

## Tartószerkezetek tűzállósága, tűz, OTSZ, Eurocode, konstruálás

Kulcsár Béla

V. Rockwool tűzvédelmi konferencia  
Hungexpo – Construma kiállítás

Budapest  
2012. április

## Előadás vázlat

1. Tűzek és modellezésük
2. Tűzállósági követelmények, OTSZ
3. Szerkezetek tűzállósági teljesítményének igazolása
  - statikai számítás alapjai (EC) + közelítő szám példa
  - táblázatok használata (OTSZ és EC)
  - tűzállósági kísérletek felhasználása (ÉMI-vizsgálatok)
4. Konstruálási kérdések
5. Tűzvédelmi tervező és a statikus együttműködése

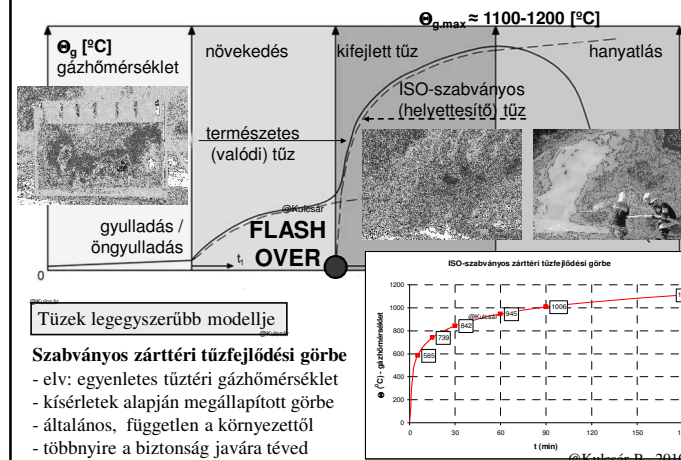
@Kulcsár B., 2010-

## 1 – Tűzek

szabályozatlan égési folyamatok

@Kulcsár B., 2010-

## Zárttéri természetes tűzfejlődés & modellezése







### Teherbírás – központos nyomás

**KERESZTMETSZET TEHERBÍRÁSA**

$\sigma = f$

$N_u = f \times A$

**Szilárdsági tönkremenetel (anyag „összemorzsolódik”)**

**SZERKEZETI ELEM TEHERBÍRÁSA**

$N_R$

$\sim 3,0\ m$

$N_R$

**Stabilitásvesztési tönkremenetel (kihajlás)**

$N_u > N_R$

Egy szint magas pillér – mint szerkezeti elem – teherbírása középfőten:

$N_R \approx 0,5 \cdot N_u$

@Kulcsár B., 2010-

### Hőtani modell - geometria

$\Theta_{g,1} = 1000^\circ\text{C}$

$\Theta_r = 1000^\circ\text{C}$

1. Hősugárzás (tűztérből)

2. Hőátadás (pillér felületén)

100°C      800°C       $\Theta_m$

**PILLÉR METSZETE**

**Kompaktsági mérőszám:**  $A/V \approx 10 - 20 [1/m]$        $A/V \approx 200 - 300 [1/m]$

felület-térfogat arány:  $A/V = p/A = (U/A)$

---

$\frac{A}{V} \geq 300 \left[\frac{1}{m}\right] \longrightarrow$  gyors és egyenletes felmelegedés (vékonyfalú szelvények)

szerkezeti elem hőmérséklete  $\approx$  tűztér gázhőmérséklete

$\Theta \approx \Theta_{gas}$

@Kulcsár B., 2010-

## 3 Szerkezetek tűzállósági teljesítményének igazolása

- statikai számítás alapjai (EC) + közelítő számpélda
- táblázatok használata (OTSZ és EC)
- tűzállósági kísérletek felhasználása (ÉMI-vizsgálatok)

@Kulcsár B., 2010-

### Tartószerkezetek követelményei - Eurocode

**Teherbírési követelmények:** kicsi annak a valószínűsége (nem 0!), hogy a szerkezet a tervezett élettartama alatt (ált. 50 év) összedől vagy súlyosan károsodik. Minden kb. 100.000 jól megépített ház közül 1-nél lehetséges, hogy a tartószerkezet a tervezett élettartama alatt súlyosan károsodik.

