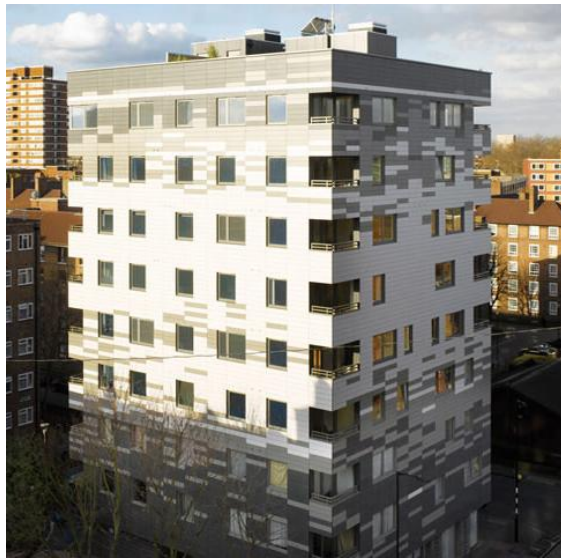


Požarna odpornost lesenih konstrukcij – določitev mehanske odpornosti

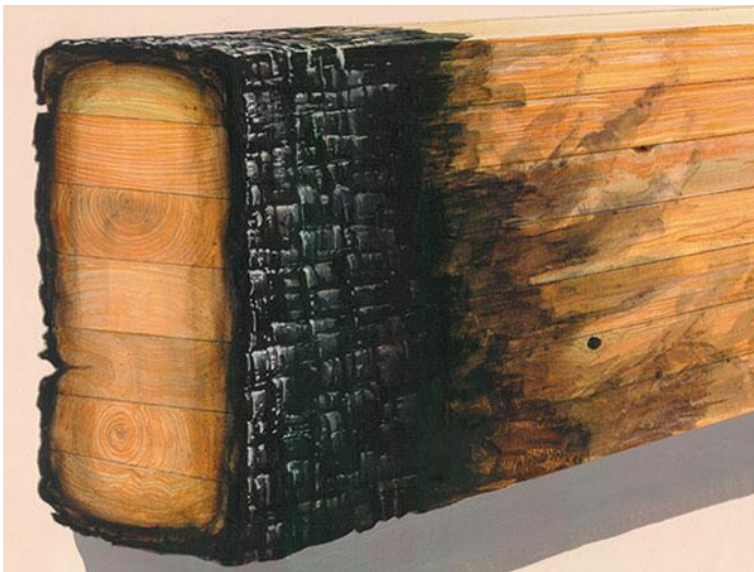


Tomaž Hozjan

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

soba: 503

Odziv lesenih konstrukcij v požaru



Oglenenje lesa

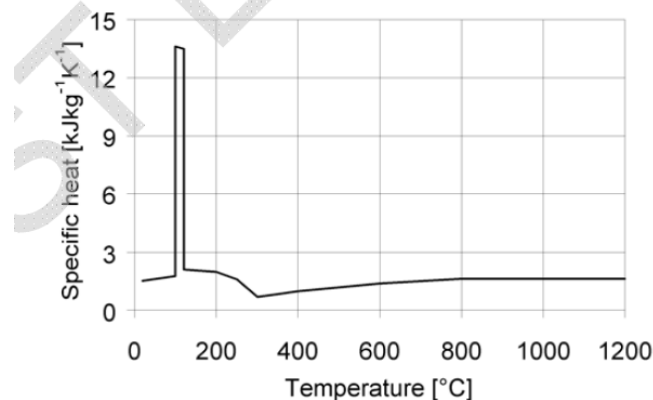
Konstrukcija ohrani nosilnost tudi v primeru požara



Mehansko obnašanje lesenih konstrukcij v požaru – oglenenje lesa

Les je naraven material

- Vsebuje vlago
 - V toplotni (temperaturni) analizi lahko zajamemo vpliv vlage na razpored temperature (počasnejše segrevanje)



