

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Katedra za metalne konstrukcije

Požarna odpornost jeklenih in sovprežnih konstrukcij

Učno gradivo za predmet Jeklene stavbe in mostovi

Darko Beg

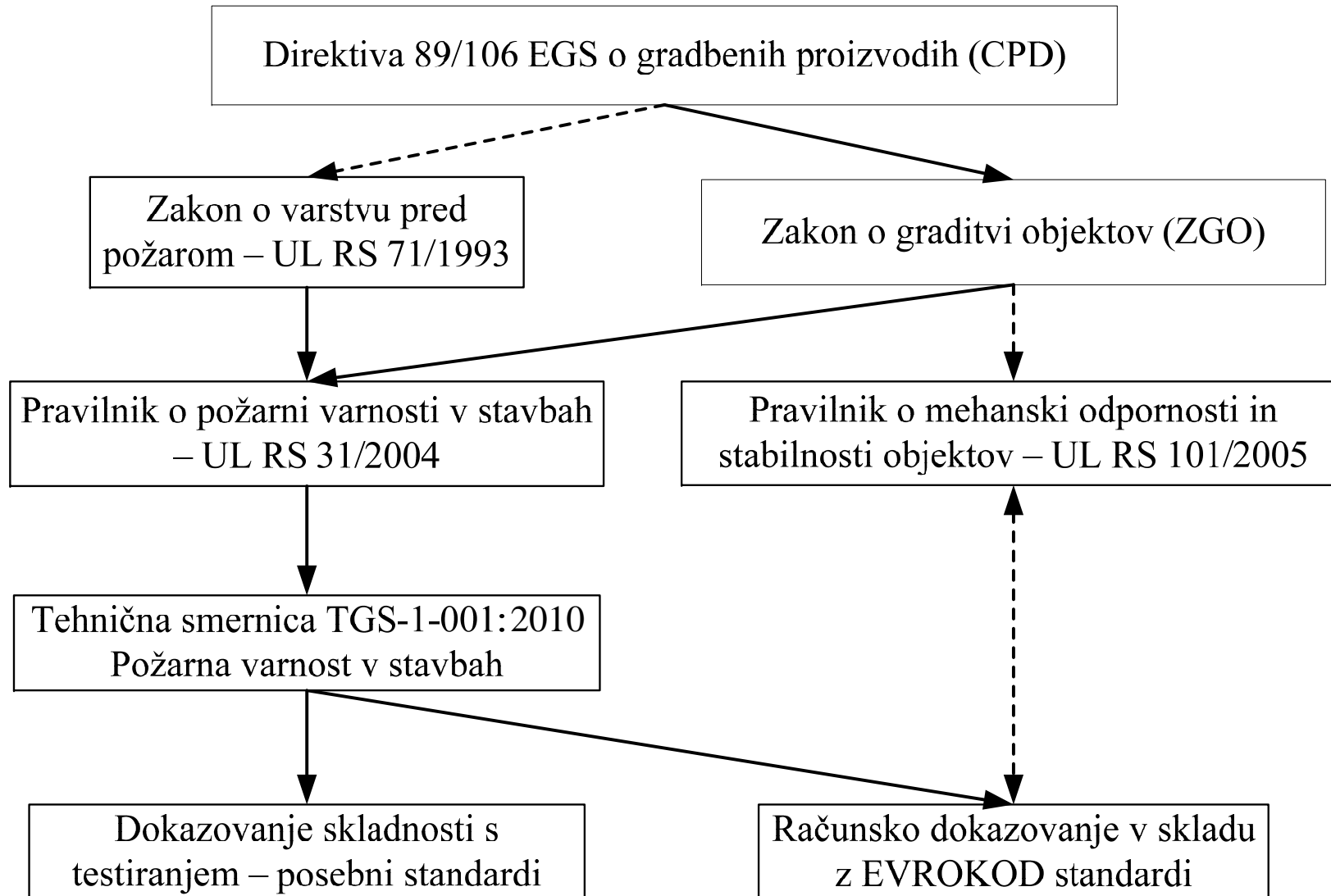
Marec 2011

Direktiva o gradbenih proizvodih 89/106

Šest bistvenih zahtev:

- mehanska odpornost in stabilnost
- varnost pred požarom
- higienska in zdravstvena zaščita okolice
- varnost pri uporabi
- varnost pred hrupom
- varčevanje energije in ohranjanje toplote

Požarni predpisi in standardi



Pravilnik o mehanski odpornosti in stabilnosti

- pokriva prvo bistveno zahtevo CPD
- zelo kratek in jedrnat
- v “obvezno” uporabo vpeljuje **EVROKOD** standarde za projektiranje konstrukcij

Pravilnik o požarni varnosti v stavbah

- pokriva drugo bistveno zahtevo CPD
- definira štiri osnovne zahteve:
 - širjenje požara na sosednje objekte
 - **nosilnost konstrukcije ter širjenje požara po stavbah**
 - evakuacijske poti in sistemi za javljanje in alarmiranje
 - naprave za gašenje in dostop gasilcev
- uvaja posebno projektno dokumentacijo
- podaja klasifikacijo požarne odpornosti

Nosilnost konstrukcij in širjenje požara

- Stavbe morajo biti projektirane in grajene tako, da njihova nosilna konstrukcija ob požaru **določen čas ohrani potrebno nosilnost**.
- Stavbe morajo biti razdeljene v požarne sektorje, če je to nujno za omejitev hitrega širjenja požara v njih:
 - namembnosti stavbe,
 - velikosti in drugih arhitekturnih lastnosti posamezne stavbe,
 - proizvodnega procesa, ki poteka v stavbi, ter od vrste in količine gorljivih snovi, ki se nahajajo v stavbi,
 - vgrajenih oziroma postavljenih sistemov za gašenje in
 - drugih izvedenih požarnovarnostnih ukrepov.

Razvrstitev stavb glede na požarno odpornost

- nosilnost (R), ki v minutah označuje odpornost nosilnega dela stavbe proti zrušitvi (npr. R30 za polurno odpornost)
- celovitost (E), ki v minutah označuje odpornost dela stavbe s funkcijo požarnega ločevanja proti vdoru ognja, dima in vročih plinov (npr. E30 za polurno odpornosti)
- izolativnost (I), ki v minutah označuje odpornost dela stavbe s funkcijo požarnega ločevanja proti prenosu prekomerne toplote (npr. I30 za polurno odpornost)

Projektna dokumentacija

- **študija požarne varnosti**, ki je sestavni del projekta za pridobitev gradbenega dovoljenja in ki jo lahko izdelata pooblaščen inženir s področja požarne varnosti
- **posamezni načrti** za požarno manj zahtevne objekte, ki jih lahko izdelajo tudi pooblaščen inženirji za arhitektonsko ali tehnično projektiranje
- **izkaz požarne varnost** je povzetek vsebine študije požarne varnosti. Obrazec za izdelavo izkaza je podan v prilogi 3 Pravilnika o požarni varnosti
 - prvi del obrazca, ki vsebuje opis načrtovanih ukrepov, je obvezni del PGD,
 - drugi del, ki vsebuje opis izvedenih ukrepov, pa izpolni projektant ob zaključku gradnje. Izkaz je obvezna priloga dokazila o zanesljivosti objekta (glej ZGO).

Tehnična smernica TSG-1-001:2010 – Požarna varnost v stavbah

Podaja podrobna navodila za izpolnjevanje štirih zahtev iz Pravilnika o požarni varnosti v stavbah:

- Širjenje požara na sosednje objekte
- **Nosilnost konstrukcije ter širjenje požara po stavbah**
- Evakuacijske poti in sistemi za javljanje ter alarmiranje
- Naprave za gašenje in dostop gasilcev

Odpornost nosilne konstrukcije

- zahtevana požarna odpornost (**R**) v tabeli
 - število etaž
 - specifična požarna obremenitev
 - namembnost
 - velikost stavbe
 - vgrajeni sistemi za gašenje (sprinklerji)
- dejanska (zagotovljena) požarna odpornost $\geq R$
 - EVROKODI
 - kadar EVROKODI ne zadoščajo – drugi predpisi
 - Testi
 - Najsodobnejše metode požarnega inženirstva

Zahtevana požarna odpornost stavb

Vrsta stavbe ali dela stavbe (CC-SI)	Število etaž [1]		(P) do 600 m ² BET	(P+1) do 600 m ² BET	(P in P+1) nad 600 m ² BET	(P+2)	(P+3)	(P+4) (P+5)	(P+6) (P+7)
	[2]								
112 – Večstanovanjske stavbe	A	nz	R 60 [3]	R 60 [3]	R 60 [3]	R 60 [4]	R 60 [4]	R 60	R 60
	B	nz	R 60 [3]	R 60 [3]	R 60 [3]	R 60 [4]	R 60 [4]	R 60 [4]	R 60
113 – Stanovanjske stavbe za posebne namene	A	R 30 [3]	R 60 [4]	R 60 [4]	R 60	R 90	R 90	R 90	R 90
	B	R 30 [3]	R 60 [3]	R 60 [4]	R 60 [4]	R 60 [4]	R 60 [4]	R 60	R 90
121 – Gostinske stavbe 1241 – Postaje, terminali, stavbe za elektronske komunikacije in z njimi povezane stavbe 1261 – Stavbe za kulturo in razvedrilo 1262 – Muzeji in knjižnice 1263 – Stavbe za izobraževanje in znanstveno-raziskovalno delo 1265 – Športne dvorane 123 – Trgovske in druge stavbe za storitvene dejavnosti 1272 – Stavbe za opravljanje verskih obredov, pokopališke stavbe	A	ng ali R 30 [3]	R 30 [3]	R 30 [3]	R 60 [4]	R 90	R 90	[5]	
	B	nz	nz	R 30 [3]	R 60 [4]	R 60 [4]	R 60	R 90	
122 – Upravne in pisarniške stavbe 1242 – Garažne stavbe 125 – Industrijske stavbe in skladišča do 1000 MJ/m ² 1271 – Nestanovanjske kmetijske stavbe	A	nz	ng ali R 30 [3]	R 30 [3]	R 30 [4]	R 60 [4]	R 60	R 60	
	B	nz	nz	ng ali R 30 [3]	R 30 [3]	R 60 [4]	R 60 [4]	R 60	
125 – Industrijske stavbe in skladišča nad 1000 MJ/m ²	A	ng	R 30	R 60	R 60	R 90	R 90	R 90	
	B	ng	R 30	R 60	R 60	R 60	R 60	R 60	
1264 – Stavbe za zdravstvo	A	R 30 [3]	R 60 [4]	R 60 [4]	R 60	R 90	R 90	[5]	
	B	R 30 [3]	R 60 [3]	R 60 [4]	R 60 [4]	R 60 [4]	R 60	R 90	
1274 – Nestanovanjske stavbe, ki niso uvrščene drugje	A	R 30	R 30	R 60	R 60	R60	R 60	R 90	
	B	R 30 [3]	R 30 [3]	R 30 [3]	R 30 [3]	R30	R 30	R 60	

Dejavniki, ki vplivajo na požarno varnost v stavbah

- Velikost in razporeditev požarne obtežbe
- Lastnosti materialov (npr. strupeni plini)
- Toplotne značilnosti ločilnih sten in oboda stavbe
- Pogoji prezračevanja
- Razdelitev stavbe na požarne sektorje
- Poti za evakuacijo ljudi
- Detekcija dima, avtomatično javljanje požara
- Pršilci vode
- Oddaljenost in usposobljenost gasilske brigade
- Zadostna količina vode za gašenje
- Urjenje uporabnikov za primer požara
- Urejen dostop za gasilce
- **Požarna odpornost konstrukcije**

Evrokod standardi in določanje požarne odpornosti stavb

- Evrokod 0: Osnovni principi
- **Evrokod 1**: Obtežbe
- **Evrokodi 2-6**: Projektiranje gradbenih konstrukcij glede na uporabljeni gradbeni material (beton, jeklo, sovprežne jeklene – betonske konstrukcije, les, zidane konstrukcije)
- Evrokod 7: Geotehnični vidik projektiranja
- Evrokod 8: Potresno odporne konstrukcije
- **Evrokod 9**: Aluminijske konstrukcije

Požarna odpornost v delih 1-2 Evrokodov 1-6

- **SIST EN 1991-1-2**: Vplivi požara na konstrukcije
- **SIST EN 1992-1-2**: Požarno odporno projektiranje betonskih konstrukcij
- **SITS EN 1993-1-2**: Požarno odporno projektiranje jeklenih konstrukcij
- **SIST EN 1994-1-2**: Požarno odporno projektiranje sovprežnih konstrukcij
- **SIST EN 1995-1-2**: Požarno odporno projektiranje lesenih konstrukcij
- **SIST EN 1996-1-2**: Požarno odporno projektiranje zidanih konstrukcij

Evrokod 1

– Toplotni vplivi

***) Nominalna krivulja Temperatura - čas**
Standardna temperatura-, Zunanji požar - &
Krivulja ogljiko-vodikovega požara

Podatki niso
potrebni

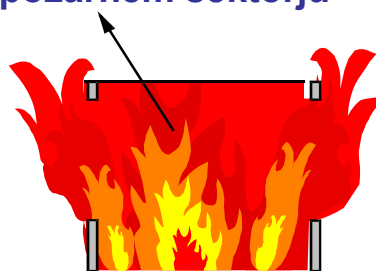
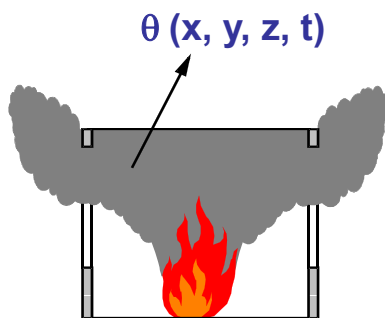
***) Poenostavljeni požarni modeli**

Lokaliziran požar

Polno razvit požar v sektorju

- HESKESTADT
- HASEMI

- Parametrični požar
- $\theta(t)$ enakomerna po celem
požarnem sektorju



Hitrost sproščanja
toplote

Površina požara

Lastnosti mejnih
elementov

Površina odprtin

Višina stropa

***) Napredni požarni modeli**

- Dvoconski model
- Enoconski model
- Kombinacija dvoconskega in enoconskega modela
- CFD

