama  $A_{tj}$  (uključujući površinu otvora) sa odgovarajućom vrednošću toplotne inercije  $b_j$

$$b = \frac{\sum b_j \cdot A_{tj}}{\sum A_{tj}}$$



Još jedan način za modeliranje izloženosti dejstvu požara osim preko nominalnih požarnih krivih, definisan u ***Evrokodu 1 Dio 2-2***, predstavlja ***parametarski model***, kod kog se zavisnost temperature i vremena predstavlja pomoću parametarskih požarnih krivih.

Parametarska kriva za fazu zagrijavanja definiše se kao:

$$\Theta_g = 1325 \cdot (1 - 0,324 \cdot e^{-0,2t^*} - 0,204 \cdot e^{-1,7t^*} - 0,472 \cdot e^{-19t^*})$$
$$(t^* = t \cdot \Gamma)$$

$\Theta_g$  temperatura u požarnom prostoru [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t$  vrijeme [h]

$\Gamma = O / b^2 / (0,04 / 1160)^2$  [-]

$O$  faktor otvora [ $\text{m}^{1/2}$ ]

$B$  toplotna inercija [ $\text{J}/\text{m}^2\text{s}^{1/2}\text{K}$ ]

Ekvivalentno vreme trajanje požara te je period vremena tokom koga se isti efekti požara indikovani zagrijavanjem, deformisanjem ili lomom, ostvare u strukturnoj komponenti pri uslovima standardnog i stvarnog požara.



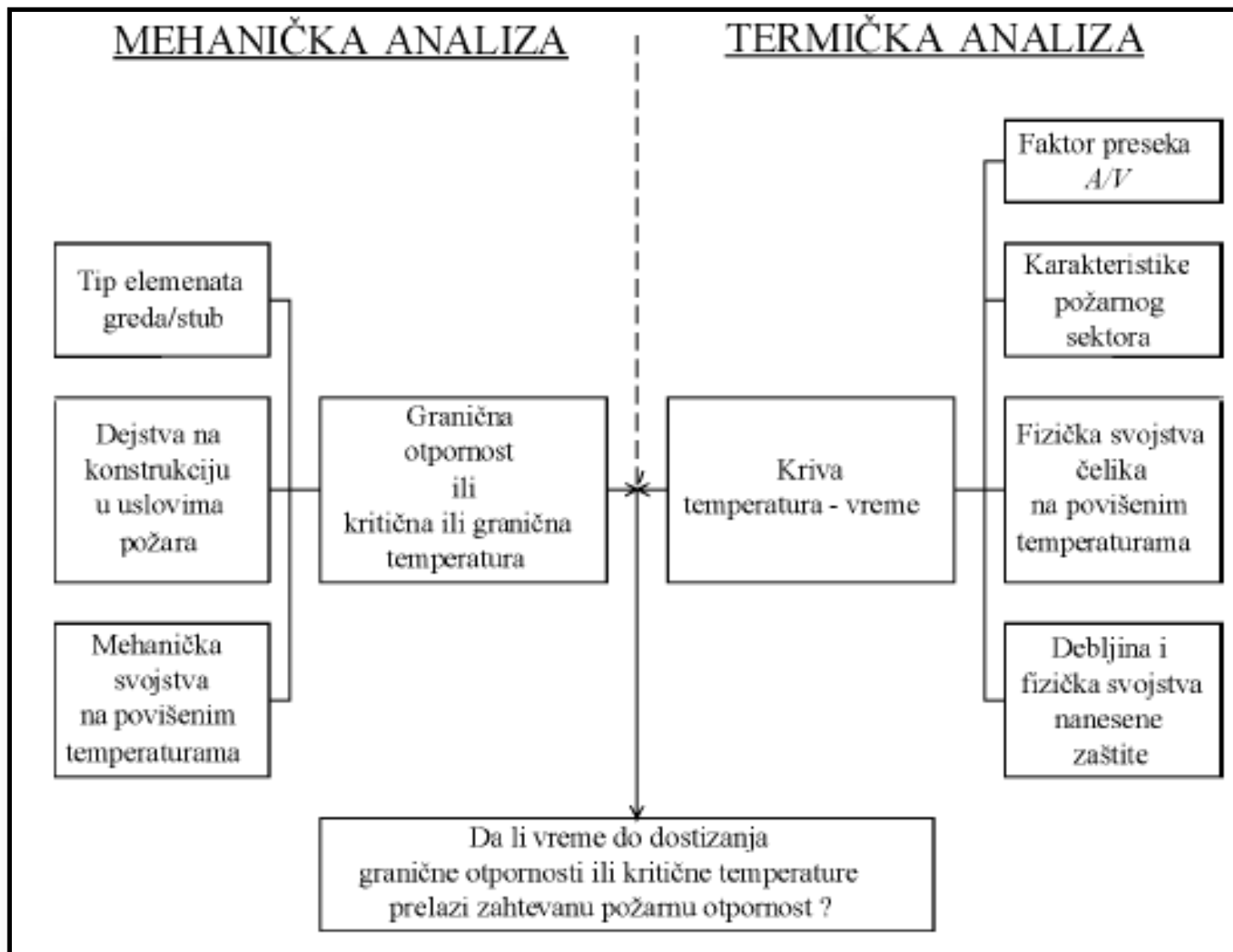
U većini zemalja za predviđanje požarne otpornosti tehničkom regulativom su predviđena eksperimentalna ispitivanja. Međutim, kao posljedica niza pomenutih nedostataka ovakvog načina procjenjivanja trajnosti konstrukcija pri dejstvu požara, javila se potreba za definisanjem **analitičkih metoda za njeno utvrđivanje**.