- Oglenenje lesa (okoli 300°C)
 - Predstavlja zaščito za notranji del prereza

Oglenenje lesa

- Piroliza: termična razgradnja lesa, vnetljivi plini, ki jih spremlja izguba mase (okoli 250 °C)

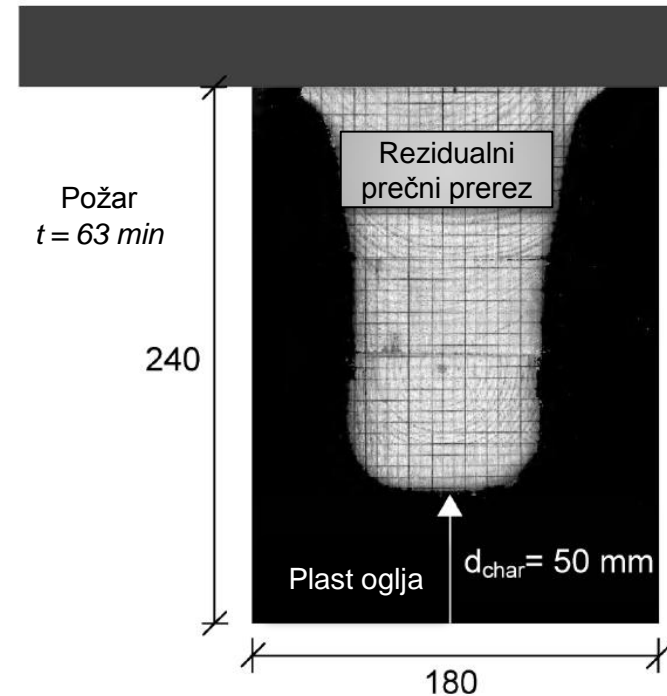
- Hitrost oglenjenja β

*razmerje med debelino
zoglenele plasti in časom*

[v mm/min]

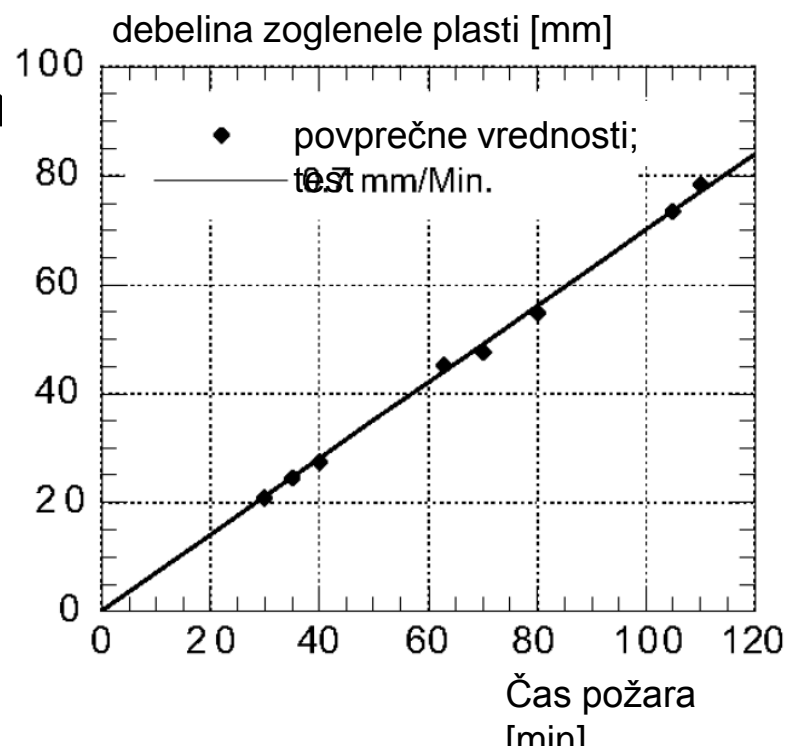
$$\beta = \frac{d_{char}}{t}$$

$$\beta = \frac{d_{char}}{t} = \frac{50\text{mm}}{63\text{min}} = 0.8\text{mm/min}$$