**Teherbírési határállapot (ULS) – szilárdsági vizsgálat (STR)**

$N_{Ed} \leq N_{Rd}$        $E_d$  - terhek, hatások okozta igénybevételek (pl. nyomóerő)

$R_d$  - a szerkezeti elem teherbírása (ellenállása) pl. nyomásra

**TEHER,(HATÁS)**

rel. gyakoriság

minden 100 leggyakoribb terhelés

$N_{Ed} = \gamma \cdot N_{E,k}$

$N_{E,d}$

**TEHERBÍRÁS,(ELLENÁLLÁS)**

labor-mérés

minden 1000 legrosszabb teherbírás

$N_{Rd} = \frac{N_{R,k}}{\gamma_M}$

$N_{R,d}$

$N_{E,d} \leq N_{R,d}$

@Kulcsár B., 2010-

### Teherkombinációk – teherbírás (ULS)

**Teherbírési határállapot (ULS) – rendeltetésszerű állapot**

$$E_d = \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k = 1,35 \cdot G_k + 1,5 \cdot Q_{k,hasznos}$$

**Teherbírési határállapot (ULS) – rendkívüli helyzet (pl. tűz)**

- Milyen valószínű egy tűz és az 50 évenkénti max. hasznos/hóteher egyidejű hatása?
- A hasznos/hóteher teljes hányada marad pl. 15 vagy 30 perc után is?

Lángoló ház  
10 cm síncs !!!  
(oltás előtt)

$\gamma = 1,0$  !!!

Alpesi terület (A),  
karakterisztikus  
hóteher: 120 cm

kb. 50-60 cm hó  
<< 120 cm

• lapostető tűzben:  $E_d = G_k + 0,2 \cdot S_k$     • emeletközi irodafödém tűzben:  $E_d = G_k + 0,5 \cdot Q_k$

@ Kulcsár B., 2010-

### EC 1 : Tartószerkezeteket érő hatások (terhek)

1 ....	1-1 ...	1-2 rész: Tűznek kitett szerkezetet érő hatások	1-3 ...	1-4 ...
--------	---------	---	---------	---------

**EC 2**  
beton és vb szerkezetek

**EC 3**  
acél szerkezetek

**EC 4**  
acél - vb öszvérszerk.

**EC 5**  
fa szerkezetek

**EC 6**  
falazott szerkezetek

**EC 9**  
alumínium szerkezetek

Számítással általában az R - teljesítmény-jellemző igazolható

@ Kulcsár B., 2010-

### Közelítő Eurocode-szám példa: földszinti pillér

Rendeltetésszerű állapotban és tűzhatásra is (követelmény: D-R30)

1 - iroda  
F - iroda

**Pillér anyaga és keresztmetszete**

Acél: HEA 120	Fa: 200x200 mm	Beton: $\phi 250$ mm
---------------	----------------	----------------------

@ Kulcsár B., 2010-

### Teher- és igénybevétel-számítás

**1. rendeltetészerű állapot**

$\eta_{fi} = 54\%$

**2. tűzhatás**

@ Kulcsár B., 2010-

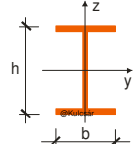
### Acél – normál hőmérséklet

**Acél: S235**  $f_{yk} = 235 \text{ [N/mm}^2]$   $\gamma_M = 1,0$

szilárdság tervezési értéke: (minden 1000. legrosszabb eset)  $f_d = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} = \frac{235}{1,0} = 235 \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$

anyagoldali biztonsági tényező

**HEA 120:** szabványosított szelvény (gyártmány)  
keresztmetszet táblázati értéke:  $A_s = 2350 \text{ mm}^2$



**HEA 120 pillér (szintmagas) közelítő teherbírása normál hőmérsékleten:**

$N_{Rd} \approx 0,5 \cdot N_u = 0,5 \cdot f_d \cdot A_s = 0,5 \cdot 235 \cdot 2530 \cdot 10^{-3} = 297,3 \text{ kN}$

