



Tartószerkezetek méretezése tűzhatásra - alapelvek és mérnöki eszközrendszerek

Dr. Horváth László

BME Hidak és Szerkezetek Tanszék

Tartalom

- Tűzvédelem feladata
- Tűzvédelmi tervezés folyamata, hatáskörök
- Hagyományos, normatív alapú tervezés
- Mérnöki tűztervezés lépései
- Különböző anyagú tartószerkezetek viselkedése emelt hőmérsékleten
- Terhek és hatások tűz esetén
- Ellenállás igazolásának elve

Tűzvédelem célja, feladata

EU direktíva CPD 89/106/EEC:

Az építményt úgy kell megtervezni és megépíteni, hogy tűz esetén

- az építmény **meghatározott időtartamig** őrizze meg teherbíró képességét;
- korlátozva legyen a tűz és füst keletkezése és tovaterjedése az építményen belül és a szomszédos épületekre;
- az építményben tartózkodók az épületet sértetlenül elhagyhassák, vagy ki lehessen őket menteni;
- biztosítva legyen a tűzoltók biztonsága

Nemzeti szabályozás - OTSZ

Jelenleg érvényben:

- **A Belügyminiszter 54/2014. (XII. 5.) BM rendelete az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról**
- **Legújabb módosítása 2020 februárban lépett hatályba!**
- Jogszabály – 171 oldal ~ 300 paragrafus + ábrák és táblázatok mellékletben (tartalomjegyzék a végén)
- V. fejezet Általános szerkezeti követelmények
- XII. fejezet: Speciális építmények tűzvédelme
- Nem szabályoz mindent – Tűzvédelmi Műszaki Irányelvek csatlakoznak hozzá.

TvMI státusa

A Ttv. 3/A. § (3) bekezdése szerint az OTSZ-ben meghatározott biztonsági szint elérhető

- a) tűzvédelmet érintő nemzeti szabvány betartásával,
- b) a TvMI-kben kidolgozott műszaki megoldások, számítási módszerek alkalmazásával, vagy
- c) a TvMI-től vagy a nemzeti szabványtól részben vagy teljesen eltérő megoldással, ha az azonos biztonsági szintet a tervező igazolja.

Az építményszerkezetek tűzvédelmi jellemzőiről szóló Tűzvédelmi Műszaki Irányelvet a Tűzvédelmi Műszaki Bizottság dolgozta ki a tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról szóló 1996. évi XXXI. törvény (a továbbiakban: Ttv.) 3/A. § (2) bekezdése alapján.

A TvMI alkalmazása önkéntes. A TvMI alkalmazást úgy kell tekinteni, hogy azzal az Országos Tűzvédelmi Szabályzat (továbbiakban: OTSZ) vonatkozó követelményei teljesülnek, az OTSZ által elvárt biztonsági szint megvalósul. A TvMI és módosításai a BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság (www.katasztrofavedelem.hu) honlapján ingyenesen megtekinthetők és letölthetők. A TvMI – tartalmi és formai módosítása nélkül – terjeszthető, sokszorosítható.

Az alkalmazás előtt győződjön meg arról, hogy a hatályos TvMI-t használja-e.

Tűzvédelmi Műszaki Irányelvek

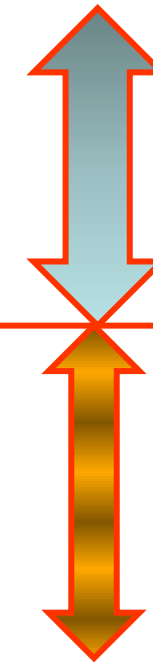
Letölthetők az OKF honlapjáról

<https://www.katasztrofavedelem.hu/213/tuzvedelmi-muszaki-iranyelvek>

1. Tűzterjedés elleni védelem
2. Kiürítés
3. Hő és füst elleni védelem
4. Tűzoltó egységek beavatkozási feltételeinek biztosítása
5. Beépített tűzjelző berendezés tervezése, telepítése
6. Beépített tűzoltó berendezések tervezése, telepítése
7. Villamos berendezések, villámvédelem és elektrosztatikus feltöltődés elleni védelem
8. Számítógépes tűz- és füstterjedési, valamint menekülési szimuláció
9. Tűzvédelmi Műszaki Megfelelőségi Kézikönyv
10. Szabadtéri rendezvények
11. Építményszerkezetek tűzvédelmi jellemzői
12. Felülvizsgálat és karbantartás
13. Robbanás elleni védelem
14. Kockázati osztályba sorolás

Tűzvédelmi tervezés folyamata, hatáskörök

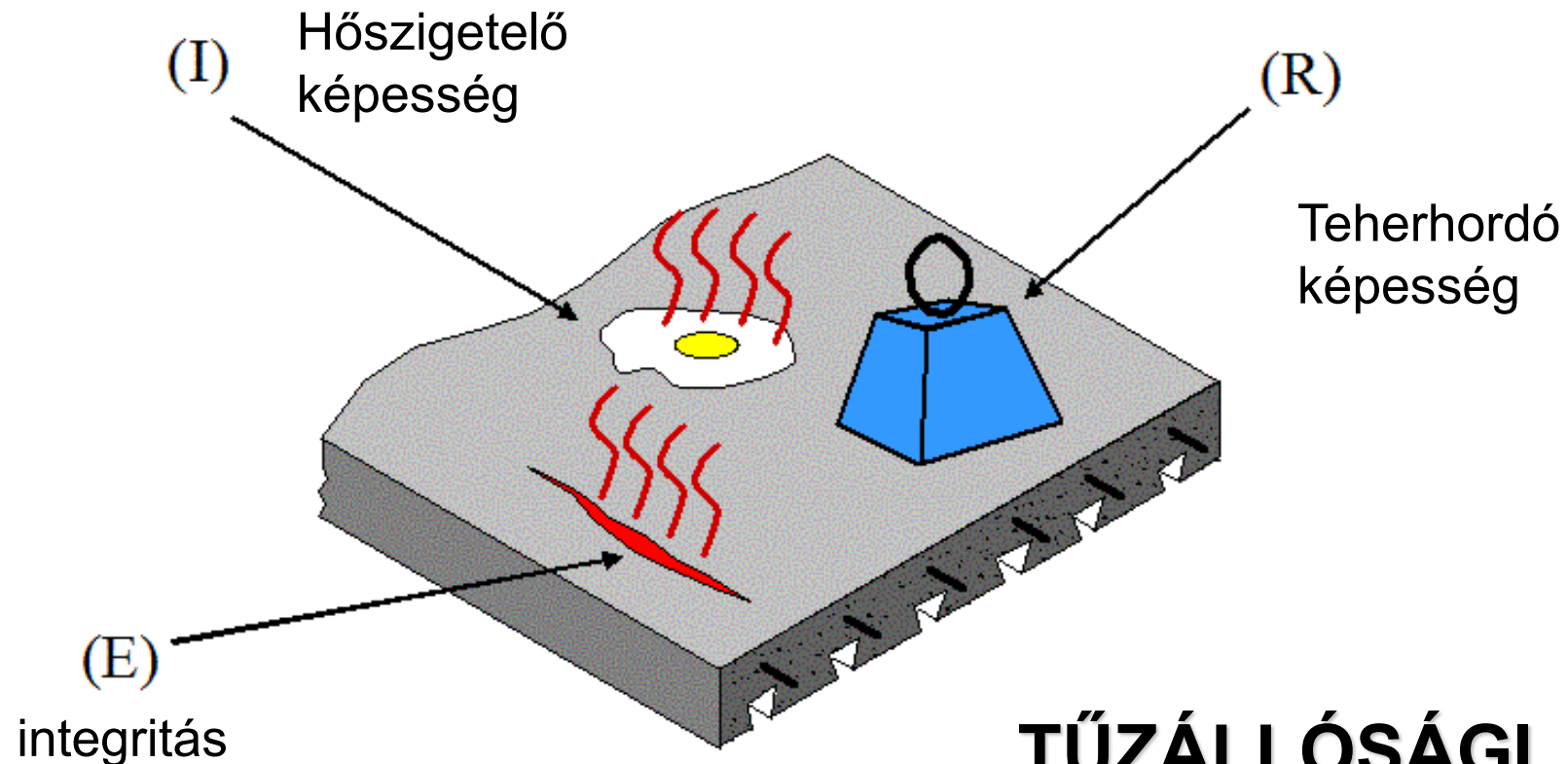
- Építmény tűzveszélyességi besorolása
- Tűzvédelmi szakaszolás
- Tűzvédelmi követelmények kiválasztása
- Tűzvédelmi követelmények igazolása
- Megfelelő szerkezeti megoldások alkalmazása
(épületszerkezetek, részletek, gépészet,
villámvédelem...)



