



KRITIKUS KÉRDÉS: ACÉL ELEMEEK KRITIKUS HŐMÉRSÉKLETE

Dr. Horváth László egyetem docens



BUDAPESTI MŰSZAKI
ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
Építőmérnöki Kar - építőmérnöki képzés 1782 óta

Hidak és Szerkezetek Tanszék

Acélszerkezetek tűzvédelmi tervezése workshop, 2018. 11.09

TARTALOM

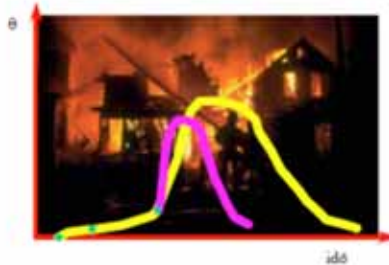
Acél elemek tönkremeneteli folyamata tűzhatás alatt
Kritikus hőmérséklet és számítási lehetőségei
Alkalmazása reaktív tűzvédő bevonat tervezésében
Tények és tévhitek



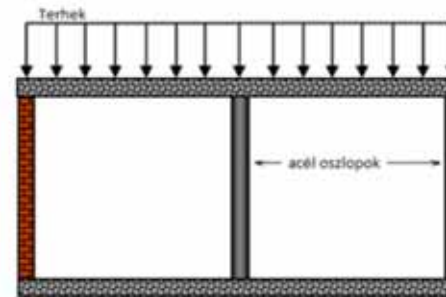
TARTÓSZERKEZET VISELKEDÉSE TŰZHATÁSRA



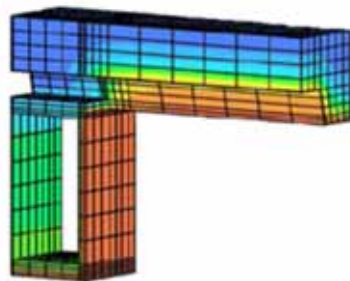