$N_{Rd} = 297,3 \text{ kN} > N_{Ed} = 224,6 \rightarrow \text{megfelel}$

@ Kulcsár B., 2010-

### Acél – tűz (magas hőmérséklet)

vékonyfalú szelvény  $\rightarrow$  gyors felmelegedés

$\frac{U}{A} = \frac{A_m}{V} \approx 200 \left[ \frac{1}{\text{m}} \right] \rightarrow \Theta \approx \Theta_{\text{gas}}$

R30  $\rightarrow \Theta_{\text{steel}} \approx \Theta_{\text{gas}} = 842^0 \text{ C}$

szilárdság csökkenése:  $k_{y,\Theta} = 0,085 \quad \text{!!!}$

**HEA 120 pillér teherbírása tűzben:**

$N_{Rd,fi} \approx 0,5 k_{y,\Theta} \cdot f_d \cdot A = 0,5 \cdot 0,085 \cdot 235 \cdot 2530$

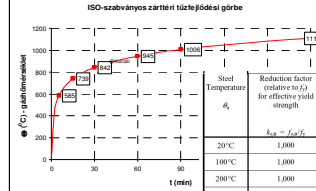
$N_{Rd,fi} = 25,27 \text{ kN} \ll N_{Ed,fi} = 120,5 \text{ kN} \rightarrow \text{NFM}$

**Hol felel meg?  $\rightarrow$  kritikus hőmérséklet ( $\Theta_{cr}$ )**

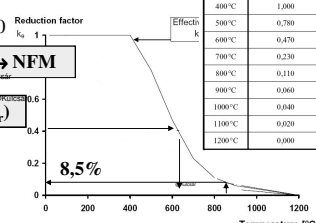
$N_{Rd,fi}^* \approx 0,5 k_{y,\Theta}^* \cdot f_d \cdot A = N_{Ed,fi} = 120,5 \text{ kN}$

$k_{y,\Theta}^* \approx 0,41 \rightarrow \Theta_{cr} \approx 620^0 \text{ C}$

**Acélpillér ~ (A1) R10**



Steel Temperature $\theta_a$	Reduction factor (relative to $f_{yk}$ ) for effective yield strength $k_{y,\theta}$
20°C	1,000
100°C	1,000
200°C	1,000
300°C	1,000
400°C	1,000
500°C	0,780
600°C	0,470
700°C	0,230
800°C	0,110
900°C	0,060
1000°C	0,040
1100°C	0,020
1200°C	0,000



@ Kulcsár B., 2010-

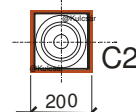
### Fa – normál hőmérséklet

**Fa: C24**  $f_{c,0,k} = 21 \text{ [N/mm}^2]$   $\gamma_M = 1,3$

(Nyomó)szilárdság tervezési értéke:  $f_d = k_{\text{mod}} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,8 \frac{21}{1,3} = 12,9 \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$

fa nedvességére jellemző szám  $\rightarrow$  anyagoldali biztonsági tényező

**Szelvény 200 x 200 mm:**  $A = 40\,000 \text{ mm}^2$



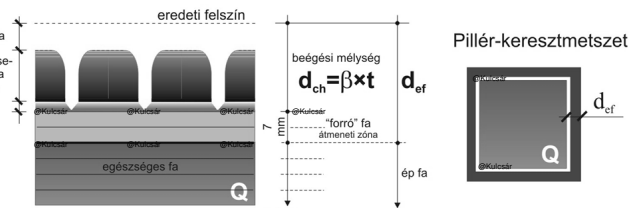
**Fa pillér (szintmagas) teherbírása normál hőmérsékleten:**

