

Požarna odpornost armirano- betonskih (AB) konstrukcij – določitev mehanske odpornosti



Tomaž Hozjan

e-mail: tomaz.hozjan@fgg.uni-lj.si

soba: 503

POŽARNI VPLIV NA AB KONSTRUKCIJE

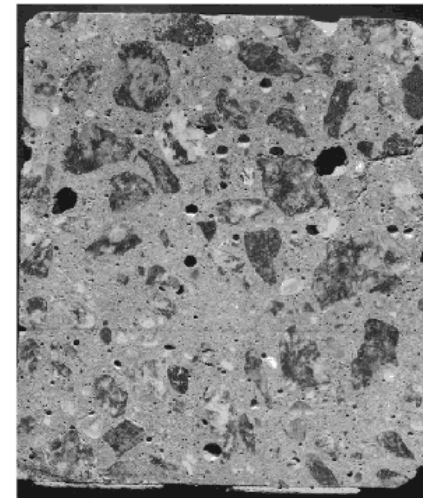
POŽAR:

- intenziven in kompleksen kemični proces



BETON:

- heterogen kompozit sestavljen iz agregata, cementnega kamna ter por zapoljenih s prosto in vezano vodo ter zmesjo zraka in vodne pare



- značilni kemijski in fizikalni procesi v betonu med požarom:
 - prenos toplote s kondukcijo in konvekcijo zaradi temperaturnega in tlačnega gradienta
 - tok proste vode, vodne pare in zraka v porah betona kot posledica tlačnega, vlažnostnega in temperaturnega gradienta
 - utekočinjanje vodne pare in izparevanje vode
 - izločanje kemijsko vezane vode
 - razkroj cementnega kamna in zrn agregata
- posledica fizikalnih in kemijskih procesov zaradi povišane temperature **so zmanjšanje nosilnosti in povečanje deformabilnosti konstrukcije → MANJŠA VARNOST KONSTRUKCIJE**
- značilen pojav: **LUŠČENJE BETONA**

LUŠČENJE BETONA

- progresivno in **eksplozijsko**
- različna območja luščenja
(vogali konstrukcijskih elementov, površinsko luščenje v plasteh s konstrukcijskih elementov, luščenje agregata)
- temperaturno območje eksplozijskega luščenja: 190 do 280 °C
- najbolj izpostavljene so konstrukcije iz visokotrdnih betonov in betonov z visoko vsebnostjo vlage



▣ VZROKI eksplozijskega luščenja betona:

- povišani porni tlaki
- ovirane temperaturne deformacije



▣ POSLEDICE eksplozijskega luščenja betona:

- trenutna porušitev oziroma odpadanje dela konstrukcije
- izpostavljenost armature visoki temperaturi (viskozno lezenje jekla)
- manjša togost in nosilnost → manjša varnost



Kriterij **R** - nosilnost

Skladno s standardom SIST EN 1992-1-2 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.

Določitev $E_{fi,d,t}$ - obremenitev

Poenostavljen pristop skladno s SIST EN 1991-1-2 in 1995-1-2

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

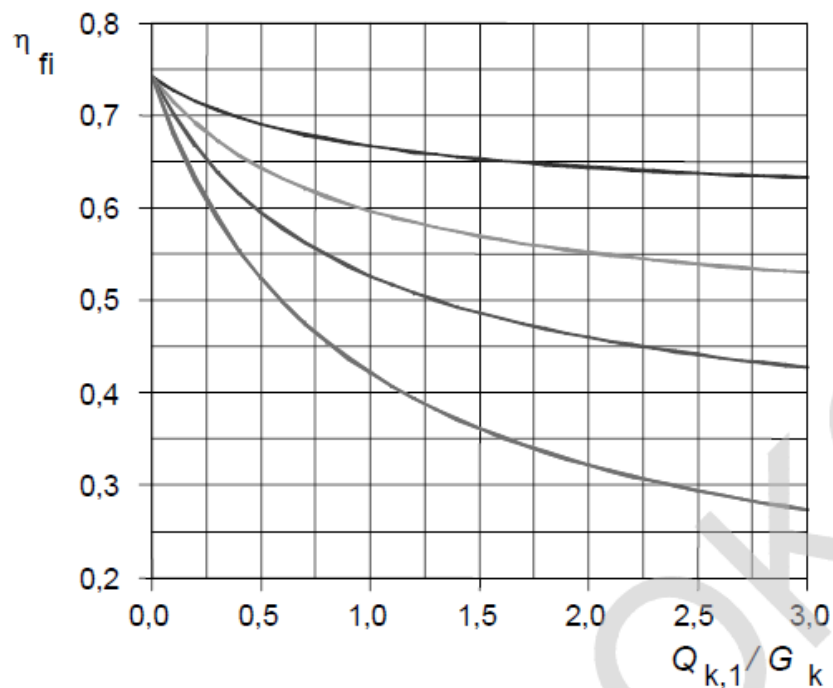
$$E_{fi,d,t} = \eta_{fi} E_d$$

Redukcijski faktor

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

Določitev redukcijskega faktorja η_{fi} skladno s SIST EN 1995-1-2

Primer: Vrednost redukcijskega faktorja η_{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 1992-1-2)