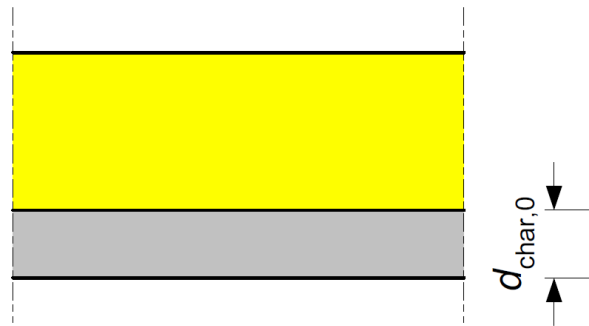
Hitrost oglenenja lesa

- Odvisna od požara, od jakosti toplotnega toka [kW/m^2]
 - Za standarden požar (ISO 834) lahko privzamemo konstantno vrednost (podana v SIST EN 1995-1-2)
- Odvisna od vrste lesa
 - smreka, $\beta \approx 0.7 \text{ mm/min}$
- Vpliv vlage in gostote na hitrost oglenenja (??)



Hitrost oglenenja lesa – skladno s SIST EN 1995-1-2

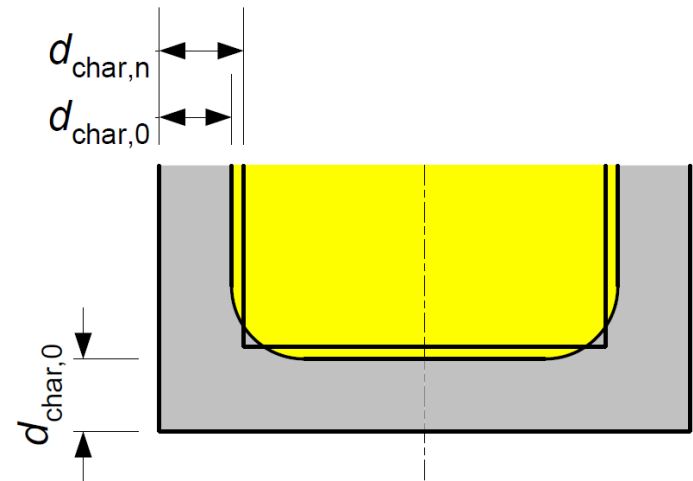
Enodimenzionalno
oglenenje
Izpostavljenost požaru z
ene strani (plošče,
stene,...)



Debelino zoglenele plasti
izračunamo kot:

$$d_{char,0} = \beta_0 [\text{mm/min}] * t [\text{min}]$$

Večdimenzionalno
oglenenje
Izpostavljenost požaru z
več strani (nosilci, stebri,...)



Debelino zoglenele plasti
izračunamo kot:

$$d_{char,n} = \beta_n [\text{mm/min}] * t [\text{min}]$$

Hitrost oglenenja lesa – skladno s SIST EN 1995-1-2

Hitrost oglenenja v primeru **STANDARDNE** požarne izpostavljenosti je podana v tabeli 3.1 (SIST EN 1995-1-2)

Table 3.1 – Design charring rates β_0 and β_n of timber, LVL, wood panelling and wood-based panels

	β_0 mm/min	β_n mm/min
a) Softwood and beech Glued laminated timber with a characteristic density of $\geq 290 \text{ kg/m}^3$ Solid timber with a characteristic density of $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65 0,65	0,7 0,8
b) Hardwood Solid or glued laminated hardwood with a characteristic density of 290 kg/m^3 Solid or glued laminated hardwood with a characteristic density of $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,65 0,50	0,7 0,55
c) LVL with a characteristic density of $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
d) Panels Wood panelling Plywood Wood-based panels other than plywood	0,9 ^a 1,0 ^a 0,9 ^a	– – –
^a The values apply to a characteristic density of 450 kg/m^3 and a panel thickness of 20 mm; see 3.4.2(9) for other thicknesses and densities.		

