

# Požarna odpornost jeklenih konstrukcij – določitev mehanske odpornosti



Tomaž Hozjan

e-mail: [tomaz.hozjan@fgg.uni-lj.si](mailto:tomaz.hozjan@fgg.uni-lj.si)

soba: 503

# Mehansko obnašanje jeklenih konstrukcij v požaru – viskozne deformacije

Viskozne deformacije (nad 400 °C),

- Časovno in napetostno odvisen proces
  - (raziskave, problem pridobit materialne parametre, težko opisljivo)
- Poenostavitev skladno s SIST EN 1993-1-2
  - če je hitrost ogrevanja med 2 in 50 K/min lahko prispevek viskoznih deformacij k celotnim deformacijam zanemarimo, tako upoštevamo:
  - $\varepsilon_{\text{tot}} = \varepsilon_{\text{meh}} + \varepsilon_{\text{th}}$  (TRDNOST)

# Mehansko obnašanje jeklenih konstrukcij v požaru

Glavni parametri, ki vplivajo na obnašanje jeklenih konstrukcij v požaru so:

- Velikost temperature v jeklenem elementu;
- Velikost obtežbe na konstrukciji;
- Mehanske lastnosti jekla pri povišanih temperaturah;
- Geometrija in projektiranje konstrukcij (robustnost).

# Odziv jeklenih konstrukcij v požaru

Lokalna porušitev



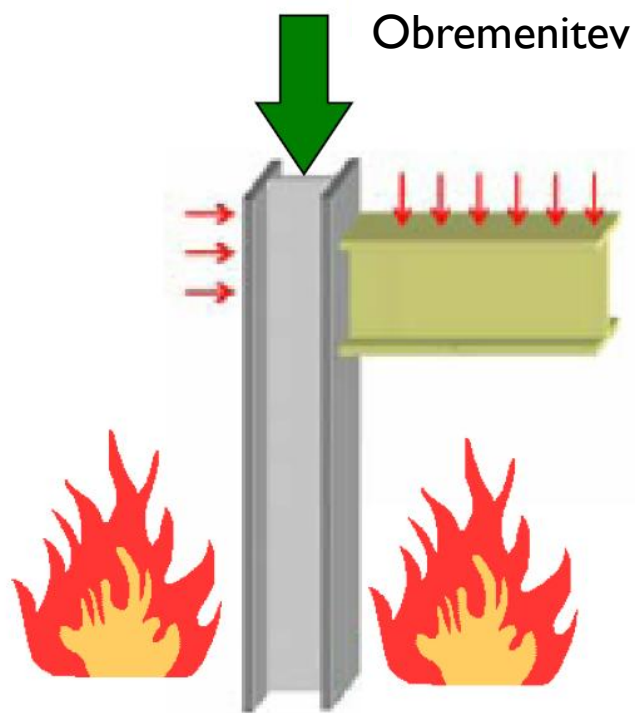
Globalna porušitev



# Kriterij **R** - nosilnost

Standard SIST EN 1993-1-2 obravnava samo kriterij **R**

– to je sposobnost konstrukcije, da ohrani svojo nosilnost v primeru požara, torej da ne izgubi nosilnosti.



# Kriterij **R** - nosilnost

Skladno s standardom SIST EN 1993-1-2 je kriteriju R zadoščeno, če med trajanjem požara **t** velja:

$$R_{fi,d,t} \geq E_{fi,d,t}$$

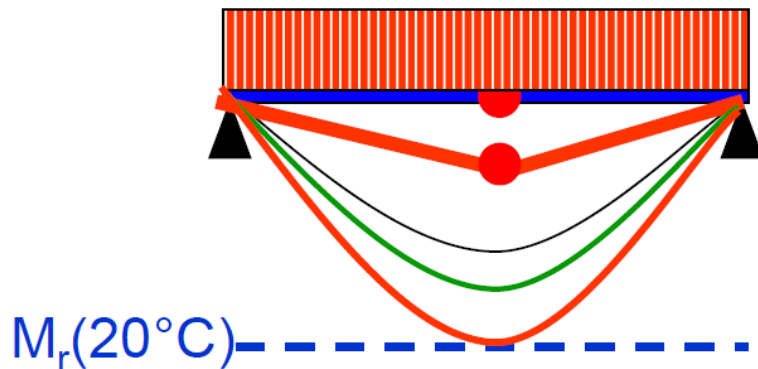
Kjer sta:

$R_{fi,d,t}$  – pripadajoča nosilnost konstrukcije v požarnem projektne stanju

$E_{fi,d,t}$  – projektna vrednost notranjih sil pri požarnem projektne stanju, določena v skladu s SIST EN 1993-1-2 in ob upoštevanju vplivov toplotnih raztezkov

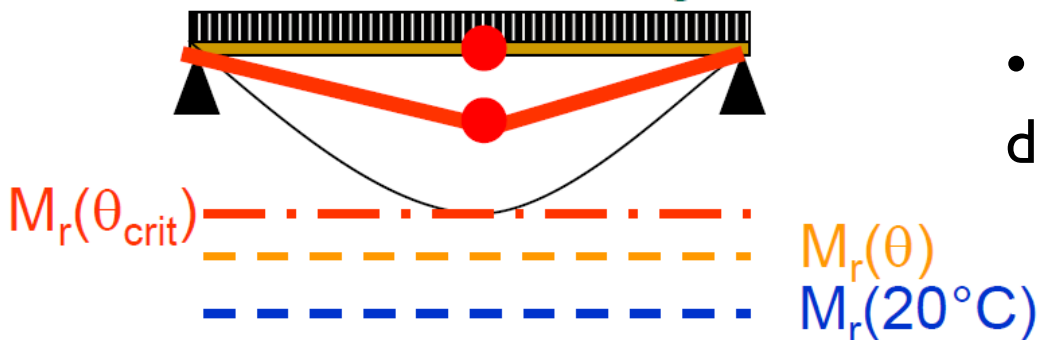
# Kriterij **R** - nosilnost

## SOBNA TEMPERATURA



- Konstantna temperatura
- Povečanje obtežbe do porušitve

## POVIŠANA TEMPERATURA



- Konstantna obtežba
- Povečanje temperature do porušitve

# Določitev požarne odpornosti, skladno s SIST EN 1993-1-2

Določitev požarne odpornosti v drugih območjih:

Lahko določimo na “roke”, večina EC3 metod

| območje             | enote              | Požarna odpornost | $\geq$ | Požarna obremenitev              |
|---------------------|--------------------|-------------------|--------|----------------------------------|
| Odpornost, napetost | kN, kNcm           | $R_{fi,d,t}$      | $\geq$ | $E_{fi,d}$                       |
| Čas                 | minuta, ura        | $t_{fi,d}$        | $\geq$ | $t_{fi,req}$                     |
| Temperatura         | $^{\circ}\text{C}$ | $T_{crit}$        | $\geq$ | $T_{konst}$ pri $t = t_{fi,req}$ |

Najpreprostejša oblika kontrole zajeta v EC3.

Določi (odčitaj) kritično temperaturo za izbrano obremenitev in jo primerjaj s projektno temperaturo.



# Kaj potrebujemo za proces določitve požarne odpornosti po SIST EN 1993-1-2

## **Določitev obtežbe** na konstrukciji

- Toplotni vpliv;
- Mehanska obtežba;
- Nivo obremenitvi pri požarni obtežbi.

## **Metode preverjanja**

- Analiza elementa;
- Analiza dela konstrukcije;
- Globalna analiza.