Primjenom savremenog pristupa projektovanju konstrukcija za dejstvo požara, koji podrazumijeva primjenu analitičkih postupaka za određivanje požarne otpornosti, u proračunu se uzima u obzir **promjena mehaničkih svojstava čelika usled povećanja temperature**, odnosno požar se tretira kao **izuzetno dejstvo** koje konstrukcija može da podnese u potrebnom periodu vremena.

Proračun požarne otpornosti čeličnih konstrukcija se sastoji iz **termičkog problema** sa jedne i **mehaničkog problema** sa druge strane.







Slika 4 – Analitički proračun zasnovan na konceptu kritične ili granične temperature.

# PRORAČUN POŽARNE OTPORNOSTI PREMA EVROKODU

| Granični kriterijum                                    | Model izloženosti požaru  |
|--|---|
| U domenu nosivosti:<br>$E_{fi,d} \leq R_{fi,d,t}$      | Mogu se primeniti bilo u vezi sa modelom standardne izloženosti požaru, bilo u vezi sa nekim od modela kojim se opisuju uslovi realnog požara, a koji su u okviru evropske tehničke regulative definisani prema ENV 1991-2-2. |
| U domenu temperature:<br>$\Theta_d \leq \Theta_{cr,d}$ |   |
| U domenu vremena:<br>$t_{fi,requ} \leq t_{fi,d}$       |   |
| $R_{fi,d,t}$   | proračunska vrednost granične nosivosti (otpornosti) u uslovima požara  |
| $E_{fi,d}$   | proračunska vrednost odgovarajućih uticaja od dejstava u uslovima požara  |
| $\Theta_d$   | proračunska vrednost temperature konstrukcije ili njenog elementa   |
| $\Theta_{cr,d}$  | proračunska vrednost kritične temperature konstrukcije ili njenog elementa  |
| $t_{fi,d}$   | proračunska vrednost požarne otpornosti   |
| $t_{fi,requ}$  | zahtevana vrednost požarne otpornosti propisana tehničkom regulativom, ili sračunata prema modelu ekvivalentnog vremena trajanja požara   |

Tabela 4 – Granični kriterijumi proračuna požarne otpornosti.

Predviđena su tri moguća načina vršenja strukturne analize za uslove požara:

- globalna strukturna analiza,
- analiza dijelova konstrukcije tj. skupova konstruktivnih elemenata i
- analiza pojedinih elemenata konstrukcije.

$$E_{fi,d} = \eta_{fi} \cdot E_d$$

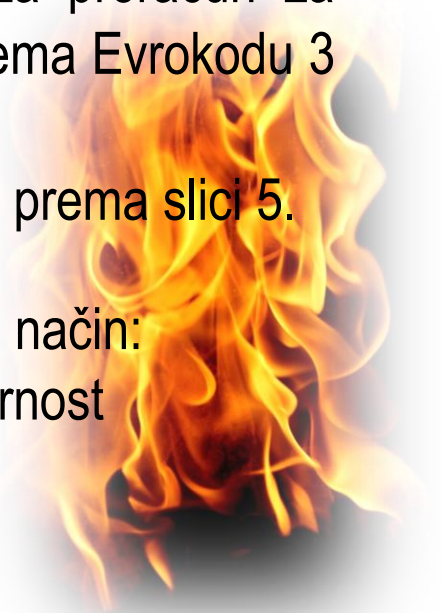
$E_d$  proračunska vrednost odgovarajuće sile ili momenta za proračun za sobnu temperaturu, za osnovnu kombinaciju dejstava prema Evrokodu 3 Dio 1-1