Mehansko obnašanje lesenih konstrukcij v požaru – oglenenje lesa

- Račun odpornosti skladno s SIST EN 1995-1-2
 - Hitrost oglečenja velja samo za standardno požarno izpostavljenost (okoli 0,8 mm/min)
 - V primeru parametrične požarne krivulje potrebno stopnjo oglečenja izračunati (dodatek A, omejitve)
 - Pri analizi z naprednimi računskimi modeli, lahko predpostavimo, da oglečenje nastopi, ko dosežemo temperaturo 300 °C
 - $\varepsilon_{\text{tot}} = \varepsilon_{\text{meh}} + \varepsilon_{\text{th}}$ (TRDNOST)

Kriterij R - nosilnost

Skladno s standardom SIST EN 1995-1-2 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 projektnejem stanju,

$E_{fi,d,t}$ – projektna vrednost notranjih sil pri požarnem projektnejem 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} :

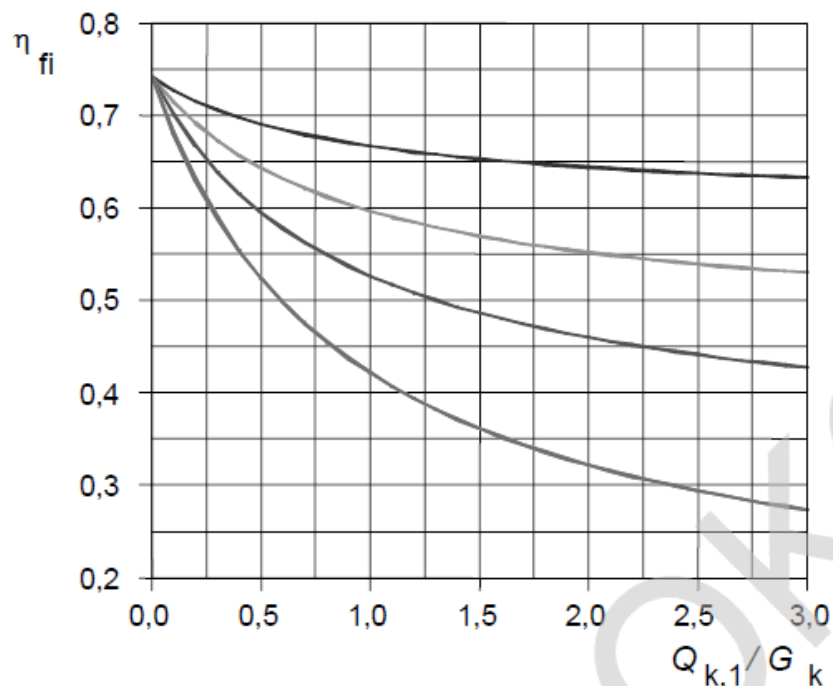
$$E_{fi,d,t} = \eta_{fi} E_d$$

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 1995-1-2)**

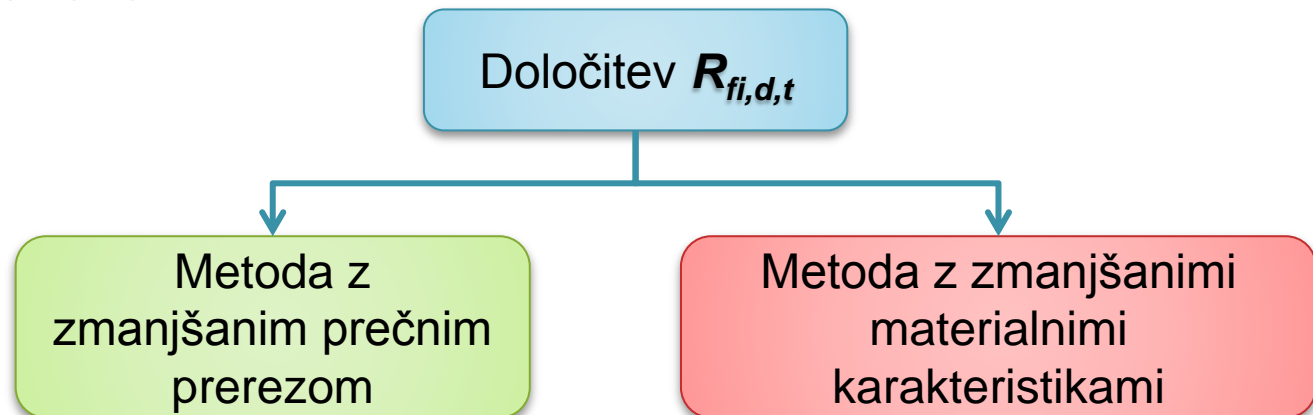