$N_{Rd} \approx 0,5 N_u = 0,5 f_d A = 0,5 \cdot 12,9 \cdot 40000 \cdot 10^{-3} = 258,0 \text{ kN}$

$N_{Rd} = 258,0 \text{ kN} > N_{Ed} = 224,6 \rightarrow \text{megfelel}$

@ Kulcsár B., 2010-

### Fa keresztmetszete - rúdszerkezetek beégése



**Hatékony beégési mélység (csökkentett keresztmetszet módszere):**

$d_{ef} = \beta_n t + d_0 = 0,8 \frac{\text{mm}}{\text{min}} \cdot 30 \text{ min} + 7 \text{ mm} = 31 \text{ mm}$

$\beta_n$  : rúdelem (gerenda, oszlop) beégési sebessége  $d_0 = 7 \text{ mm}$ , forró átmeneti zóna  
FF (fenyő) : 0,8 mm/min  
(ISO-tűz, sarokbeégés ebben figyelembe véve)

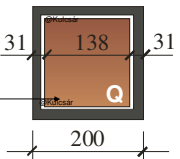
@ Kulcsár B., 2010-

### Fa – tűz (magas hőmérséklet)

Elszemesedett és az átmeneti zóna szilárdsága:  $\emptyset$

Ép faanyag (nyomó)szilárdsága, tervezési érték:  
 $f_{d,fi} = k_{fi} \cdot f_{c,0,k} = 1,25 \cdot 21 = 26,25 \text{ N/mm}^2$

20%-os kvantilis FF: 1,25      Anyagoldali biztonsági tényező tűzhatásnál:  $\gamma_{M,fi} = 1,0$



**Maradó keresztmetszet 138 × 138 mm :  $A_{netto} = 19\,044 \text{ mm}^2$**

**Fa pillér teherbírása tűzhatásra:**  
 $N_{Rd,fi} \approx 0,5 \cdot f_{d,fi} \cdot A = 0,5 \cdot 26,25 \cdot 19\,044 \cdot 10^{-3}$   
 $N_{Rd,fi} = 250,0 \text{ kN} > N_{Ed,fi} = 120,5 \text{ kN}$  → **T<sub>H</sub>-re megfelel (R30)**  
 Előírt tűzvédelmi osztály: D → **fa anyagában megfelel (D)**

→ **200 × 200 mm fa pillér: D-R30 (pontosabb számítás: D-R45)**  
 @Kulcsár B., 2010-

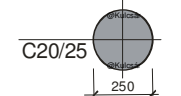
### Beton (vb) – normál hőmérséklet

**Beton: C20/25**       $f_{ck} = 20 \text{ [N/mm}^2]$        $\gamma_M = 1,5$

(nyomó)szilárdság tervezési értéke:  $f_d = \frac{f_{ck}}{\gamma_M} = \frac{20}{1,5} = 13,33 \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$

anyagoldali biztonsági tényező

**Φ250 mm oszlop keresztmetszete:**  
 $A_c = 125 \cdot 125 \cdot \pi = 49\,090 \text{ mm}^2$



**Φ250 mm (szintmagas) betonoszlop teherbírása normál hőmérsékleten:**  
 (a vasalás plusz teherbírását a biztonság javára nem vesszük figyelembe)  
 $N_{Rd} \approx 0,5 N_u = 0,5 f_d A_c = 0,5 \cdot 13,33 \cdot 49\,090 \cdot 10^{-3} = 327,1 \text{ kN}$   
 $N_{Rd} = 327,1 \text{ kN} > N_{Ed} = 224,6$  → **megfelel**

@Kulcsár B., 2010-

### Beton – tűz (magas hőmérséklet)

zömök szelvény → lassú felmelegedés      **Anyagmodell magas hőmérsékleten:**

izotermák       $\Theta = 500^\circ\text{C}$        $\Theta > 500^\circ\text{C}$  beton, szilárdsága  $\approx 0$   
 Modell       $\Theta = 300^\circ\text{C}$        $\Theta < 500^\circ\text{C}$  beton (nyomó)szilárdsága: 100%  
                   $\Theta = 100^\circ\text{C}$