$\eta_{fi} = 0,70$

Določitev $R_{fi,d,t}$

Skladno s standardom SIST EN 1992-1-2 požarno odpornost $R_{fi,d,t}$ AB elementov lahko določimo na naslednje načine:

- ❖ Tabelarični podatki (detajliranje, večinoma za stebre)
- ❖ **Poenostavljeni postopki** (obravnavamo tukaj)
- ❖ Napredne računske metode

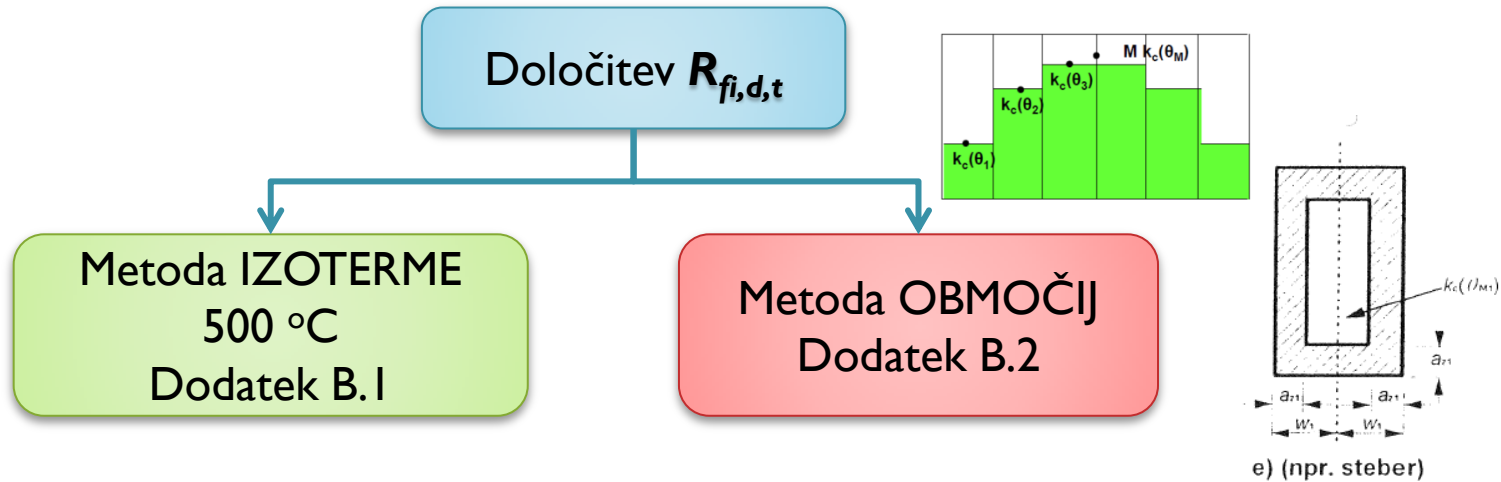
Tabelarični podatki,

Primer uporabe tabel, večinoma za določitev nosilnosti stebrov (vpliv teorije drugega reda (uklona), ??)

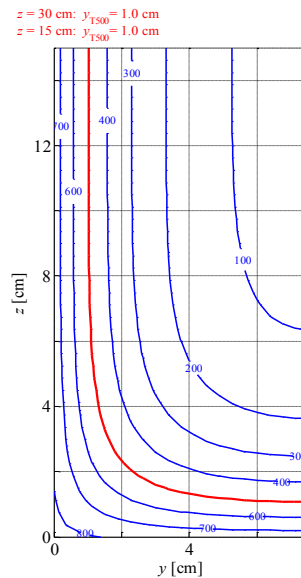
Standardna požarna odpornost	Najmanjše dimenzije (mm) Širina stebra b_{min} /osna oddaljenost palic			
	Steber, izpostavljen požaru na več straneh			Izpostavljen na eni strani
	$\mu_{fi} = 0,2$	$\mu_{fi} = 0,5$	$\mu_{fi} = 0,7$	$\mu_{fi} = 0,7$
1	2	3	4	5
R 30	200/25	200/25	200/32 300/27	155/25
R 60	200/25	200/36 300/31	250/46 350/40	155/25
R 90	200/31 300/25	300/45 400/38	350/53 450/40**	155/25
R 120	250/40 350/35	350/45** 450/40**	350/57** 450/51**	175/35
R 180	350/45**	350/63**	450/70**	230/55
R 240	350/61**	450/75**	-	295/70