$\eta_{fi} = 0,60$

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

Določitev $R_{fi,d,t}$

Skladno s standardom SIST EN 1995-1-2 požarno odpornost $R_{fi,d,t}$ po poenostavljenem postopku določimo skladno s standardom SIST 1995-1-1 (odpornost pri sobni temperaturi), pri čemer upoštevamo zmanjšanje prečnega prereza zaradi oglenjenja in materialne lastnosti pri požarnem projektne stanju.

Poznamo dve metodi za določitev odpornosti elementa pri požaru:



Projektne vrednosti lastnosti materialov

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}}$$

20% fraktila trdnosti pri sobni temperaturi

Delni varnostni faktor, pri požarnem projektne stanju in je enak **1,0**

modifikacijski faktor (vpliv vlage (pri sobni), vpliv žara)

$$f_{20} = k_{fi} f_k$$

Karakteristična trdnosti pri sobni temperaturi

Faktor določen skladno s tabelo 2.1 v SIST EN 1995-1-2

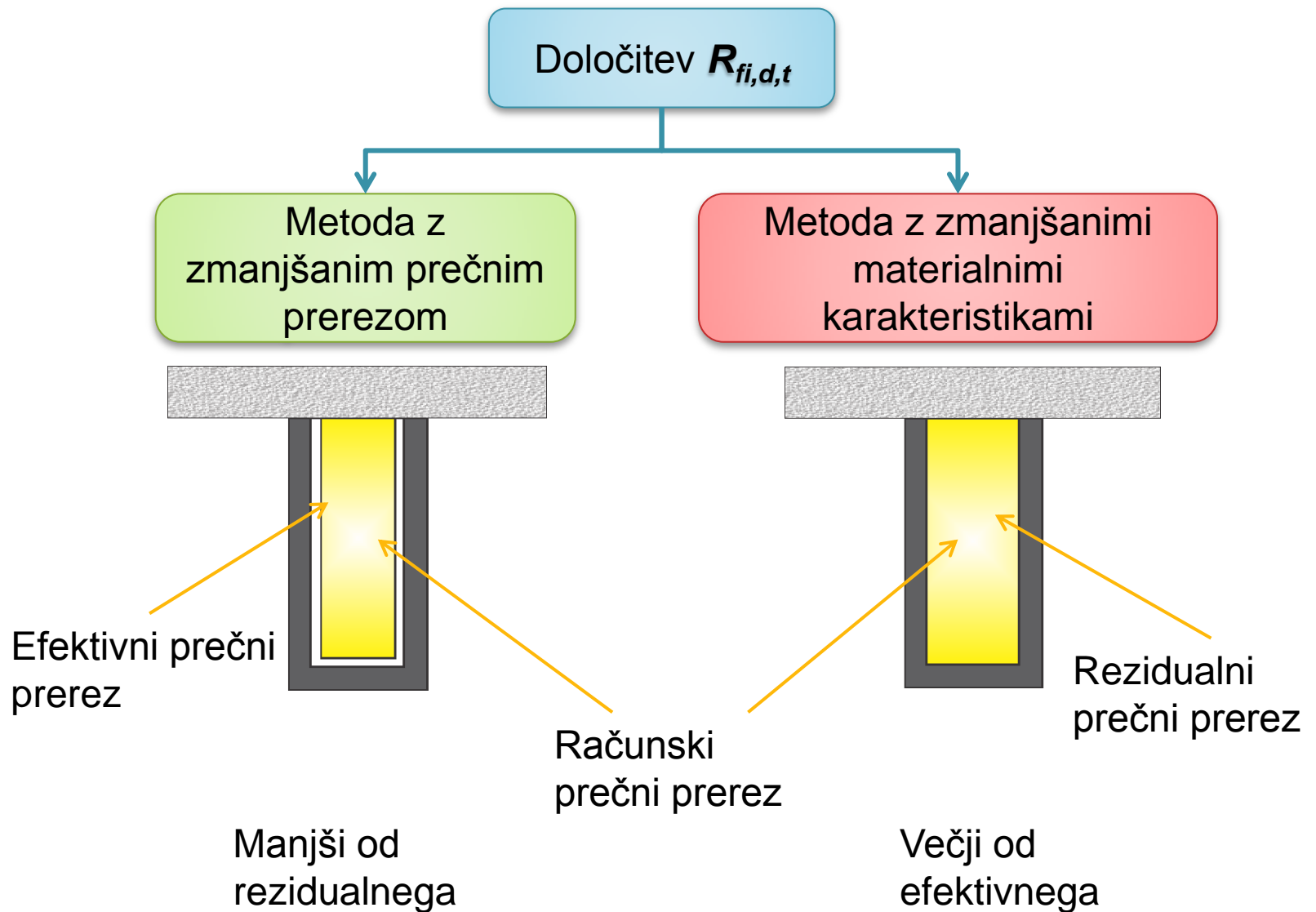
Projektna trdnost pri požarnem projektne stanju