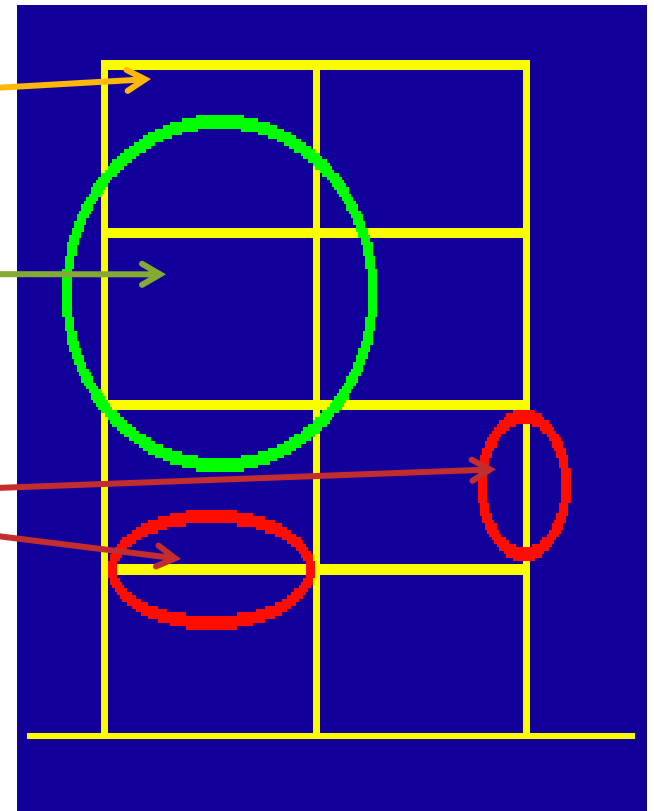
## **Materialne lastnosti pri povišanih temperaturah**

- Toplotne lastnosti (prevodnost, spec. toplota);
- Mehanske lastnosti jekla – redukcijski faktorji za trdnost in elastični modul jekla pri povišanih  $T$ ;
- Varnostni faktorji za jeklo pri požarne projektne stanju.

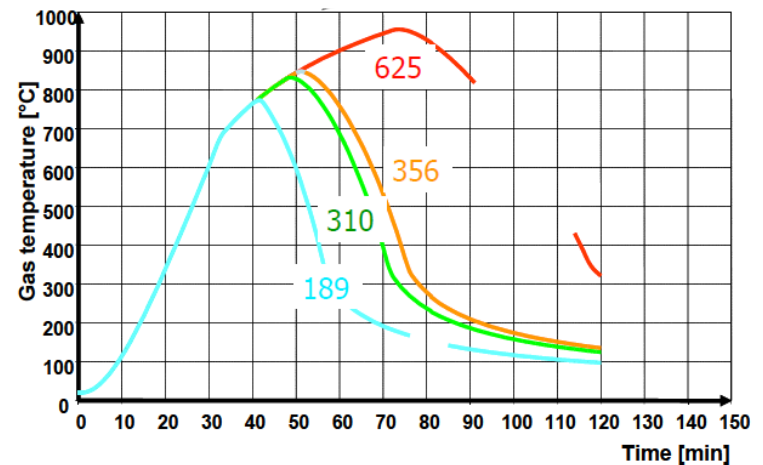
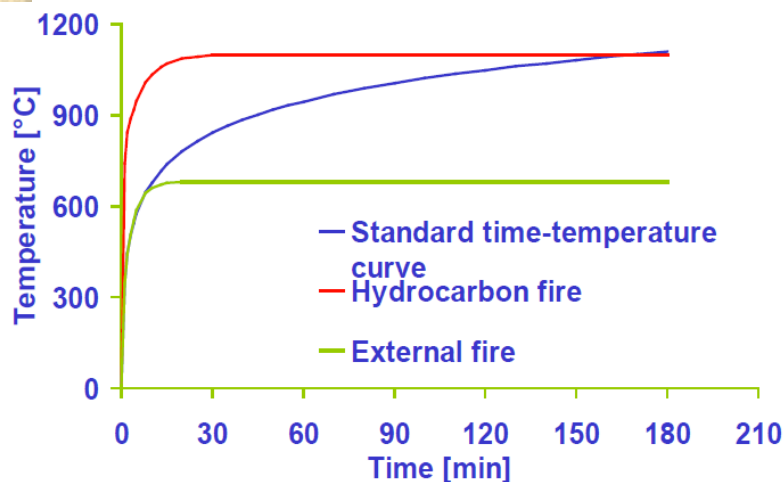
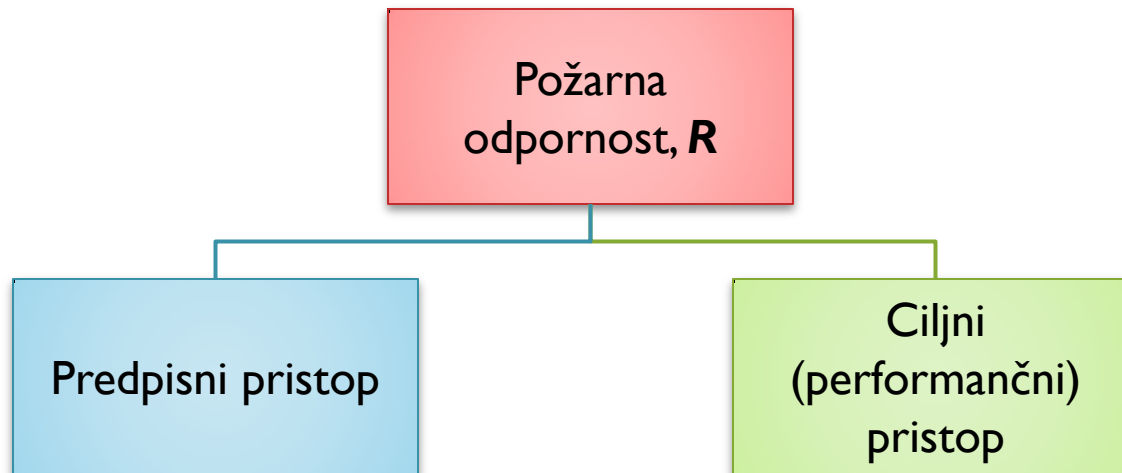
# Metode preverjanja mehanske odpornosti konstrukcije v požaru

Možnosti analize računa odziva konstrukcije:

- ❖ **Globalna analiza**
- ❖ **Analiza dela konstrukcije**
- ❖ **Analiza posameznega nosilnega elementa konstrukcije**
  - ❖ Obravnavamo tukaj
  - ❖ Običajno v primerih standardne požarne odpornosti

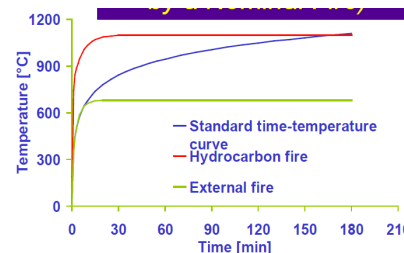


# Pristop k določitvi požarne odpornosti



# Možnosti uporabe različnih računskih metod za določitev požarne odpornosti jeklenih konstrukcij

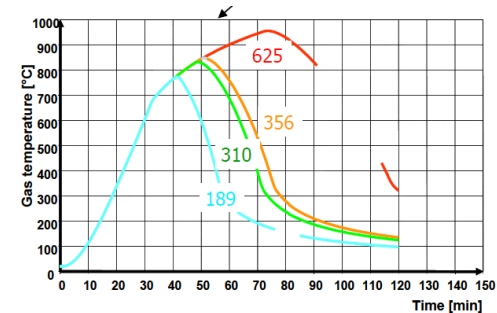
## V primeru standardnega požara



| Analiza              | Uporaba tabel       | Enostavni računski modeli            | Globalna analiza |
|----------------------|---------------------|--------------------------------------|------------------|
| Element konstrukcije | <b>DA</b> (ISO 834) | <b>DA</b>                            | <b>DA</b>        |
| Podkonstrukcija      | <b>NE</b>           | <b>DA</b><br>(vprašanje veljavnosti) | <b>DA</b>        |
| Globalna analiza     | <b>NE</b>           | <b>NE</b>                            | <b>DA</b>        |

# Možnosti uporabe različnih računskih metod za določitev požarne odpornosti jeklenih konstrukcij

## V primeru naravnega požara



| Analiza              | Uporaba tabel              | Enostavni računski modeli  | Globalna analiza |
|----------------------|----------------------------|----------------------------|------------------|
| Element konstrukcije | <b>DA</b><br>(če na voljo) | <b>DA</b><br>(če na voljo) | <b>DA</b>        |
| Podkonstrukcija      | <b>NE</b>                  | <b>NE</b>                  | <b>DA</b>        |
| Globalna analiza     | <b>NE</b>                  | <b>NE</b>                  | <b>DA</b>        |

# Določitev $E_{fi,d,t}$ - obremenitev

Skladno s standardom SIST EN 1990

$$E_{fi,d,t} = \sum G_{k,j} + (\psi_{1,1} \text{ ali } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Priporočena vrednost  
(SIST EN 1991-1-2)  
Nacionalni dodatek

Prevladujoč  
vpliv

Preostali vplivi

kjer je:

$G_{k,j}$  - karakteristična vrednost stalne obtežbe;

$Q_{k,1}$  - karakteristična vrednost prevladujoče spremenljive obtežbe;  $Q_{k,i}$  - karakteristična vrednost drugih spremenljivih obtežb;

$\psi_{1,1}$  - kombinacijski faktor za pogosto obtežno kombinacijo vplivov;

$\psi_{2,1}$  - kombinacijski faktor za navidezno stalno obtežno kombinacijo vplivov.