** Najmanj 8 palic.
Pri prednapetih stebrih se upošteva povečanje osne oddaljenosti v skladu s 4.2.2 (4)

Poenostavljeni postopki



- Beton **nad** 500 °C ne prispeva k nosilnosti elementa
- Beton z temperaturo manjšo od 500 °C ohrani polno nosilnost
- Prispevek armature skladno s temperaturno odvisnimi redukcijskimi faktorji



- Prerez oz. element razdelimo na več območij.
- Za vsako območje potrebno določiti srednjo temperaturo
- poter srednjo tlačno trdnost betona posameznega območja
- Seštejemo prispevek vseh območij
- Natančnejša od metode Izoterma 500 °C.
- Velja samo za standardne požare

Metoda IZOTERME 500 °C

- Metodo lahko uporabljamo v povezavi s **standardnimi in parametričnimi požari** (s faktorjem odprtin $O \geq 0.14 \text{ m}^{1/2}$).
- Primerna je za armirane in prednapete betonske prereze pri **osni, upogibni in kombinirani osno upogibni obremenitvi**, z nizko vsebnostjo vlage ter za običajno stopnjo armiranja.
- Temelji na predpostavki, da se del betona s temperaturo **višjo od 500°C (poškodovani beton) pri računu nosilnosti zanemari**, medtem ko beton s temperaturo pod 500°C ohrani polno trdnost.
- Prispevke armaturnih palic k požarni odpornosti prečnega prereza nosilca pa moramo upoštevati skladno s **temperaturno odvisnimi redukcijskimi faktorji**
- **POTREBUJEMO TEMPERATURNE PROFILE (IZOLINIJO 500 °C)**

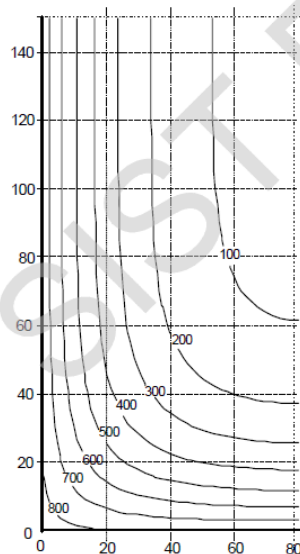
Določitev Temperaturnih profilov (Toplotna analiza)

- V splošnem moramo za določitev časovnega spreminjanja temperatur nosilcev med požarom upoštevati vse tri načine prenosa toplote:
 - i) sevanje oziroma radiacijo, pri katerem se energija prenaša z elektromagnetnim valovanjem,
 - ii) konvekcijo, pri kateri se energija prenaša z gibanjem snovi z različnimi temperaturami in
 - iii) prevajanje ali kondukcijo, pri katerem potuje energija v obliki toplote skozi snov z mest z višjo temperaturo na mesta z nižjo.
- Rešujemo numerično, metoda MKE

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\lambda_{ij} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + Q - \rho c \frac{\partial T}{\partial t} = 0$$

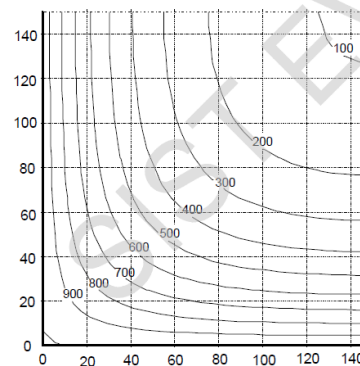
Določitev Temperaturnih profilov (Toplotna analiza)

- Standard SIST EN 1992-1-2 v Dodatku A podaja nekatere temperaturne profile v primeru če je element izpostavljen standardnemu požaru ISO 834, z treh (nosilci) ali štirih (stebri) strani.



a) R30

Figure A.11: Temperature profiles (°C) for a column, $h \times b = 300 \times 300$ - R30

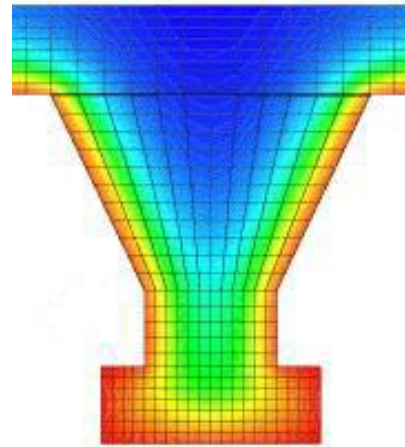
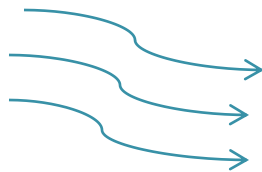


- Lahko pa temperaturne profile poračunamo sami (tudi za druge požarne krivulje)