Določitev faktorja k_{fi}

Table 2.1 — Values of k_{fi}

	k_{fi}
Solid timber (Masiven les)	1,25
Glued-laminated timber (Lepljen les)	1,15
Wood-based panels	1,15
LVL	1,1
Connections with fasteners in shear with side members of wood and wood-based panels	1,15
Connections with fasteners in shear with side members of steel	1,05
Connections with axially loaded fasteners	1,05

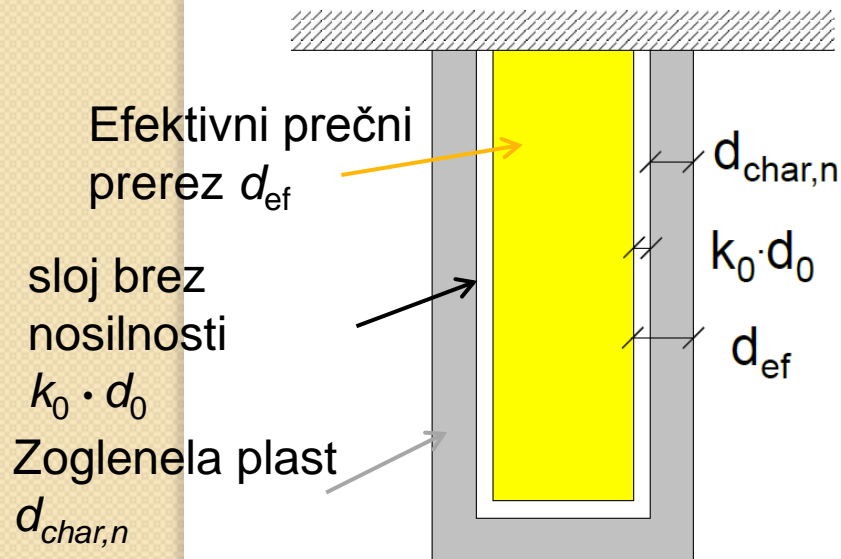
Določitev $R_{fi,d,t}$



Določitev $R_{fi,d,t}$ po metodi z zmanjšanim prečnim prerezom

Določitev $R_{fi,d,t}$

Metoda z zmanjšanim prečnim prerezom



LASTNOSTI METODE:

- Odpornost elementa določimo na osnovi **EFEKTIVNEGA PREČNEGA PREZA**
- Materialne karakteristike privzamemo, da so enake kot pri sobni temperaturi (**brez redukcije**)