Tűzvédelmi
szakértő,
szaktervező

Tartószerkezeti
tervező

Követelmények tűzhatásnak kitett épületszerkezetekkel szemben



**TŰZÁLLÓSÁGI
TELJESÍTMÉNY**

Követelmények OTSZ 2. melléklet

1. táblázat, a Tüzeseti szerkezeti állékonyság alcímhez

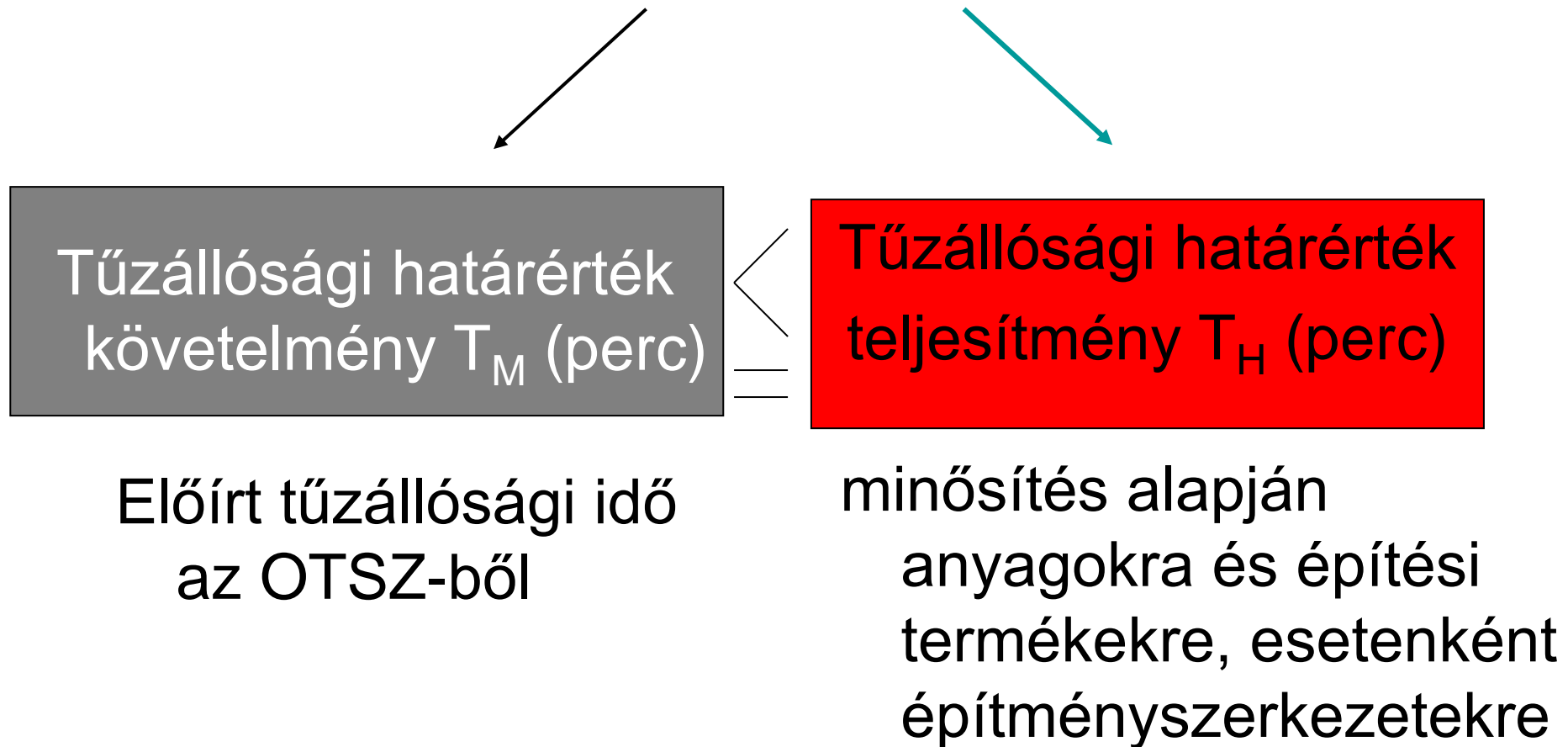
Építményszerkezetek tűzvédelmi osztályára és tűzállósági teljesítményére vonatkozó követelmények