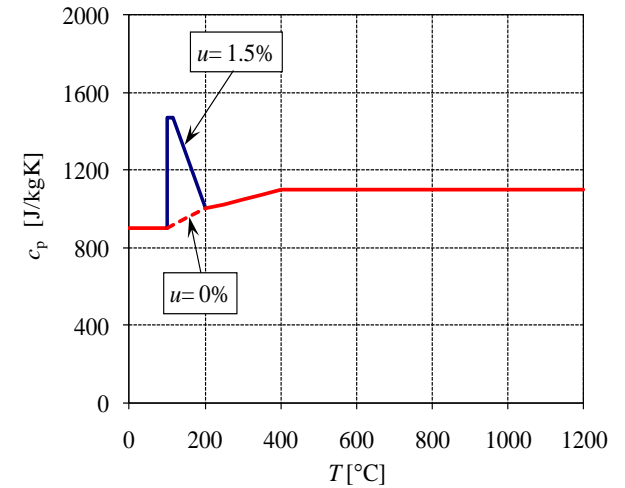
Toplotne lastnosti betona v odvisnosti od temperature



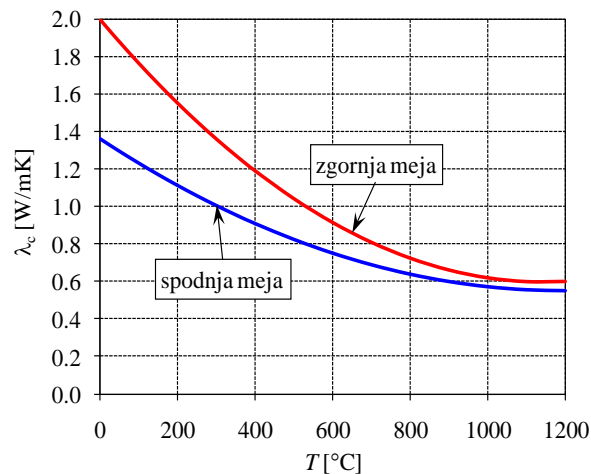
Radiacija +
konvekcija



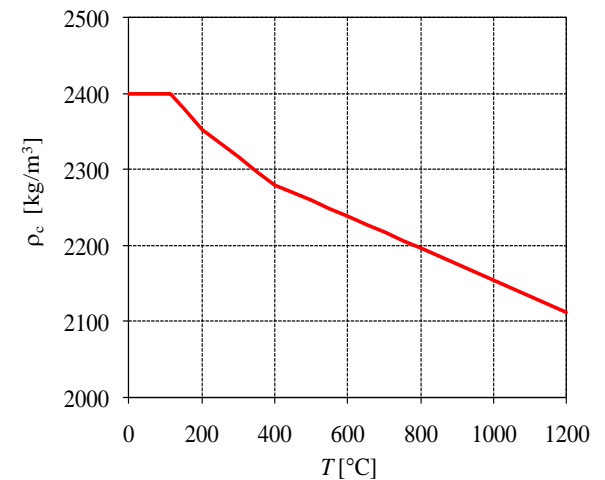
Specifična toplota



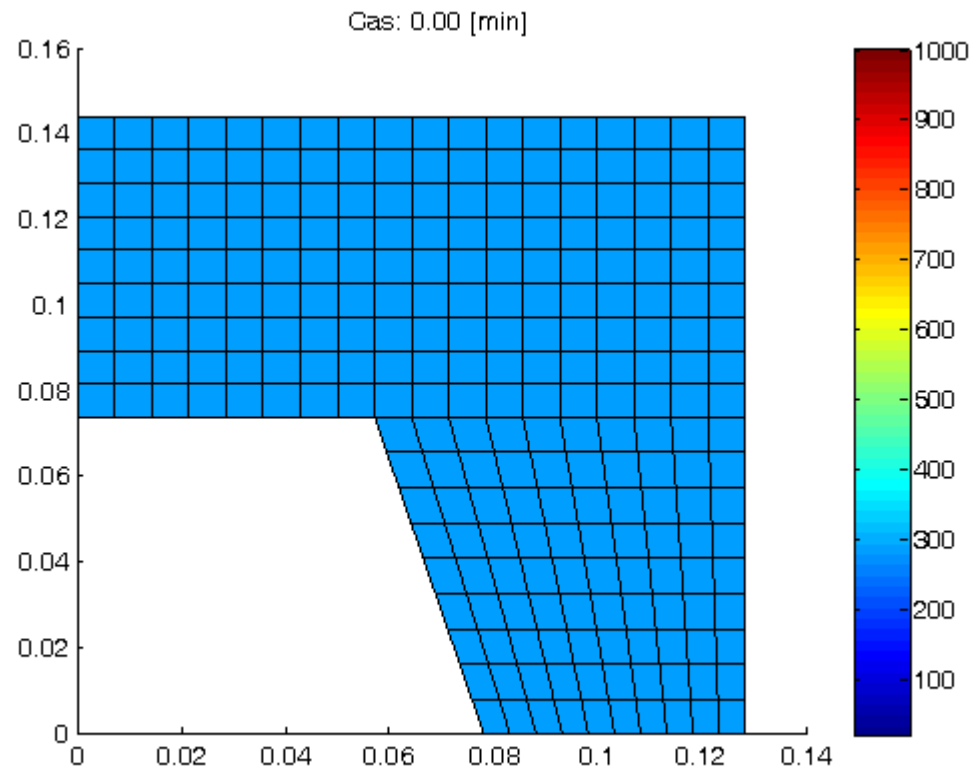
Toplotna prevodnost



Gostota

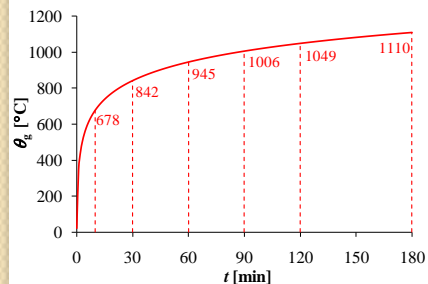


Rezultat toplotne analize



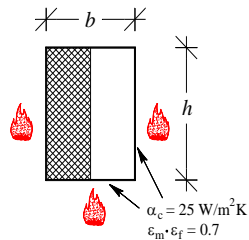