OPOMBA: VPLIV ENAK NE GLEDE NA IZBRAN MATERIAL NOSILNE KONSTRUKCIJE.

# Priporočene vrednosti faktorjev $\Psi$ (SIST EN 1990 – preglednica A.1.1)

Preglednica A.1.1: Priporočene vrednosti faktorjev  $\psi$  za stavbe

| Vpliv  | $\psi_0$ | $\psi_1$ | $\psi_2$ |
|--|----------|----------|----------|
| Koristna obtežba v stavbah (glej EN 1991-1-1)  |          |          |          |
| Kategorija A: bivalni prostori   | 0,7      | 0,5      | 0,3      |
| Kategorija B: pisarne  | 0,7      | 0,5      | 0,3      |
| Kategorija C: stavbe, kjer se zbirajo ljudje   | 0,7      | 0,7      | 0,6      |
| Kategorija D: trgovine   | 0,7      | 0,7      | 0,6      |
| Kategorija E: skladišča  | 1,0      | 0,9      | 0,8      |
| Kategorija F: prometne površine<br>vozilo s težo $\leq 30$ kN  | 0,7      | 0,7      | 0,6      |
| Kategorija G: prometne površine<br>$30$ kN < teža vozila $\leq 160$ kN   | 0,7      | 0,5      | 0,3      |
| Kategorija H: strehe   | 0        | 0        | 0        |
| Obtežba snega na stavbah (glej EN 1991-1-3)*   |          |          |          |
| Finska, Islandija, Norveška, Švedska   | 0,7      | 0,5      | 0,2      |
| Druge članice CEN, za kraje z nadmorsko višino nad 1.000 m   | 0,7      | 0,5      | 0,2      |
| Druge članice CEN, za kraje z nadmorsko višino pod 1.000 m   | 0,5      | 0,2      | 0        |
| Obtežba vetra na stavbah (glej EN 1991-1-4)  | 0,6      | 0,2      | 0        |
| Spremembe temperature (ne pri požaru) v stavbah (glej EN 1991-1-5)   | 0,6      | 0,5      | 0        |
| OPOMBA: Vrednosti faktorjev $\psi$ so lahko določene v nacionalnem dodatku.<br>*) Za države, ki niso omenjene v nadaljevanju, glej ustrezne krajevne pogoje. |          |          |          |

# Določitev $E_{fi,d,t}$ - obremenitev

**Poenostavljen pristop** skladno s SIST EN 1991-1-2

- Pri metodah požarnega projektiranja po Evrokodih, se pogosto pojavlja pomembna količina, imenovana **faktor redukcije nivoja obremenitve za požarno projektno stanje**  $\eta_{fi}$  :

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

Redukcijski faktor

Projektna vrednost notranje sile določena pri sobni temperaturi za trajno projektno stanje ob upoštevanju osnovne kombinacije vplivov (EN 1990).



# Določitev redukcijskega faktorja

$\eta_{fi}$

Skladno z naslednjo enačbo za nezgodno obtežno kombinacijo 6.10 po EN 1990

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

Sobna temperatura:

$\gamma_G = 1,35$  – stalna obtežba

$\gamma_{Q,1} = 1,5$  – spremenljiva obtežba

Požarno projektno stanje:

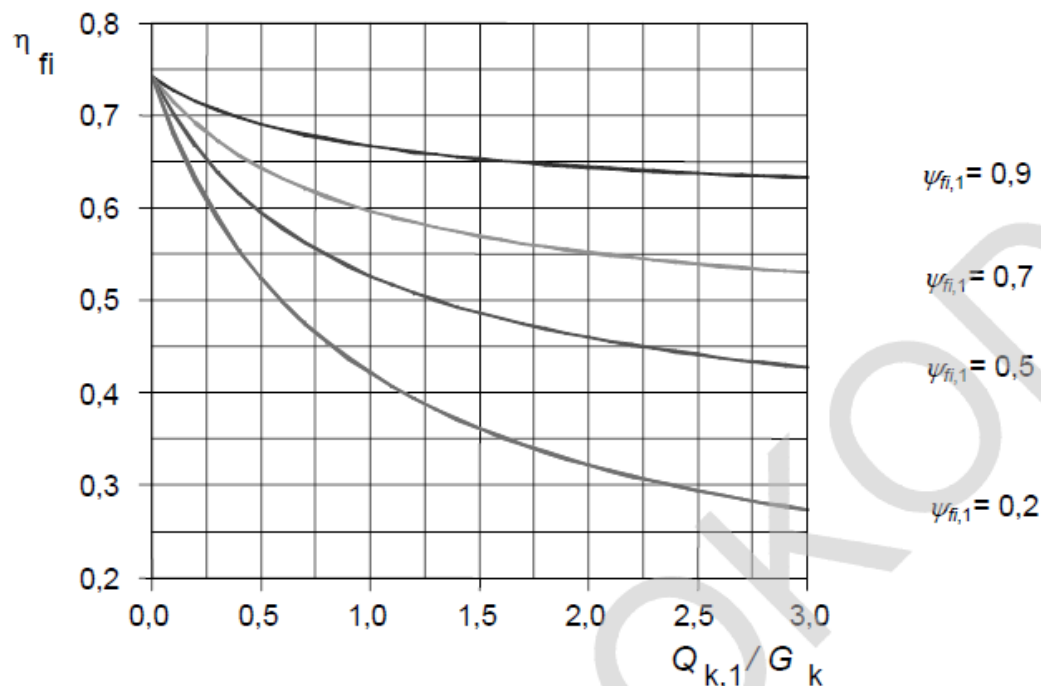
$\gamma_G = 1,0$  – stalna obtežba

$\psi_{1,1} = 0,5$  – za pisarne za spremenljivo obtežbo

# Določitev redukcijskega faktorja

$\eta_{fi}$

Primer: Vrednost redukcijskega faktorja  $\eta_{fi}$  glede na razmerje  $Q_{k,1}/G_k$ , za različne vrednosti kombinacijskega faktorja  $\Psi_{1,1}$  pri upoštevanju  $\gamma_G = 1,35$  in  $\gamma_{Q,1} = 1,5$