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N |
|---|--|------------------|--|--|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| 1 | Mértékadó kockázati osztály | | NAK | NAK | NAK | AK | AK | AK | KK | KK | KK | MK | MK | MK |
| 2 | Épület, önálló épületrész szintszáma [a 12. § (4) bekezdése alapján] | | 1-2 Ipari, mezőgazdasági, tárolási alaprend. esetén | 3 Ipari, mezőgazdasági, tárolási alaprend. esetén | 4 | 1-2 | 3 | 4-7 | 1-2 | 3-6 | 7-15 | 1-2 | 3-15 | >15 |
| | | | 1-3 lakó alaprend. esetén | 1-3 Községi alaprend. esetén | | | | | | | | | | |
| 3 | Építményszerkezet | Kritérium | Elvárt tűzállósági teljesítmény és tűzvédelmi osztály | | | | | | | | | | | |
| 4 | Teherhordó építményszerkezetek, a födémek és a legfelső szint lefedését biztosító szerkezet kivételével - a tűzterjedésgátlásban szerepet játszó falakra EI kritérium is vonatkozik - a pinceszinti szerkezetek tűzvédelmi osztálykövetelménye legalább A2, tűzállósági teljesítménykövetelménye legalább R30 | R | 15 D | 30 D | 60 D | 30 D | 30 C | 60 A2 | 30 A2 | 60 A2 | 90 A2 | 60 A2 | 90 A2 | 120 A2 |
| 5 | Pinceszint feletti, emeletközi, tetőtér alatti és padlásfödémek - a tűzterjedésgátlásban szerepet játszó födémekre EI kritérium is vonatkozik - a pinceszint feletti szerkezetek tűzvédelmi osztálykövetelménye legalább A2, tűzállósági teljesítménykövetelménye legalább R30 | R | 15 D | 30 D | 60 D | 30 D | 30 C | 60 A2 | 30 A2 | 60 A2 | 90 A2 | 60 A2 | 90 A2 | 90 A2 |
| 6 | Tetőfödémek és a legfelső szint lefedését biztosító teherhordó szerkezetek - a szerkezetre vonatkozó EI kritériumtól el lehet tekinteni, ha a szerkezet megnyílása, átmelegedése a szerkezet környezetét nem veszélyezteti és a szerkezet vagy valamelyik részének meggyulladás nem jár a tűz jelentős tetőfelületre való kiterjedésének veszélyével - a szerkezetre csak a táblázat szerinti D, de legfeljebb C tűzvédelmi osztály követelmény vonatkozik, ha be nem épített tetőtér, padlásteret, emberi tartózkodásra nem alkalmas teret határol el a külső légtértől - a felülvilágító tartószerkezetére csak tűzvédelmi osztály követelmény vonatkozik | REI | 15 D | 15 D | 30 D | 15 D | 15 D | 30 A2 | 30 D | 30 A2 | 60 A2 | 30 A2 | 60 A2 | 60 A2 |

Tűzvédelmi osztályba sorolás

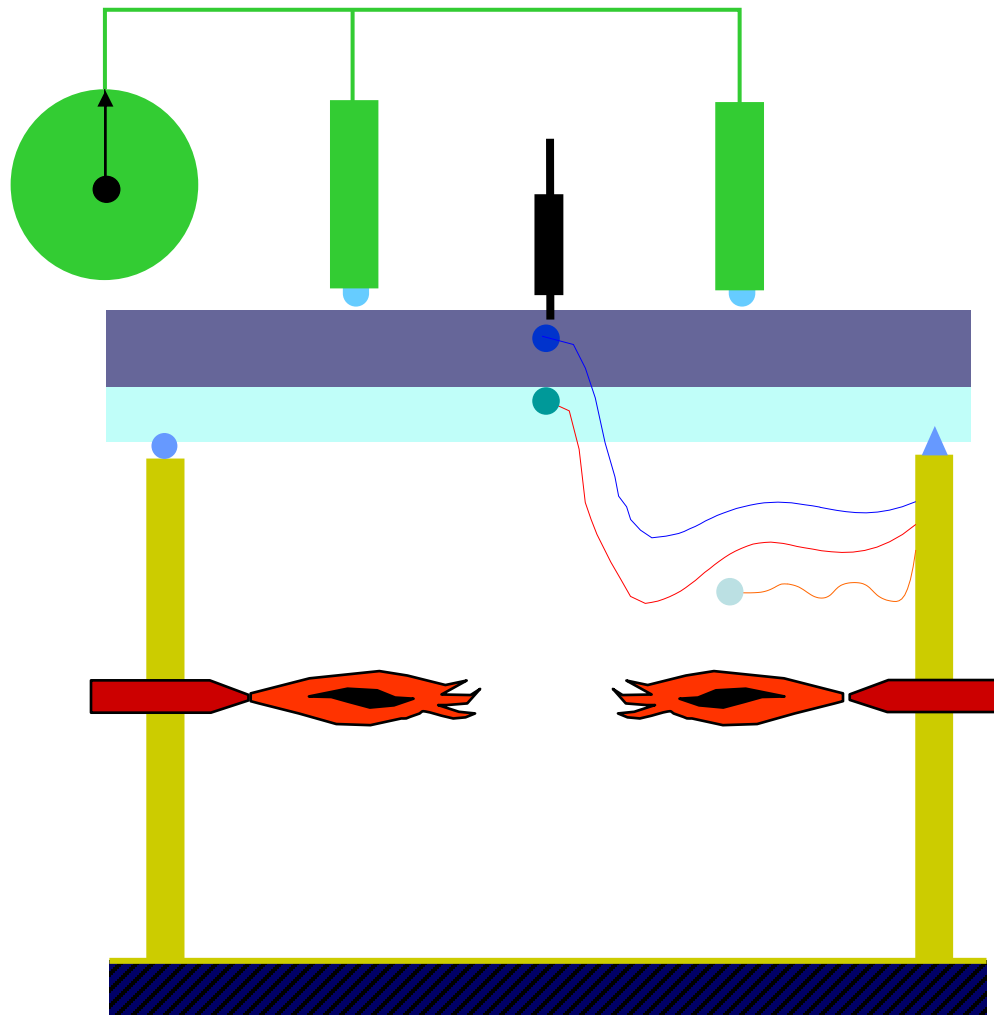
- Tűzvédelmi osztályok A-D-(E-F)
- Besorolás: MSZ EN 13501-1
- Részletes segítség:
 - 11. TvMI 3. és 6. fejezetében, valamint „K” mellékletében

Hagyományos tűztervezés **normatív eljárás**



Szabványos laborvizsgálat

Normatív eljárás



Lehajlás (mm)