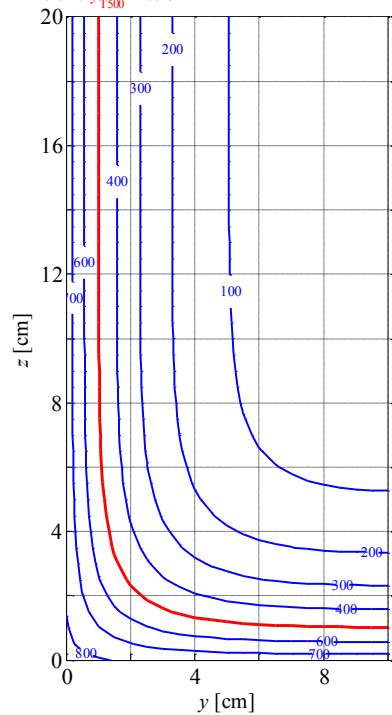
Temperatuni profili

ISO 834



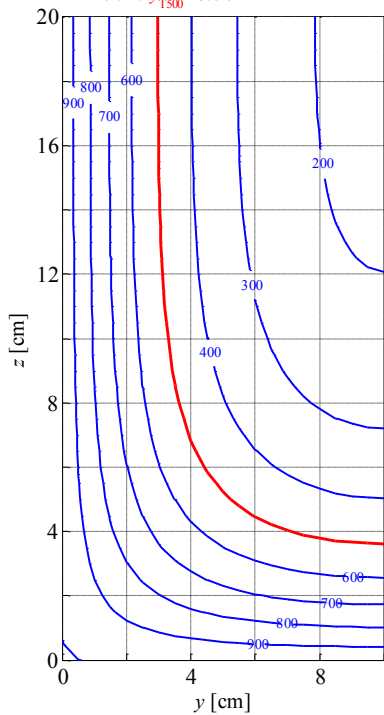
R30

$z = 40 \text{ cm}: y_{T500} = 1.0 \text{ cm}$
 $z = 20 \text{ cm}: y_{T500} = 1.0 \text{ cm}$

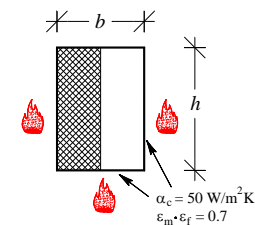
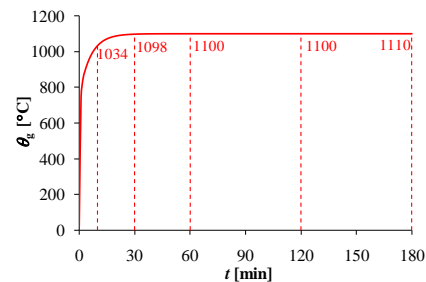


R90

$z = 40 \text{ cm}: y_{T500} = 3.0 \text{ cm}$
 $z = 20 \text{ cm}: y_{T500} = 3.0 \text{ cm}$