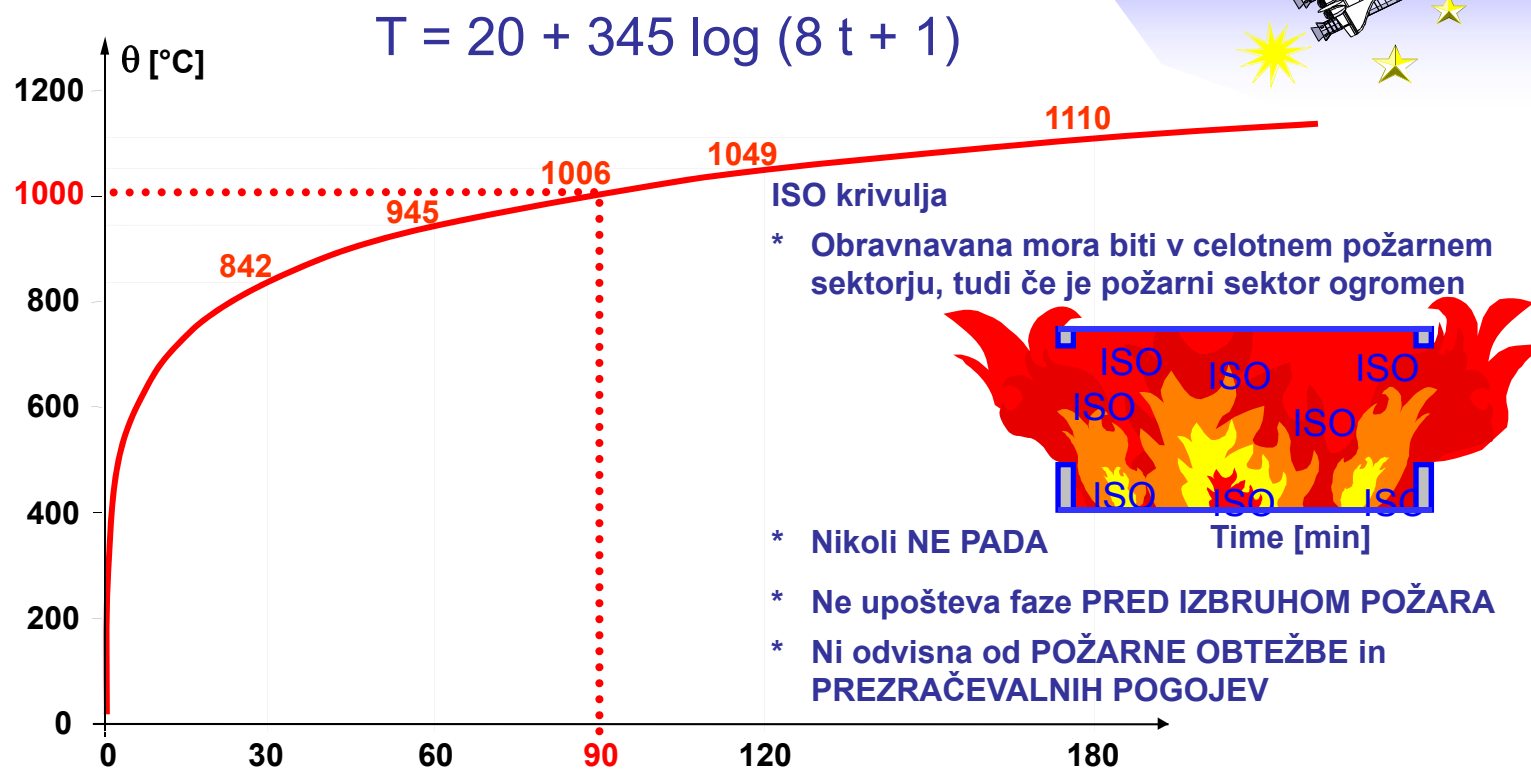
+

Točna geometrija

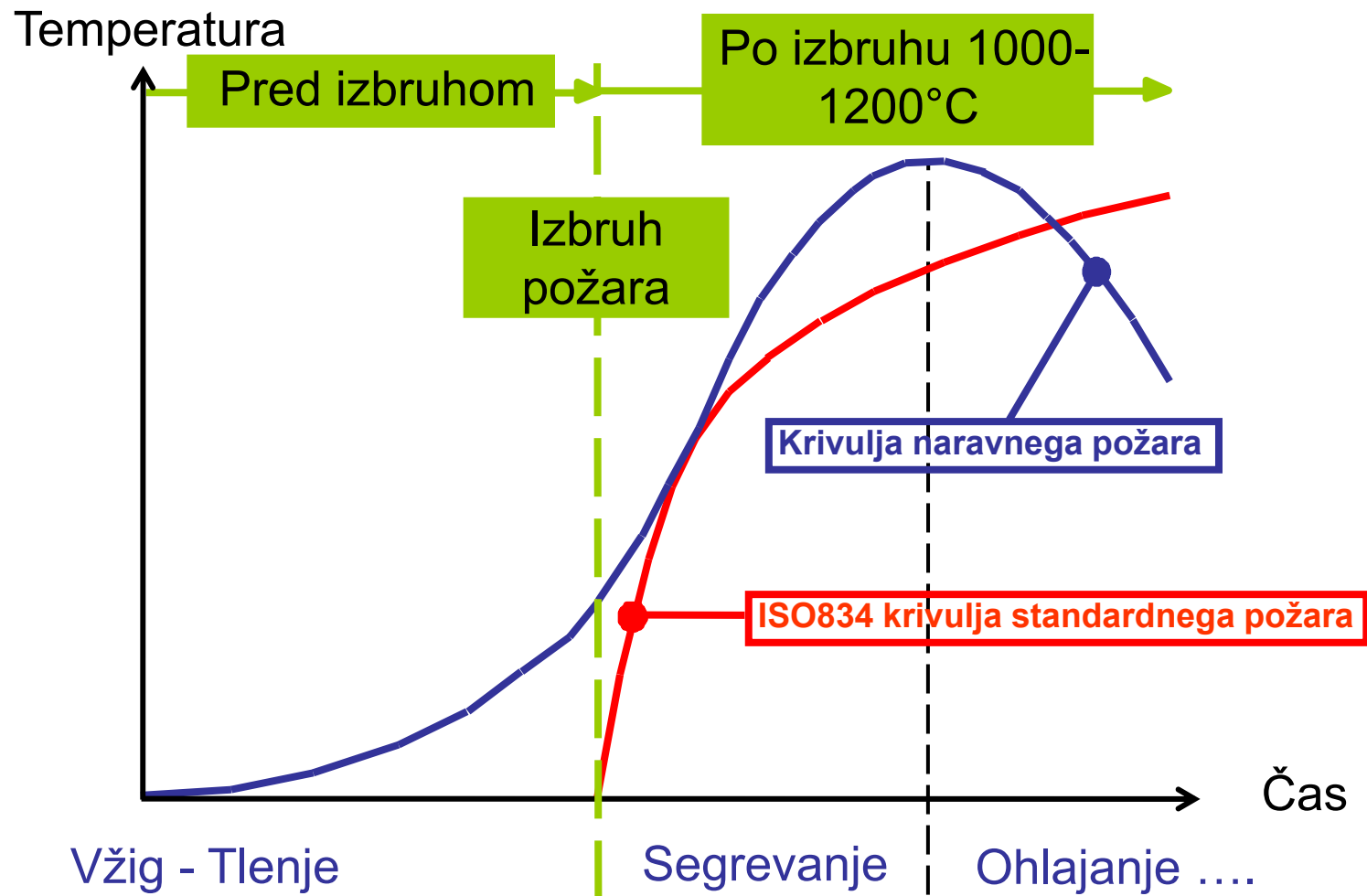
Evrokod 1

– Standardna požarna krivulja

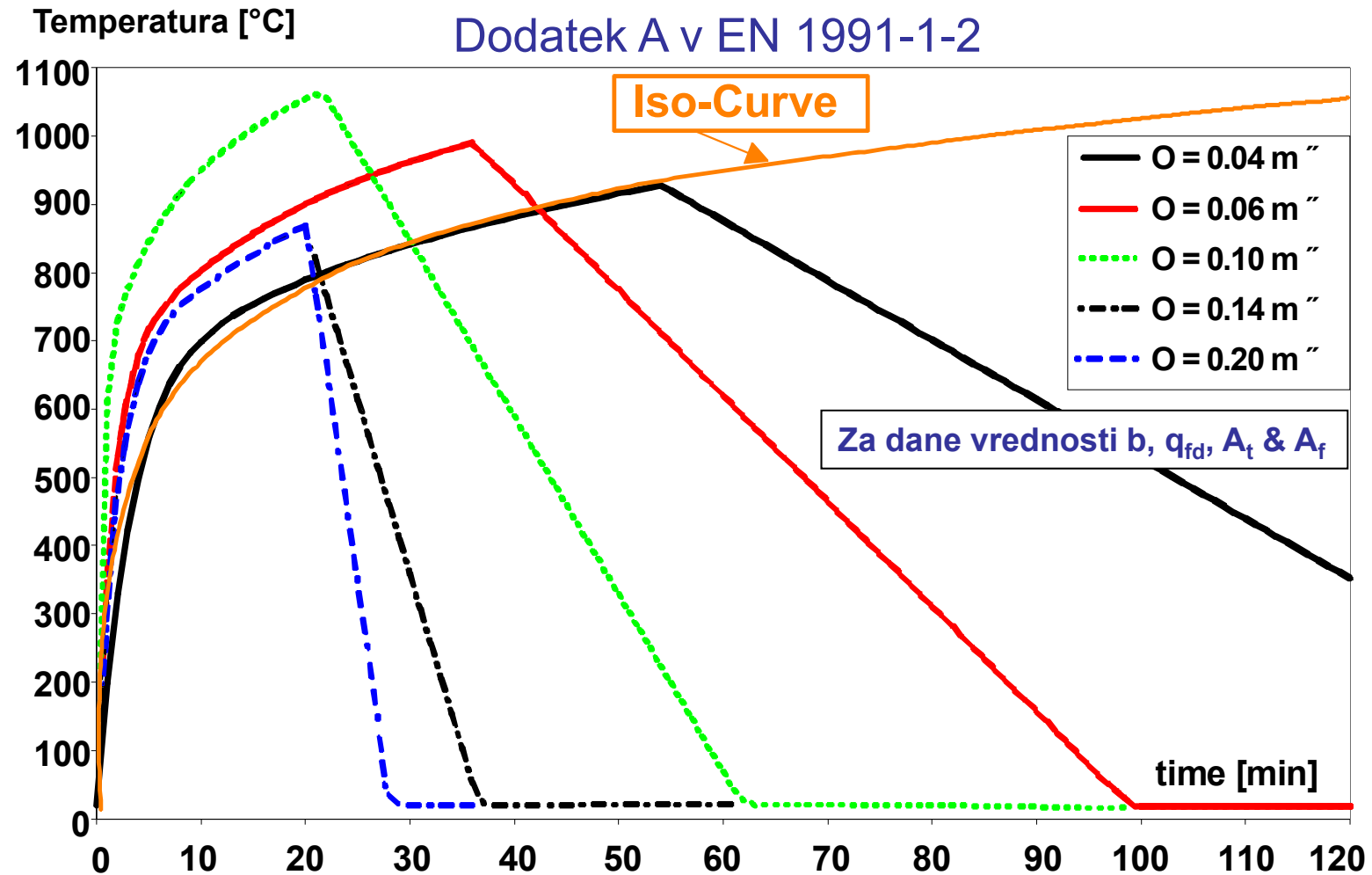
ISO-834 Krivulja (EN1364 -1)



Naravni požar in krivulja standardnega požara



Evrokod 1 – Naravni požar: parametrične krivulje



Evrokod 1 : Gostota požarne obremenitve

Raba	Hitrost širjenja požara	RHR [kW/m ²] ^f	Požarna obtežba q 80% fraktila [MJ/m ²] ^{f,k}
Stanovanja	srednja	250	948
Bolnišnice (sobe)	srednja	250	280
Hoteli (sobe)	srednja	250	377
Knjižnice	hitra	500	1824
Pisarne	srednja	250	511
Šole	srednja	250	347
Nakupovalna središča	hitra	250	730
Dvorane (kino)	hitra	500	365
Transport (javni prostori)	počasi	250	122

Gostota požarne obtežbe

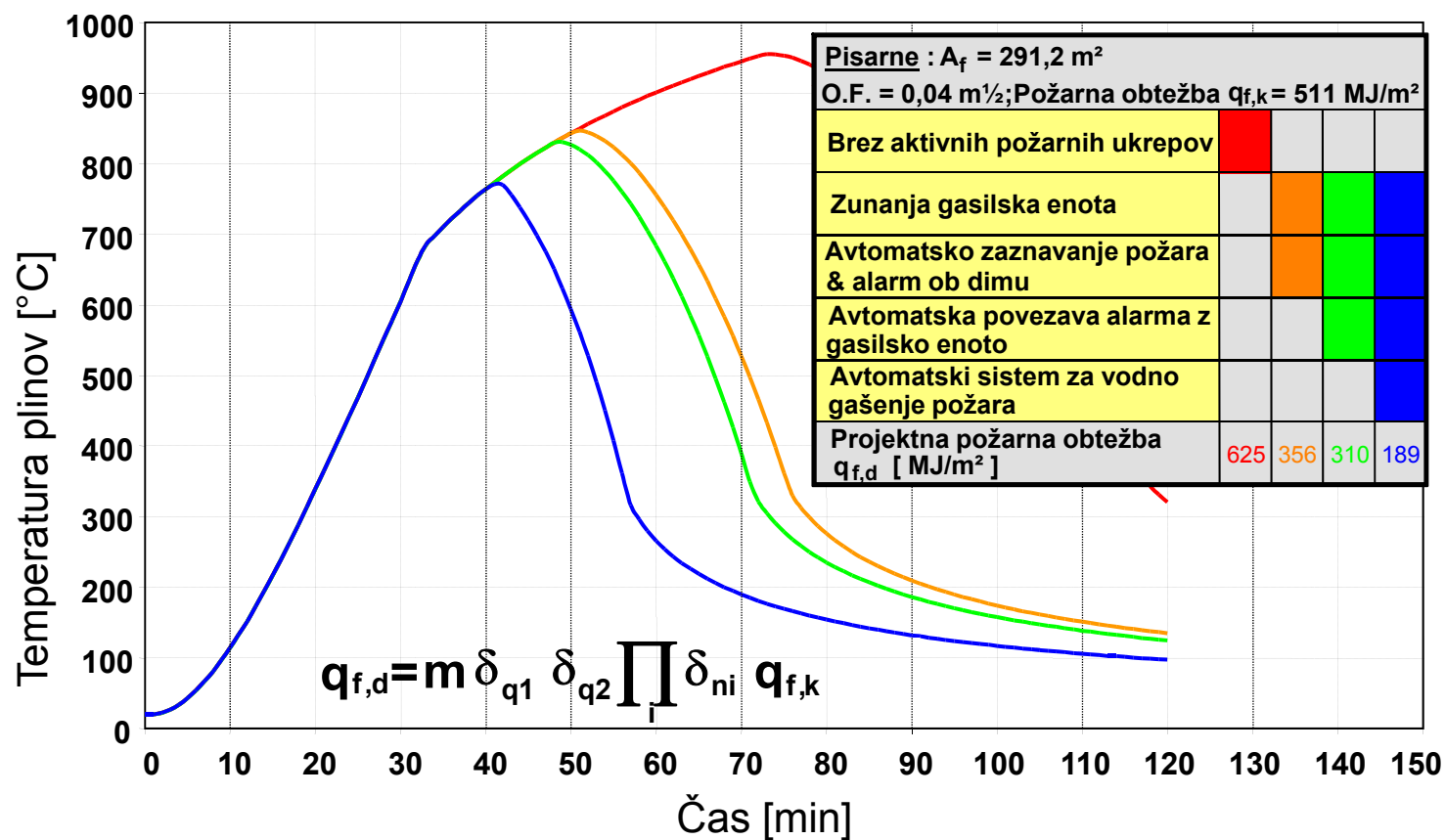
Talna površina sektorja A_f [m ²]	Nevarnost nastanka požara δ_{q1}	Nevarnost nastanka požara δ_{q2}	Primeri rabe
25	1,10	0,78	Umetniške galerije, muzeji, Plavalni bazeni
250	1,50	1,00	Stanovanja, hoteli, pisarne
2500	1,90	1,22	Tovarne za proizvodnjo strojev & motorjev
5000	2,00	1,44	Kemični laboratoriji, Barvarske delavnice
10000	2,13	1,66	Tovarne pirotehničnih izdelkov ali bena

$$q_{f,d} = \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \prod \delta_{ni} \cdot m \cdot q_{f,k}$$

Avtomatsko preprečevanje požara		Avtomatsko zaznavanje požara		Ročno preprečevanje požara					
Avtomatski vodni gasilni sistem (sprinkler)	Neodvisna preskrba z vodo	Avtomatsko zaznavanje požara in alarmiranje		Avtomatska povezava alarma z gasilsko enoto	Lastna gasilska enota	Zunanja gasilska enota	Varne intervencijske poti	Gasilni pripomočki	Sistem za odvod dima
δ_{n1}	0 1 2 δ_{n2}	Toplota δ_{n3}	Dim δ_{n4}	δ_{n5}	δ_{n6}	δ_{n7}	δ_{n8}	δ_{n9}	δ_{n10}
0,61	1,0 0,87 0,7	0,87 or 0,73		0,87	0,61 or 0,78		0,9 or 1 1,5	1,0 1,5	1,0 1,5

Napredni požarni modeli: OOZONE

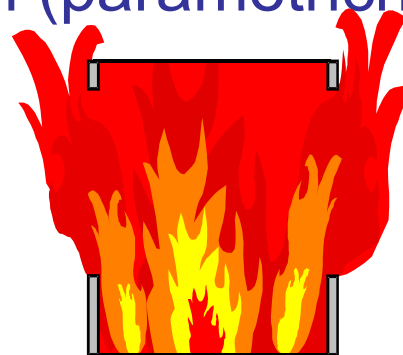
Vpliv aktivnih požarnih ukrepov



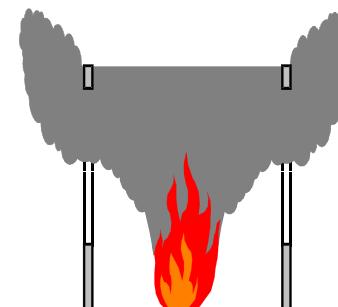
Evrokod 1

– požarni scenariji

- običajno požar le v enem požarnem sektorju
- obravnavani so trije različni požari (parametrične krivulje)
 - požar v celotnem požarnem sektorju



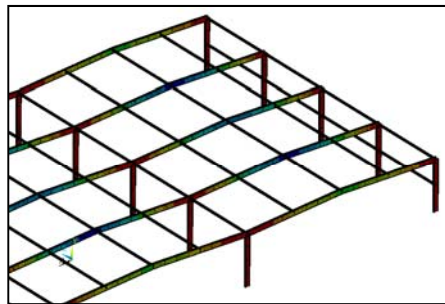
- vpliv požara iz požarnega sektorja na zunanje elemente



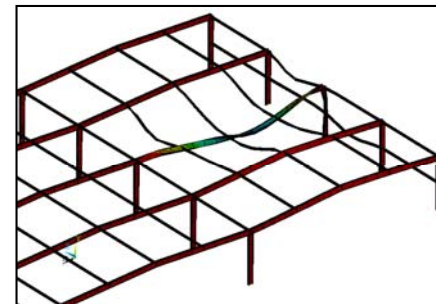
- lokalizirani požar (predvsem za velike požarne sektorje, kjer je razvoj polnega požara malo verjeten)

Odziv konstrukcije v primeru požara

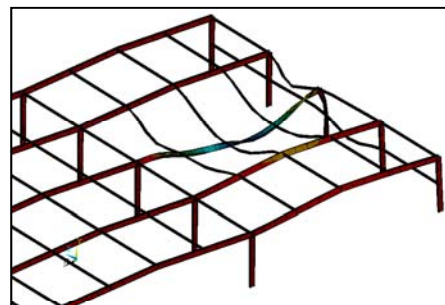
- Naraščanje temperature → toplotno raztezanje + izguba togosti ter nosilnosti → dodatno deformiranje konstrukcije ⇒ **izguba globalne stabilnosti**