300

200

100

0

1200

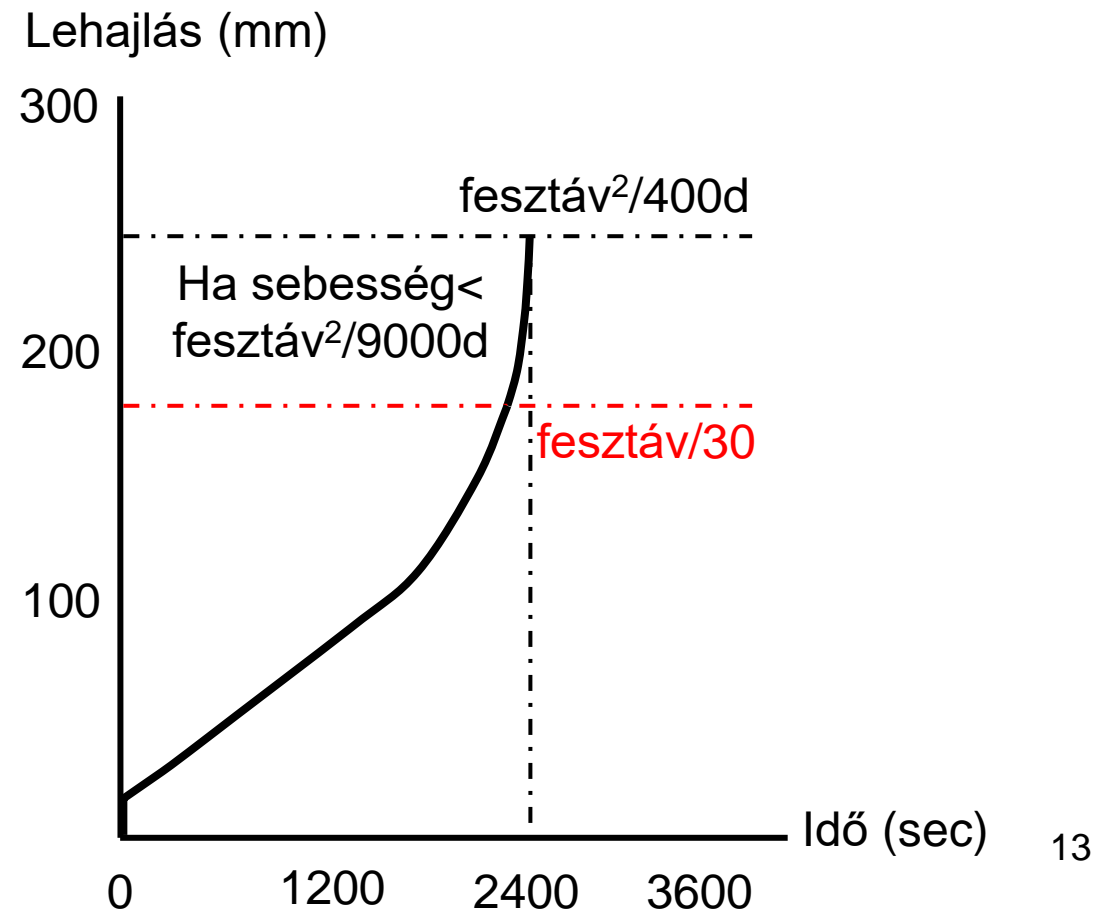
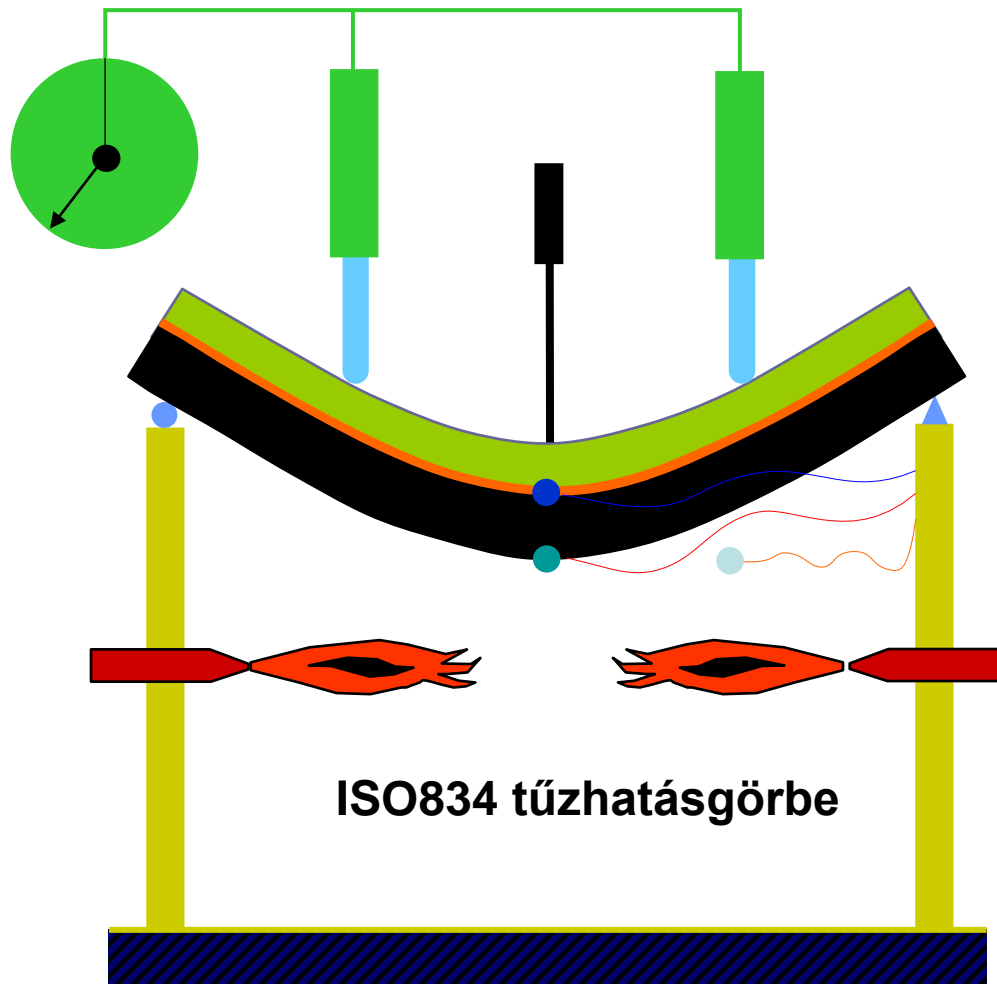
2400

3600

Idő (sec)

12

Szabványos laborvizsgálat



Minősítés laborvizsgálat alapján

Teher

ISO834 tűz

Támaszköz, statikai váz

Szerkezeti kialakítás

Vízszigetelés: 1,5mm PVC
Hőszigetelés: 2x8cm kőzetgyapot
Párazáró fólia: 0,25mm PE fólia
Teherhordó trapézlemez:

Szigetelés-lezáró szegély (t=0,6mm)

1,5
160
82,5

1120 1120 2300

oldalsó illesztés LD37 rögzítőcsavarral (300mm)

Peremmerevítő szegély (t=1,0mm)

- Épületből kiemelt elem(ek) vizsgálata
- A minősítés erre az esetre szól
- És ha ettől eltérően akarjuk alkalmazni...?

2009/01/12
5. MIN

Minősítés kiterjesztése

MSZ EN 1365-2 13. pontja:

- *A kísérleti eredmények közvetlenül, laborvizsgálat nélkül alkalmazhatóak ugyanolyan földém- vagy tetőszerkezetre, ha az alábbi korlátokat betartották:*
- *a., Szerkezeti elem vonatkozásában: a legnagyobb nyomatékok és nyírőerők, ugyanazon az alapon számítva, mint a kísérletnél alkalmazott teher, ne haladják meg a kísérletnél elért értékeket.*



Normatív módszer

- Tűzállósági teljesítmény dokumentumból vagy a 11. TvMI „D” melléklete alapján (csak meglévő építményszerkezetre)
- Szerepelnie kell: T_H mellett a statikai váznak, a kísérleti teher értékének
- Igénybevétel-egyenértékűség alapján javasolt ellenőrizni (a betervezett szerkezetben ne haladjuk meg a kísérlet során elért legnagyobb igénybevételt)

Már meglévő építményszerkezetek tűzállósági teljesítménye

- Meglévő épületek, adott esetben már nem gyártott anyag vagy rendszer
- TvMI 11 „D” mellékletéből, táblázatos alapon
- D1. pontban alapelvek
- D1.6. Új szerkezetek létesítése a táblázatok adatai alapján nem lehetséges.
- Építőanyagokként táblázatok