1. Gyújtóhatás



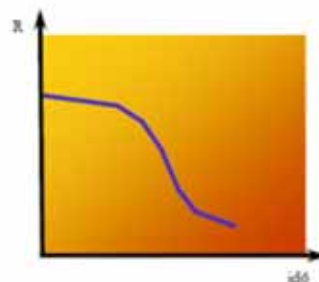
2. Termikus hatás



3. Mechanikai hatás



4. Termikus reagálás



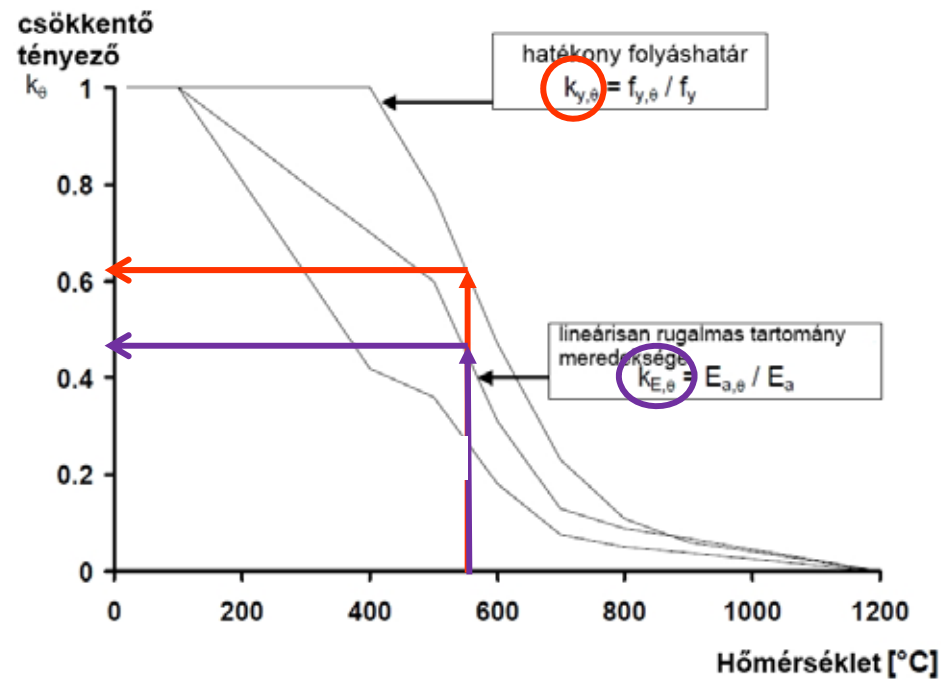
5. Mechanikai reagálás



6. Lehetséges összeomlás



ACÉL SZILÁRDSÁGÁNAK ÉS MEREVSÉGÉNEK LEÉPÜLÉSE

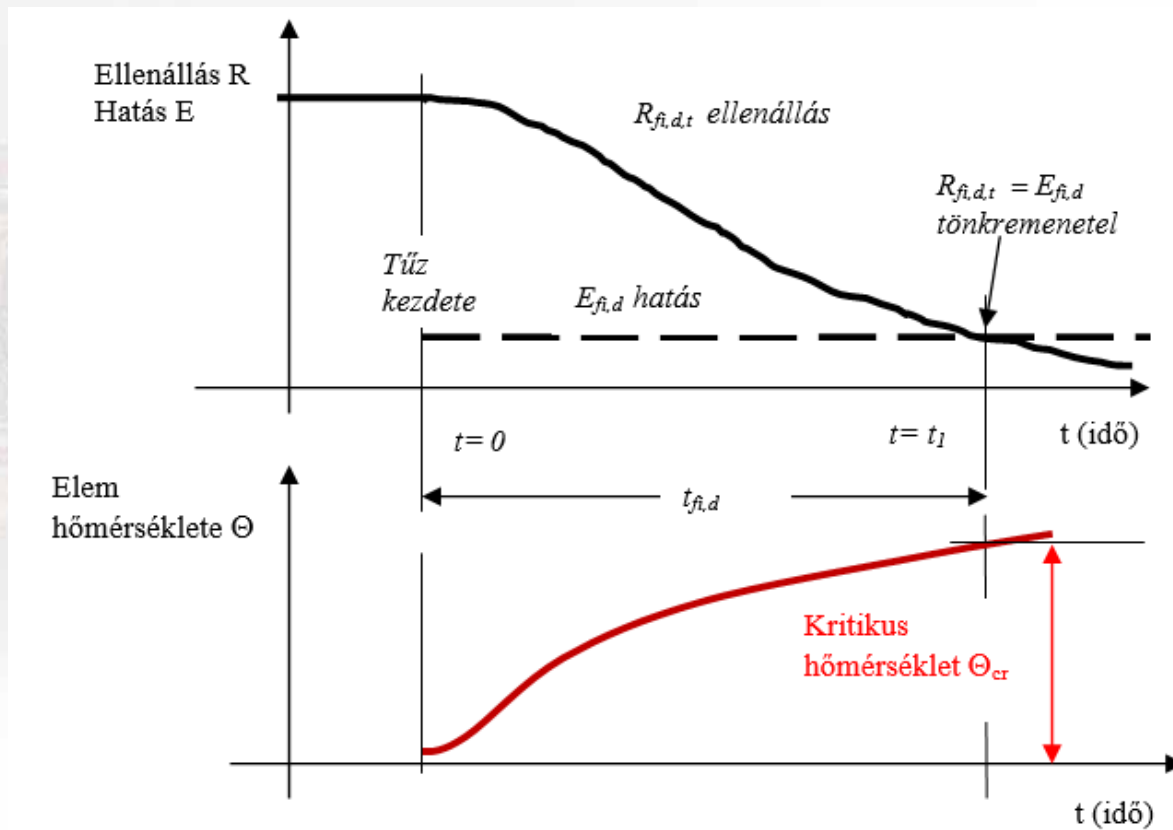


f_y 20°C-on mért folyáshatár
 E_a 20°C-on mért rugalmassági modulus

MSZ EN 1993-1-2 3.2 ábra



TÖNKREMENETEL ÉS A KRITIKUS HŐMÉRSÉKLET



KRITIKUS HŐMÉRSÉKLET SZÁMÍTÁSA EGYSZERŰ IGÉNYBEVÉTELEK ESETÉBEN

Húzott rúd:

$$N_{Rd,\phi,fi} = \frac{A \cdot k_{y\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} = N_{Ed,fi}$$