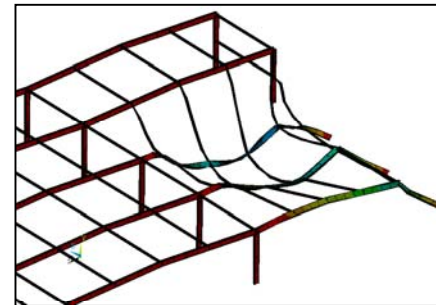
$t = 0$ $\theta = 20^{\circ}\text{C}$



16 min $\theta = 620^{\circ}\text{C}$



22 min $\theta = 720^{\circ}\text{C}$



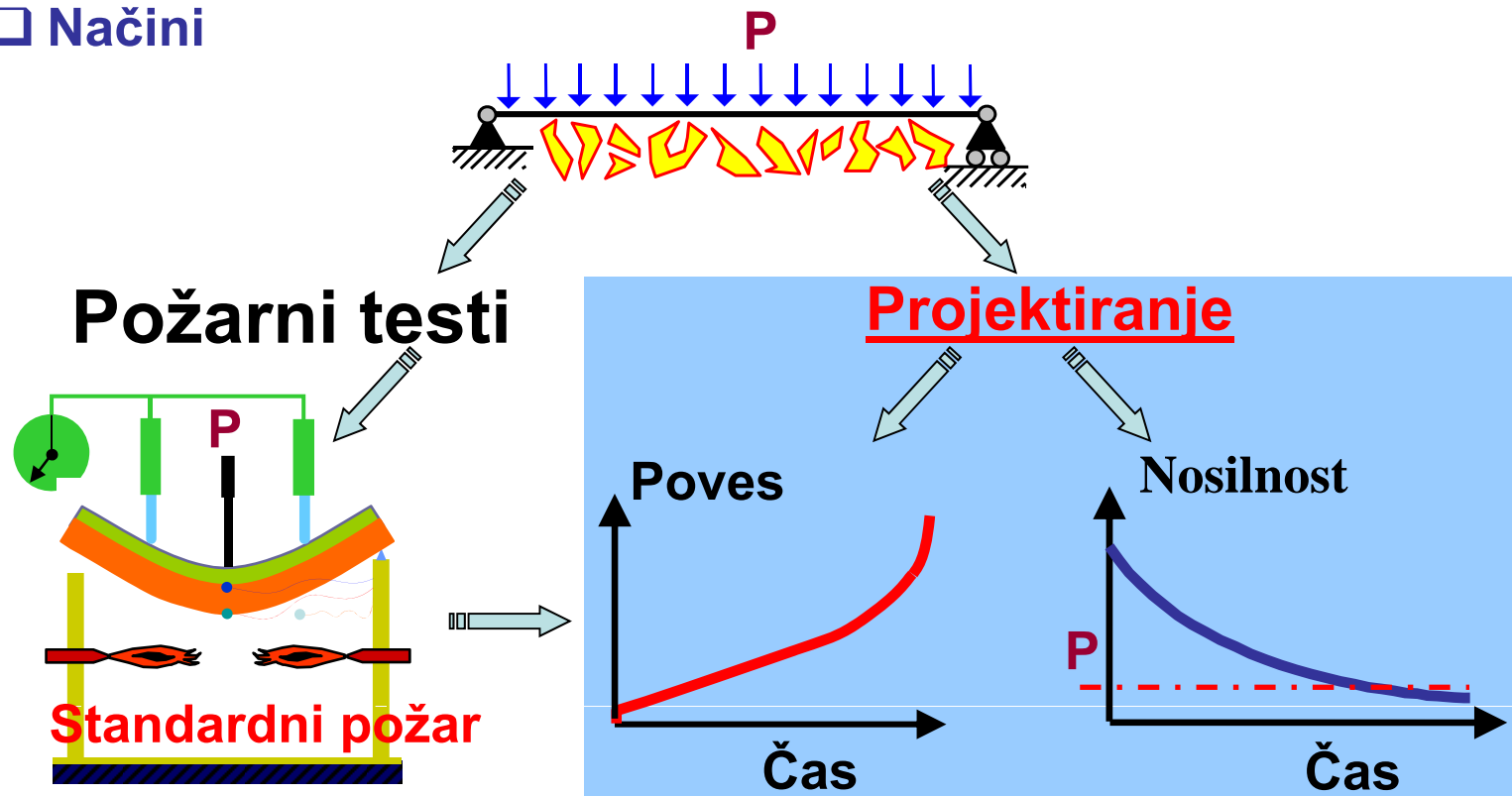
31 min $\theta = 850^{\circ}\text{C}$

Določitev mehanskega odziva konstrukcij v primeru požara

□ Namen

- opis **obnašanja konstrukcije** v primeru požara

□ Načini



Osnovne značilnosti mehanskega odziva jeklenih konstrukcij

- Mehanski vplivi pri požarni obtežni situaciji
 - posebna obtežna kombinacija (nezgodna)
- Mehanske lastnosti materiala pri povišani temperaturi
 - togost in nosilnost padata z višanjem temperature
- Metode analize
 - različni pristopi
 - področja uporabe
- Posebna obravnava določenih delov konstrukcije
 - konstrukcijski detajli, spoji, itd

Evrokod 0

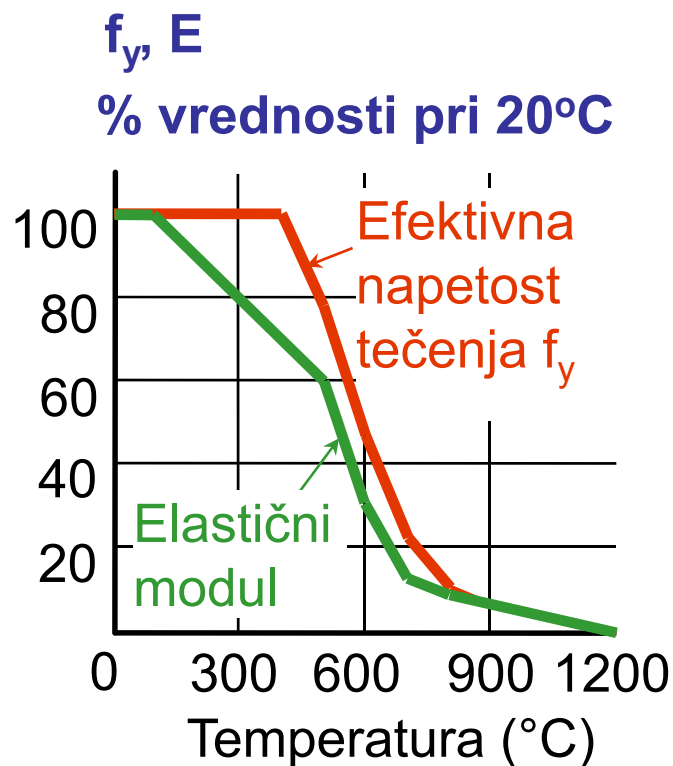
– projektno stanje za požar

- Požar je nezgodno projektno stanje –
obtežba zmanjšana za $\approx 1/3$

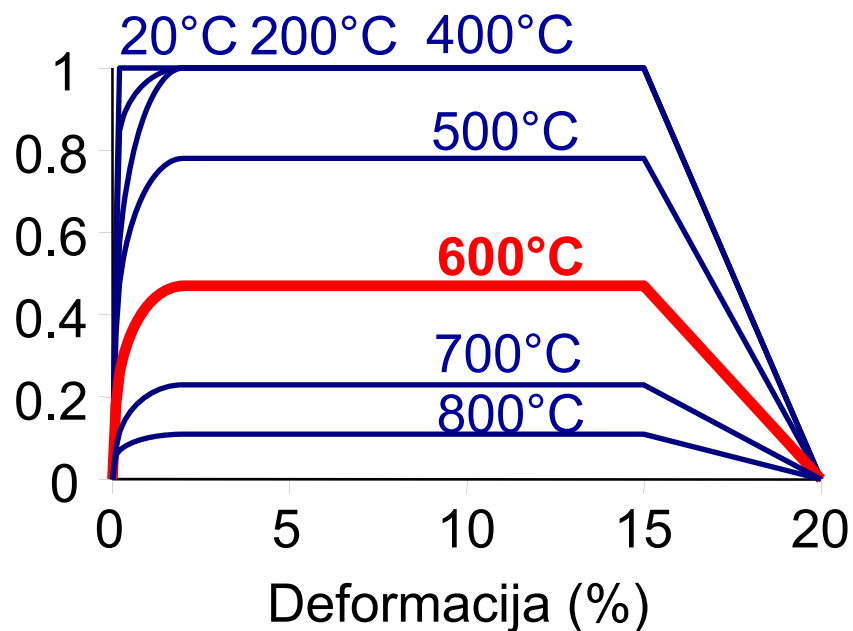
$$- "G_k" + "A_d" + "\Psi_{1,1} Q_{k,1}" + "\Psi_{2,i} Q_{k,i}"$$

- G_k karakteristična vrednost stalnih vplivov
- A_d projektna vrednost nezgodnega vpliva
- $Q_{k,1}$ karakteristična vrednost prevladujočega spremenljivega vpliva (v stavbah običajno koristna obtežba)
- $Q_{k,i}$ karakteristična vrednost ostalih spremenljivih vplivov (veter in sneg se ponavadi ne upoštevata)
- $\Psi_{1,1}, \Psi_{2,i}$ kombinacijski koeficienti (EN 1990)

Evrokod 3 : Mehanske lastnosti konstrukcijskih jekel pri povišani temperaturi



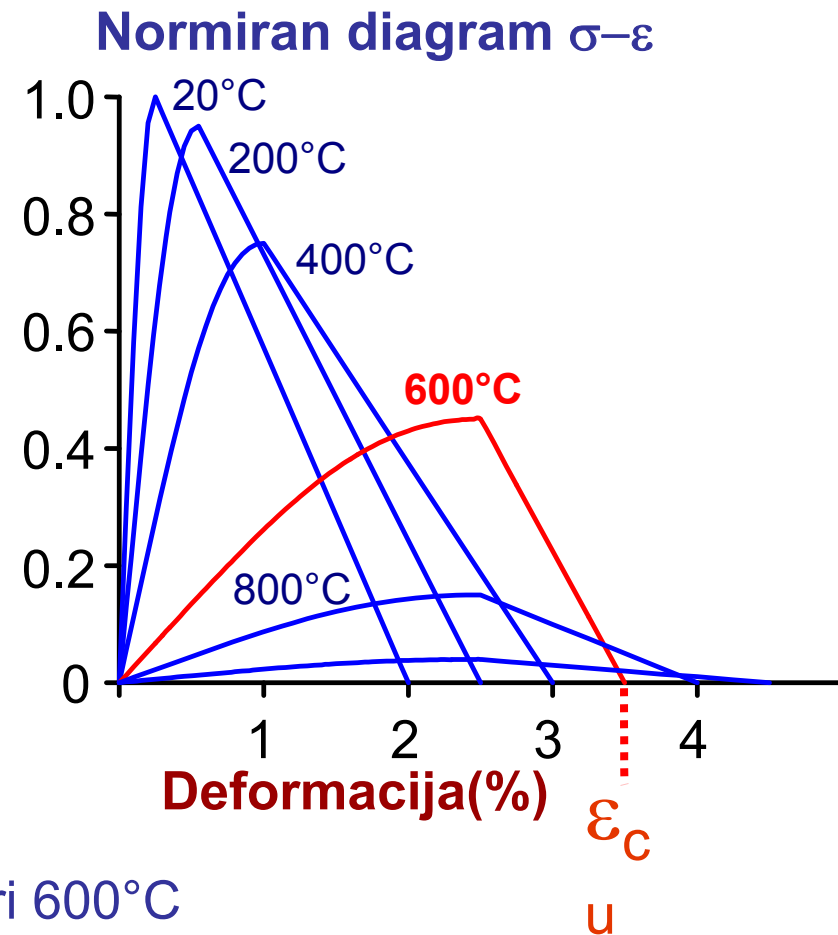
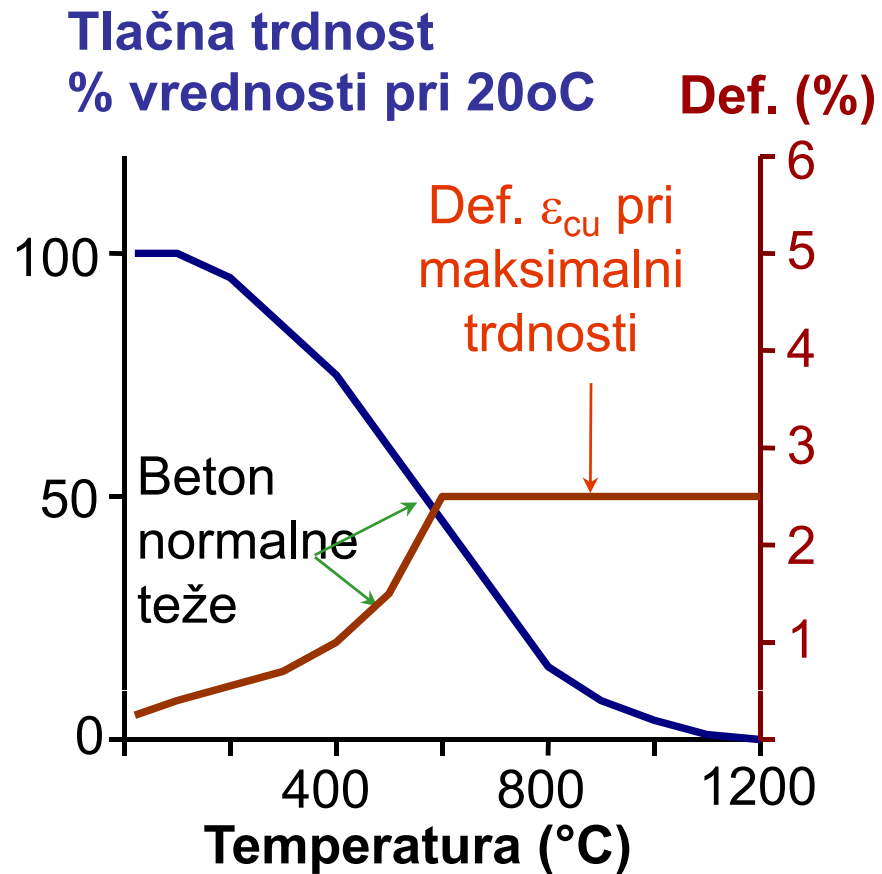
Normiran diagram $\sigma-\varepsilon$



◆ elastični modul: 70%
redukcija pri 600°C

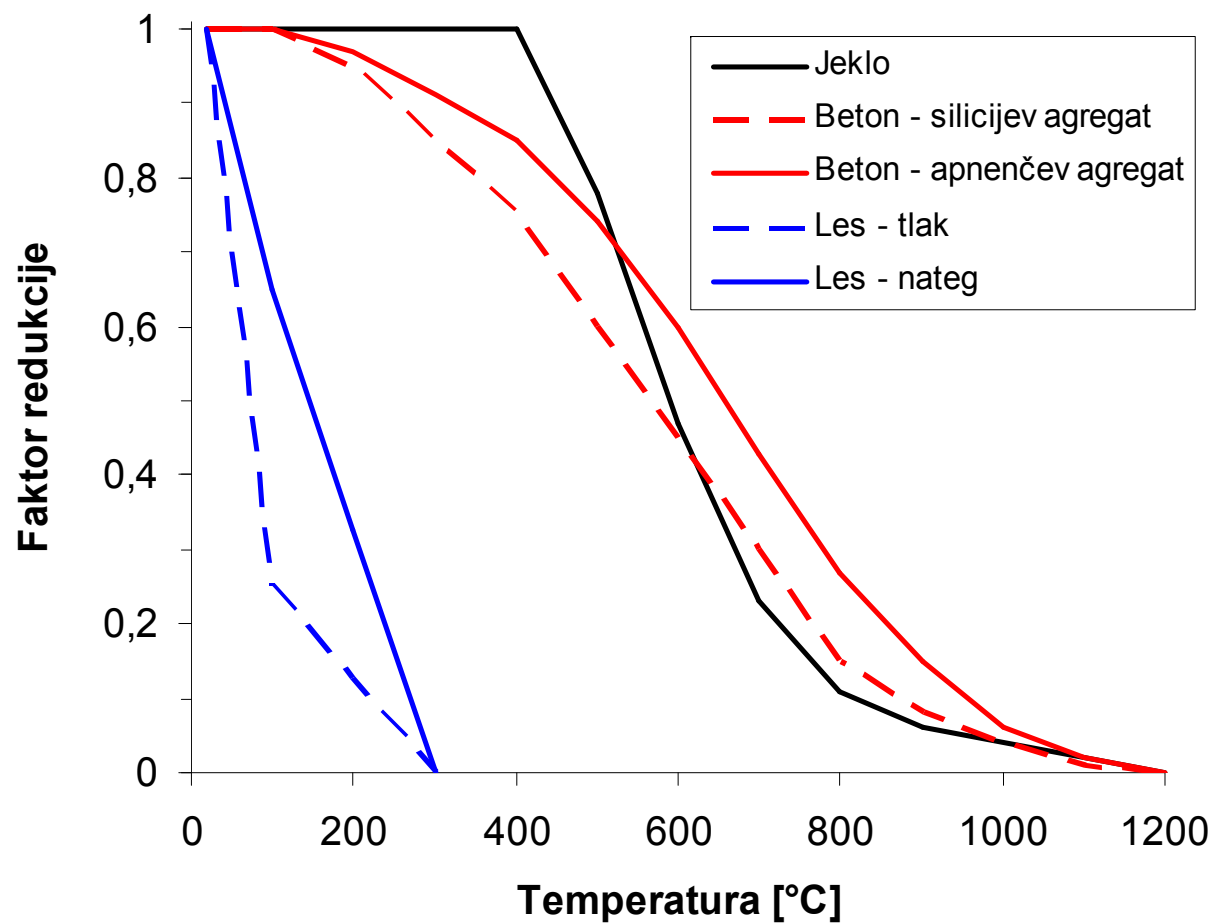
◆ napetost tečenja: 50%
redukcija pri 600°C