$f_{d,fi} = f_{c,k} = 20 \text{ N/mm}^2$

**500°C izotermia mélysége ( $a_{500}$ ) és a maradó keresztmetszet:**

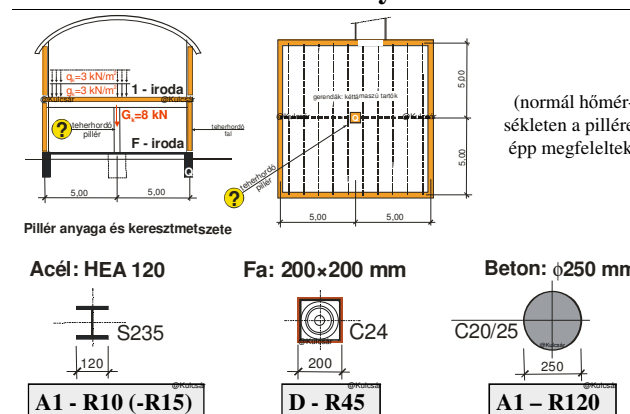
R (T <sub>90</sub> , min)	a <sub>500</sub> (mm)
30	13
60	26
90	38

→  $a_{500} = 13 \text{ mm}$   
 $A_{netto} = (125 - 13)^2 \cdot \pi = 39\,410 \text{ mm}^2$

**Beton oszlop teherbírása tűzhatásra:** → **T<sub>H</sub>-re megfelel (R30)**  
 $N_{Rd,fi} \approx 0,5 f_{d,fi} \cdot A = 0,5 \cdot 20 \cdot 39\,410 \cdot 10^{-3} = 394,1 \text{ kN} \gg N_{Ed,fi} = 120,5 \text{ kN}$   
 Előírt tűzvédelmi osztály: D → **beton anyagában megfelel (A1)**

Φ250 mm beton oszlop: **A1-R30 (pontosabb számítás: A1-R120)**  
 @Kulcsár B., 2010-

### Közéltő számítás eredményei - összehasonlítás



(normál hőmérsékleten a pillérek épp megfeleltek)

**Pillér anyaga és keresztmetszete**

**Acél: HEA 120**      **Fa: 200×200 mm**      **Beton: Φ250 mm**

→ számítással általában **R**-követelmények igazolhatók (speciális esetben: E(I))  
 @Kulcsár B., 2010-

### Vb oszlop tűzben - tűzállósági táblázat (OTSZ)

**OTSZ:** a korábbi MSZ 595-3 [1974] táblázatainak átvétele

- tűzhatás: körkörös ISO-zárttéri tűzfejlődés
- Eszerint a tűzállósági teljesítmény nem függene pl:
  - az oszlop kihajlási hosszától ...
  - a nyomott acélbetét betonfedésétől ... (stb.)

**2. táblázat**  
Teherhordó beton- és vasbetonpillérek, -oszlopok

	A	B	C	D	E	F	G
1	v (d) [cm]	20	25	30	35	40	50
2	A szerkezet megnevezése	Tűzállósági határérték [perc]					
3	Betonpillér	R 120	R 150	R 180	R 240	-	-
4	Vasbetonpillér, ha $F_{vny} \leq 0,02 F_b^{(1)}$	R 120	R 150	R 180	R 210	R 240	R 300
5	ha $F_{vny} \geq 0,02 F_b^{(2)}$	R 90	R 120	R 150	R 180	R 210	R 240
6	A tűzállósági határérték 1,5 cm vakolat alkalmazása esetén 30 perccel növelhető.						

1)  $F_{vny}$  a nyomott vasbetét keresztmetszete,  
2)  $F_b$  a pillér (oszlop) keresztmetszete.