Hajlított gerenda:

$$M_{Rd,\phi,fi} = \frac{W \cdot k_{y\theta} \cdot f_y}{\gamma_{M,fi}} \geq M_{Ed,fi}$$

ahol $k_{y,\theta}$ a hőmérséklettől függő csökkentő tényező

Hőmérséklet	$k_{y,\theta}$ csökkentő tényező (a folyáshatárhoz) $k_{y,\theta} = f_{y,\theta} / f_y$	$k_{p,\theta}$ csökkentő tényező (az arányossági határhoz) $k_{p,\theta} = f_{p,\theta} / f_y$	$k_{E,\theta}$ csökkentő tényező (a rugalmassági moduluszhoz) $k_{E,\theta} = E_{a,\theta} / E_a$
20	1,000	1,000	1,000
100	1,000	1,000	1,000
200	1,000	0,807	0,900
300	1,000	0,613	0,800
400	1,000	0,420	0,700
500	0,780	0,360	0,600
600	0,470	0,180	0,310
700	0,250	0,075	0,130
800	0,110	0,050	0,090

$\Theta_{cr} =$



KRITIKUS HŐMÉRSÉKLET SZÁMÍTÁSA STABILITÁSI TÖNKREMETTEL ESETÉN

Nyomott rúd kihajlása:

$$N_{b,Rd,\phi,fi} = \kappa_{fi} \cdot A \cdot k_{y\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}$$

Hajlított gerenda kifordulása:

$$M_{b,Rd,\phi,fi} = \kappa_{LTfi} \cdot W \cdot k_{y\theta,com} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}$$

Mindkét tényező függ a Θ hőmérséklettől → közvetlenül nem számítható, hanem iteráció szükséges!



KRITIKUS HŐMÉRSÉKLET SZÁMÍTÁSÁNAK TOVÁBBI LEHETŐSÉGEI

- EC3 egyszerűsített képlete:
$$\theta_{a,cr} = 39,19 \cdot \ln \left[\frac{1}{0,9674 \cdot \mu_0^{3,833}} - 1 \right] + 482$$

NEM minden esetben, hanem: **csak ha nincs stabilitási veszély!**

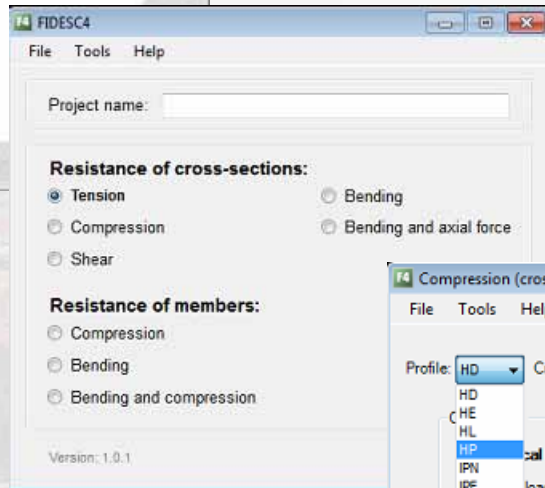
- Programok segítségével (mindkettő szabadon letölthető)