Evrokod 2 : Mehanske lastnosti betona pri povišani temperaturi

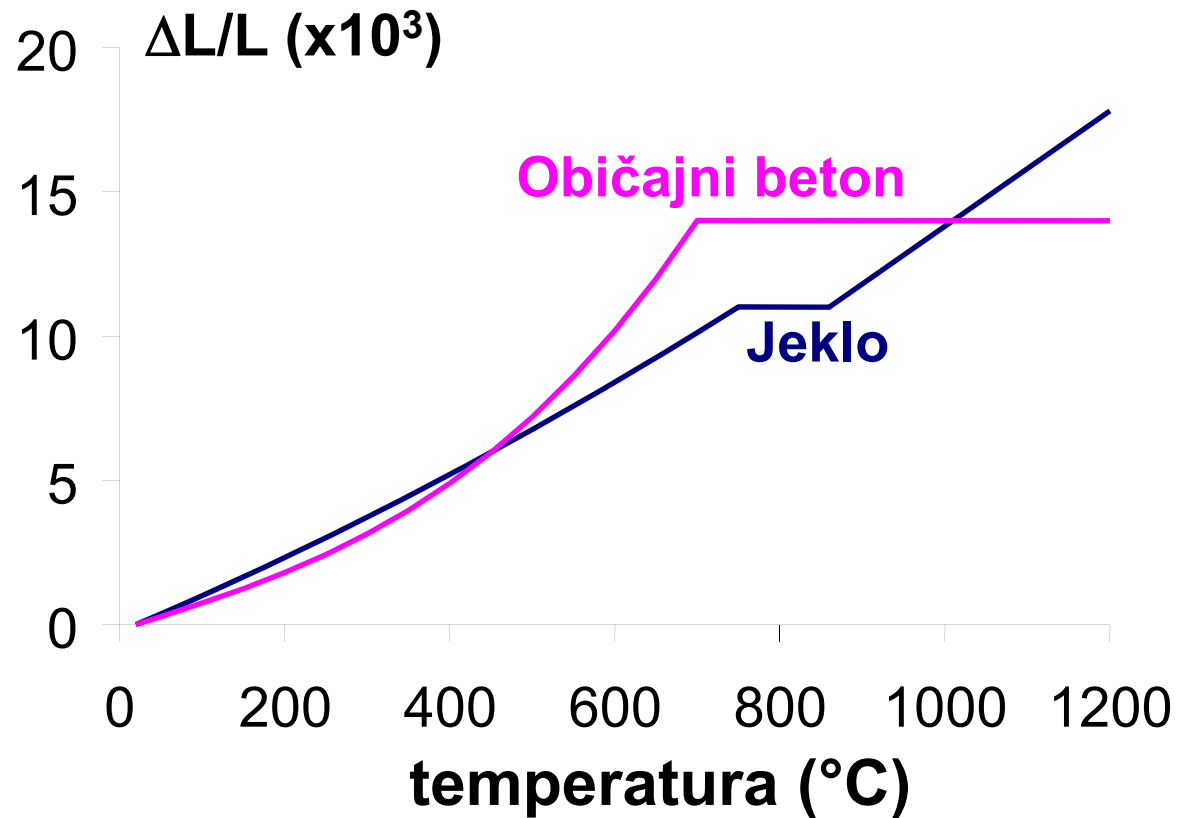


◆ Tlačna trdnost: 50% redukcija pri 600°C

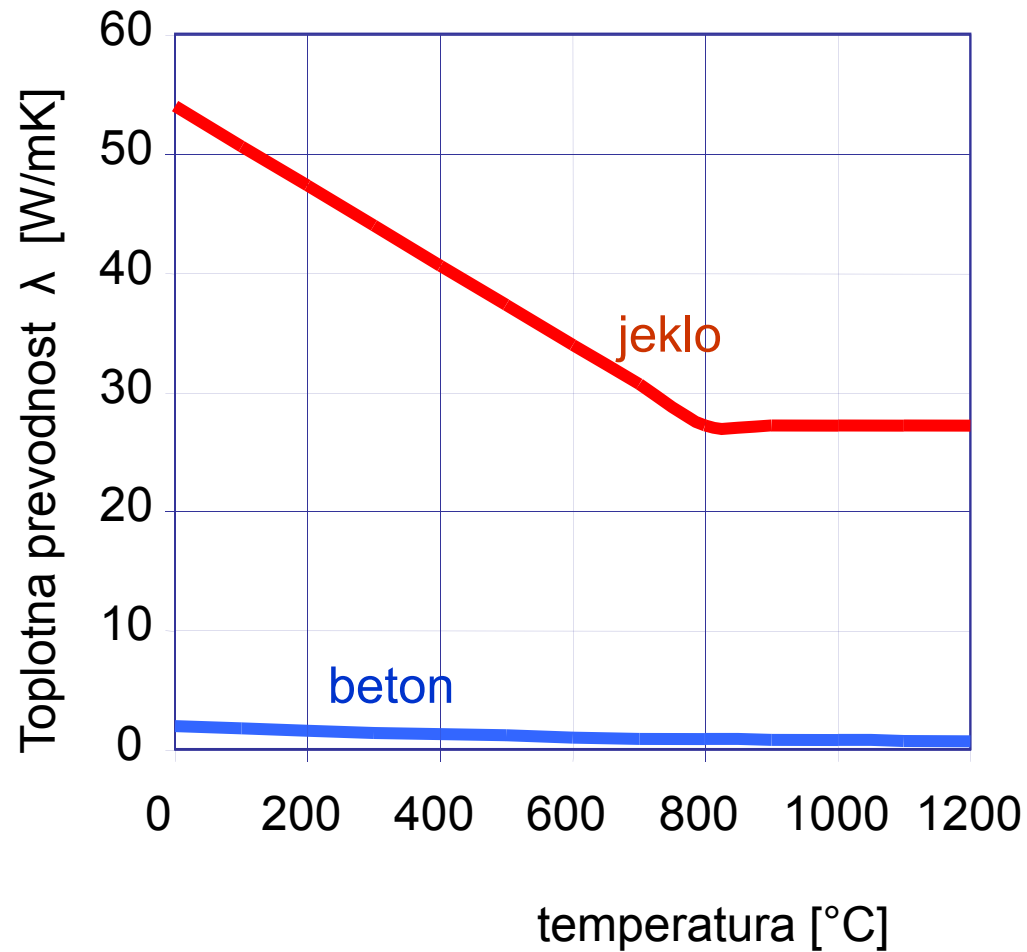
Primerjava relativne požarne odpornosti posameznih gradbenih materialov



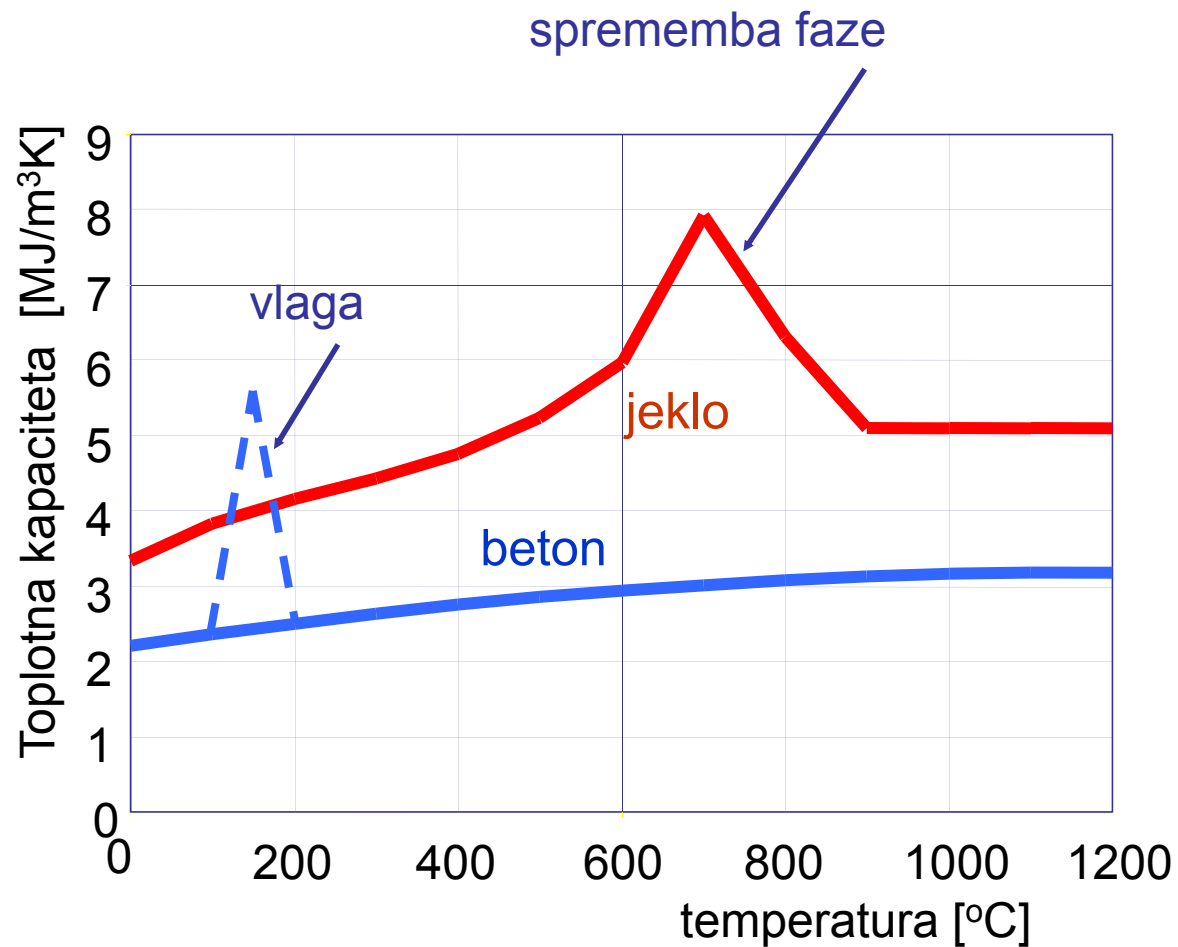
Evrokod 3 in Evrokod 4 : Toplotno raztezanje jekla in betona



Evrokod 3 in Evrokod 4 : Toplotna prevodnost jekla in betona

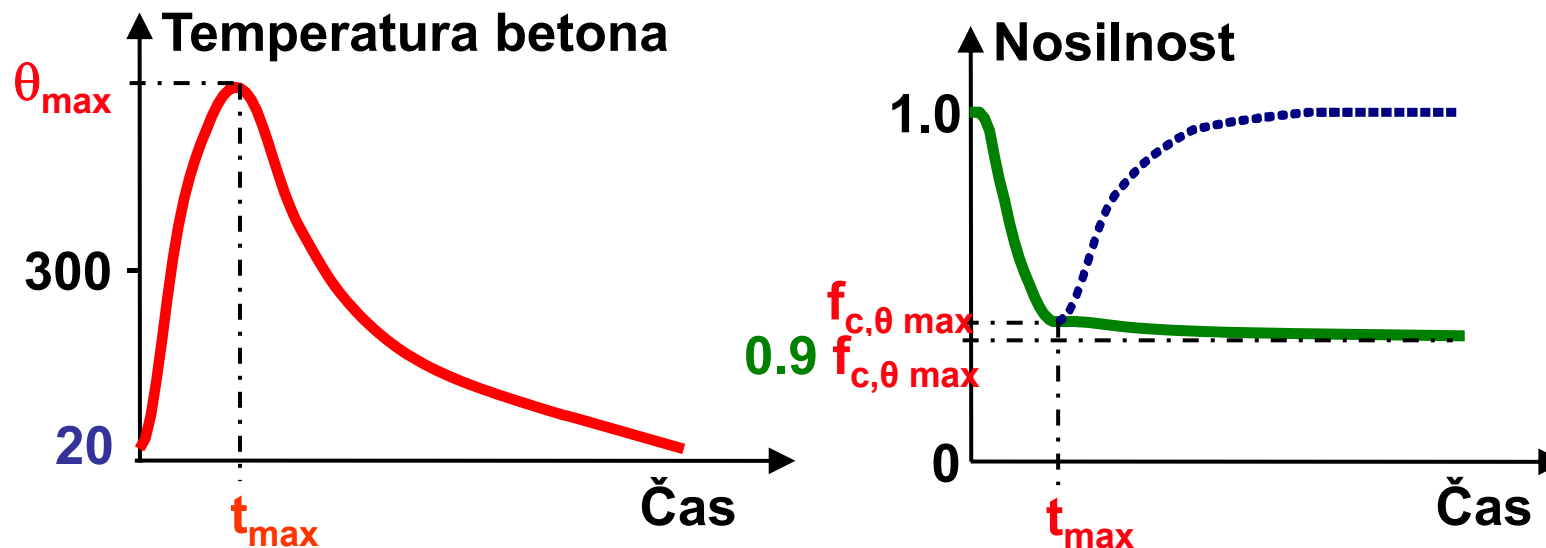


Evrokod 3 in Evrokod 4 : Toplotna kapaciteta jekla in betona



Nosilnost v fazi ohlajevanja

- Mehanske lastnosti jekla v fazi ohlajevanja se povrnejo v prvotno stanje
- Beton v fazi ohlajevanja



Primer: če $\theta_{max} \geq 300 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$f_{c,\theta,20^\circ\text{C}} = 0.9 f_{c,\theta max}$$

Določitev $f_{c,\theta}$: linearna interpolacija za θ med θ_{max} in 20°C

Evrokod : Računske metode za določevanje mehanskega odziva konstrukcij v požaru

❑ Uporaba tabel

- betonski, sovprežni, zidani elementi konstrukcije

❑ Enostavni računski modeli

- jekleni in sovprežni elementi konstrukcije (+ ostali)

Klasična uporaba

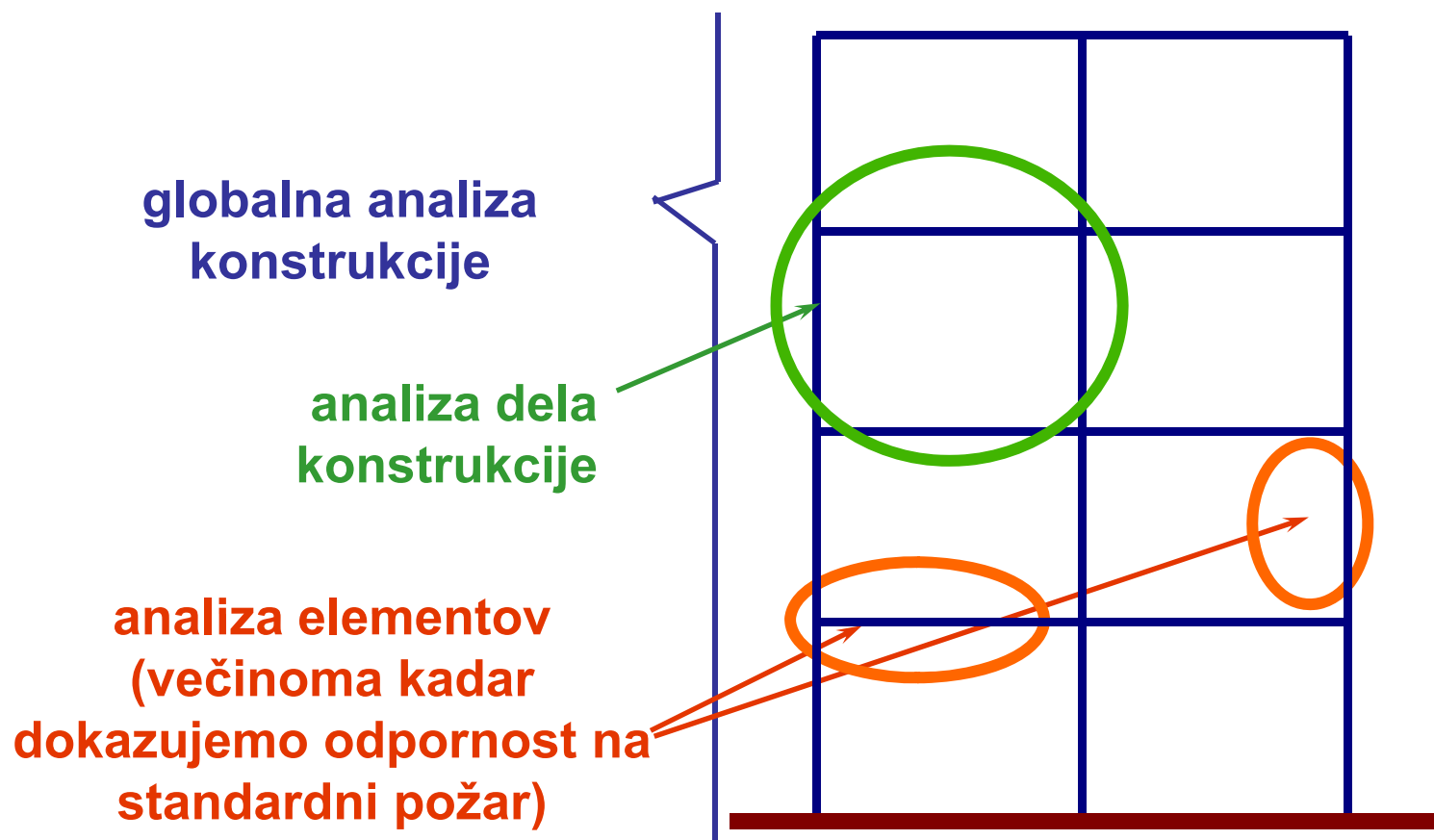
❑ Napredni računski modeli

- vse vrste konstrukcij
- **numerično temelji na:**
 - **metodi končnih elementov**