**DODATNA  
POENOSTAVITEV  
(SIST EN 1993-1-2)**

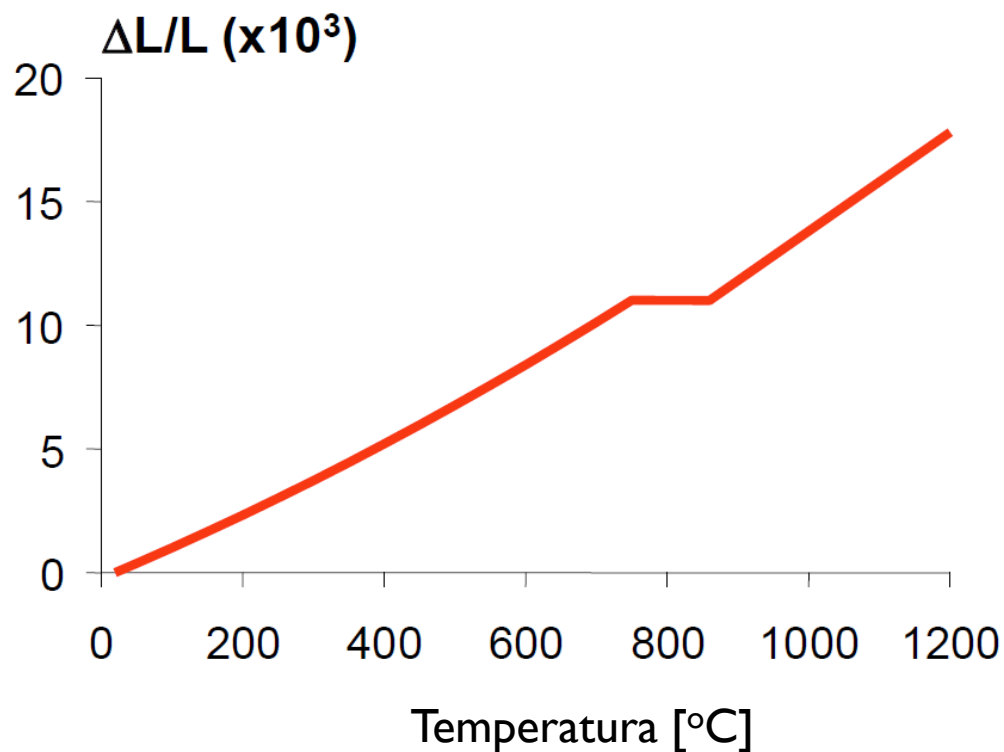
**$\eta_{fi} = 0,65$**

za kategorije stavb E  
pa  **$\eta_{fi} = 0,70$**

# Materialne lastnosti jekla pri povišanih temperaturah

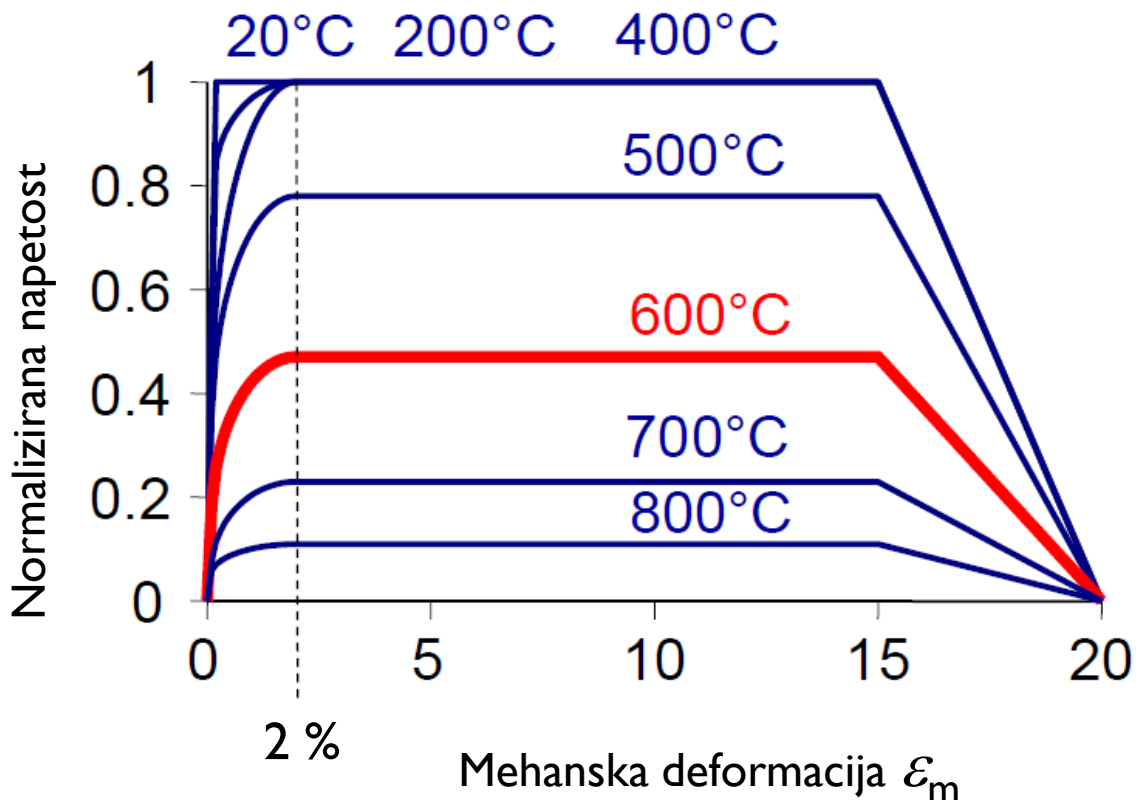
Relativni toplotni raztezek jekla – temperaturne deformacije

$\varepsilon_{th}$

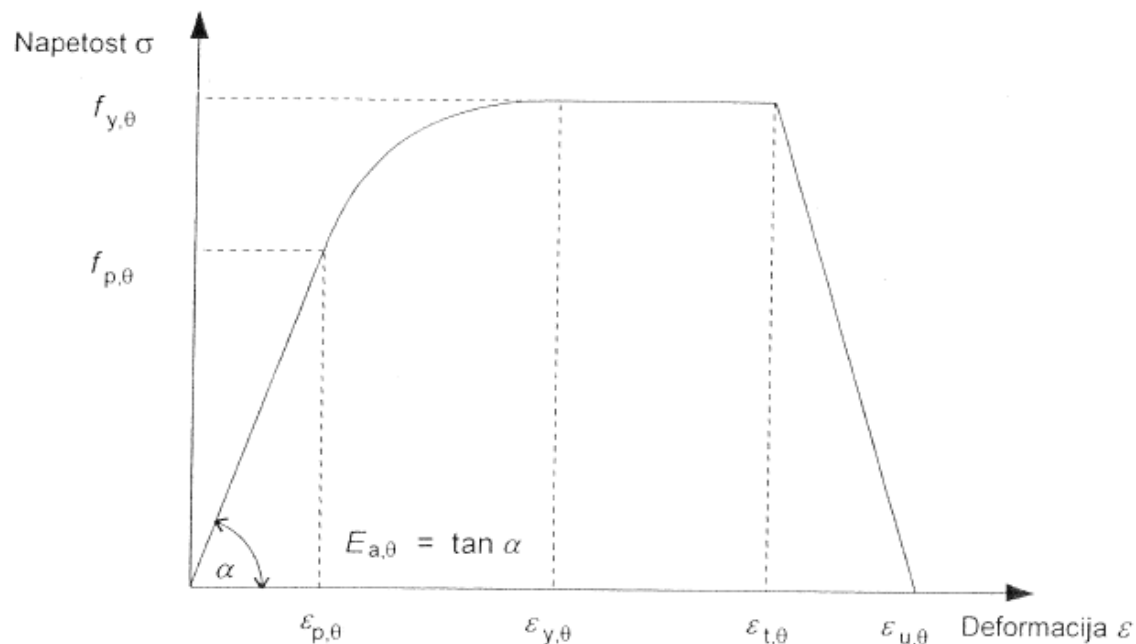


# Materialne lastnosti jekla pri povišanih temperaturah

Napetostno deformacijska zveza jekla pri povišanih temperaturah  $\sigma = f(\varepsilon_m)$  (nelinearna zveza)



# Napetostno deformacijska zveza jekla pri povišanih temperaturah



## Legenda:

$f_{y,\theta}$       efektivna napetost tečenja

$f_{p,\theta}$       meja proporcionalnosti

$E_{a,\theta}$       naklon linearnega elastičnega območja

$\epsilon_{p,\theta}$       deformacija na meji proporcionalnosti

$\epsilon_{y,\theta}$       deformacija na meji tečenja

$\epsilon_{t,\theta}$       deformacija na koncu plastičnega platoja

$\epsilon_{u,\theta}$       mejna deformacija pri porušitvi

# Materialne lastnosti jekla pri povišanih temperaturah

Redukcijski faktorji skladno s SIST EN 1993-1-2

$k_{y,\Theta}$  – redukcijski faktor za mejo tečenja pri sobni temperaturi  $f_{y,20}$