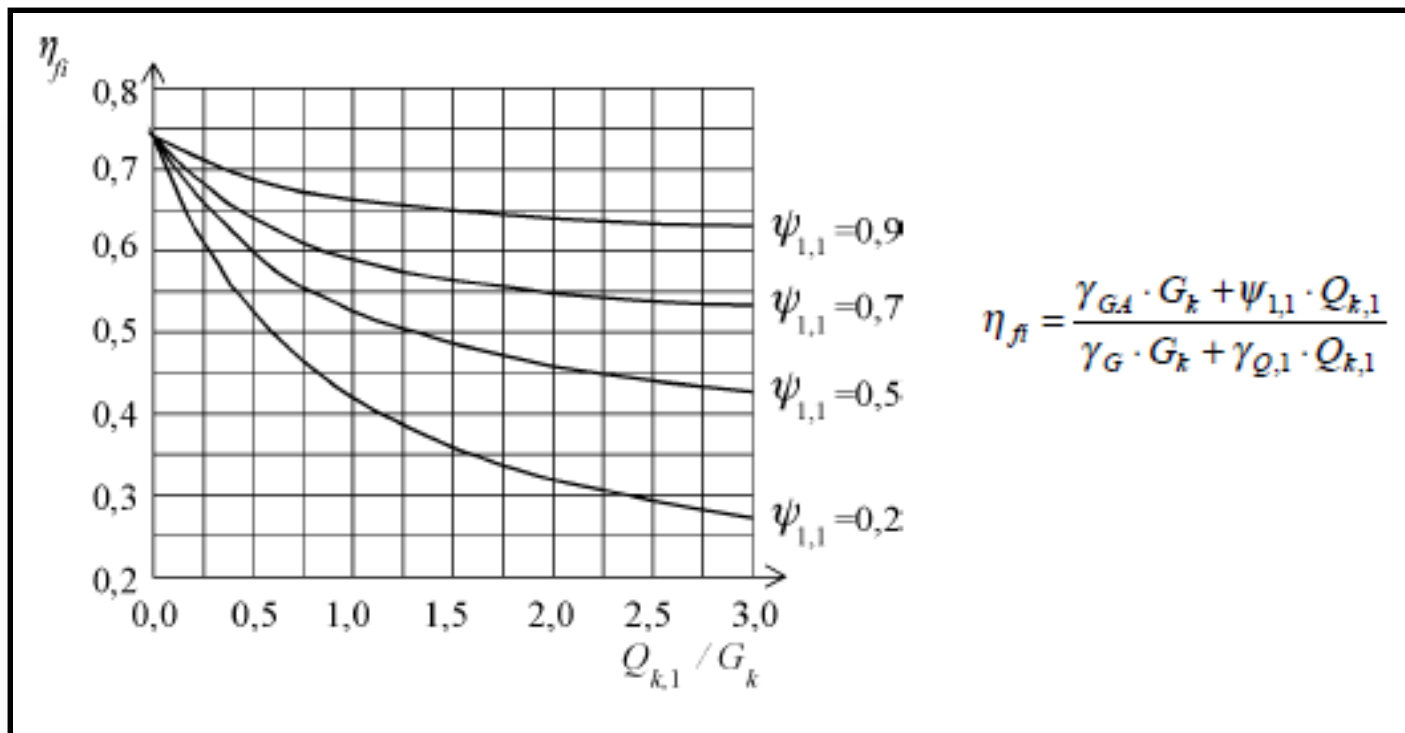
$\eta_{fi}$  redukциони factor za računski nivo opterećenja pri požaru, prema slici 5.

Termička svojstva za termičku analizu određuju se na sledeći način:

- ukoliko povećanje vrednosti svojstva povoljno utiče na sigurnost

$$X_{fi,d} = X_{k,\theta} / \gamma_{M,fi}$$





Slika 5 – Vrednosti koeficijenta  $\eta_{fi}$  za  $\gamma_{GA}=1,0$ ,  $\gamma_G=1,35$  i  $\gamma_Q=1,5$ .