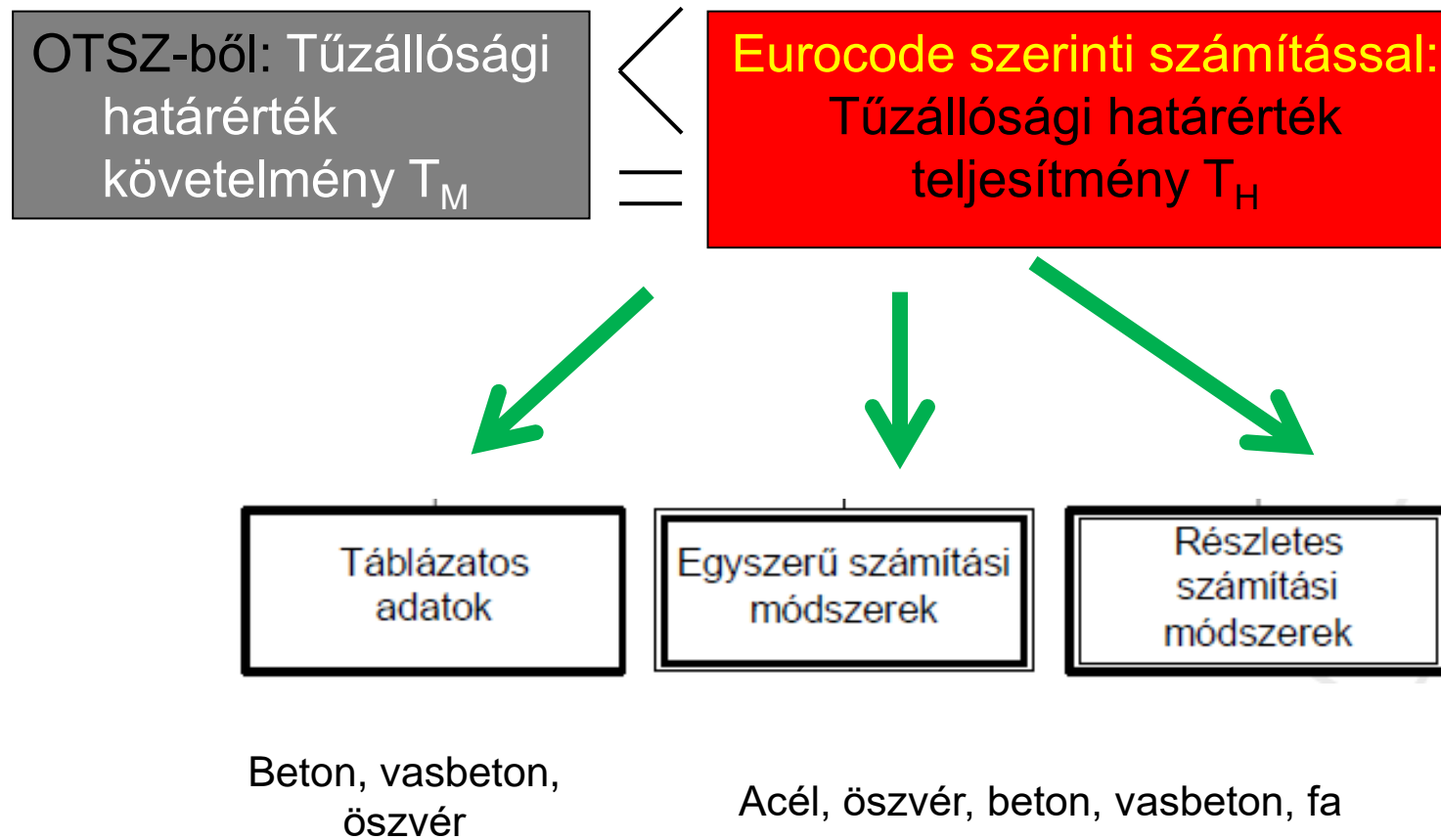
Hagyományos eljárás hátrányai

- Laborkísérlet csak egy adott esetre szól
 - Kiterjesztésük csak korlátozott mértékű
 - Laborkísérlet nagyon költséges!
-
- **MÉRNÖKI ELJÁRÁSOK** A TŰZVÉDELMI TERVEZÉSBEN

Tűzvédelmi tervezés mérnöki eljárásokkal

- Nagyszámú kísérlettel igazolt számítási eljárások
- szabványosítva (Eurocode)
- OTSZ használatukat a laborkísérlettel egyenrangúan megengedi
- A tényleges szerkezetre alkalmazzuk, a tényleges terheket figyelembe véve

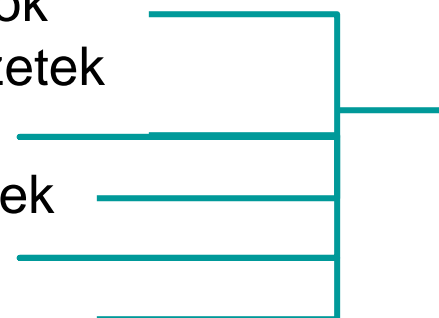
Mérnöki tűztervezés alapelve



Tartószerkezeti Eurocode-ok MSZ EN 199X

Eurocode:

0. Tervezés alapjai
1. Szerkezeteket érő hatások
2. Beton- vasbeton szerkezetek
3. Acélszerkezetek
4. Együttdolgozó szerkezetek
5. Faszervezetek
6. Falazott szerkezetek
7. Geotechnikai tervezés
8. Földrengés
9. Alumínium szerkezetek



Tervezés
tűzhatásra:
1.2 fejezet
mindegyikben

Viselkedés-alapú tervezés

Tartószerkezetek tűzvédelmi teljesítményének ellenőrzése



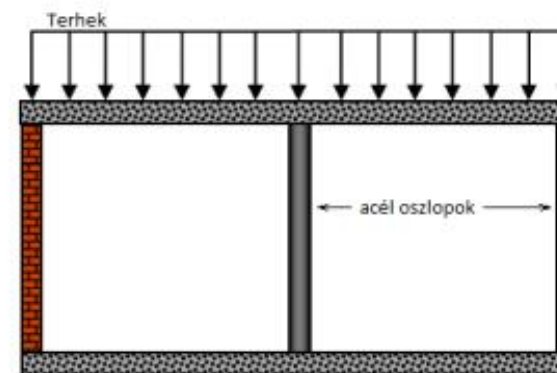
Tűzhatásnak kitett tartószerkezetek viselkedése