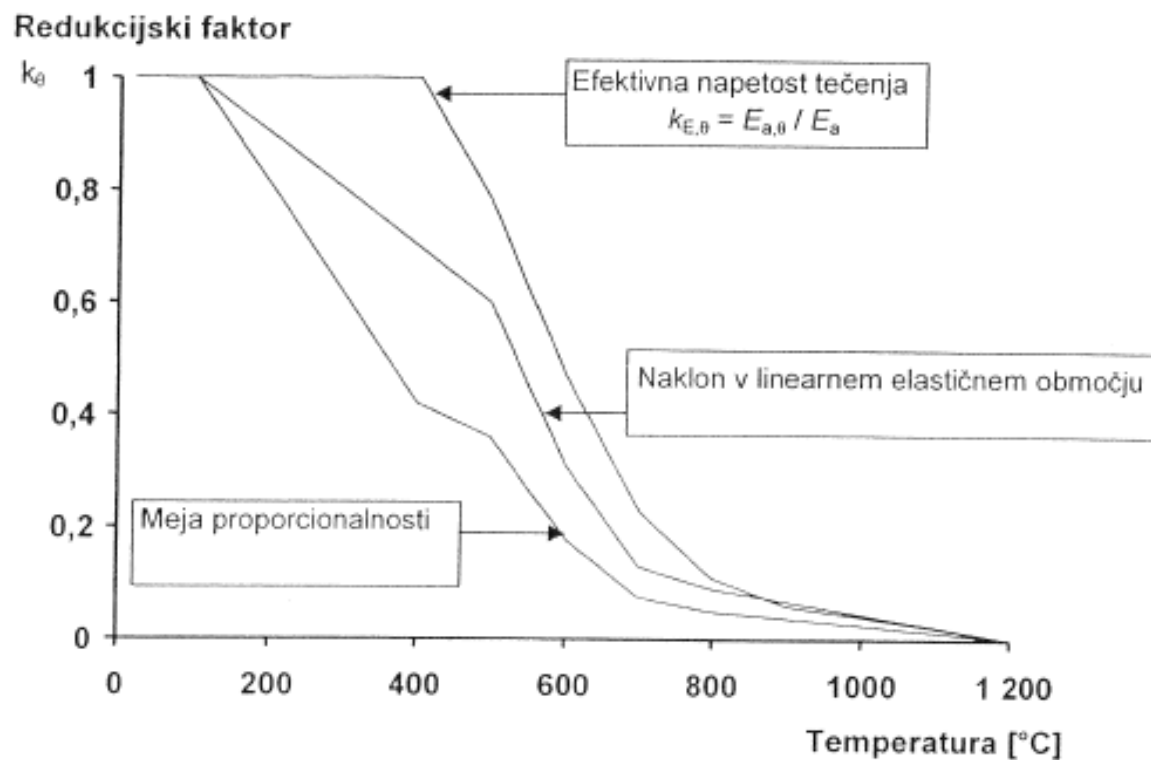
$k_{E,\Theta}$  – redukcijski faktor za elastični modul  $E_{20}$

$k_{p,\Theta}$  – redukcijski faktor za mejo proporcionalnosti (linearen del diagrama) glede na  $f_{y,20}$

| Temperatura jekla $\theta_a$ | Redukcijski faktorji pri temperaturi $\theta_a$ glede na vrednost $f_y$ ali $E_a$ pri 20 °C               |   |   |
|------------------------------|---|---|---|
|                              | Redukcijski faktor (glede na $f_y$ ) za efektivno napetost tečenja<br>$k_{y,\theta} = f_{y,\theta} / f_y$ | Redukcijski faktor (glede na $f_y$ ) za mejo proporcionalnosti<br>$k_{p,\theta} = f_{p,\theta} / f_y$ | Redukcijski faktor (glede na $E_a$ ) za naklon v linearno elastičnem območju<br>$k_{E,\theta} = E_{a,\theta} / E_a$ |
| 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  |

OPOMBA: Za vmesne vrednosti temperature jekla se lahko uporabi linearna interpolacija.

# Redukcijski faktorji za napetostno deformacijsko zvezo jekla skladno s SIST EN 1993-1-2



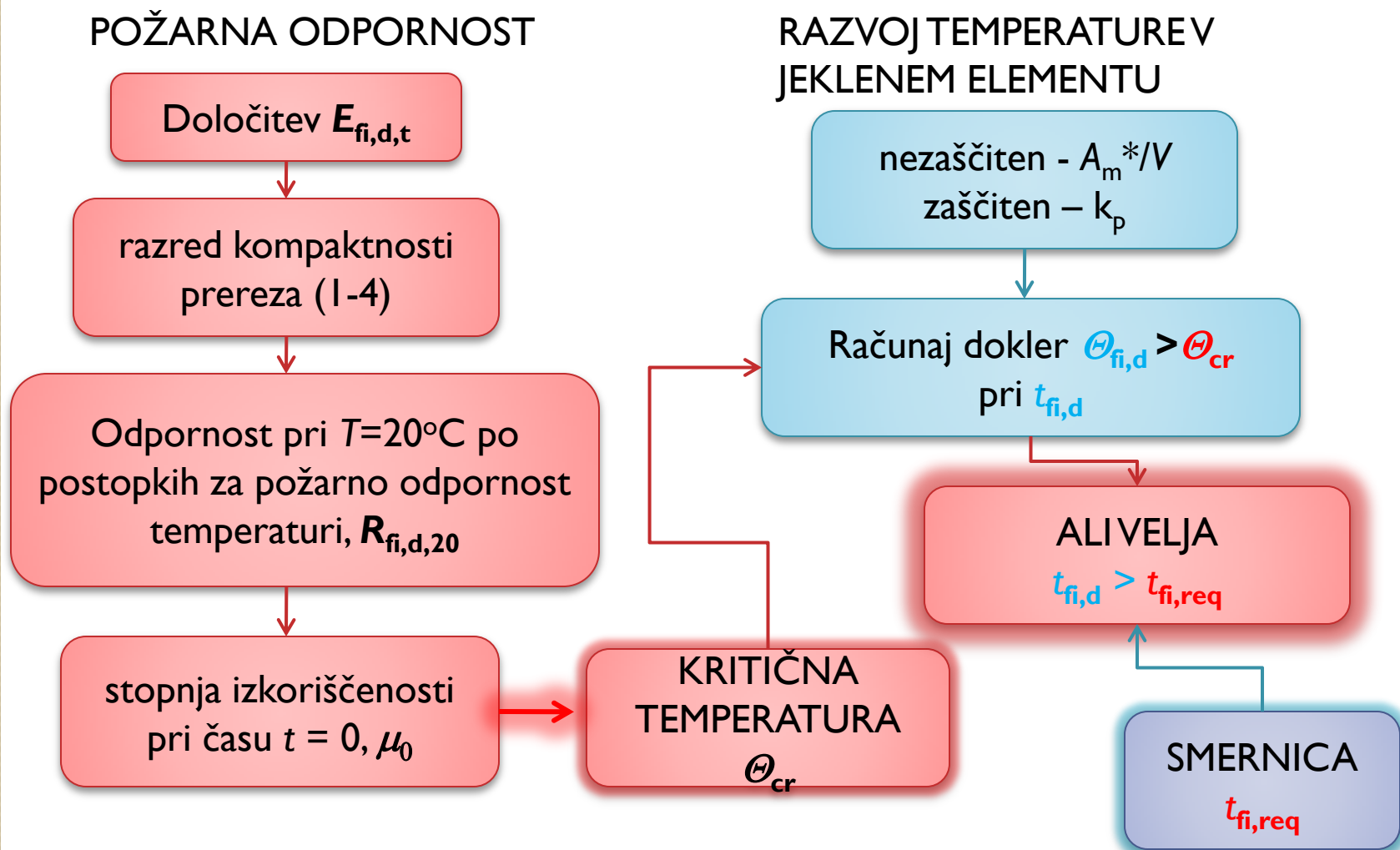
# Delni faktorji obravnavane lastnosti materiala za požarno projektno stanje