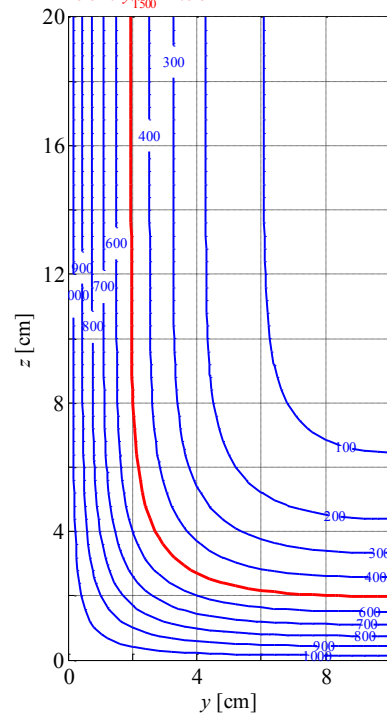


HC – ogljikovodikova krivulja



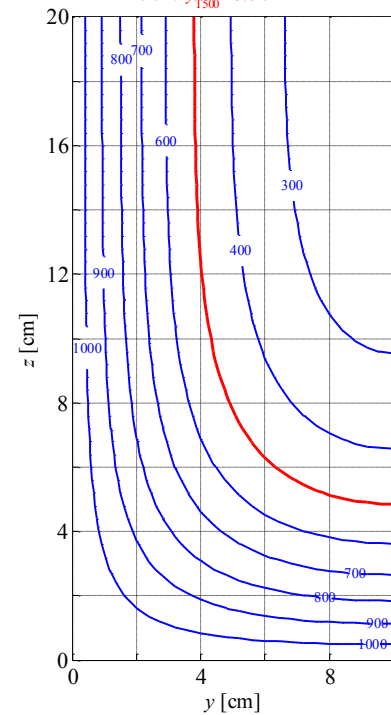
R30

$z = 40 \text{ cm}: y_{T500} = 2.0 \text{ cm}$
 $z = 20 \text{ cm}: y_{T500} = 2.0 \text{ cm}$



R90

$z = 40 \text{ cm}: y_{T500} = 3.8 \text{ cm}$
 $z = 20 \text{ cm}: y_{T500} = 3.8 \text{ cm}$

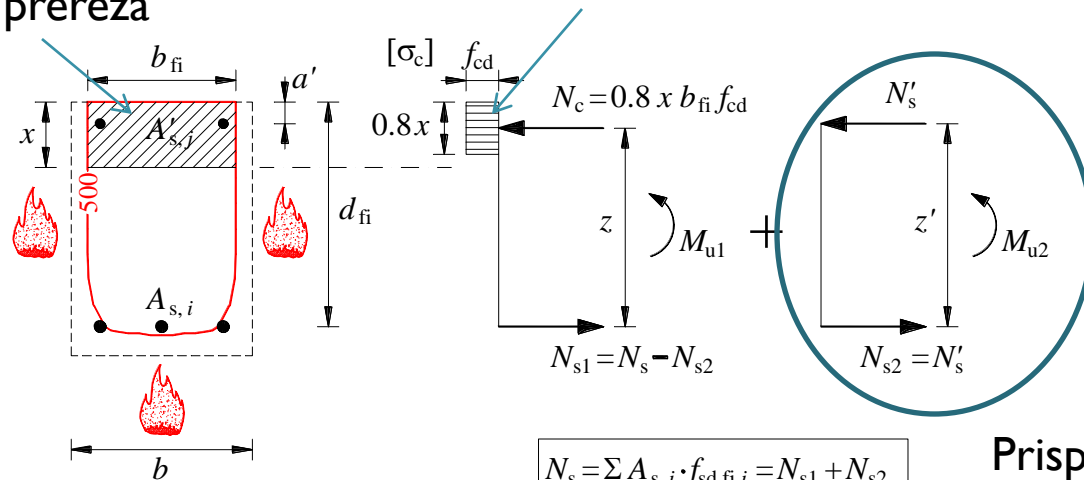


Določitev projektne upogibne nosilnosti AB nosilca skladno z metodo IZOTERME 500 °C

Prerez AB nosilca je v splošnem obremenjen z osno silo $N_{ED,fi}$ in upogibnim momentom $M_{ED,t,fi}$

Linearen potek napetosti

Tlačen del prereza



$$N_s = \sum_i A_{s,i} \cdot f_{sd,fi,i} = N_{s1} + N_{s2}$$

$$N'_s = \sum_j A'_{s,j} \cdot f'_{sd,fi,j}$$

Prispevek tlačne
armature k upogibni
nosilnosti,
Običajno
ZANEMARIMO
 $N_{s2} = 0$