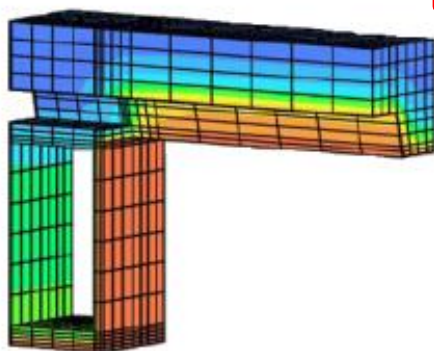
1. Gyújtóhatás



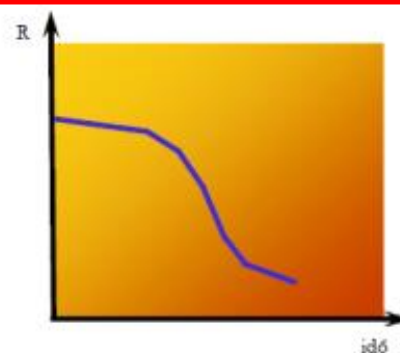
2. Termikus hatás



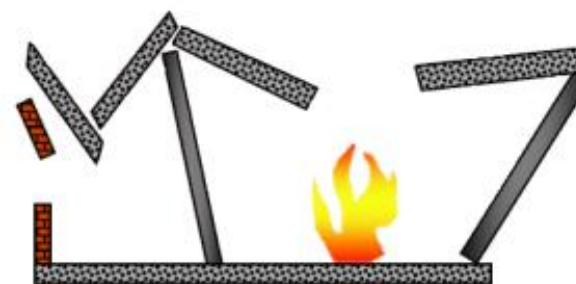
3. Mechanikai hatás



4. Termikus reagálás

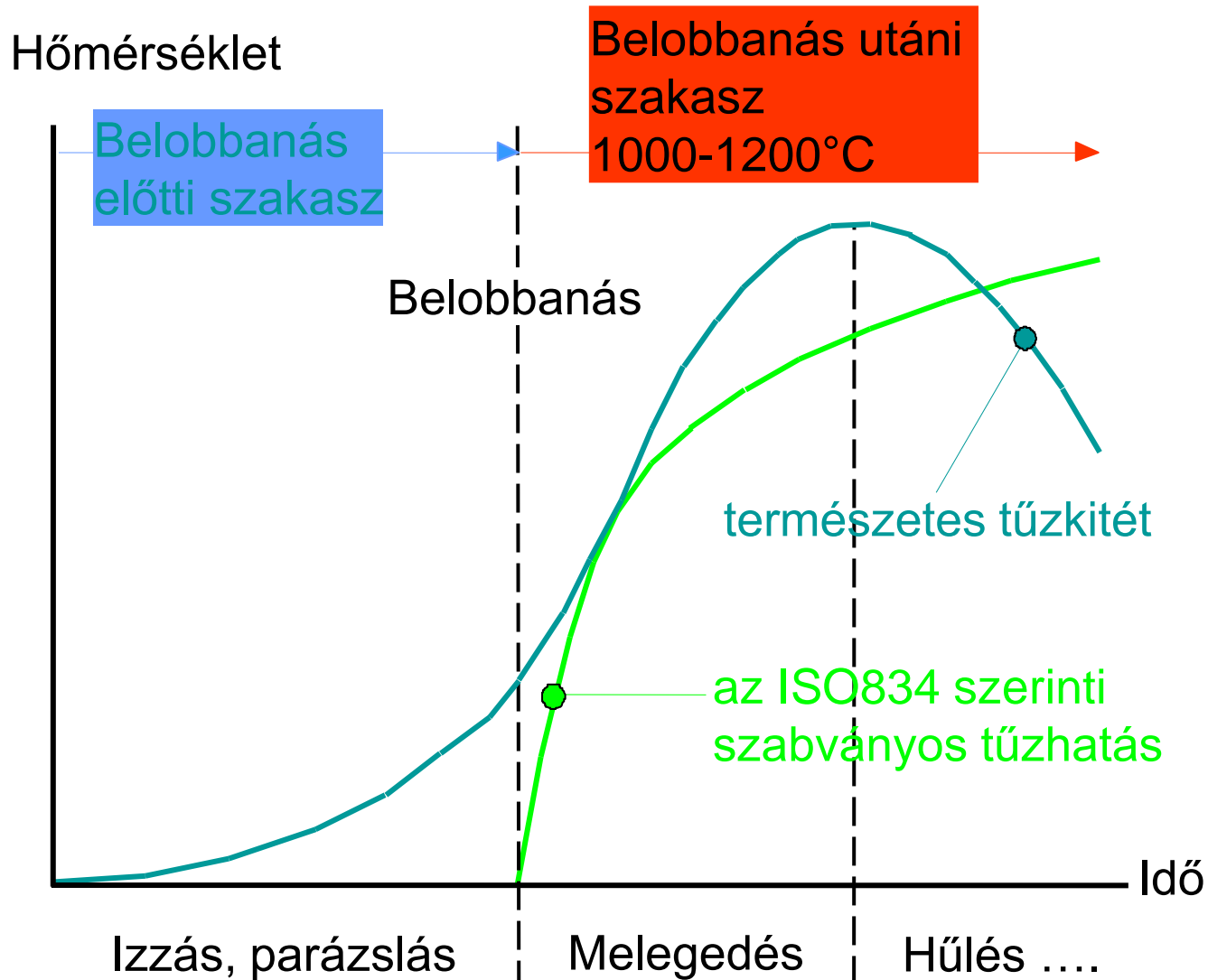


5. Mechanikai reagálás



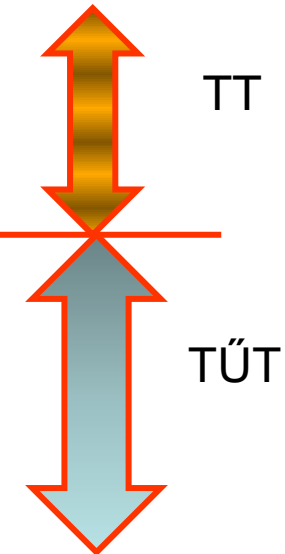
6. Lehetséges összeomlás

A természetes tűzfolyamat fázisai



Tűzhatások modellezése és gázhőmérsékletek megállapítása

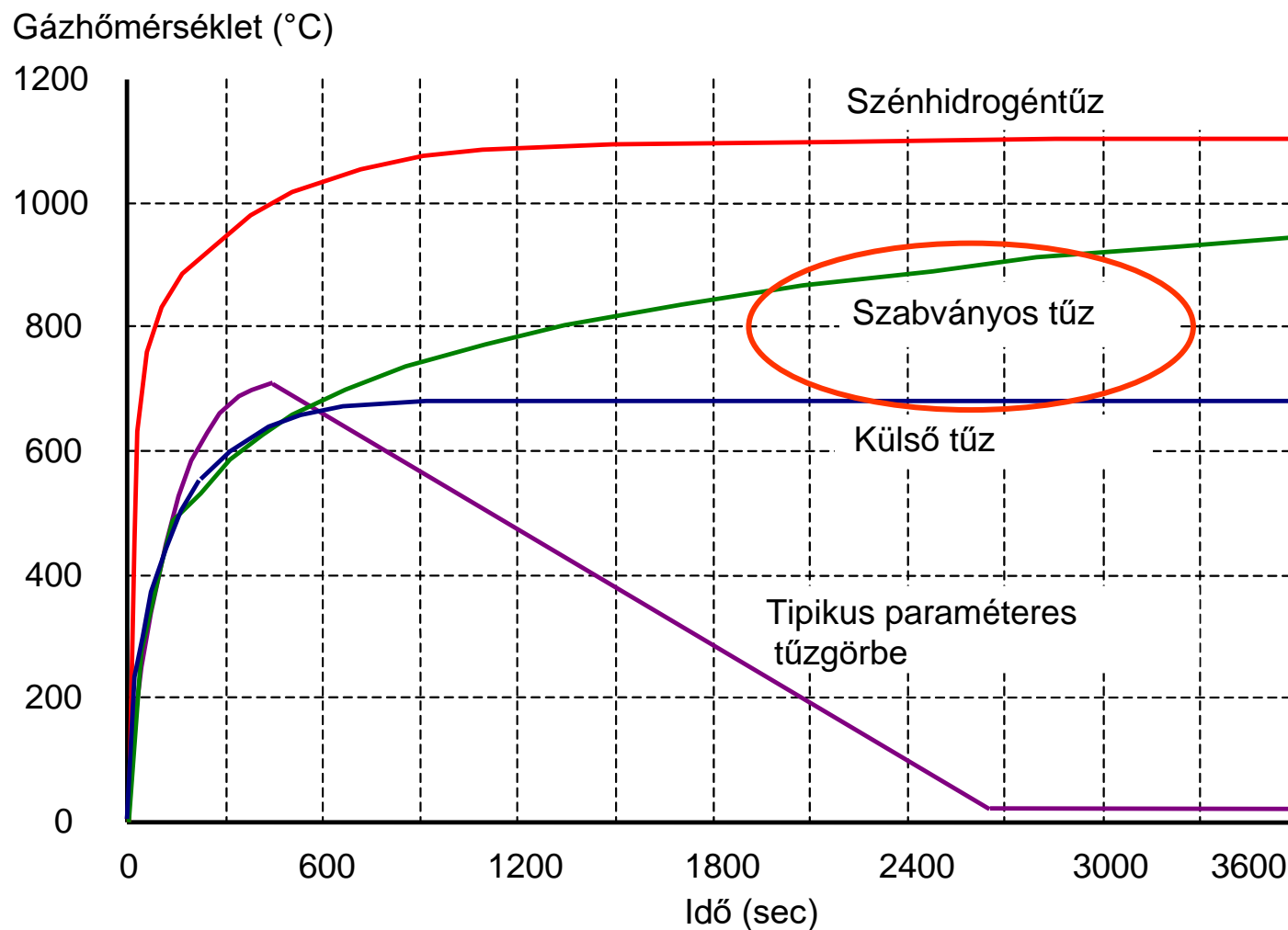
- Névleges tűzhatás-görbék (tűzkitéti görbék)