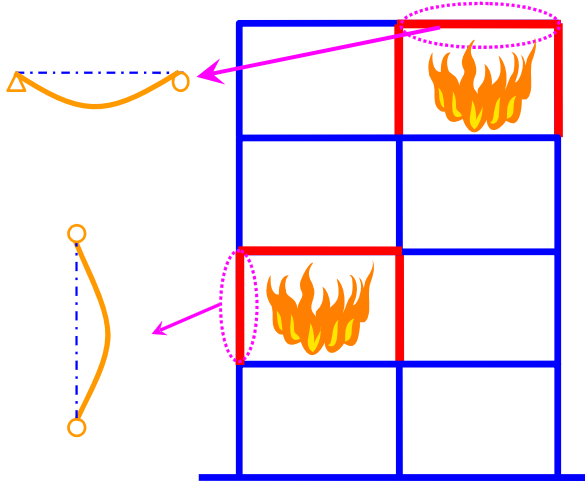
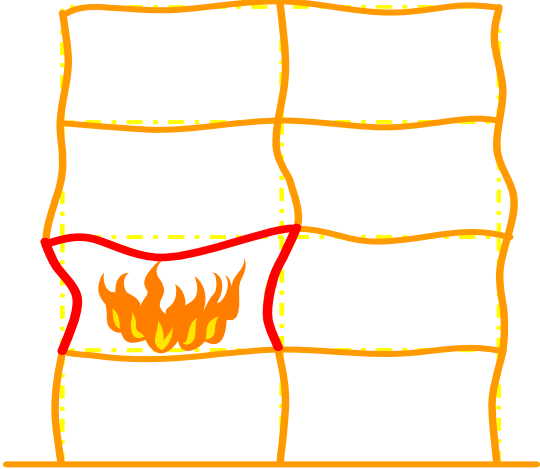
Napredno požarno projektiranje

Analize mehanskega odziva konstrukcij v primeru požara

- Trije različni načini (Evrokod)

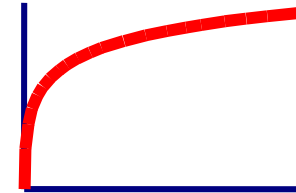


Analize mehanskega odziva konstrukcij v primeru požara

Analiza elementov	Globalna analiza konstrukcije
	
<ul style="list-style-type: none">• elementi medsebojno neodvisni• enostaven postopek• v splošnem za standardni požar	<ul style="list-style-type: none">• medsebojni vpliv delov konstrukcije• vpliv požarnih sektorjev• globalna stabilnost

Uporaba računskih metod

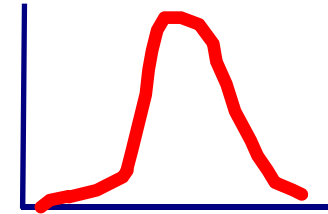
Toplotni vpliv določen s standardnim požarom



Analiza	Uporaba tabel	Enostavni računski modeli	Napredni računski modeli
Analiza elementa konstrukcije	Da <u>ISO-834</u> <u>standardni</u> <u>požar</u>	Da	Da
Analiza dela konstrukcije	Ni primerna	Da (vprašanje veljavnosti)	Da
Globalna analiza konstrukcije	Ni primerna	Ni primerna	Da

Uporaba računskih metod

☐ Toplotni vpliv definiran z naravnim požarom



Analiza	Uporaba tabel	Enostavni računski modeli	Napredni računski modeli
Analiza elementa konstrukcije	Ni primerna	Da (vprašanje veljavnosti)	Da
Analiza dela konstrukcije	Ni primerna	Ni primerna	Da
Globalna analiza konstrukcije	Ni primerna	Ni primerna	Da

Evrokod 2

– Betonske konstrukcije

Uporaba tabel za različne elemente

- stebri,
- stene,
- nosilci,
- plošče,
- elementi iz betona visoke trdnosti.

V odvisnosti od zahtevane požarne nosilnosti (R) so podane minimalne dimenzije prečnega prereza in minimalne dovoljene osne razdalje armature od zunanje površine. Pri stebrih sta parametra tudi nivo osne sile in stopnja armiranja.

Evrokod 2 – tabela za stebre

Standard fire resistance	Mechanical reinforcement ratio ω	Minimum dimensions (mm). Column width b_{min} /axis distance a			
		n = 0,15	n = 0,3	n = 0,5	n = 0,7
1	2	3	4	5	6
R 30	0,100	150/25*	150/25*	200/30:250/25*	300/30:350/25*
	0,500	150/25*	150/25*	150/25*	200/30:250/25*
	1,000	150/25*	150/25*	150/25*	200/30:300/25*
R 60	0,100	150/30:200/25*	200/40:300/25*	300/40:500/25*	500/25*
	0,500	150/25*	150/35:200/25*	250/35:350/25*	350/40:550/25*
	1,000	150/25*	150/30:200/25*	200/40:400/25*	300/50:600/30
R 90	0,100	200/40:250/25*	300/40:400/25*	500/50:550/25*	550/40:600/25*
	0,500	150/35:200/25*	200/45:300/25*	300/45:550/25*	500/50:600/40
	1,000	200/25*	200/40:300/25*	250/40:550/25*	500/50:600/45
R 120	0,100	250/50:350/25*	400/50:550/25*	550/25*	550/60:600/45
	0,500	200/45:300/25*	300/45:550/25*	450/50:600/25*	500/60:600/50
	1,000	200/40:250/25*	250/50:400/25*	450/45:600/30	600/60
R 180	0,100	400/50:500/25*	500/60:550/25*	550/60:600/30	(1)
	0,500	300/45:450/25*	450/50:600/25*	500/60:600/50	600/75
	1,000	300/35:400/25*	450/50:550/25*	500/60:600/45	(1)
R 240	0,100	500/60:550/25*	550/40:600/25*	600/75	(1)
	0,500	450/45:500/25*	550/55:600/25*	600/70	(1)
	1,000	400/45:500/25*	500/40:600/30	600/60	(1)

* Normally the cover required by EN 1992-1-1 will control.

(1) Requires width greater than 600 mm. Particular assessment for buckling is required.

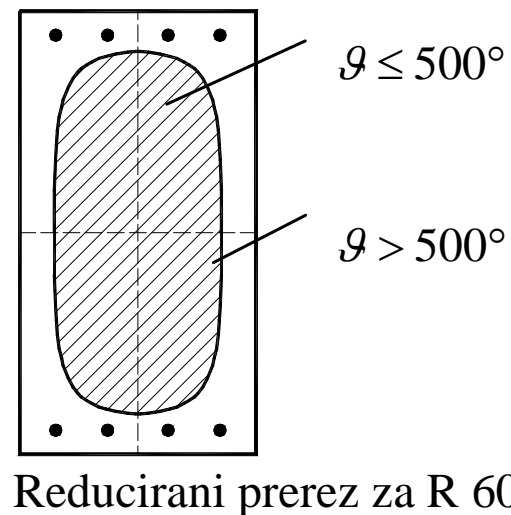
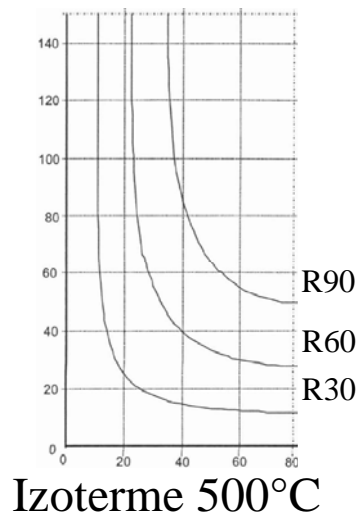
Minimalne dimenzije stebra in osnih razdalj za AB stebre pravokotnega ali krožnega prereza

Evrokod 2

– računske metode

Poenostavljena računrska metoda za elemente (nominalni in naravni požar), ki temelji na dveh temperaturnih conah

- zunanja ($\theta \geq 500\text{oC}$) – beton ne nosi nič
- notranja ($\theta \leq 500\text{oC}$) – beton nosi polno



Evrokod 2

– računske metode

- napredne numerične simulacije (podani samo osnovni principi in podatki za mehanske lastnosti betona pri povišani temperaturi)

Evrokod 2 – spalling

- **luščenje betona** zaradi nastanka pare v betonu med požarom (spalling).
 - običajni beton: luščenje se pojavi pri več kot 3% vlagi betona (dodatna kontrola ob upoštevanju reduciranega prereza – luščenje betona). Pri razdaljah armature od površine elementa, večjih od 7 cm, je potrebno vgraditi dodatno površinsko armaturno mrežo.
 - betoni visoke trdnosti: za preprečevanje luščenja betona so predpisani posebni ukrepi.

Evrokod 3

– Jeklene konstrukcije

Poenostavljena računaska metoda za elemente in nepomične okvire (za standardno požarno krivuljo)

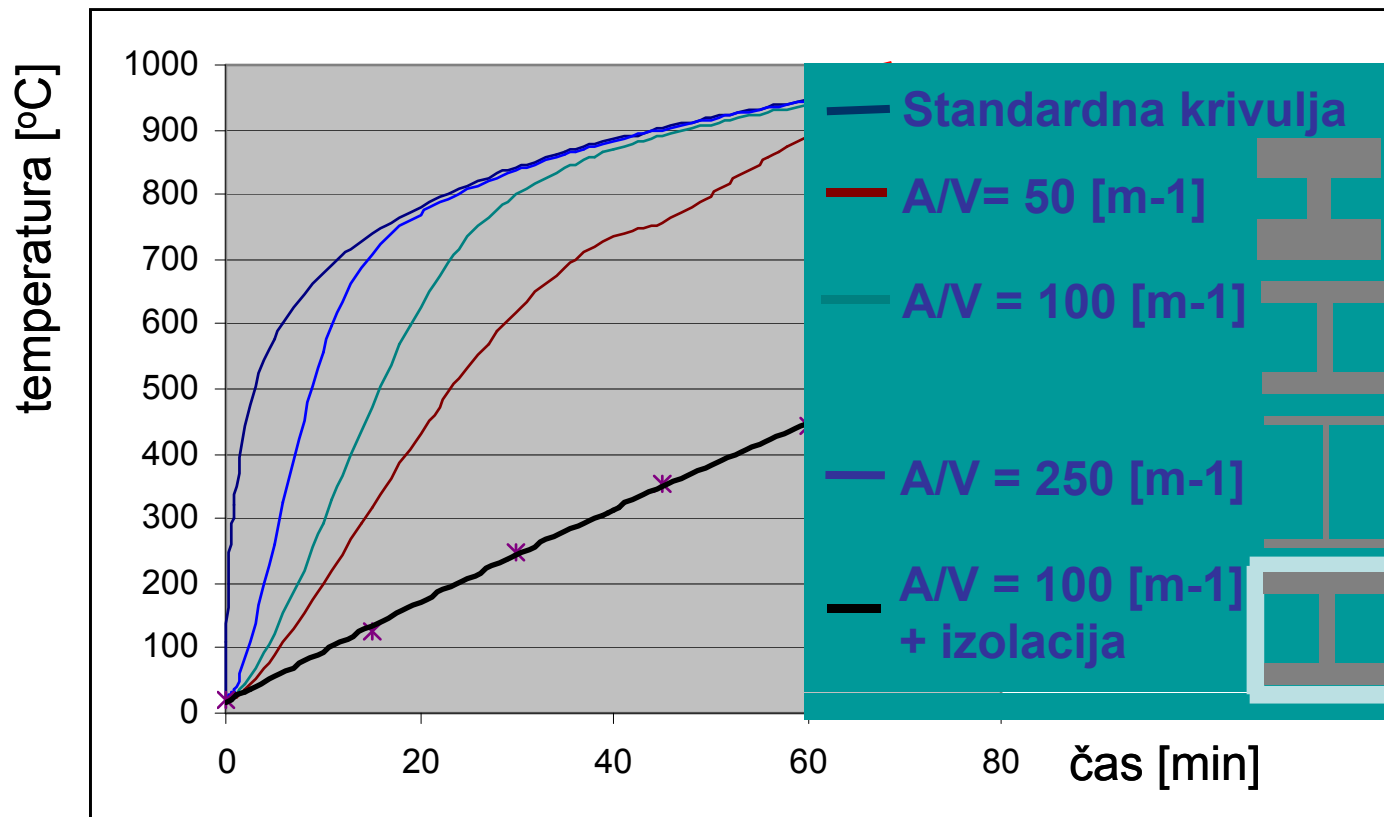
račun notranjih sil in pomikov pri sobni temperaturi

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

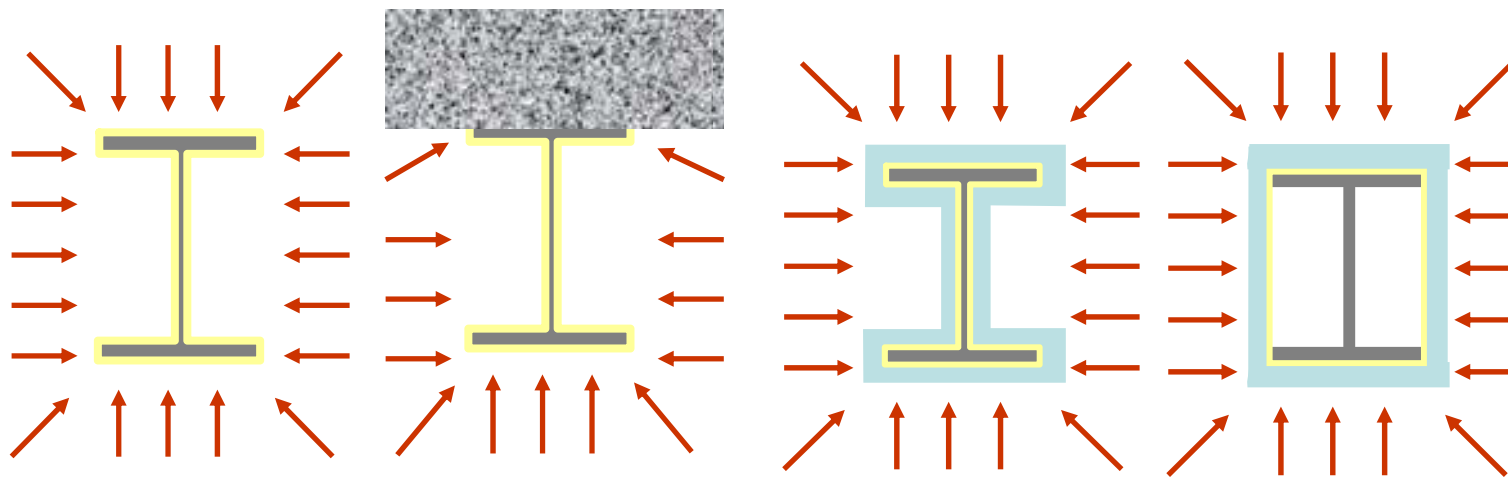
$R_{fi,d,t}$ = nosilnost pri povišani temperaturi (zmanjšana)

$E_{fi,d}$ = zmanjšana obtežba (nezgodno projektno stanje)

Razvoj temperature v jeklenih profilih



Evrokod 3 : Faktor prereza jeklenih profilov



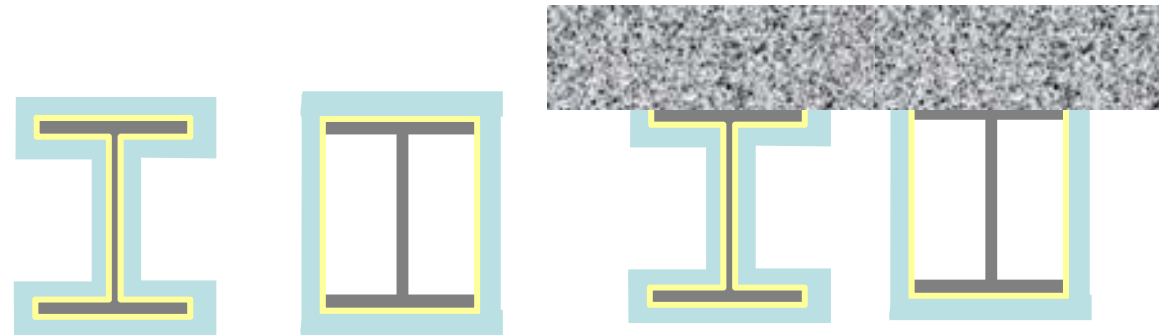
nezaščiten jeklen profil

zaščiten jeklen profil

Definicija: razmerje med “površino” skozi katero se prenaša toplota v jekleni element in “volumnom jeklenega elementa”