$\gamma_{M,fi}$

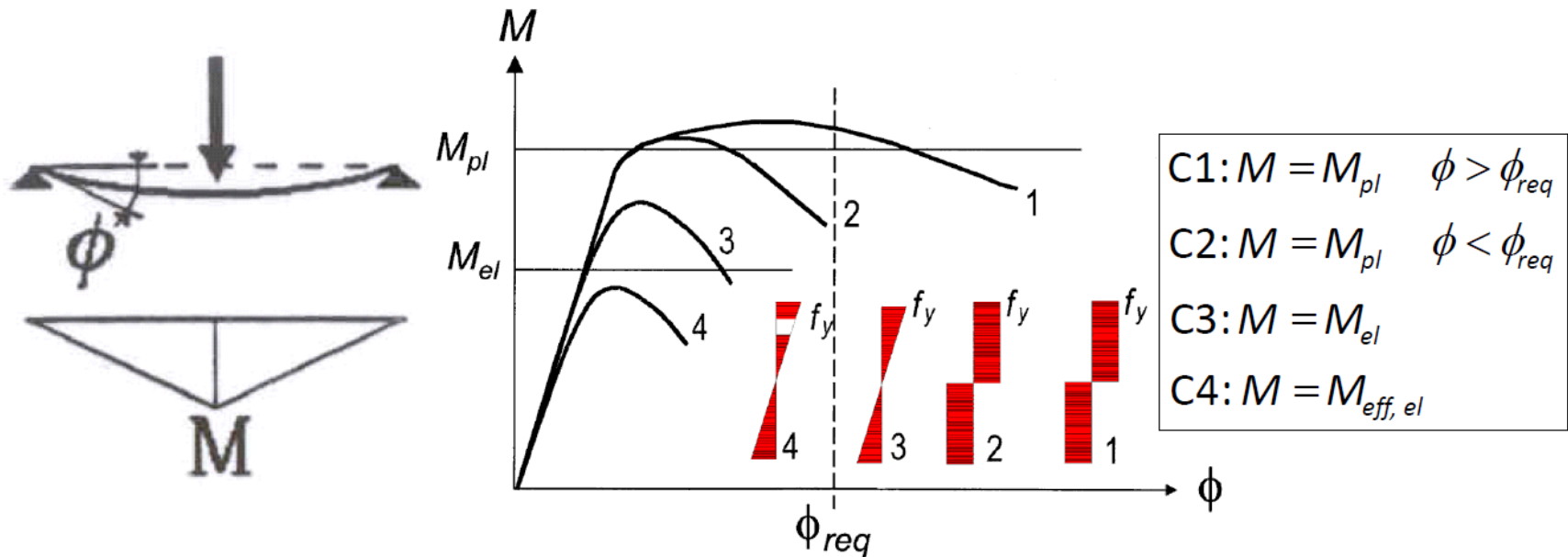
| Tip elementa (Kontrola)                                | Požarno projektno stanje | Projektno stanje pri sobni temperaturi |
|--|--------------------------|--|
| Prerez, kontrola napetosti                             | $\gamma_{M,0} = 1,0$     | $\gamma_{M,0} = 1,0$                   |
| Elementi z vplivom stabilnosti (uklon, bočna zvrnitev) | $\gamma_{M,1} = 1,0$     | $\gamma_{M,1} = 1,0$                   |
| Stiki  | $\gamma_{M,2} = 1,0$     | $\gamma_{M,2} = 1,25$                  |



# Določitev požarne odpornosti jeklenih elementov z uporabo preprostega postopka (metoda kritične temperature)



# Določitev razreda kompaktnosti jeklenih prerezov pri požarni analizi



Na enak način kot pri sobni temperaturi.

Vpliv povišanih temperatur upoštevamo z zmanjšanjem

parametra  $\varepsilon = 0,85 (235/f_y)^{0.5}$ .

# Določitev stopnje izkoriščenosti prereza

$\mu_0$

Stopnja izkoriščenosti prereza se določi kot razmerje med

projektno obtežbo elementa v požarnem stanju in

projektno nosilnostjo pri sobni temperaturi ( $t = 0$ ) z upoštevanjem delnih materialnih faktorjev za požarno stanje.

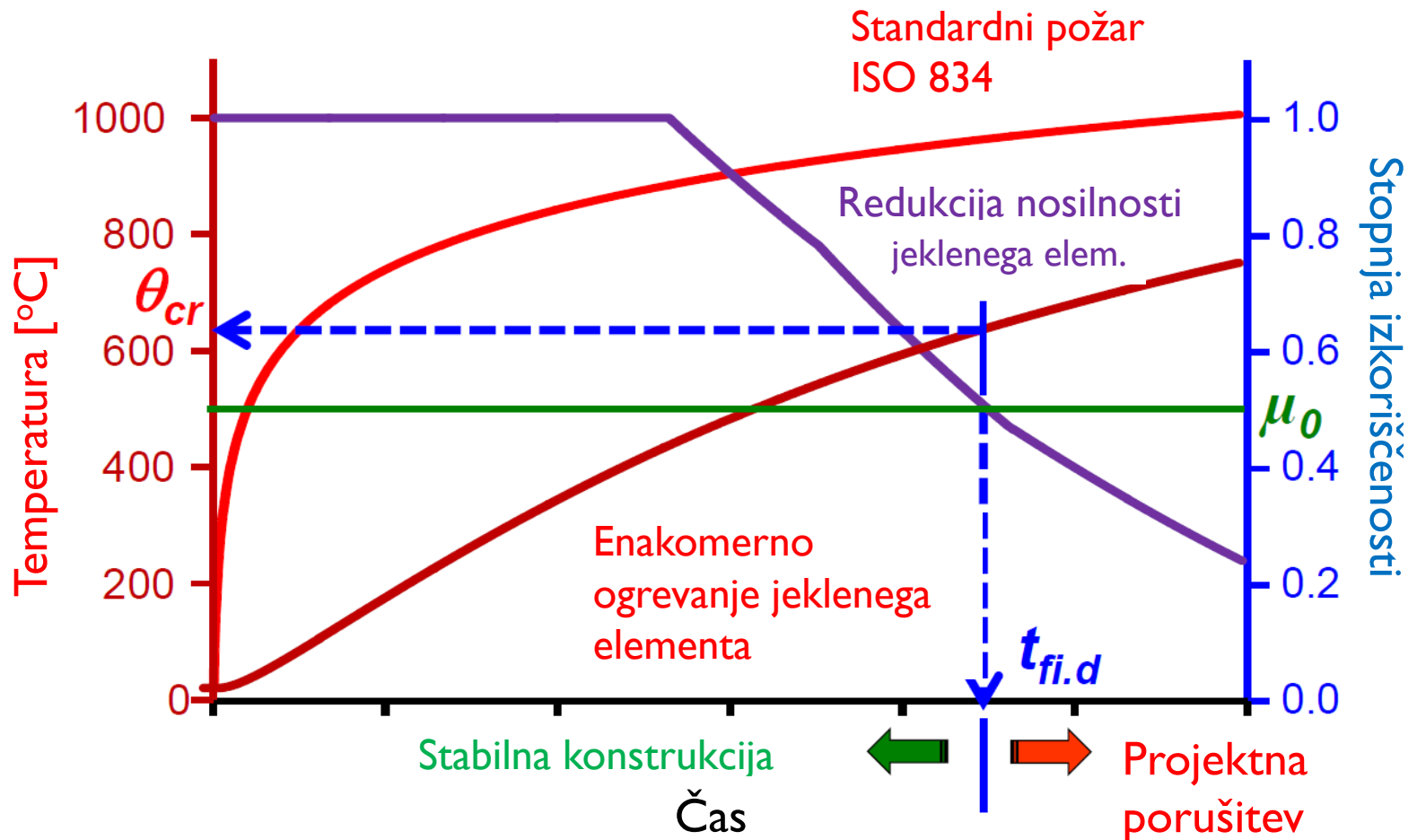
Alternativno za natezne elemente in bočno podprte elemente lahko  $\mu_0$  določimo kot:

$$\mu_0 = \frac{E_{fi.d}}{R_{fi.d.0}}$$

$$\mu_0 = \eta_{fi} [\gamma_{M,fi} / \gamma_{M,0}]$$

# Določitev kritične temperature jeklenih elementov

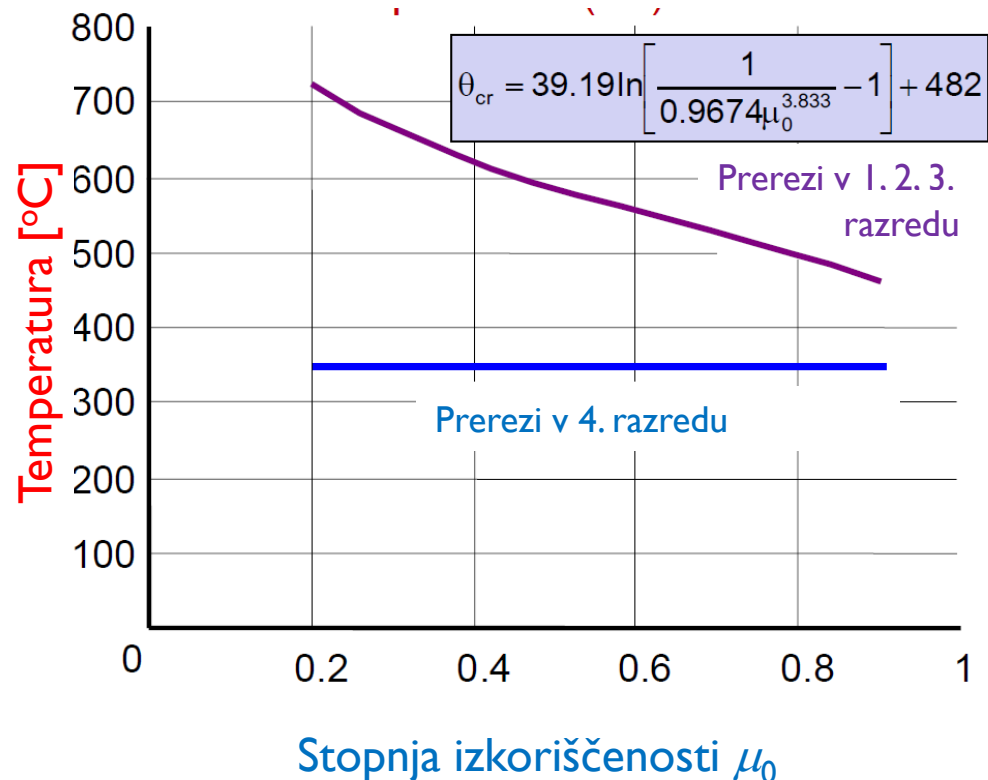
Osnovna predpostavka: elementi so segreti enakomerno



# Določitev kritične temperature jeklenih elementov skladno s SIST EN 1993-1-2

## PREDPOSTAVKE !!!

- Temelji na standardnih testih.  
Samo za enostavne elemente.
- Velja za KOMPAKTNE prereze (razred 1, 2, 3) brez vplivov stabilnosti (kot so: uklon, bočna zvrnitev, vpliv temperaturnih raztezkov!!!).
- VITKI prerezi so zajeti zelo konzervativno ( $\theta_{cr} = 350 \text{ }^\circ\text{C}$ ).



# Določitev kritične temperature jeklenih elementov skladno s SIST EN 1993-1-2

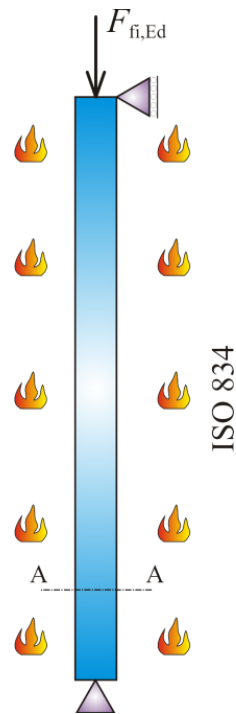
SIST EN 1993-1-2 podaj tudi spodnjo tabelo za določitev kritične temperature v primerih, **da stabilnost in temperaturne deformacije ne vplivajo na obnašanje jeklenih elementov v požaru.**

Preglednica 4.1: Kritične temperature  $\theta_{a,cr}$  v odvisnosti od stopnje izkoriščenosti  $\mu_0$

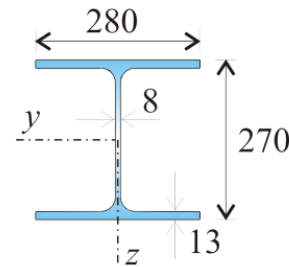
| $\mu_0$ | $\theta_{a,cr}$ | $\mu_0$ | $\theta_{a,cr}$ | $\mu_0$ | $\theta_{a,cr}$ |
|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|
| 0,22    | 711             | 0,42    | 612             | 0,62    | 549             |
| 0,24    | 698             | 0,44    | 605             | 0,64    | 543             |
| 0,26    | 685             | 0,46    | 598             | 0,66    | 537             |
| 0,28    | 674             | 0,48    | 591             | 0,68    | 531             |
| 0,30    | 664             | 0,50    | 585             | 0,70    | 526             |
| 0,32    | 654             | 0,52    | 578             | 0,72    | 520             |
| 0,34    | 645             | 0,54    | 572             | 0,74    | 514             |
| 0,36    | 636             | 0,56    | 566             | 0,76    | 508             |
| 0,38    | 628             | 0,58    | 560             | 0,78    | 502             |
| 0,40    | 620             | 0,60    | 554             | 0,80    | 496             |

# PRIMER: Določitev kritične temperature jeklenih elementov

Obravnavajmo steber, ki je izpostavljen tlačni osni sili  $F_{fi,Ed}$  in sicer pod a) kratek steber, b) daljši steber.



Prerez A-A, enote so v mm,  
HEA 280



# PRIMER: Določitev kritične temperature jeklenih elementov

a) kratek steber:

Če je steber dovolj kratek in uklon stebra ni prisoten, lahko osno nosilnost stebra pri povišanih temperaturah določimo skladno s SIST EN 1993-1-2 z naslednjim izrazom:

$$N_{b,fi,t,Rd} = A k_{y,\theta_{max}} f_{y,20} / \gamma_{M,fi}$$

Vidimo, da je v tem primeru nosilnost stebra pri povišani temperaturi odvisna **samo od redukcijskega faktorja nosilnosti  $k_{y,\theta}$** , saj so vsi ostali parametri konstante.



# PRIMER: Določitev kritične temperature jeklenih elementov

a) Daljši steber, prisotnost uklona:

Če je steber vitek in je možen uklon pri povišanih temperaturah:

$$N_{b,fi,t,Rd} = \chi_{fi} A k_{y,\theta_{max}} f_{y,20} / \gamma_{M,fi} \quad \chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_{\theta} + \sqrt{\varphi_{\theta}^2 - \bar{\lambda}_{\theta}^2}} \quad \bar{\lambda}_{\theta} = \bar{\lambda} \sqrt{k_{y,\theta} / k_{E,\theta}}$$

Sedaj pa je nosilnost stebra pri povišani temperaturi odvisna od redukcijskega faktorja nosilnosti  $k_{y,\theta}$  ter relativne vitkosti v primeru požara  $\bar{\lambda}_{\theta}$  in s tem tudi faktorja togosti  $k_{E,\theta}$ . Tako račun kritične temperature, ki je odvisna samo od  $k_{y,\theta}$ , ni več možen.

Za račun kritične temperature v primeru stabilnostnih problemov moramo uporabiti iterativen postopek. Običajno pridemo do rešitve z dvema iteracijama.

# Določitev kritične temperature jeklenih elementov s stabilnostnimi vplivi

Iterativnemu izračunu se lahko izognemo na način da za razmerje  $\sqrt{k_{y,\theta} / k_{E,\theta}}$  predpostavimo konstantno vrednost, ki je na varni strani (največjo vrednost).

Tako relativna vitkost  $\bar{\lambda}_\theta = \bar{\lambda} \sqrt{k_{y,\theta} / k_{E,\theta}}$  ni več funkcija temperature in je možna uporaba direktnega postopka.

Sedaj je kritična temperatura funkcija naslednjih parametrov:

- relativne vitkosti pri sobni temperaturi  $\bar{\lambda}_{fi,0}$ ,
- stopnje izkoriščenosti  $\mu_0 = N_{fi,d,t} / N_{pl,fi,0}$ ,
- in trdnosti jekla  $f_y$

# Določitev kritične temperature jeklenih elementov s stabilnostnimi vplivi

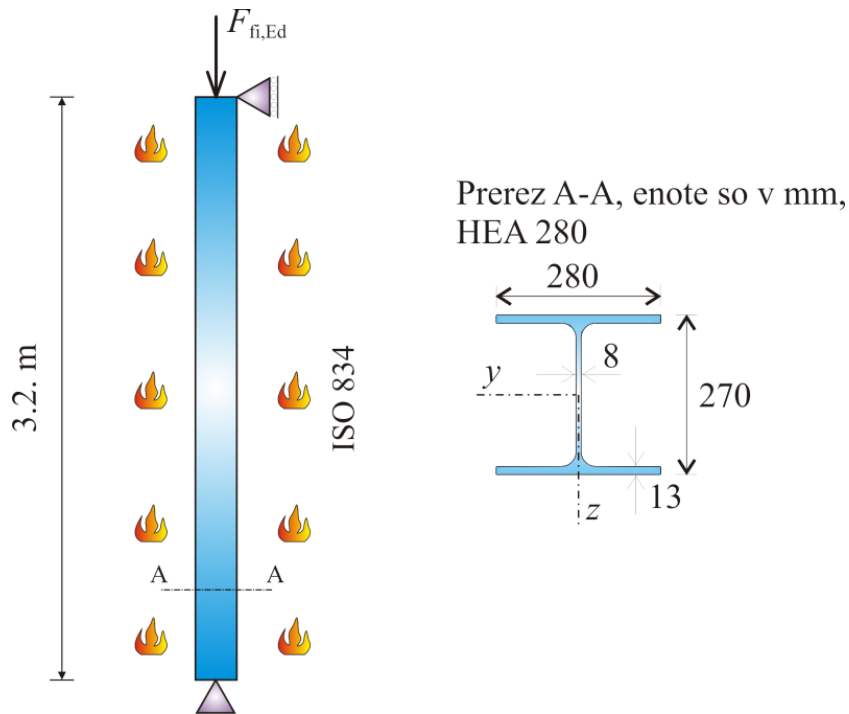
Tabela je drugačna glede na trdnost jekla  $f_y$