OZONE

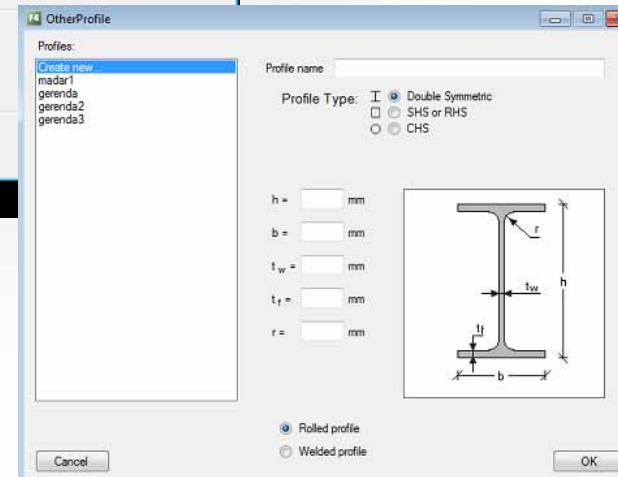
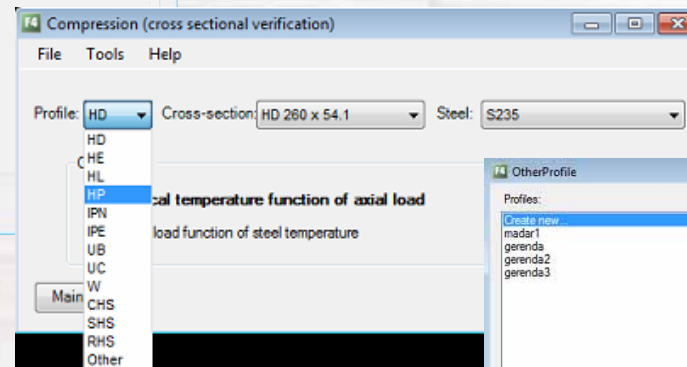
FIDESC4

- Pontosabb számítási modell (síkbeli vagy térbeli tartószerkezeti modell pl. AXISVM vagy ConSteel szoftverben)





- Szélesebb profilválaszték
- Felhasználó által megadott szelvények
- 4. Osztályú keresztmetszetet is kezeli (effektív szelvényt számol tűzhatásra!)



Bending and Compression

File Tools Help

Profile: HE Cross-section: HE 300 A Steel: S235

Buckling:

about y - y axis

about z - z axis

about y - y or z - z axis

System length:

$L_y = 6000$ mm

$L_z = 2000$ mm

Buckling coefficients:

about y - y axis: $I_{y,fi}/L_y = 1$

about z - z axis: $I_{z,fi}/L_z = 1$

Axial force

Design axial compression load: $N_{fi,Ed} = 140$ kN

Bending diagrams

About major axis About minor axis

Lateral torsional buckling verification:

Is lateral torsional buckling allowed? Yes No

Consider factor f? Yes No

Elastic critical moment

Length between lateral restraints: mm

Loading:

Do you want to change the elastic critical moment? Yes No

Elastic critical moment: $M_{cr} = 3811.961$ kNm

Calculation:

Critical temperature function of the loads

Buckling resistance function of steel temperature

- Pontos és részletes beállítási lehetőségek
- PLUSZ: szerkezeti elem hőmérséklete alapján kiszámolja a teherbírását!
- CSAK ISO 834 standard tűzhatásgörbe
- CSAK 4 oldali tűzhatásnak kitett szerkezeti elemet vizsgál