Postopek računa upogibne nosilnosti AB nosilca

I.) Najprej izračunamo lego nevtralne osi s pomočjo ravnotežja v prerezu:

$$N_s - N'_s - N_c - N_{Ed,t,fi} = 0$$

In lego nevtralne osi x izračunamo kot:

$$x = \frac{N_s - N'_s - N_{Ed,t,fi}}{0.8 b_{fi} f_{cd}}$$

kjer je

$$N_s = \sum_i A_{s,i} \cdot f_{sd,fi,i} \longrightarrow$$

$$f_{sd,fi,i} = k_{s,T,i} \cdot \frac{f_{yk,i}}{\gamma_{s,fi}}$$

$$N'_s = \sum_j A'_{s,j} \cdot f_{sd,fi,j} \longrightarrow$$

$$f_{sd,fi,j} = k_{s,T,j} \cdot \frac{f_{yk,j}}{\gamma_{s,fi}}$$

Natezna trdnost armature pri sobni temperaturi
(S500 $\rightarrow f_{yk} = 50 \text{ kN/cm}^2$)

Redukcijski faktor trdnosti natezne armature

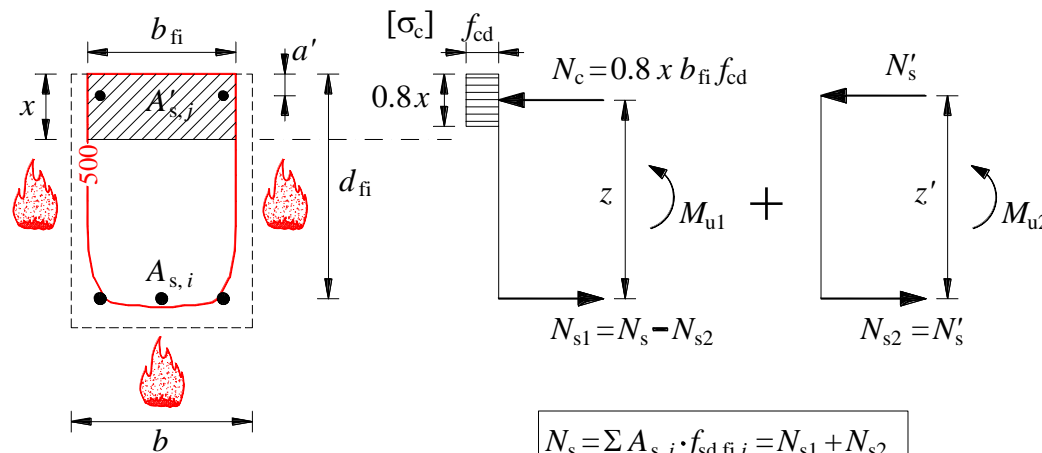
Redukcijski faktor trdnosti tlačne armature

V enačba je b_{fi} reducirana širina prečnega prereza, f_{cd} je projektna tlačna trdnost betona pri sobni temperaturi, $f_{sd,fi,i}$ in $f_{sd,fi,j}$ sta od temperature odvisni projektni trdnosti i - te spodnje oziroma j - te zgornje vzdolžne armaturne palice med požarom

Postopek računa upogibne nosilnosti AB nosilca

2.) Upogibno nosilnost, ki temelji na učinkovitem prerezu, izračunamo z enačbo:

$M^{500} = M_{u1} + M_{u2} = N_c \cdot z + N'_s \cdot z' = N_s \cdot (d_{fi} - 0,4x) + N'_s \cdot (d_{fi} - a')$
 kjer je z ročica notrajnih sil, z' je razdalja med težiščema spodnje in zgornje vzdolžne armature, d_{fi} je statična višina prečnega prereza v pogojih požara, a' pa je oddaljenost težišča zgornje (tlačne) armature od zgornjega roba (slika spodaj).



$$N_s = \sum_i A_{s,i} \cdot f_{sd,fi,i} = N_{s1} + N_{s2}$$

$$N'_s = \sum_j A'_{s,j} \cdot f'_{sd,fi,j}$$

Postopek računa upogibne nosilnosti AB nosilca

3.) Projektno odpornost armiranobetonskega prečnega prereza nosilca v požarnem projektnejem stanju (v tem primeru upogibno odpornost $M_{Rd,t,fi}$) pa izračunamo z enačbo:

$$M_{Rd,t,fi} = M_{500} \cdot k_m$$

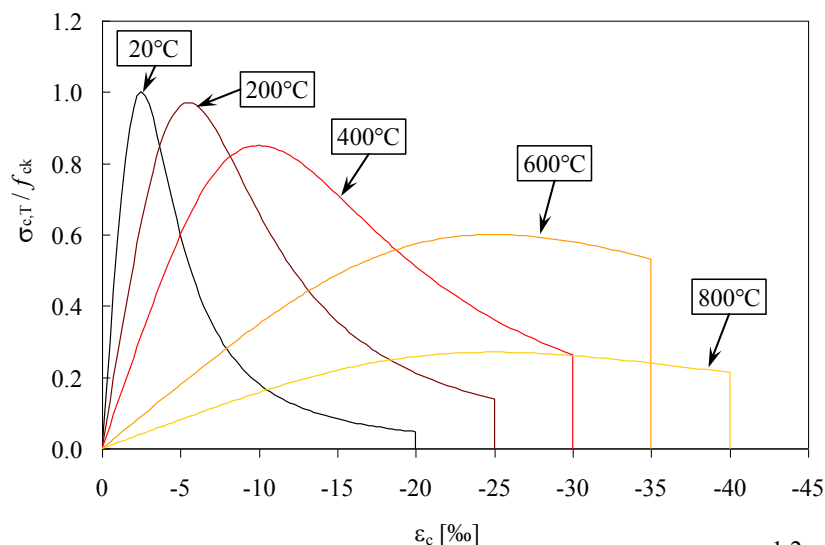
kjer je k_m redukcijski faktor, podan v preglednici