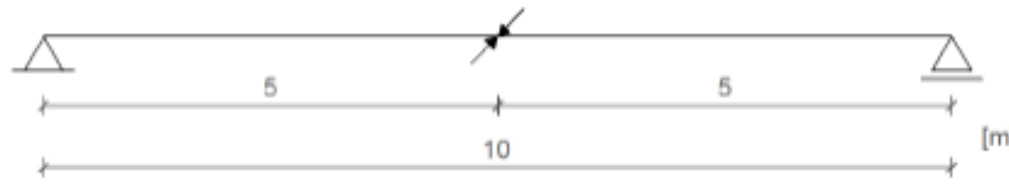
Prilikom klasifikacije poprečnih oresjeka mora se uzeti faktor redukcija **0,85**

$$\varepsilon = 0.85 \cdot \sqrt{235 / fy}$$

Kao primjer proračuna uzeće se jedan nosač sistema proste grede i na osnovu njegovih mehaničkih karakteristika i dimenzionisanja prema graničnom stanju nosivosti, izvršiće se proračun grede na dejstvo požara, odnosno provjera požarne otpornosti izražena u već pomenutim kriterijumima R30 – R180.

## Dimenzioniranje čelične grede na savijanje – Granično stanje nosivosti

Prosta greda:  $L = 10\text{ m}$ , Bočno pridržana u  $L/2 = 5\text{ m}$ ,  
**Čelik : S275**

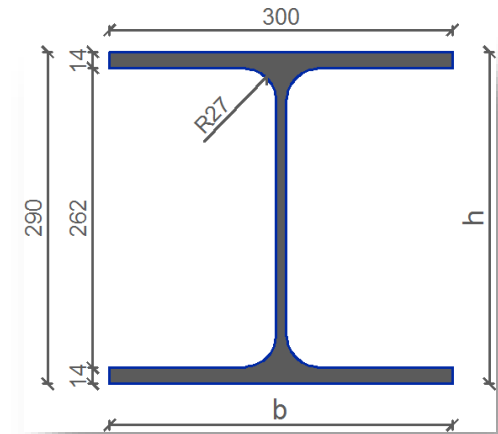
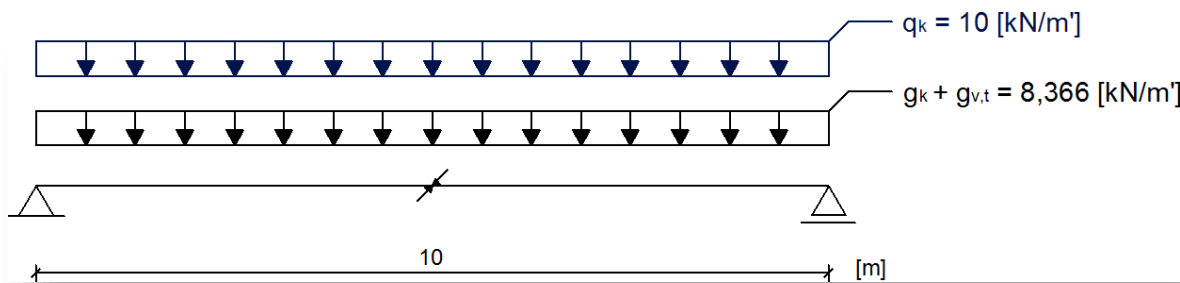


| Vrsta Materijala          |               |         |            |
|---------------------------|---------------|---------|------------|
| Karakteristika materijala | Oznaka        | Iznos   | Jedinica   |
| Module elastičnosti       | $E$           | 210 000 | $[N/mm^2]$ |
| Modul smicanja            | $G$           | 81 000  | $[N/mm^2]$ |
| Zapreminska masa          | $\rho$        | 7 850   | $[kg/m^3]$ |
| ----                      | $\varepsilon$ | 0,92    | ---        |