→ táblázatokkal födémek falak REI-M teljesítményjellemzőihez is nyerhető  $T_H$

@Kulcsár B., 2010-

### Vb oszlop tűzben - tűzállósági táblázat (EC 2-1-2)

- ISO-zárttéri tűzhatásra (R30 – 60 – 90 – 120) a központosan nyomott vb. oszlop teherbírása - a biztonság javára közelítve - **tipizálható**

**Előszámítás paramétereit**

- (1) karcsúság  $l_0 / d = 13,6$
- (2) nyomott acélbetétek és a beton teherbírás-aránya  $\omega = \frac{N_{sd}}{N_{cd}}$
- (3) „kihasználtság” a normál hőmérsékleti teherbíráshoz képest  $n = \frac{N_{Ed,fi}}{0,7 \cdot (A_c f_{cd} + A_s f_{yd})}$

**Eredmény**

- minimális **oszlopszélesség** ( $b_{min}, D_{min}$ ) → elegendő-e a felvett méret?
- minimális **acélbetét-tengely-táv** ( $a_s$ )  
→ indirekt a szükséges **betonfedést** (c) is megadja

@Kulcsár B., 2010-

### Vb oszlop tűzben - tűzállósági táblázat (EC 2-1-2)

(kivonat)

$\omega = 1,0$

ISO tűzhatás ideje	Karcúság $\lambda = l_0/d$	Karcúság* $l_0/d$	Szükséges oszlop-méretek			
			n = 0,15	n = 0,3	n = 0,5	n = 0,7
			$b_{min} / a_s$	$b_{min} / a_s$	$b_{min} / a_s$	$b_{min} / a_s$
R30	30	9,6	150 / 25	150 / 25	150 / 25	150 / 25
	40	12,8	150 / 25	150 / 25	150 / 25	150 / 25
	50	16,1	150 / 25	150 / 25	150 / 25	200 / 25
	60	19,3	150 / 25	150 / 25	150 / 25	250 / 25
	70	22,5	150 / 25	150 / 25	200 / 25	250 / 25
	80	25,7	150 / 25	200 / 25	250 / 25	300 / 25
R90	30	9,6	150 / 25	200 / 25	250 / 25	250 / 45
	40	12,8	150 / 25	250 / 25	350 / 25	300 / 45
	50	16,1	200 / 25	250 / 25	400 / 25	350 / 45
	60	19,3	250 / 25	300 / 25	550 / 25	400 / 50
	70	22,5	250 / 25	350 / 25	600 / 35	600 / 45
	80	25,7	250 / 25	500 / 25	600 / 40	600 / 55

reális paraméterek tartománya      kb. a példa paramétereit

→ **táblázat** használata **egyszerű**, de ált. a biztonság javára téved (nagyobb méret)  
→ **számítás** **munkaigényes**, de pontosabb → ált. kisebb keresztmetszet szükséges

@Kulcsár B., 2010-

### Tűzállóság teljesítmény igazolása kísérlettel

**Akkreditált laborban, itthon: ÉMI**

- egy darab kísérlet / szerkezet típus
- fix fesztáv (4m) vagy magasság (3m)
- megbízó által választott teherrel
- döntően ISO-zárttéri tűzfejlődési görbe

→ REI 30 csak fix konfigurációra igaz!  
→ és ha pl. 8 m fesztávolságon kell alkalmazni a szerkezeti elemet?

**ÉME / TMI**

- nyilvános adat: a tűzállósági teljesítményhez (határértékhez) tartozó teherbírás
- pl. nyomási teherbírás + kihajlási hossz ( $N_{Rd,fi}, l_0$ ) ill. nyomatéki teherbírás ( $M_{Rd,fi}$ )

**Födém tűzállósági teljesítményének igazolása tűzállósági kísérlettel**

- a kísérlet mérnöki kiterjesztése: nagyobb fesztávokra csökkentett max. teher !