Tabele **niso** podane v SIST EN 1993-1-2.

| $\bar{\lambda}_{fi,0}$ | 0.0  | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 1.4 | 1.6 | 1.8 | 2.0 |
|------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $\mu_0$                |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 0.04                   | 1000 | 977 | 949 | 913 | 880 | 839 | 787 | 742 | 696 | 678 | 659 |
| 0.06                   | 900  | 885 | 866 | 837 | 795 | 756 | 700 | 679 | 656 | 630 | 602 |
| 0.08                   | 860  | 839 | 811 | 785 | 749 | 697 | 674 | 647 | 616 | 588 | 564 |
| 0.10                   | 820  | 797 | 780 | 752 | 703 | 677 | 648 | 614 | 585 | 557 | 527 |
| 0.12                   | 792  | 777 | 755 | 719 | 685 | 656 | 622 | 588 | 559 | 526 | 474 |
| 0.14                   | 775  | 757 | 730 | 694 | 668 | 636 | 597 | 567 | 533 | 487 | 373 |
| 0.16                   | 758  | 737 | 705 | 681 | 652 | 615 | 580 | 546 | 507 | 408 |     |
| 0.18                   | 742  | 717 | 691 | 668 | 636 | 596 | 563 | 524 | 453 |     |     |
| 0.20                   | 725  | 698 | 680 | 655 | 619 | 582 | 545 | 503 | 384 |     |     |
| 0.22                   | 708  | 689 | 669 | 641 | 603 | 568 | 528 | 457 |     |     |     |
| 0.24                   | 696  | 679 | 658 | 628 | 591 | 554 | 511 | 406 |     |     |     |
| 0.26                   | 688  | 670 | 647 | 615 | 579 | 540 | 485 |     |     |     |     |

# Določitev kritične temperature jeklenih elementov s stabilnostnimi vplivi

## Primer



Faktor relativne vitkosti pri sobni temperaturi znaša:

$$\lambda = l_f / i_y = 320 / 11.90 = 26.89$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{21000}{23.5}} = 93.9$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{26.89}{93.9} = 0.286$$

# Določitev kritične temperature jeklenih elementov s stabilnostnimi vplivi

Sedaj glede na izračunano relativno vitkost pri sobni temperaturi določimo kritično temperaturo v odvisnosti stopnje izkoriščenosti  $\mu_0$ .

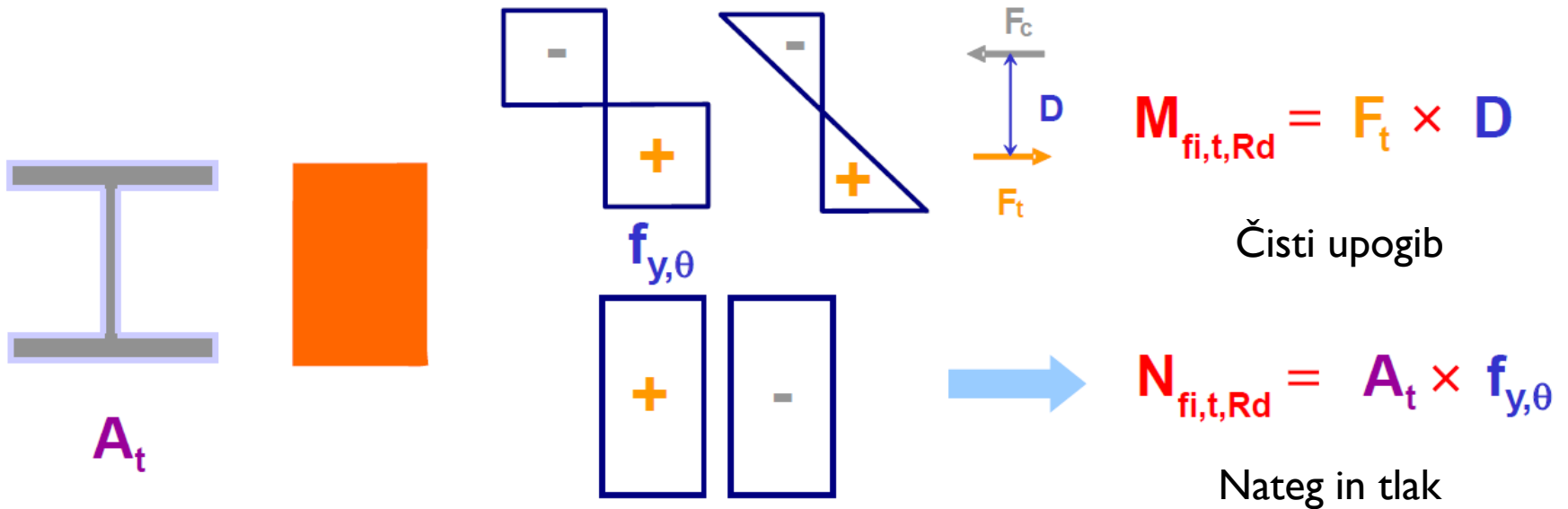
| $\bar{\lambda}_{fi,0}$ | 0.0  | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 1.4 | 1.6 | 1.8 | 2.0 |
|------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $\mu_0$                |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 0.04                   | 1000 | 977 | 949 | 913 | 880 | 847 | 814 | 781 | 748 | 715 | 682 |
| 0.06                   | 900  | 885 | 866 | 837 | 795 | 753 | 711 | 670 | 628 | 587 | 545 |
| 0.08                   | 860  | 839 | 811 | 785 | 749 | 713 | 677 | 641 | 605 | 569 | 533 |
| 0.10                   | 820  | 797 | 780 | 752 | 703 | 667 | 631 | 595 | 559 | 523 | 487 |
| 0.12                   | 792  | 777 | 755 | 719 | 685 | 649 | 613 | 577 | 541 | 505 | 469 |
| 0.14                   | 775  | 757 | 730 | 694 | 668 | 636 | 597 | 567 | 533 | 497 | 461 |
| 0.16                   | 758  | 737 | 705 | 681 | 652 | 615 | 580 | 546 | 507 | 471 | 435 |
| 0.18                   | 742  | 717 | 691 | 668 | 636 | 603 | 569 | 535 | 501 | 467 | 433 |
| 0.20                   | 725  | 698 | 680 | 655 | 619 | 585 | 551 | 517 | 483 | 449 | 415 |
| 0.22                   | 708  | 689 | 669 | 641 | 603 | 569 | 535 | 501 | 467 | 433 | 399 |
| 0.24                   | 696  | 679 | 658 | 628 | 591 | 557 | 523 | 489 | 455 | 421 | 387 |
| 0.26                   | 688  | 670 | 647 | 615 | 579 | 545 | 511 | 477 | 443 | 409 | 375 |

Relativna vitkost stebra je 0,286

Območje kjer se nahaja kritična temperatura za obravnavan steber

OPOMBA: Temperature so manjše kot v primeru, če stabilnosti vplivi niso merodajni.

# Poenostavljena metoda za določitev $R_{fi,d,t}$ za natezno, upogibno in tlačno obremenjene jeklene elemente brez vplivov stabilnosti (prerezi v 1. 2. in 3. razred kompaktnosti)



Prečni  
prerez

Razporeditev  
temperature

Napetosti po  
prerezu

Požarna  
odpornost  $R_{fi,d,t}$