Faktor prereza (A/V)

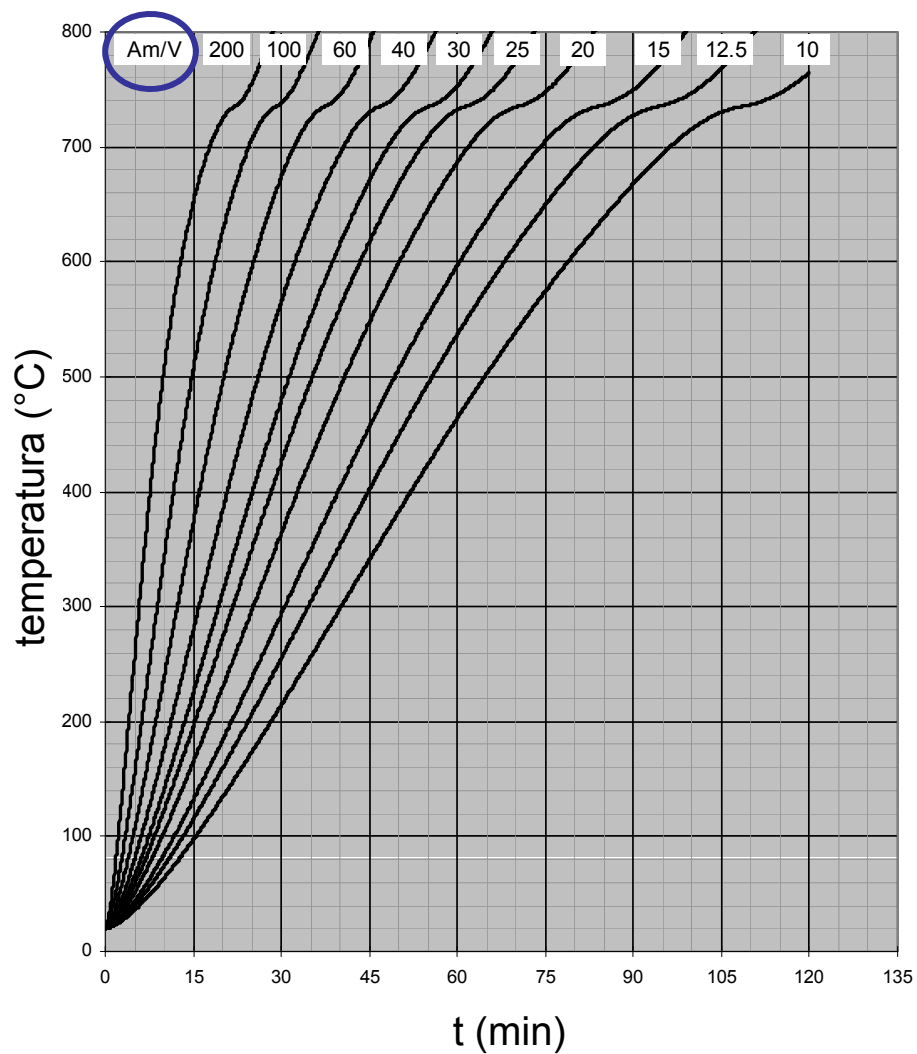
Numerična vrednost



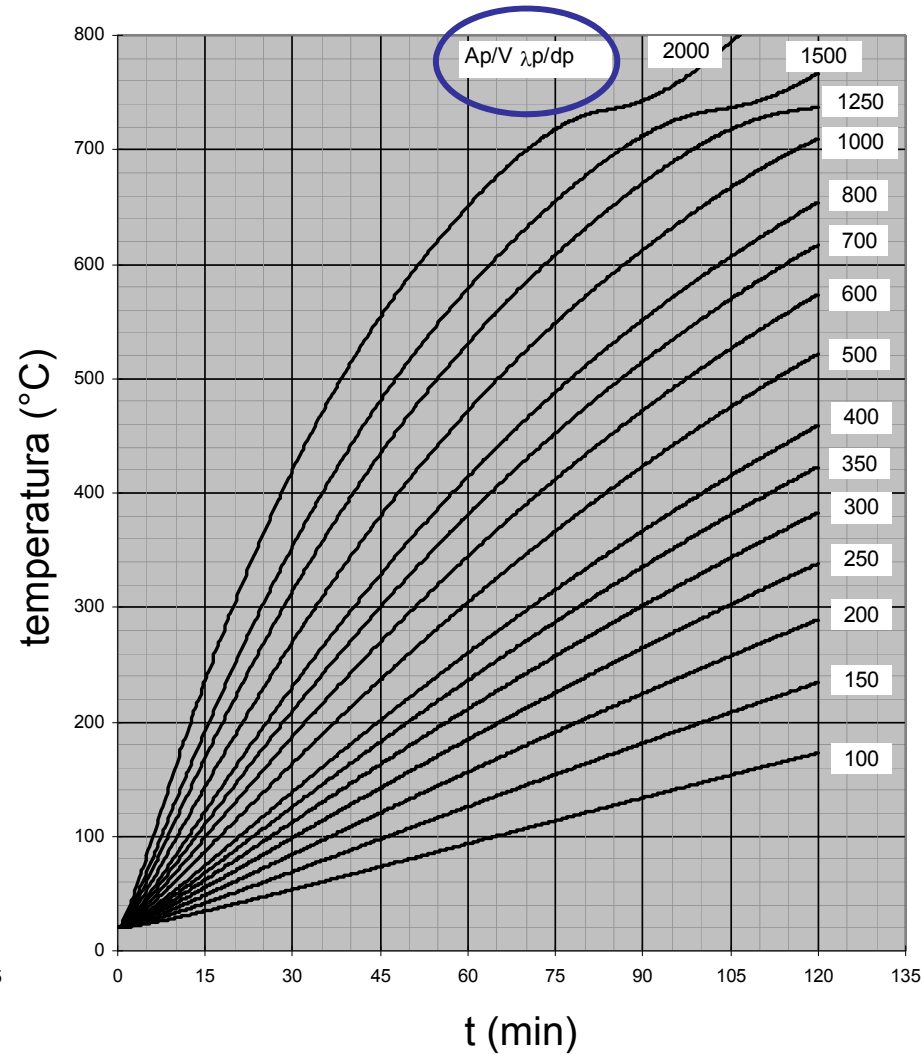
IPE100	387	300	334	247
HE280A	165	113	136	84
HE320B	110	77	91	58

Opomba: območje: $\approx 50 - 400 \text{ [m}^{-1}\text{]}$

Evrokod 3 : Temperatura v jeklenih elementih (standardni požar)



neizolirani elementi



izolirani elementi

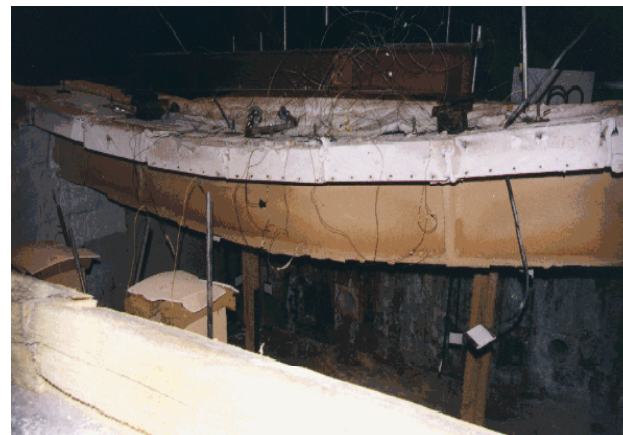
Testi :

Zaščiteni jekleni elementi

- Cilj: izolacijske karakteristike požarno zaščenih jeklenih elementov
- Problem: sprejemljivost ali pritrjevanje
- Referenca: EN 13381-4



nosilec pred požarnim testom



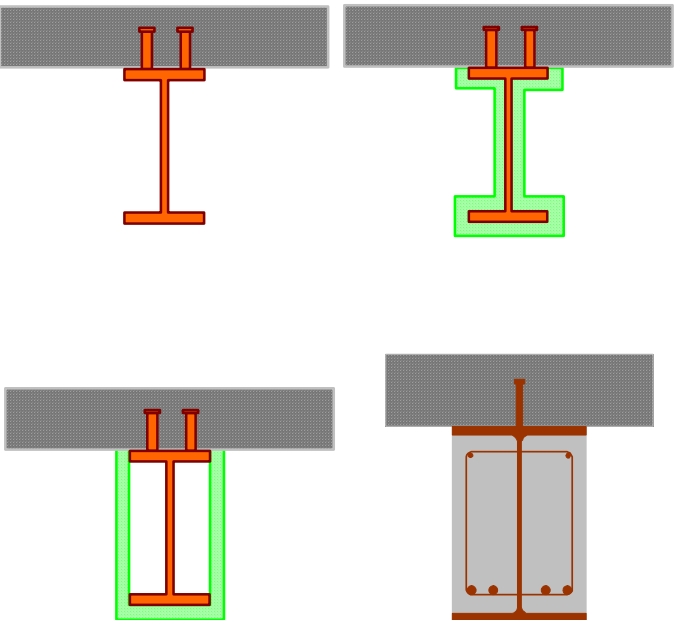
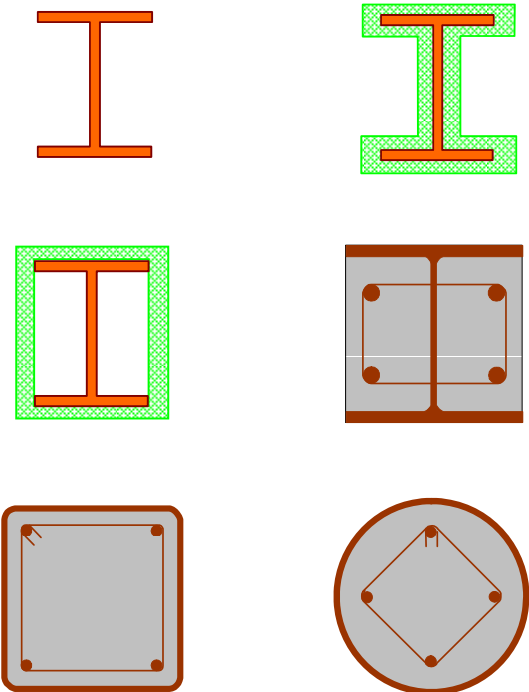
nosilec po požarnem testu

Sistemi požarne izolacije

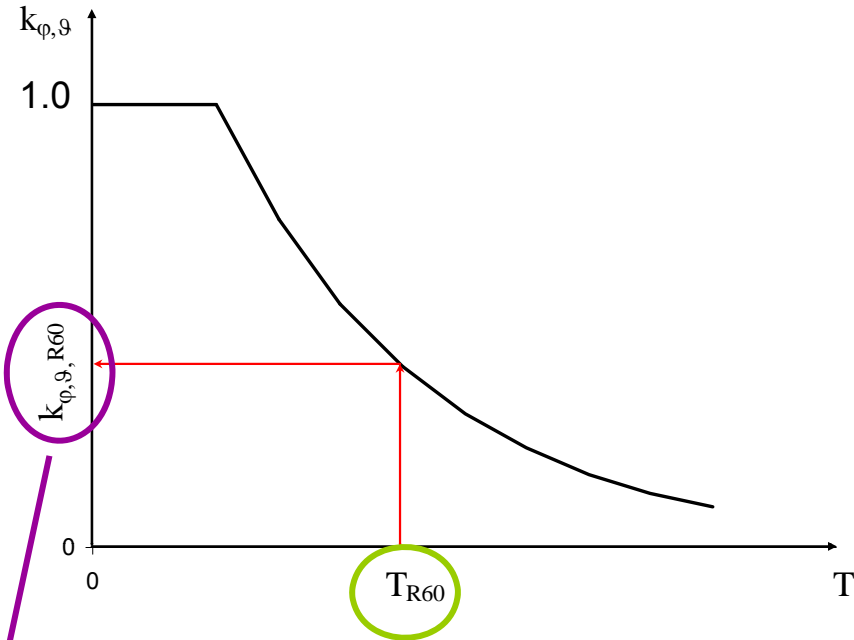
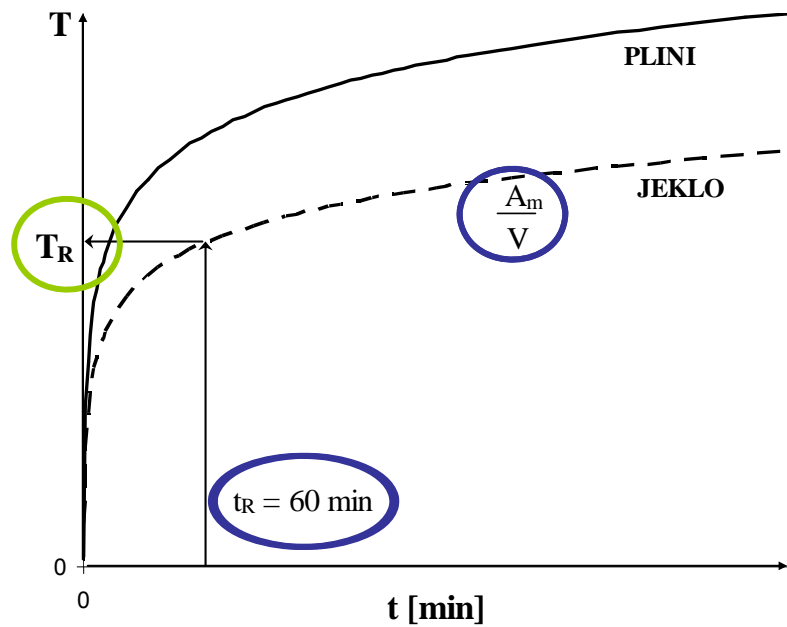
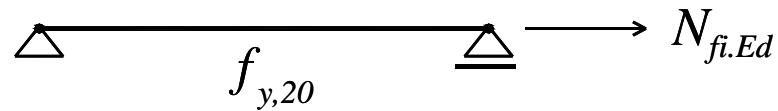
Možnosti

- Plošče
- Mineralni obrizgi
- Ekpanzijski premazi (intumescentni)
- Toplotno odporni paneli
 - za zaščito horizontalnih elementov (→ stropne konstrukcije)
(EN 13381-1)
 - za zaščito vertikalnih elementov (→ požarni zid)
(EN 13381-2)

Evrokod 3 (Evrokod 4) : Enostavni računski modeli (jekleni in sovprežni elementi)

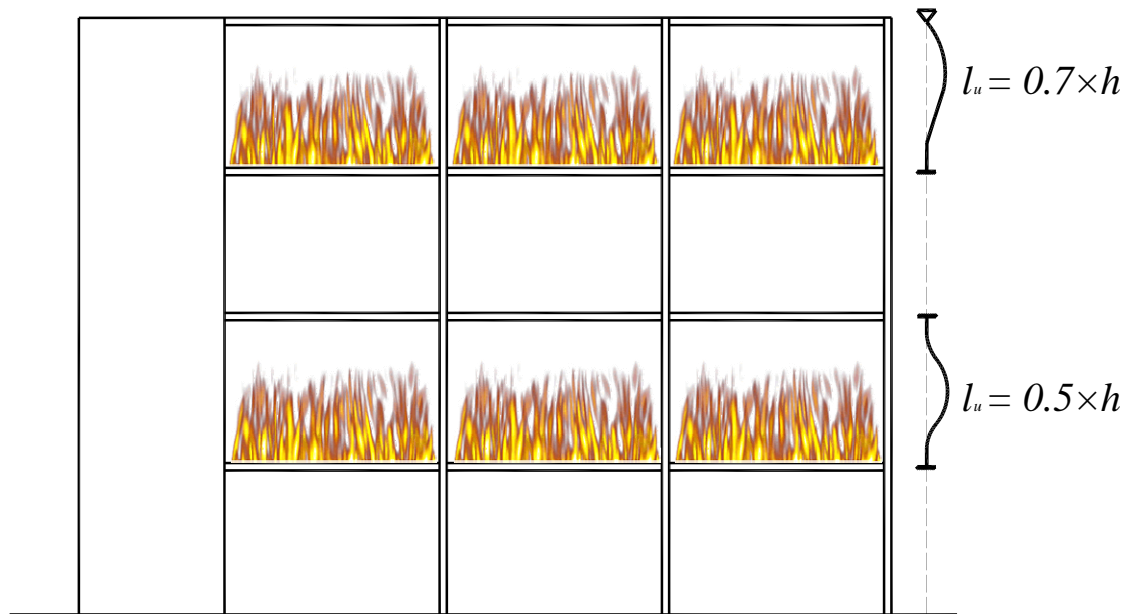
Nosilci (jekleni ali sovprežni)	Stebri
	

Evrokod 3 – prikaz izračuna

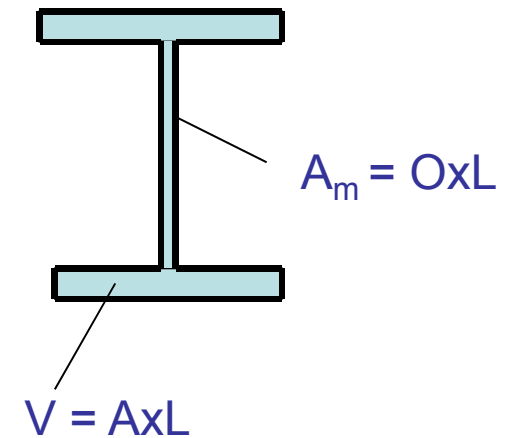


$$N_{fi,Ed} \leq N_{fi,\theta,Rd} = k_{\theta} f_{y,20} A \gamma_{M0} / \gamma_{Mfi}$$