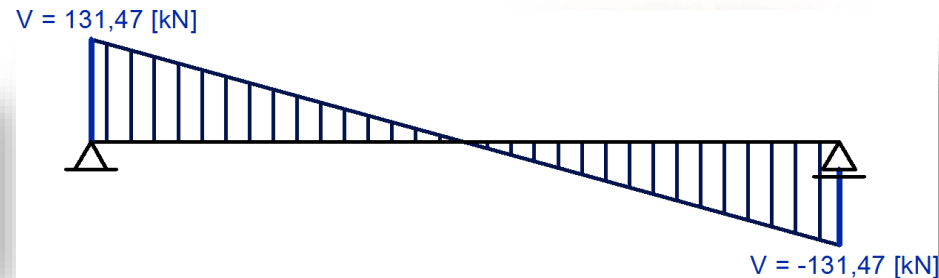
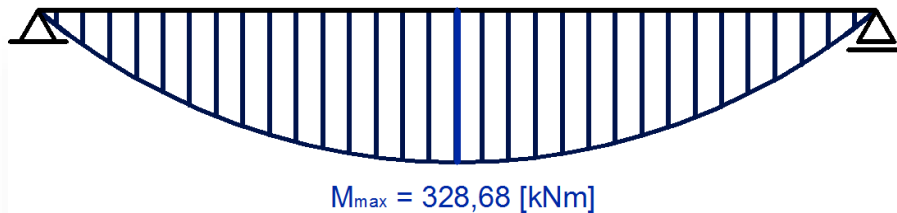




# Vrsta profila: HEA 300



$$q = 1,35 \cdot (g_k + g_{v,t}) + 1,5 \cdot q_k = 26,30 \text{ kN/m}$$



Klasifikacija poprečnog presjeka:

**2 klasa**

*(plastična raspodjela sa ograničenim kapacitetom rotacija plastičnih zgobova.)*



## Dokaz graničnog stanja nosivosti:

$$M_{c,Rd} = W_{pl} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 380,33 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} / M_{Ed} = 0,86 < 1,0 \quad \checkmark$$

$$V_{pl,z,Rd} = A_{v,z} \cdot f_y / (3^{0,5} \cdot \gamma_{M0}) = 591,4 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} / V_{pl,z,Rd} = 0,22 < 1,0 \quad \checkmark$$

Stabilnost rebra na izbočavanje:

$$h_W / t_W \leq 72 \varepsilon / \eta = 30,8 \leq 55,2 \quad \checkmark$$

Interakcija M-V :

$$V_{z,Ed} < 0,5 \cdot V_{z,Rd} \quad \checkmark$$

Bočno torziono izvijanje (na osnovu neispunjenosti uslova  $\lambda_{LT} / \lambda_{LT,0}$  vrši se proračun  $M_{b,Rd}$ ):

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT,mod} \cdot W_{pl} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 343,33 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} / M_{b,Rd} = 0,95 < 1,0 \quad \checkmark$$



## Dokaz graničnog stanja upotrebljivosti:

$$q = 8,37 \text{ kN/m}$$

$$w = 5/384 \cdot q \cdot L^4 / E I_y = 380,33 \text{ kNm}$$

$$w = 2,83 \text{ cm} \leq L / 250 = 4 \text{ cm} \quad \checkmark$$

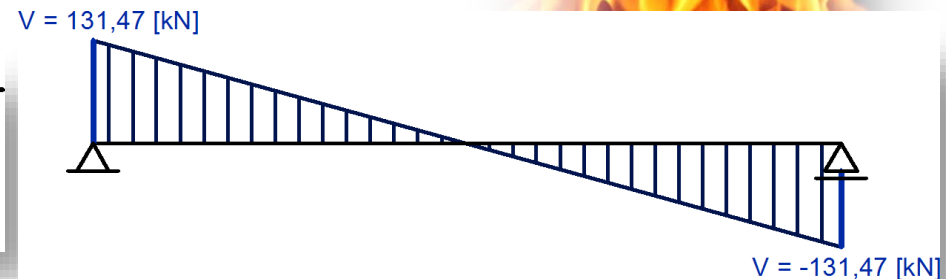
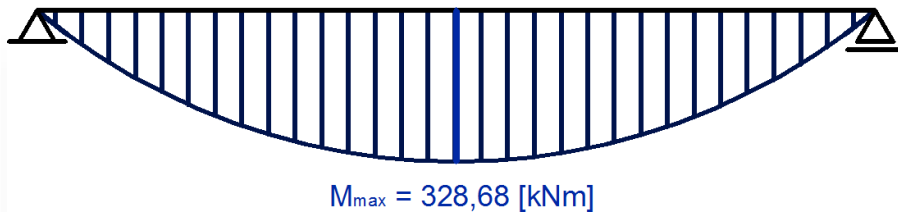
## PRORAČUN ČELIČNE GREDE NA POŽAR:

Proračun je urađen u skladu sa standardnom krivom ISO 834.

Čelična greda izložena je s **3 strane** djelovanju požara.