FIDESC4

Fire Design of Steel Members with Welded or Hot-rolled Class4 Cross-sections

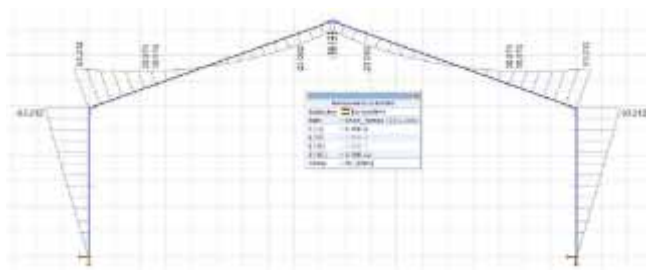
Version: 1.0.1

- Csak melegen hengerelt profilok
- Sokféle tűzhatás, akár számított tűzhatások is
- 3 vagy 4 oldali tűzhatás
- A tűzhatáskor fellépő igénybevételeket be kell írni
- Kritikus hőmérsékletet és a $t_{fi,d}$ tűzállósági időtartamot is számolja
- Széles szelvényválaszték, akár 4. osztályú is lehet
- Csak ISO 834 tűzhatásgörbe
- Csak 4 oldali tűzhatás
- Hajlítónyomatékokat és kritikus nyomatékot a teherből számolja
- Kritikus hőmérsékletet és adott hőmérséklethez tartozó ellenállást számolja



PONTOSABB MODELL - SÍKBELI MODELL AXISVM

A hőmérsékletváltozás következtében megváltozott anyagtulajdonságok (E , f_y) és a hőtágulás figyelembevételével → hőmérsékletfüggő igénybevételek



Igénybevételek adott θ hőmérsékleten

Szerkezeti elem μ kihasználtsága

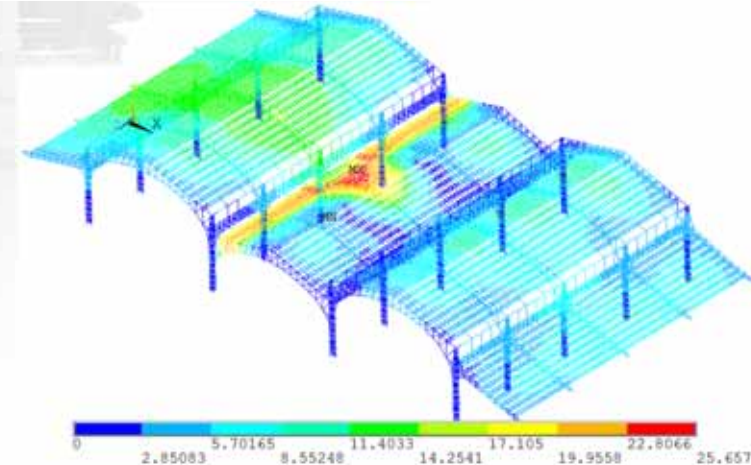
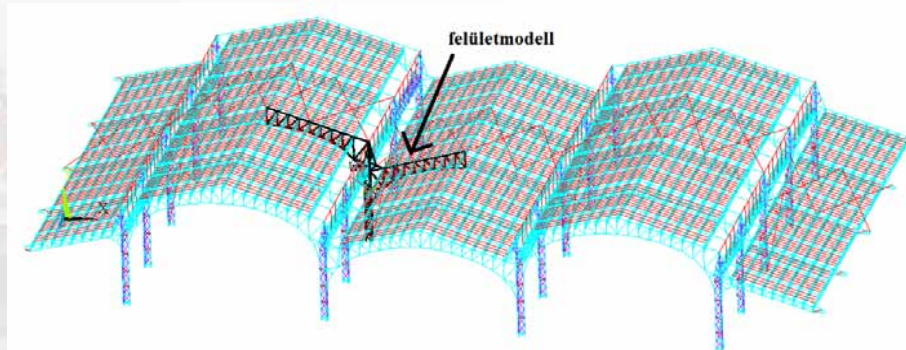
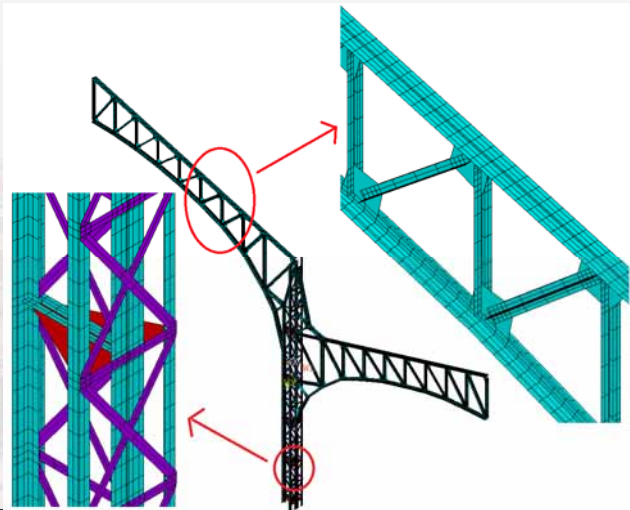
Szerkezeti elem θ_c kritikus hőmérséklete