Evrokod 3 – računski pristopi



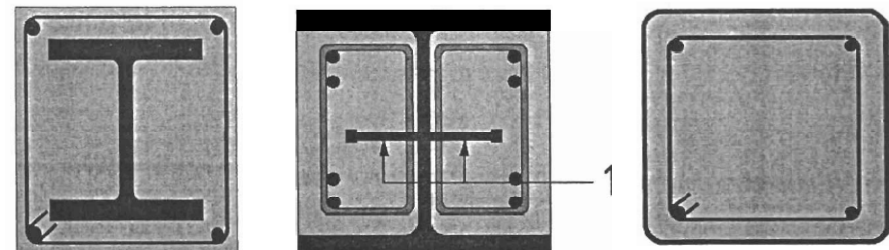
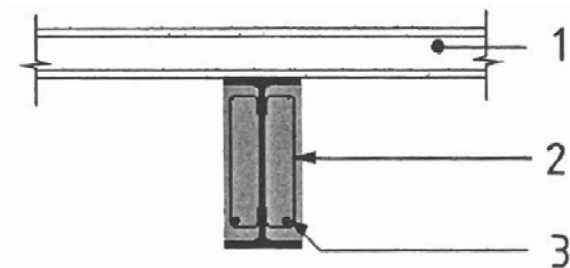
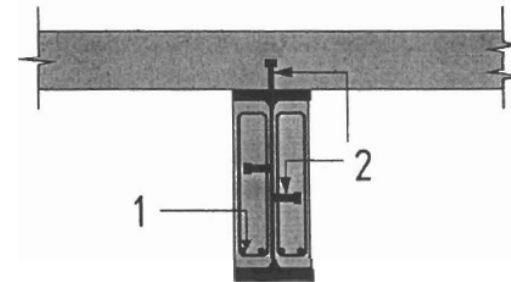
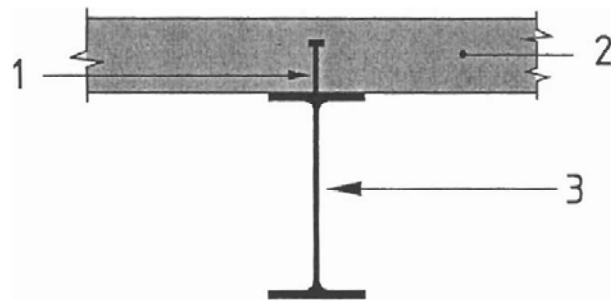
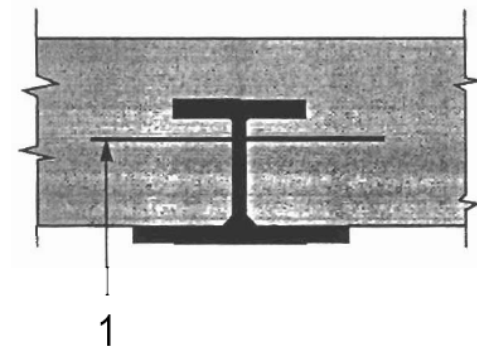
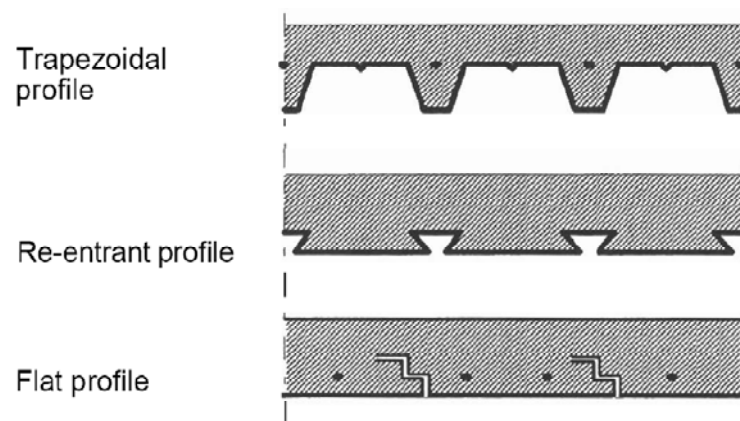
Uklonske dolžine v nepomičnih okvirih



Faktor prereza A_m/V

-Napredne numerične simulacije – podani so samo osnovni principi. Metoda se v Evropi uspešno uporablja za racionalno projektiranje jeklenih konstrukcij.

Evrokod 4 – Sovprežne konstrukcije



Evrokod 4

– območje uporabe

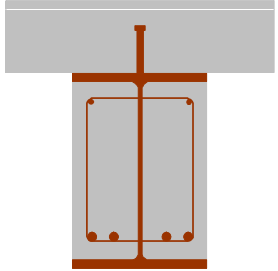

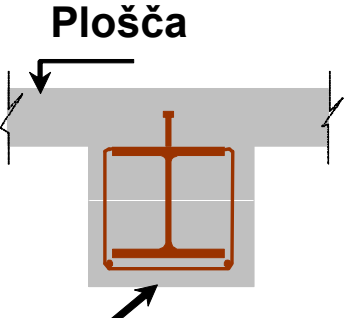

Dimenzioniranje s tabelami:

- sovprežni nosilci z delno obbetoniranimi jeklenimi nosilci
- obbetonirani sovprežni stebri
- delno obbetonirani sovprežni stebri
- sovprežni stebri iz votlih profilov, napolnjeni z betonom

Poenostavljena računaska metoda:

- sovprežni stropovi na profilirani pločevini
- sovprežni nosilci
- sovprežni nosilci z delno obbetoniranimi jeklenimi nosilci
- sovprežni stebri

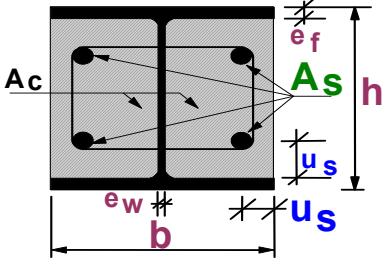
Uporaba tabel (sovprežni elementi)

Sovprežni nosilci	Sovprežni stebri
	
<p>Plošča</p>  <p>Beton (izolacija)</p>	

Uporaba tabel

-bistveni parametri

-(sovprežni stebri – SIST EN 1994-1-2)



		Standardna požarna odpornost			
		R30	R60	R90	R120
Minimalno razmerje debelin stojine in pasnice e_w/e_f		0,5			
1	Minimalne dimenzije prečnega prereza za nivo obtežbe	$\eta_{fi,t} \leq 0,28$			
1.1	minimalne dimezije h in b [mm]	160	200	300	400
1.2	minimalna razdalja armaturnih palic u_s [mm]	-	50	50	70
1.3	minimalno stopnja armiranja $A_s/(A_c+A_s)$ v %	-	4	3	4
2	Minimalne dimenzije prečnega prereza za nivo obtežbe	$\eta_{fi,t} \leq 0,47$			
2.1	minimalne dimezije h in b [mm]	160	300	400	-
2.2	minimalna razdalja armaturnih palic u_s [mm]	-	50	70	-
2.3	minimalno stopnja armiranja $A_s/(A_c+A_s)$ v %	-	4	4	-
3	Minimalne dimenzije prečnega prereza za nivo obtežbe	$\eta_{fi,t} \leq 0,66$			
3.1	minimalne dimezije h in b [mm]	160	400	-	-
3.2	minimalna razdalja armaturnih palic u_s [mm]	40	70	-	-
3.3	minimalno stopnja armiranja $A_s/(A_c+A_s)$ v %	1	4	-	-

Standardna požarna odpornost

Nivo obtežbe

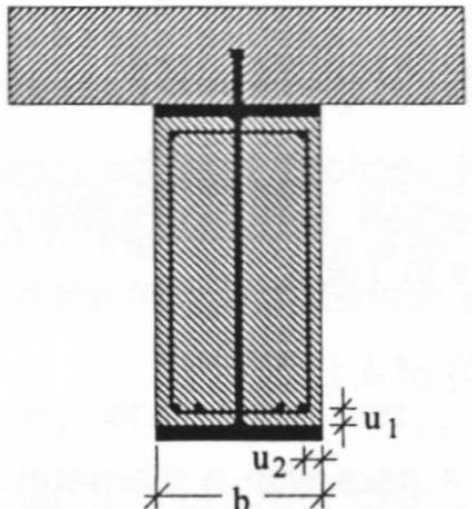
Dimenzije prečnega prereza

Armatura

Krovni sloj betona

Evrokod 4

– tabela za sovprežne nosilce



Profile Width b [mm]	Min. Axis Distance [mm]	Standard Fire Resistance			
		R60	R90	R120	R180
170	u ₁	100	120	-	-
	u ₂	45	60	-	-
200	u ₁	80	100	120	-
	u ₂	40	55	60	-
250	u ₁	60	75	90	120
	u ₂	35	50	60	60
≥ 300	u ₁	40	50	70	90
	u ₂	25*	45	60	60

Najmanjše dovoljene robne razdalje
armature od roba prereza

Evrokod 4

– tabele za uklon stubrov

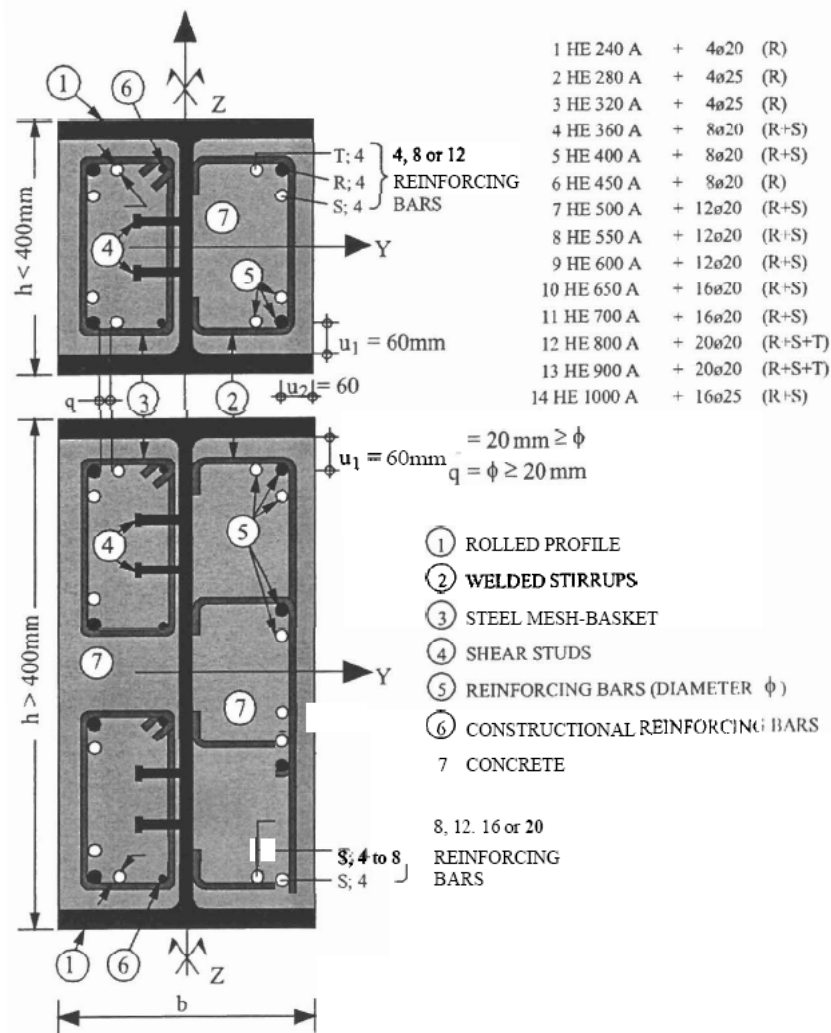


Figure G.2: Parameters for buckling resistance of partially encased steel sections

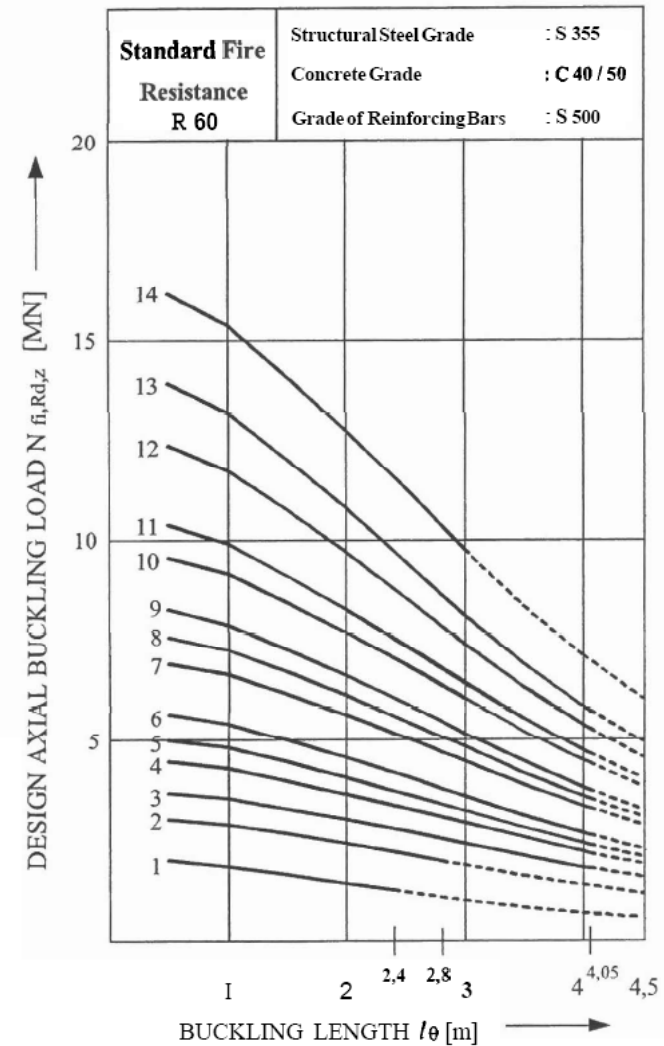
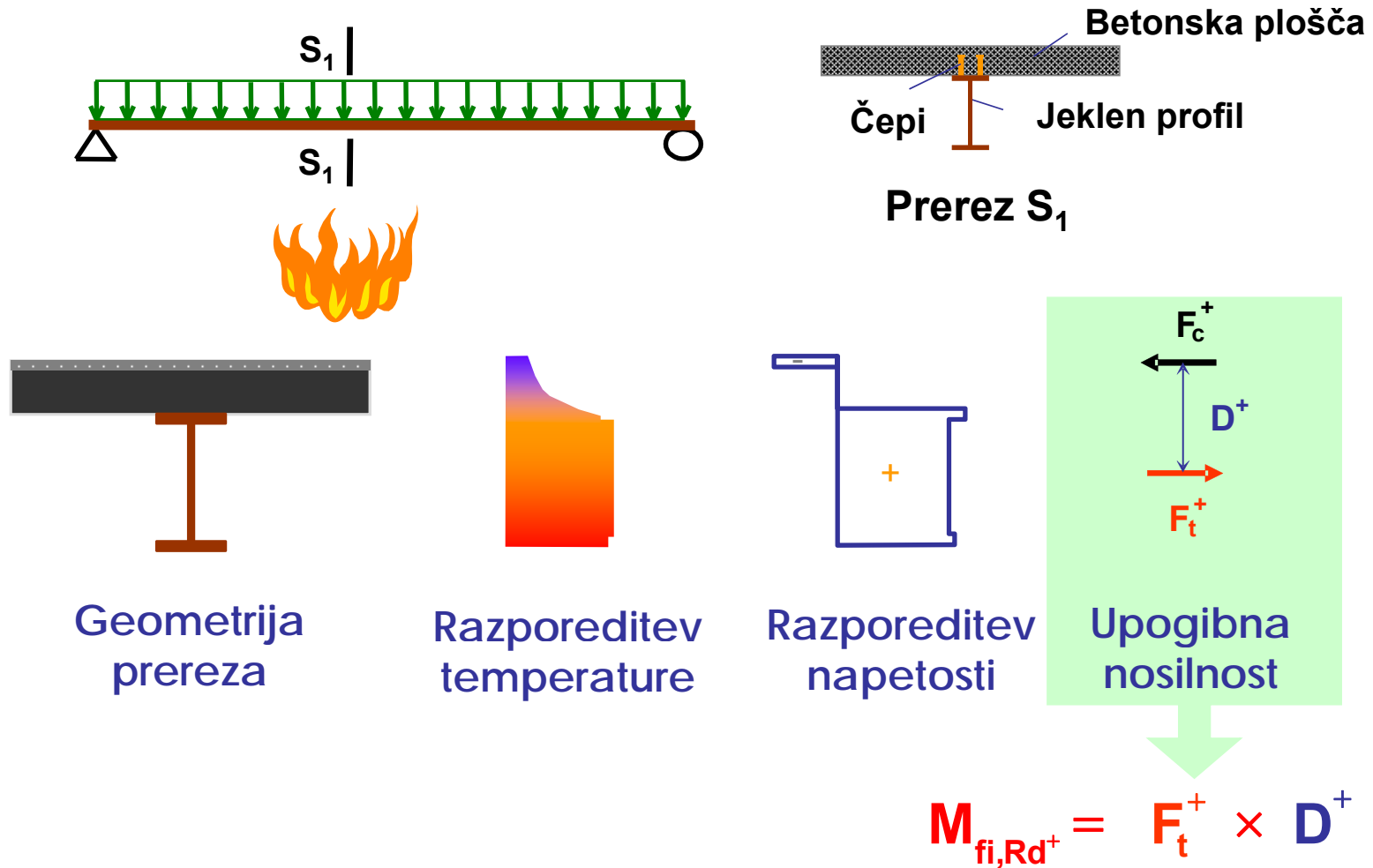
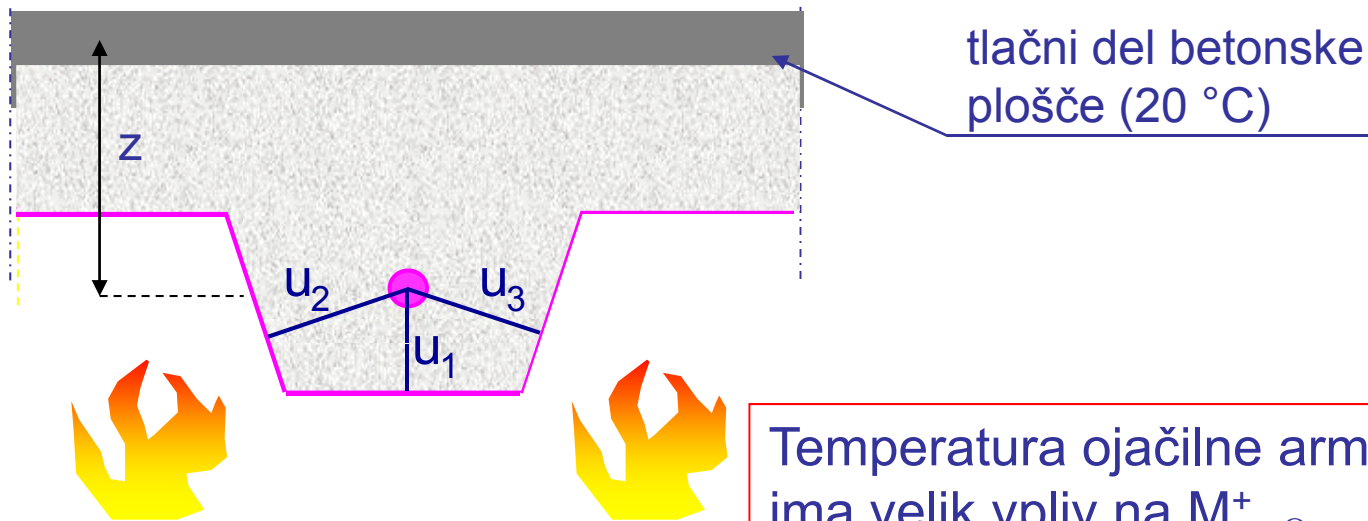