Čelična greda je nezaštićena.

$$q = 26,30 \text{ kN/m}$$



Parcijalni koeficijenti:

$$Y_{M0} = 1,00 \quad Y_{M,fi} = 1,00$$

Namjena objekta i parcijalni faktori:

| Kategorija           | $\psi_0$ | $\psi_1$ | $\psi_2$ |
|----------------------|----------|----------|----------|
| A – stambena namjena | 0,70     | 0,50     | 0,30     |

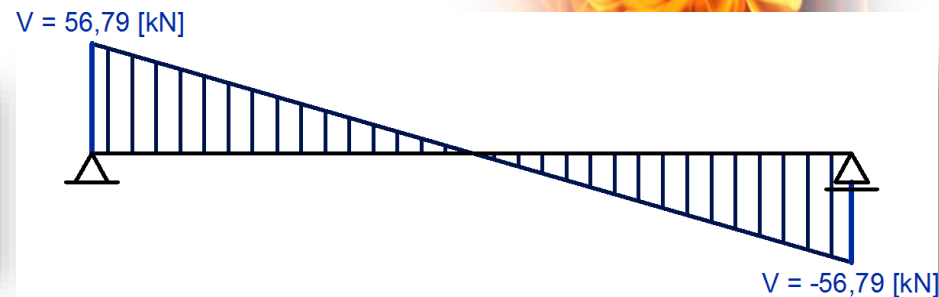
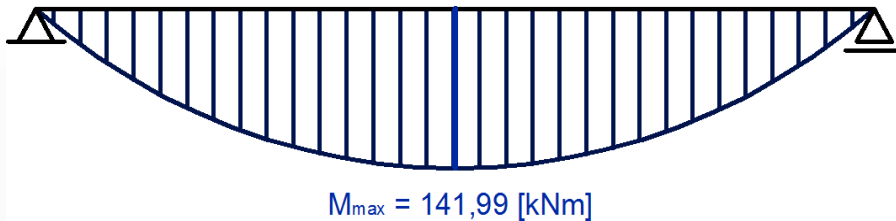
$$\psi_{fi} = \psi_{f2}$$

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot E_d$$

$$\eta_{fi} = (8,37 + 0,3 \cdot 10) / (1,35 \cdot 8,37 + 1,5 \cdot 10) = 0,43$$

$$M_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot M_d = 141,99 \text{ kNm}$$

$$V_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot V_d = 57,69 \text{ kNm}$$



Parcijalni koeficijenti:

$$Y_{M0} = 1,00 \quad Y_{M,fi} = 1,00$$

Namjena objekta i parcijalni faktori:

| Kategorija           | $\psi_0$ | $\psi_1$ | $\psi_2$ |
|----------------------|----------|----------|----------|
| A – stambena namjena | 0,70     | 0,50     | 0,30     |

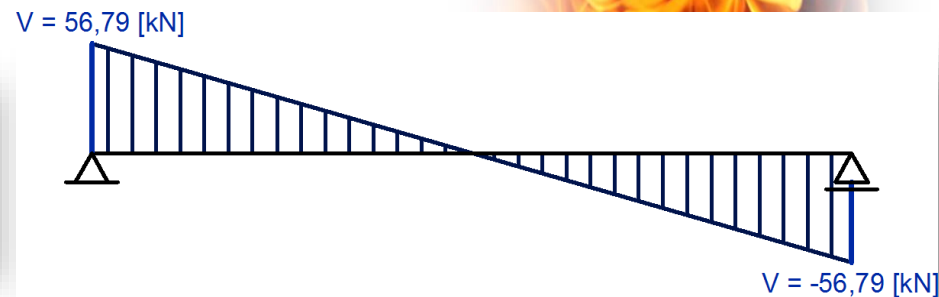
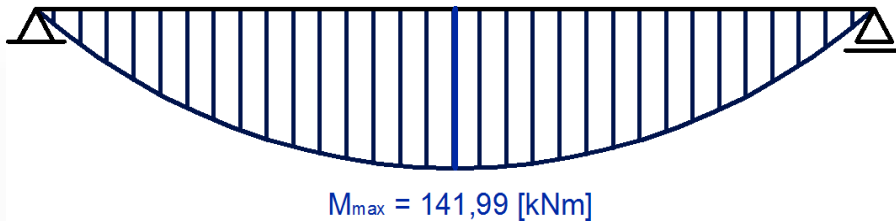
$$\psi_{fi} = \psi_{f2}$$