$\theta_c = \theta ?$

$\theta_{cr} = \theta_c$



PONTOSABB MODELL – TÉRBELI ANSYS MODELL



Követelmény: R45

Hőmérsékletek: tűszimuláció alapján
(lokális tűz-szenárió)

Kritikus hőmérséklet: 350°C →
tűzvédő bevonat alkalmazása szükséges



SZERKEZETI ELEM ELLENŐRZÉSE TŰZHATÁSRA

Tűzállósági teljesítmény követelmény

$$R(t_{fi,req}) \rightarrow R15, R30 \dots$$

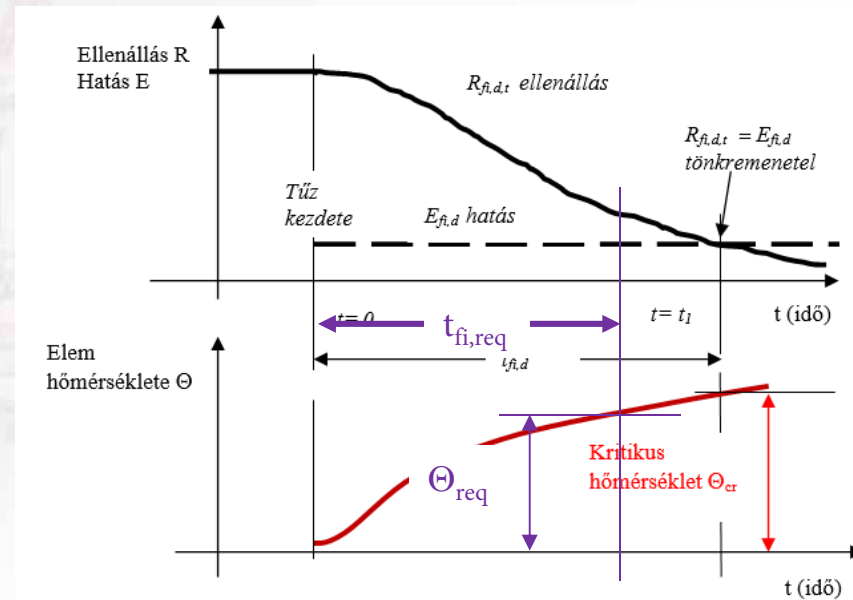
Időtartamban:

$$t_{fi,req} \leq t_{fi,d} \rightarrow \text{megfelelő!}$$

Vagy: hőmérsékletben

$$\Theta_{req} \leq \Theta_{cr} \rightarrow \text{megfelelő!}$$

Mi a teendő, ha nem megfelelő?



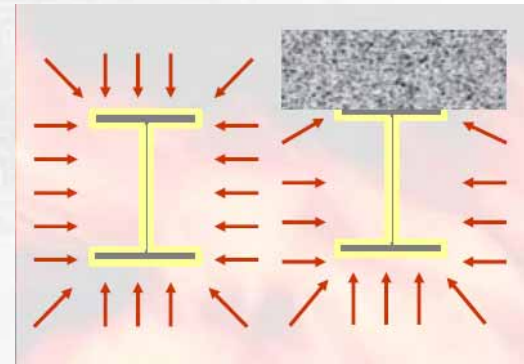
LEHETŐSÉGEK:

- Szerkezeti elem méretének növelése – max. R15 követelményig
- Szerkezeti elem védelme a tűzhatás ellen:
 - *Burkolatok*
 - *Habarcok - nem reaktív védelem*
 - *Tűzvédő bevonatok (festékek) – reaktív védelem*