 - Csak a belobbanás utáni állapotot veszi figyelembe
- Lokális tűzmodellek a belobbanás előtti állapotra
- Tűzhatás szimulációja / tűzszimuláció
 - Tűzfolyamat számítógépi végesselemes követése



Egy időben csak EGY tűszakaszban van tűz – tűz-szenáriók

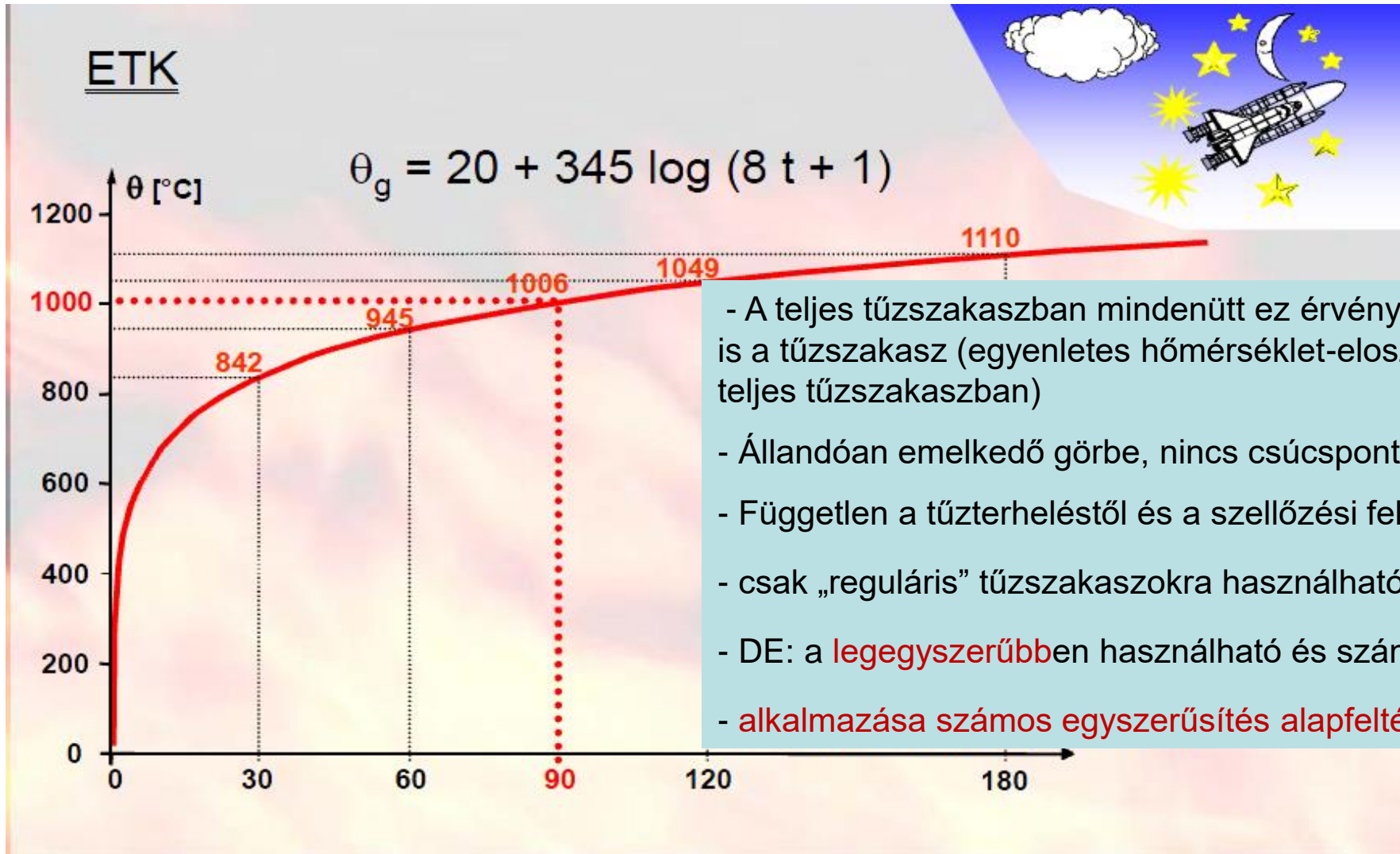
Névleges tűzhatás-görbék – tűzkitéti görbék

- Egyenleteik az EC1-1-2-ben megtalálhatók
- Ha a TÚT mást nem ír elő, akkor szabványos tűzhatásgörbe (ISO834)
- Vannak további görbék is pl. alagúttűz
- Paraméteres tűzhatásgörbe alkalmazása MO-n nem elfogadott