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot E_d$$

$$\eta_{fi} = (8,37 + 0,3 \cdot 10) / (1,35 \cdot 8,37 + 1,5 \cdot 10) = 0,43$$

$$M_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot M_d = 141,99 \text{ kNm}$$

$$V_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot V_d = 57,69 \text{ kNm}$$





Klasifikacija poprečnog presjeka:

koriste se ista pravila klasifikovanja sa naznakom da je:

$$\varepsilon_{M,fi} = 0,85 \varepsilon$$



**3 klasa**

$$\Theta_{\alpha,cr} = 39,19 \ln (1 / (0,9674 \cdot \mu_0^{3,833})) \quad \mu_0 - \text{stepen iskorištenja}$$

$$\mu_0 = E_{d,fi} / R_{fi,d,0}$$

$R_{fi,d,0}$  – odgovarajuća računaska otpornost čeličnog elementa  
za računsku situaciju požara u vremenu  $t = 0$

$$M_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot M_d = 141,99 \text{ kNm}$$

Za odgovarajuću računsku otpornost čeličnog elementa za računsku situaciju požara u vremenu  $t = 0$  koristi se izraz:

$$R_{fi,d,0} = M_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta} \cdot W_{el,y} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}$$

$k_{y,\theta}$  – faktor smanjenja za efektivnu granicu popuštanja



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



| <b>Faktori smanjenja pri temperaturi <math>\theta a</math> u odnosu na vrijednost <math>f_y</math> ili <math>Ea</math> pri 20°C</b> |  |  |   |
|---|--|--|---|
| <b>Temperatura čelika <math>\theta a</math></b>   | <i>Faktor smanjenja (u odnosu na <math>f_y</math>)</i> | <i>Faktor smanjenja (u odnosu na <math>f_y</math>)</i> | <i>Faktor smanjenja (u odnosu na <math>Ea</math>)</i> |
|   | <i>za efektivnu granicu popuštanja</i>                 | <i>za granicu proporcionalnosti</i>                    | <i>za nagib u linearno elastičnom području</i>        |
|   | $k_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$                      | $k_{p,\theta} = f_{p,\theta}/f_y$                      | $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/Ea$                      |
| 20°C  | 1,000  | 1,000  | 1,000   |
| 100°C   | 1,000  | 1,000  | 1,000   |
| 200°C   | 1,000  | 0,807  | 0,900   |
| 300°C   | 1,000  | 0,613  | 0,800   |
| 400°C   | 1,000  | 0,420  | 0,700   |
| 500°C   | 0,780  | 0,360  | 0,600   |
| 600°C   | 0,470  | 0,180  | 0,310   |
| 700°C   | 0,230  | 0,075  | 0,130   |
| 800°C   | 0,110  | 0,050  | 0,090   |
| 900°C   | 0,060  | 0,0375   | 0,0675  |
| 1000°C  | 0,040  | 0,0250   | 0,0450  |
| 1100°C  | 0,020  | 0,0125   | 0,0225  |
| 1200°C  | 0,000  | 0,0000   | 0,0000  |

**NAPOMENA:**  
*Za međuvrijednosti temperature čelika se može koristiti linearna interpolacija*



Tabela 5: Faktori smanjenja



Za vrijeme  $t = 0$  pretpostavlja se da je temperatura  $\Theta = 20\text{ }^\circ\text{C}$  e je  $k_{y,\Theta} = 1,0$  :

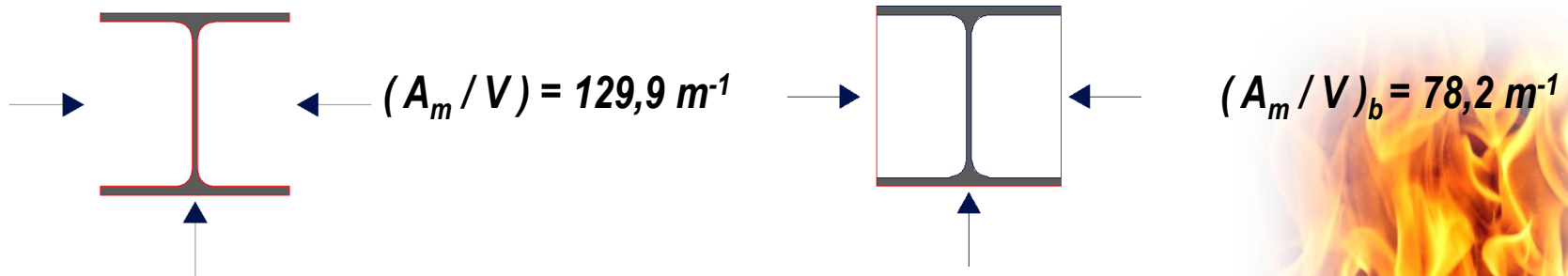
$$R_{fi,d,0} = M_{fi,t,Rd} = 346,50 \text{ kNm}$$