Konstruktivski element	Razred 1	Razred 2
Nosilci	0.98	0.95

Ker se nekatere količine, kot so **reducirana širina prečnega prereza, globina nevtralne osi, trdnostne lastnosti armaturnih palic**, med požarom spreminjajo, moramo požarno odpornost armiranobetonskega nosilca preveriti pri različnih časovnih intervalih (R30, 60, 90) med trajanjem požara. Pri tem moramo skladno z zahtevo (I) dokazati, da velja:

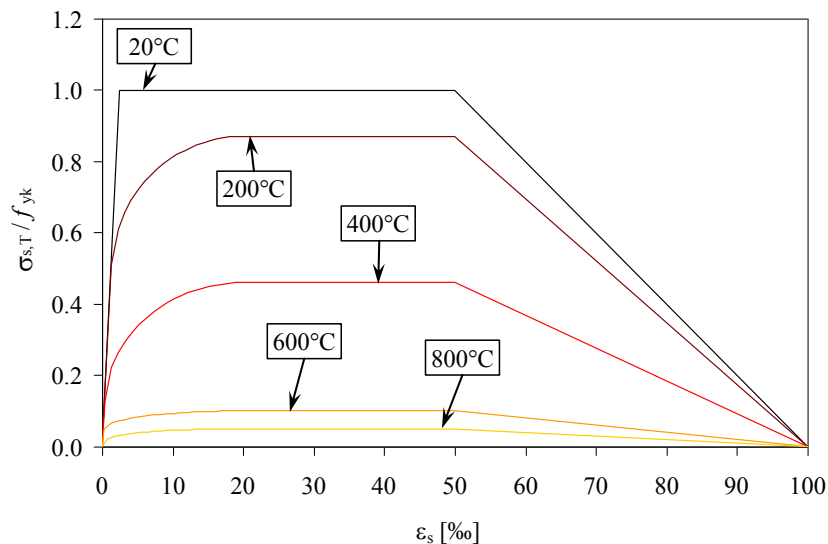
$$M_{Rd,t,fi} \geq M_{Ed,t,fi}$$

Toplotne in mehanske lastnosti betona in jekla za armiranje pri povišanih temperaturah

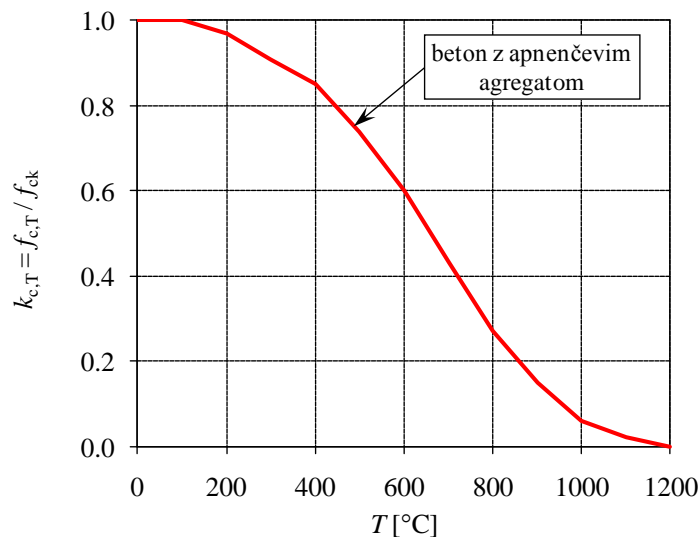


Temperaturno odvisni
konstitucijski model betona z
apnenčevim agregatom po
SIST EN 1992-1-2:2005

Temperaturno odvisni
konstitucijski model hladno
obdelanega jekla za armiranje
(razred N) po SIST EN 1992-1-
2:2005



Redukcijski faktorji trdnosti betona in armature



Redukcijski faktor za karakteristično trdnost jekla za armiranje pri povišanih temperaturah skladno s SIST EN 1992-1-2:2005

Redukcijski faktor za karakteristično tlačno trdnost betona iz apnenčevega agregata pri povišanih temperaturah skladno s SIST EN 1992-1-2:2005