TŰZVÉDŐ FESTÉK SZÜKSÉGES VASTAGSÁGA

- Megkívánt tűzállósági teljesítmény követelmény $R(t_{fi,req}) \rightarrow R15, R30 \dots$
- Profiltényező (szelvénytényező) A_p/V [1/m]
 A_p az elem felszínének egység hosszra jutó értéke [m²/m] (tűznek kitett terület)
 V az elem térfogatának egység hosszra jutó értéke [m³/m] (km. területe)
- Tervezési hőmérséklet (legfeljebb a kritikus hőmérséklet)



TŰZVÉDŐ FESTÉK SZÜKSÉGES VASTAGSÁGA

Minősített dokumentum (gyártói)

Table 4 I-Section Beams 60 Minutes

Section Factor up to m ⁻¹	Thickness (mm) Required for a Design Temperature of								
	350°C	400°C	450°C	500°C	550°C	600°C	650°C	700°C	750°C
70	1.945	1.331	0.957	0.714	0.521	0.466	0.466	0.466	0.466
75	1.945	1.331	0.985	0.740	0.549	0.466	0.466	0.466	0.466
80	1.945	1.331	1.014	0.766	0.577	0.483	0.466	0.466	0.466
85	1.945	1.372	1.042	0.793	0.606	0.512	0.466	0.466	0.466
90	1.945	1.414	1.070	0.819	0.634	0.541	0.466	0.466	0.466
95	1.945	1.456	1.098	0.845	0.663	0.569	0.477	0.466	0.466
100	2.051	1.498	1.127	0.871	0.691	0.598	0.506	0.466	0.466
105	2.158	1.540	1.155	0.897	0.719	0.626	0.535	0.466	0.466
110	2.265	1.582	1.183	0.923	0.748	0.655	0.564	0.466	0.466
115	2.372	1.624	1.211	0.949	0.776	0.684	0.593	0.466	0.466
120	2.479	1.666	1.240	0.975	0.805	0.712	0.622	0.475	0.466

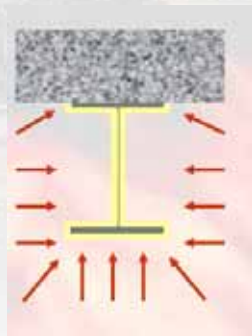
További paraméterek!



TŰZVÉDŐ FESTÉK SZÜKSÉGES VASTAGSÁGA

Beam (gerenda)

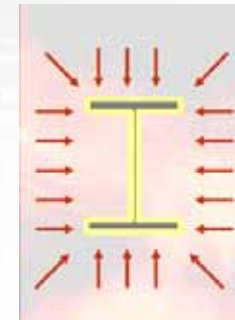
- Hajlított elem, nyomatékokot visel
- 3 oldalról éri a tűzhatás
- **Kisebb** rétegvastagság elegendő



Eltérő terhelés,
Eltérő viselkedés,
eltérő vizsgálati módszerek
Más táblázat vonatkozik rá!

Column (oszlop)

- Nyomott elem, nyomóerőt kap
- 4 oldalról éri a tűzhatás
- **Nagyobb** rétegvastagság szükséges!



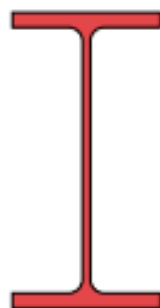
Ha nem teljesül mindegyik feltétel a gerendára,
akkor OSZLOP-nak KELL tekinteni!

NEM a térbeli helyzet, hanem a
terhelés iránya a mérvadó!