$$\mu_0 = 141,99 / 346,50 = 0,41$$

$$\Theta_{\alpha,cr} = 39,19 \ln (1 / (0,9674 \cdot 0,41^{3,833})) = 616 \text{ }^\circ\text{C}$$

Proračun faktora presjeka ( $A_m / V$ ) jednak je odnosu obima i površine čeličnog profila HEA 300:

Proračun faktora konture presjeka ( $A_m / V$ )<sub>b</sub> jednak je odnosu oobima konture i površine čel. presjeka:



Faktor korekcije:

$$k_{sh} = 0,9 \cdot (A_m / V) / (A_m / V)_b = 0,559$$

Korekcija faktora presjeka ( $A_m / V$ ) :

$$k_{sh} \cdot (A_m / V) = 70,4 \text{ m}^{-1}$$



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



Za vrijeme  $t = 30 \text{ min}$  i  $k_{sh} \cdot (A_m / V) = 70,4 \text{ m}^{-1}$  linearnom interpolacijom se dobija je temperatura čelika :

$$\Theta_\alpha = 732,96 \text{ }^\circ\text{C}$$

Ako bi se koristio iteracioni postupak za detaljnije određivanje razvijene temperature u čeliku  $\Theta_\alpha$  dobila bi se preciznija vrijednost, koja je relativno malim procentom razlikuje od gore navedene, dok bi se sam proračun dodatno odužio i zakomplikovao, tako da možemo kao mjerodavnu vrijednost uzeti  $\Theta_\alpha = 732,96 \text{ }^\circ\text{C}$

Linearnom interpolacijom iz tabele 5. za  $700 < \Theta_\alpha < 800$  dobiju se:

- faktori smanjenja za efektivnu granicu popuštanja,  $k_{y,\theta} = 0,188$
- faktori smanjenja za granicu proporcionalnosti,  $k_{p,\theta} = 0,066$
- faktori smanjenja za nagib u linearno elastičnom području,  $k_{E,\theta} = 0,116$



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



Otpornost poprečnog presjeka na savijanje, smicanje, interakciju i bočno torziono izvijanje u slučaju požara:

$$R_{fi,d,0} = M_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta} \cdot W_{el,y} \cdot f_y / \gamma_{M,fi} = 65,14 \text{ kNm}$$

$$M_{d,fi} / M_{fi,t,Rd} = 143,32 / 64,14 = 1,22 < 1,0 \quad \times$$

$$V_{fi,t,Ed} / V_{fi,t,Rd} = 56,79 / 111,18 = 0,51 < 1,0 \quad \checkmark$$

$$V_{fi,t,Ed} < 0,5 \cdot V_{fi,t,Rd} \quad \checkmark$$

$$M_{fi,t,Ed} / M_{b,fi,t,Ed} = 143,32 / 44,82 = 1,22 < 1,0 \quad \times \quad \text{Uslov nije ispunjen}$$



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



## ZAKLJUČAK:

Proračun čeličnih konstrukcija na dejstvo požara je priližno složen i odgovoran posao i kao takav vrlo je bitno da se radi ozbiljno i pod nadzorom iskusnih inženjera. Razlog je multidisciplinarni pristup proračunu koji od inženjera zahtjeva širok spetar znanja koje velikim dijelom zadire u teoriju požara i ponašanje materijala pod dejstvom požara, a to nije „jača strana“ građevinskih inženjera.

Takođe je potrebno aktivno uključivanje drugih struka u rješavanje ovih problema (mašinskih inženjera) koji odlično poznavaju ponašanje požara. Samo na ovaj način kombinovanjem znanja građevinskog inženjera o ponašanju konstrukcija i drugih stručnjaka koji poznavaju ponašanje požara se može rješavati problem ***Dejstva požara na čelične konstrukcije.***



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union







Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



**Hvala na pažnji!**  
*mladen.slijepcevic@aggf.unibl.org*

**Knowledge FOR Resilient soCiEty**