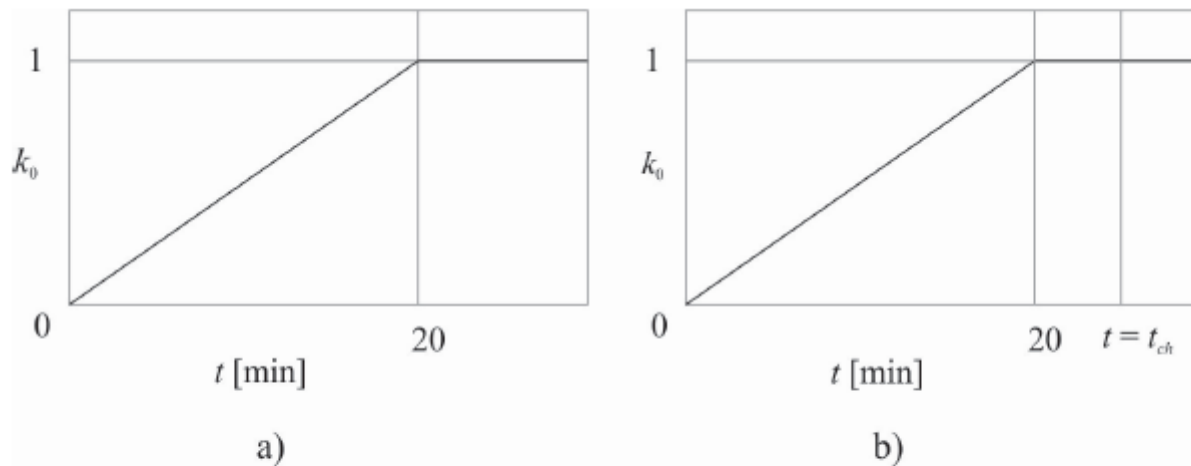
$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0$$

$$d_0 = 7 \text{ mm}$$

$$k_{mod,fi} = 1.0$$

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot f_k = k_{fi} \cdot f_k = f_{20}$$

Določitev faktorja k_0



Slika 2: a) vrednost faktorja k_0 za zaščitene in nezaščitene elemente, $t_{ch} \leq 20$ min, b) za zaščitene elemente, $t_{ch} \geq 20$ min

Določitev $R_{fi,d,t}$ po metodi z zmanjšanimi materialnimi karakteristikami

Določitev $R_{fi,d,t}$

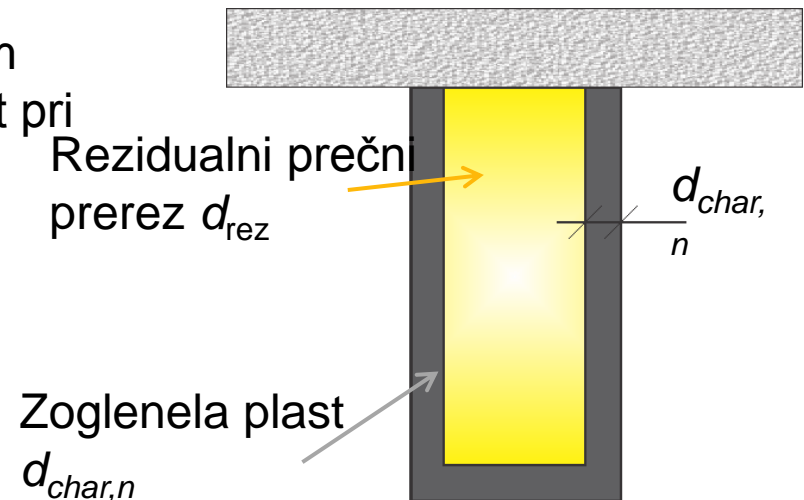
LASTNOSTI METODE:

- Odpornost elementa določimo na osnovi **REZIDUALNEGA PREČNEGA PREZA**
- Materialne karakteristike **REDUCIRAMO** z modifikacijskim faktorjem $k_{mod,fi}$ in so manjše kot pri sobni temperaturi
 $d_{rez} = d_{char,n}$

$$k_{mod,fi} < 1.0$$

$$\frac{f_{d,fi}}{f_k} = k_{mod,fi} \cdot f_{20} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot$$