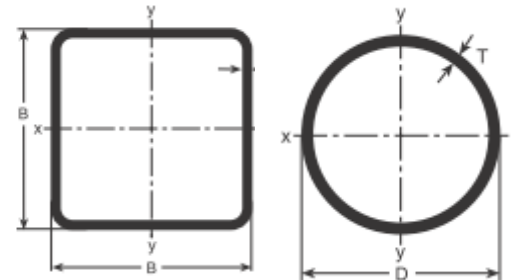
TÜZVÉDŐ FESTÉK SZÜKSÉGES VASTAGSÁGA

I-szelvény: nyitott szelvény

RHS / CHS szelvény: zárt szelvény



SZELVÉNYTÍPUS



Eltérő viselkedés,
eltérő rétegvastagságok kellene.

Más – más táblázat vonatkozik rájuk!



PÉLDA: BEAM VAGY COLUMN?

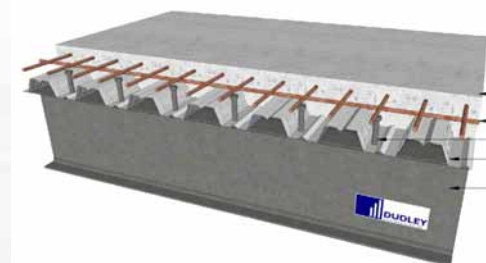
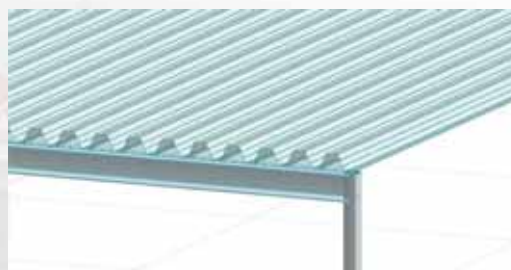
Rácsos tartó **nyomott** rúdja – nem gerenda, hanem OSZLOP, mert nyomóerőt visel, és sok esetben négyoldali tűzhatást kap.

DE: Rácsos tartó **húzott** rúdja – sem gerenda, hanem OSZLOP, mert négy oldalról kap tűzhatást !!



PÉLDA: BEAM VAGY COLUMN?

Hány oldalról éri a tűzhatás?
Hogyan lehet „gerendaként” kezelni?



További részletes útmutatások: Tűzvédelmi Műszaki Irányelv
Építményszerkezetek tűzvédelmi jellemzői (TvMI 11:2016.07.25)

nyitott szelvényű pillérek és négyoldalú tűzhatásnak kitett nyitott szelvényű gerendák									R 90
profilnév [m-1]	szükséges száraz rétegvastagság a tervezési hőmérséklet függvényében [mm]								
	350°C	400°C	450°C	500°C	550°C	600°C	650°C	700°C	750°C
67	2,335	1,862	1,457	1,184	0,913	0,676	0,464	0,281	0,114
70	2,375	1,902	1,498	1,226	0,958	0,724	0,515	0,333	0,169
75	2,427	1,953	1,551	1,281	1,016	0,785	0,579	0,401	0,240
80	2,473	1,998	1,596	1,329	1,066	0,837	0,634	0,459	0,301
85	-	2,037	1,637	1,370	1,109	0,883	0,682	0,510	0,353
90	-	2,073	1,672	1,407	1,148	0,923	0,725	0,554	0,399

Mintatáblázat a
TvMI 11-ből



ÖSSZEFOGLALÁS

- Acél elemek kritikus hőmérséklete a teherbírási határállapot elérését jelenti tűzhatás esetén.
- Számítására az EC3-1-2 ad módszert, és több szoftver jó eszközt.
- Tűzvédő festékbevonat szükséges vastagságának megállapításához a kritikus hőmérséklet mellett alapvető a szerkezeti elem fő igénybevételeinek (nyomás vagy hajlítás) valamint a tűzhatásnak kitett felületek számának (3 vagy 4) korrekt megállapítása.
- A nem megfelelő besorolás veszélyes, mert a szükségesnél kisebb rétegvastagságot eredményez – felelősség !!



Köszönöm a figyelmet !



**BUDAPESTI MŰSZAKI
ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM**

Építőmérnöki Kar - építőmérnöki képzés 1782 óta

Hidak és Szerkezetek Tanszék