Figure G.3.a: Buckling loads of partially encased steel sections for R60

Enostavni računski model (sovprežni nosilec)



Sovprežni strop : toplotni odziv armature

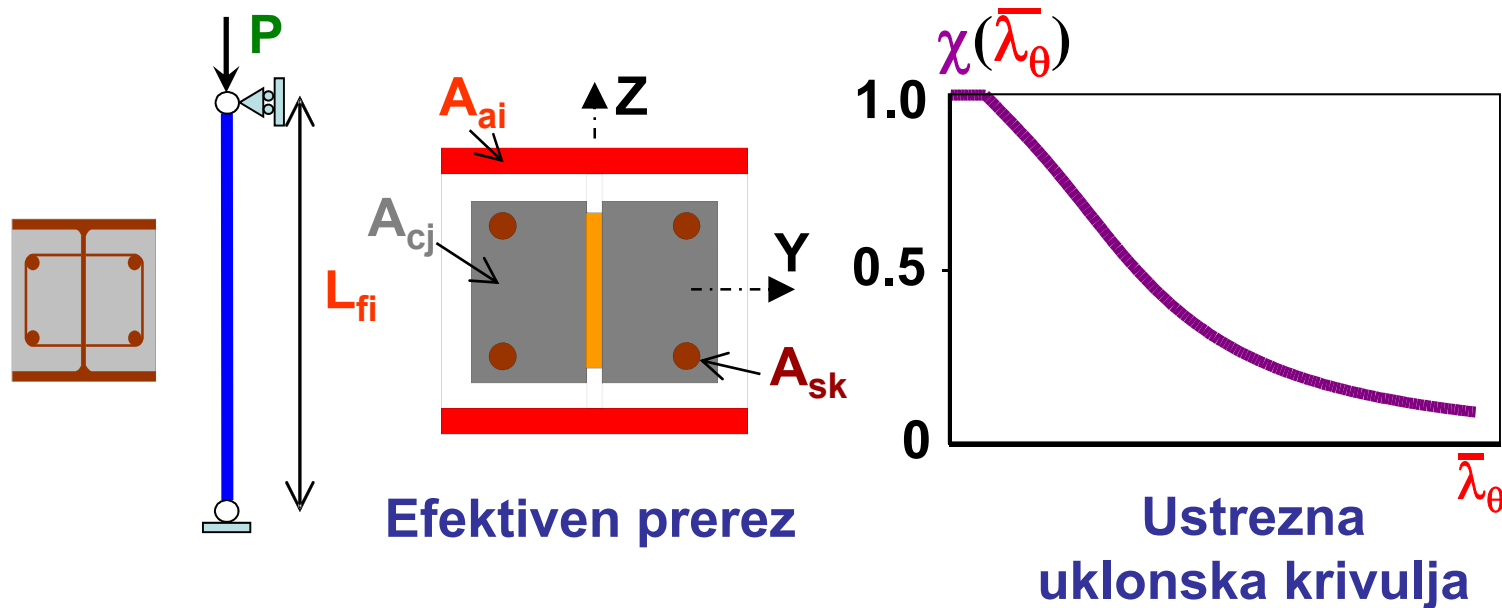


Temperatura ojačilne armature
ima velik vpliv na $M_{p,\Theta}^+$

$$\Rightarrow \Theta_r = \Theta_r(u_1, A/O, I_3, z \dots)$$

$$\Rightarrow z = z(u_1, u_2, u_3)$$

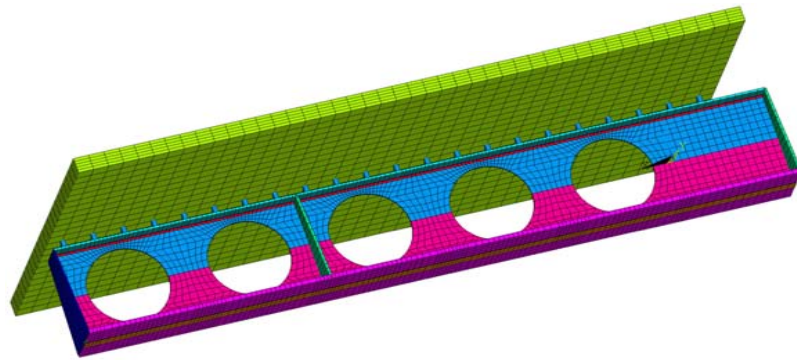
Enostavni računski model (sovprežni steber)



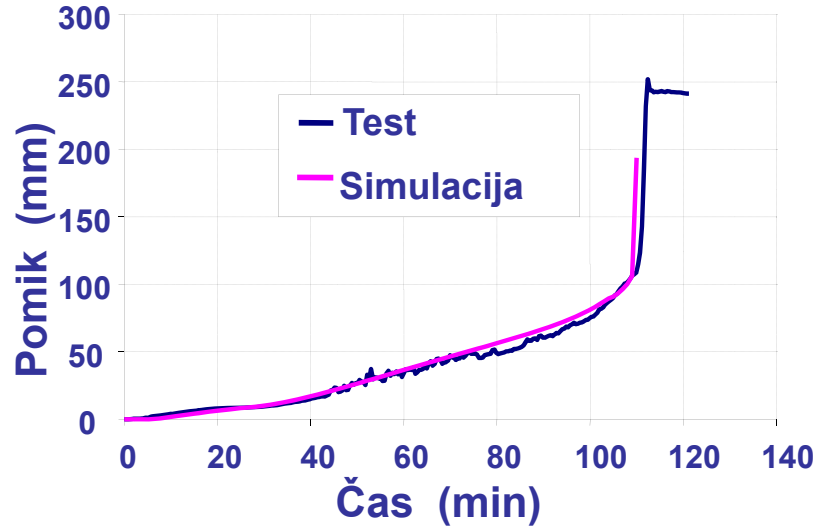
Uklonska nosilnost: $N_{fi.Rd} = \chi(\bar{\lambda}_\theta) N_{fi.pl.Rd}$

$\chi(\bar{\lambda}_\theta) \Leftarrow$ nosilnost in togost efektivnega prereza +
uklonska dolžina stebra L_{fi}

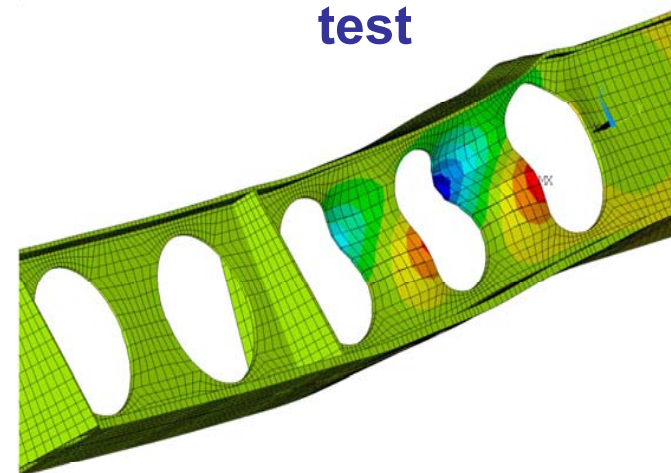
Napredni računski model (sovpredni nosilec z odprtini)



Porušni mehanizem -
test



Simulacija vs. test

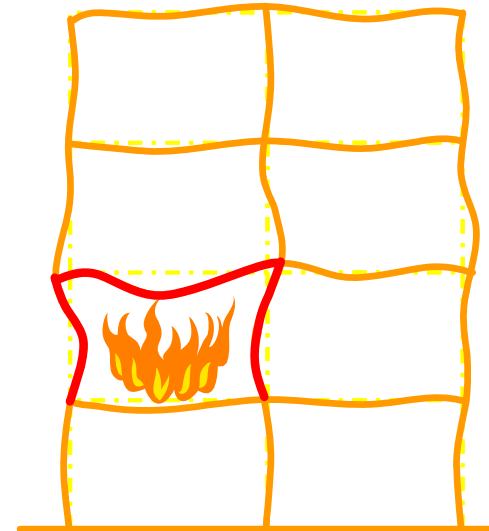


Porušni mehanizem -
računska simulacija

Globalna analiza konstrukcij: Napredno požarnovarno projektiranje

□ Splošna pravila

- **obvezna uporaba naprednih računskih modelov**
- **uporaba ustreznega računskega modela**
- **dejanski robni pogoji**
- **obtežba**
- **ustrezni materialni model**
- **vpliv delov konstrukcije, ki niso zajeti v analizi**
- **analiza rezultatov in kontrola kriterijev porušitve**
- **preučiti je potrebno posebnosti konstrukcije, ki niso zajete direktno v analizi (konsistenca med numeričnim modelom in konstrukcijskimi detajli)**



Globalna analiza konstrukcij

□ Uporaba pri naprednih računskih modelih

➤ zahteve za materialne modele

- sestavljene deformacije
- kinematični materialni model utrjevanja
- nosilnost v fazi ohlajanja

➤ iterativno reševanje

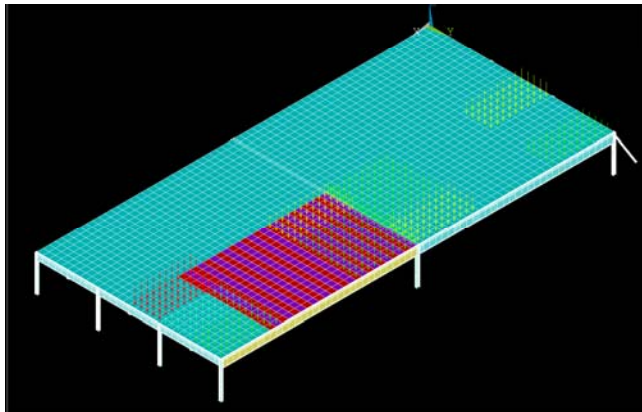
➤ kontrola možnih porušitev, ki niso direktno zajete v analizi

- pretrg armature zaradi prekomernih deformacij
- razpokanje in drobljenje betona
- lokalno izbočenje (linijski končni elementi)

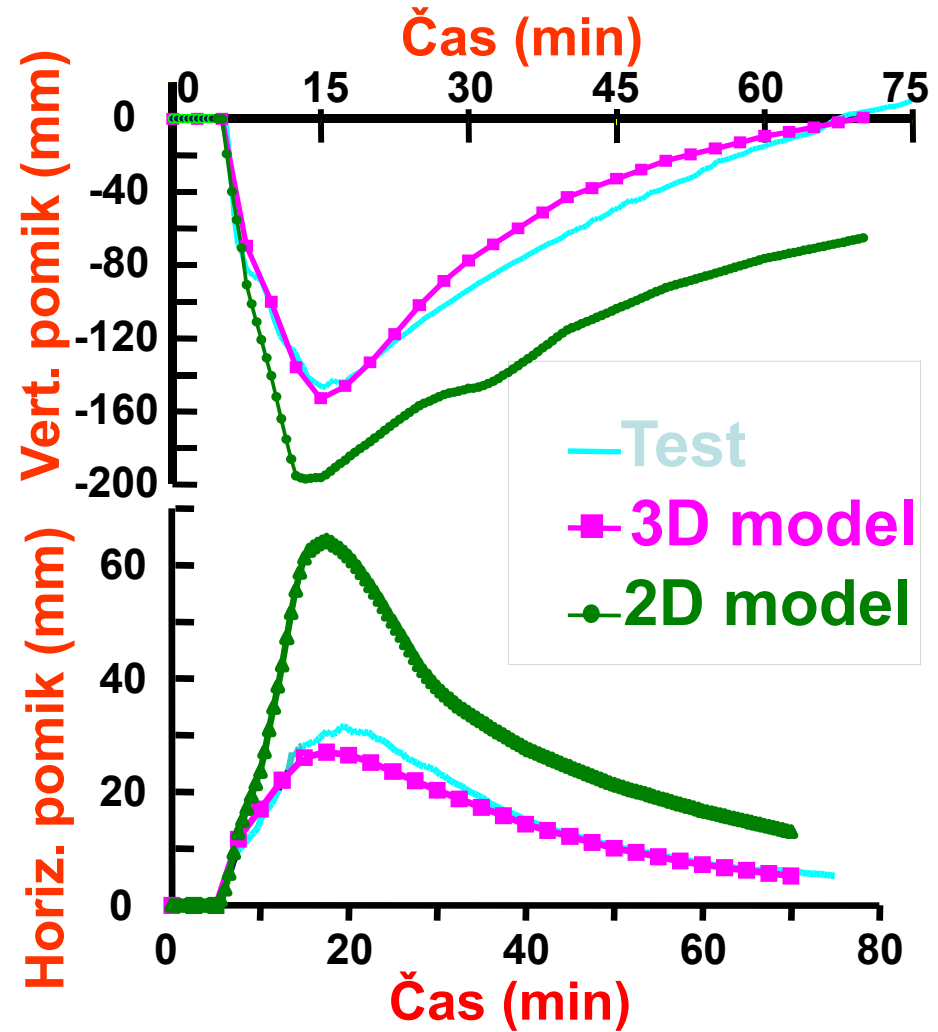
Analiza sovprežne stropne plošče



Test



3D računski model



Sklep

- Predpisi in standardi s področja požarne varnosti stavb tvorijo dokaj konsistenten sistem, ki omogoča kakovostno analizo požarne odpornosti nosilnih gradbenih konstrukcij
- Projektanti – statiki morajo za uspešno delo na tem področju pridobiti dodatna znanja (tečajji, univerzitetno izobraževanje) in sodelovati s strokovnjaki za požarno inženirstvo
- Potrebna jasna razmejitev odgovornosti