Metoda z zmanjšanimi materialnimi karakteristikami



Določitev modifikacijskega faktorja $k_{mod,fi}$

Za požar, ki traja več kot 20 min, se faktor $k_{mod,fi}$ izračuna kot

- Za upogibno trdnost:

$$k_{mod,fi} = 1.0 - \frac{1}{200} \cdot \frac{p}{A_r},$$

- za tlačno trdnost:

$$k_{mod,fi} = 1.0 - \frac{1}{125} \cdot \frac{p}{A_r},$$

- za natezno trdnost in modul elastičnosti:

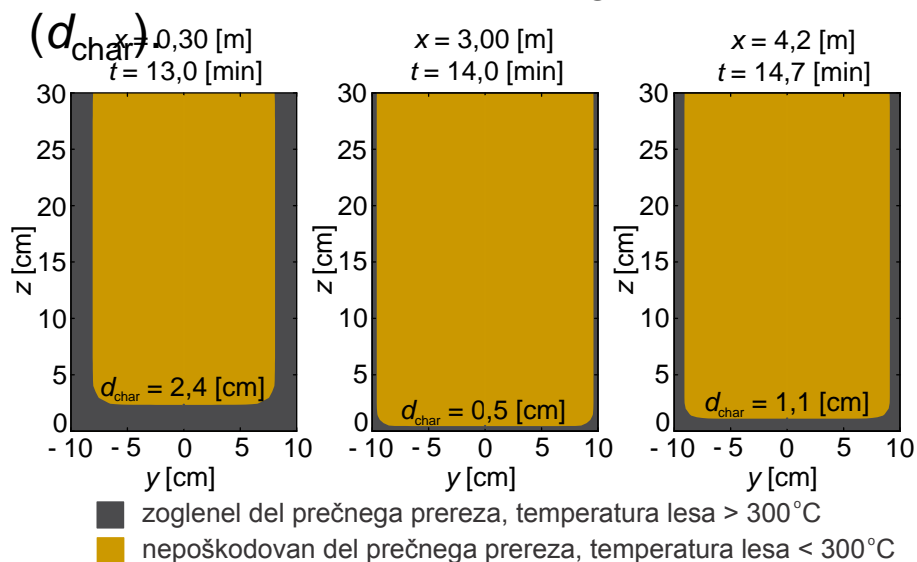
$$k_{mod,fi} = 1.0 - \frac{1}{330} \cdot \frac{p}{A_r}.$$

Za nezaščitene in zaščitene elemente je pri času $t = 0$ vrednost faktorja enaka **1**.

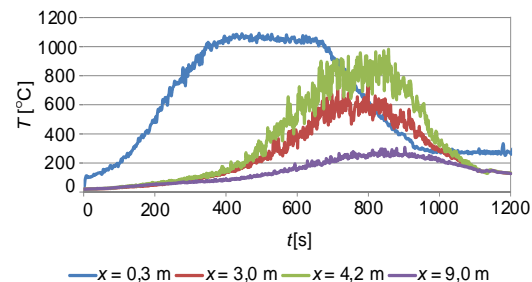
Za čase $0 \leq t \leq 20$ min se vrednost faktorja določi z linearno interpolacijo.

Določitev debeline zoglenele plasti pri naravnem požaru

- S toplotno analizo, določimo potek temperature po prečnem prerezu.
- Upoštevamo, da zogljeni del prečnega prereza, ki se segreje nad 300°C in tako odčitamo debelino zoglenele plasti v posameznem prečnem prerezu



Debelina zoglenele plasti



Razvoj temperature vročega zraka v požarnem prostoru

Vir: Pečenko R, Hozjan T., "Performančni način projektiranja požarne odpornosti lepljenega lesenega nosilca - 2. Del: toplotna in mehanska analiza", Gradbeni vestnik, junij 2015.