@Kulcsár B., 2010-



# 4 – Konstruálási kérdések

## Látszó vízszintes acélelem - valós tüzeseti viselkedés

Vízszintes acél szerkezeti elem kötél szerkezetként magas hőmérsékleten megfelelhet  
 → ha kétoldalt vízszintes megtámasztása is van  
 → trapézlemez, szendvicspanelek:  
**akár REI 30 is lehetséges (kísérletileg igazolandó)**

Körmend, sajtgyár tüze  
 @Kulcsár B., 2010-

## Acél – probléma a tűzállósági határérték

**Tűzvédő festés**  
 → stabil habot képez  
 → R30 ... R60 ( $T_H \rightarrow \text{nő!!!}$ )  
 → A1 tűzvédelmi oszt. szerk.  
 → a festék sík alkotókról habosodik fel megbízhatóan

**Tűzvédő lemez burkolat → R30... R180**

- gipszkarton (GKB) → B tűzvéd. oszt.
- gipszrost lemez → A2 (A1) tűzvéd. oszt.

**Tűzvédő habarcs**  
 → ...R180, A1 tűzvédelmi oszt.

@Kulcsár B., 2010-

## Fa - probléma: a tűzvédelmi osztály és a téveszmék

**Égéskelettelhető festés**  
 → B,C tűzvédelmi osztály

**Védő burkolat (GKB)**  
 → B tűzvédelmi osztály

**Példa: parkolóház (favázás épület)**

Faanyag tűzthatásra szükséges keresztmetszete = normál hőmérsékleti szelvény + beégési mélység ???

→ pl. a 200x200 mm szintmagas fapillér **R30 (45) !**

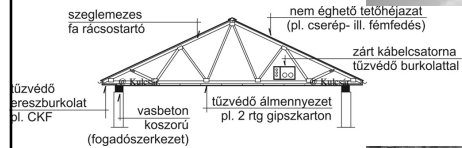
→ a plusz ráragasztás oldalanként + 62 mm lenne  
 → + 70% fölös anyagmennyiség !!!  
 → FF-ből nem lehetséges → RR-fa (3x költség)

Beégett kéreg ráragasztása ???  
 @Kulcsár B., 2010-

## Szeglomezes fa rácsostartók és szerkezetek

### Védelem nélküli szeglomezes faszerkezet

- az anyagok szabják meg a tűzvédelmi tulajdonságokat
- tűzállósági teljesítmény: **D** (fűrészelt fa) - **R10**
- csak spec. esetekben érhető el R15



### Védett (pl. burkolt) szeglomezes faszerkezet

- tűzvédő álmennyezet + nem éghető fedés + nem éghető ereszburkolat
- elérhető tűzállósági teljesítmény: **B – REI 30** ill. **B – REI 60**

@ Kulcsár B., 2010-

## 5 – Tűzvédelmi és statikus tervező

részterületi együttműködés

## Tűzvédelmi burkolatok gyakorlati tervezése

### Tűzvédelmi tervező

- megállapítja a tűzvédelmi követelményeket
- javasol egy tűzmodellt / ISO-szabványos zárttéri modell ... részletes tűzmodell
- dönt: milyen módszer használható az igazoláshoz
  - táblázatos módszer → R, REI és REI-M
  - tűzállósági kísérletek adaptálása a konkrét projektre → R, REI és REI-M
  - statikai számítás a tűzhatás idején (Eurocode) → R
- a táblázatos módszert használatát és a kísérletek adaptálását önállóan végezheti
- tűzvédelmi burkolatot / bevonatot tervezhet – terméktáblázatok alapján

### Ha statikai számítás szükséges

- határterület, hogy ki állapítja meg a szerkezeti elem hőmérsékletét vagy hőmérséklet-eloszlását adott idejű tűz után (tűzvédelmi tervező vagy a statikus)

### Statikus tervező

- igazolja a tartószerkezetek tűzállóságát statikai számítással
- új szerkezeti méreteket állapíthat meg
- tűzvédelmi burkolatot / bevonatot tervezhet – számítással is

@ Kulcsár B., 2010-