Az ISO834 szerinti szabványos tűzgörbe

EC 1-1-2



27/52

Tűzfolyamatok – gázhőmérséklet pontosabb modellezése

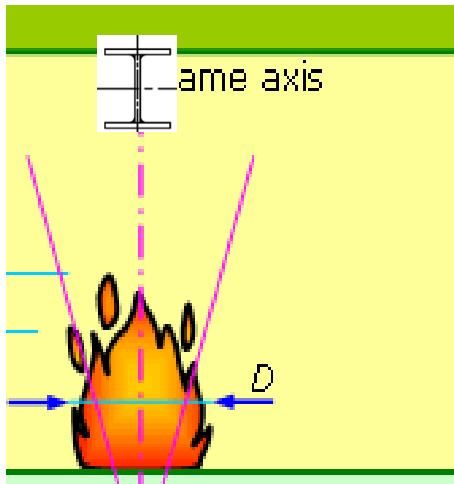
- Lokális tűzhatás figyelembe vétele, vagy tűzszimuláció: tűz esetén a várható hő- és füsthatások számítással való követése
- Pontosabb elemzés, kevésbé konzervatív eredmények, változó hőmérséklet-eloszlás a tűzszakaszban  hatásaiban a tervezéshez kedvezőbb !
- Speciális szoftvereket igényel– pl. Ozone, FDS
- „irreguláris” létesítményeknél, bonyolultabb tűzszakaszok esetében (pl. bevásárlóközpont, sportlétesítmény, múzeum....) nincs más megoldás.

Tűzfolyamatok – gázhőmérséklet pontosabb modellezése

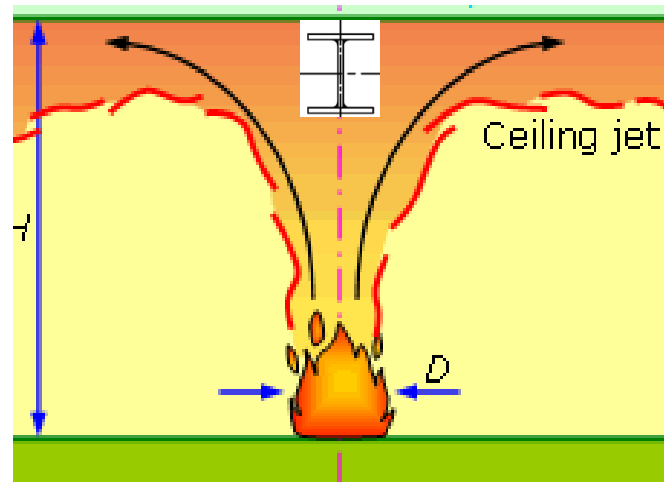
- **Csak** tűzvédelmi tervező/szakértő készítheti el!
- Ismernie kell: éghető anyag mennyisége, oxigén mennyisége, tűz lefolyása, nyílások, aktív tűzvédelem...
- **Mi történik, ha fentiek megváltoznak? (pl. új technológiát alkalmaznak, más funkciót kap a létesítmény....)? Ez esetben új tűzvédelmi dokumentáció kell!**

Lokális tűzmodellek

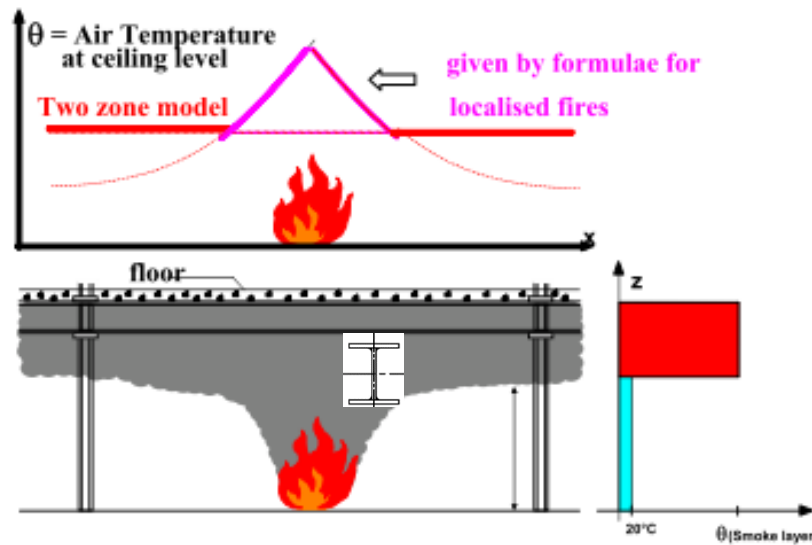
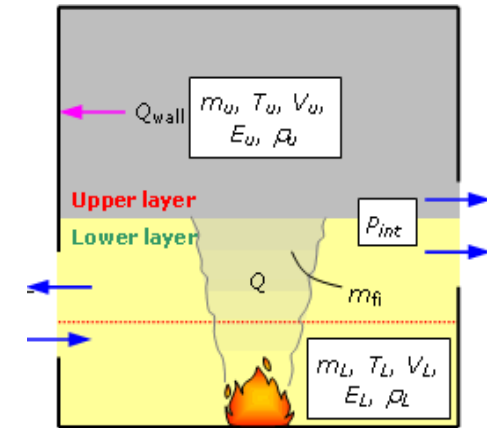
Hasemi



Heskestad



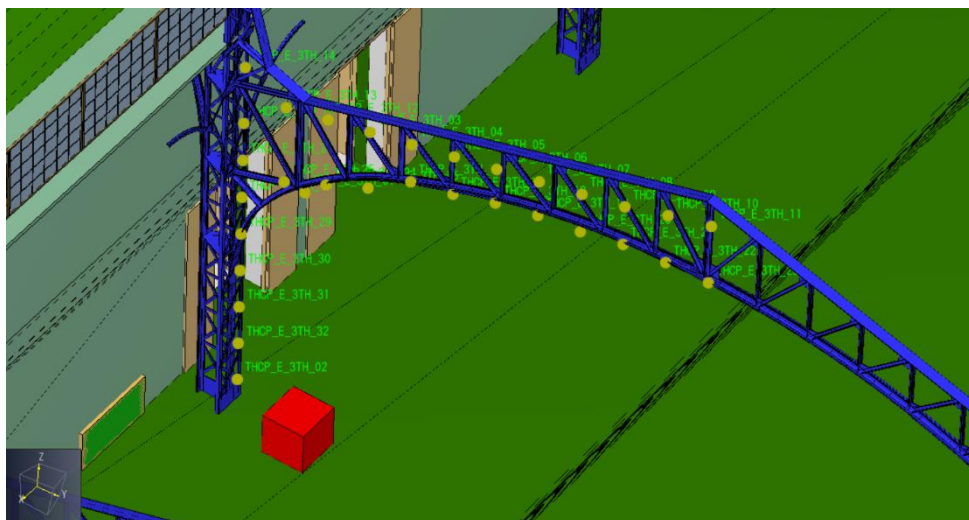
Zóna modell



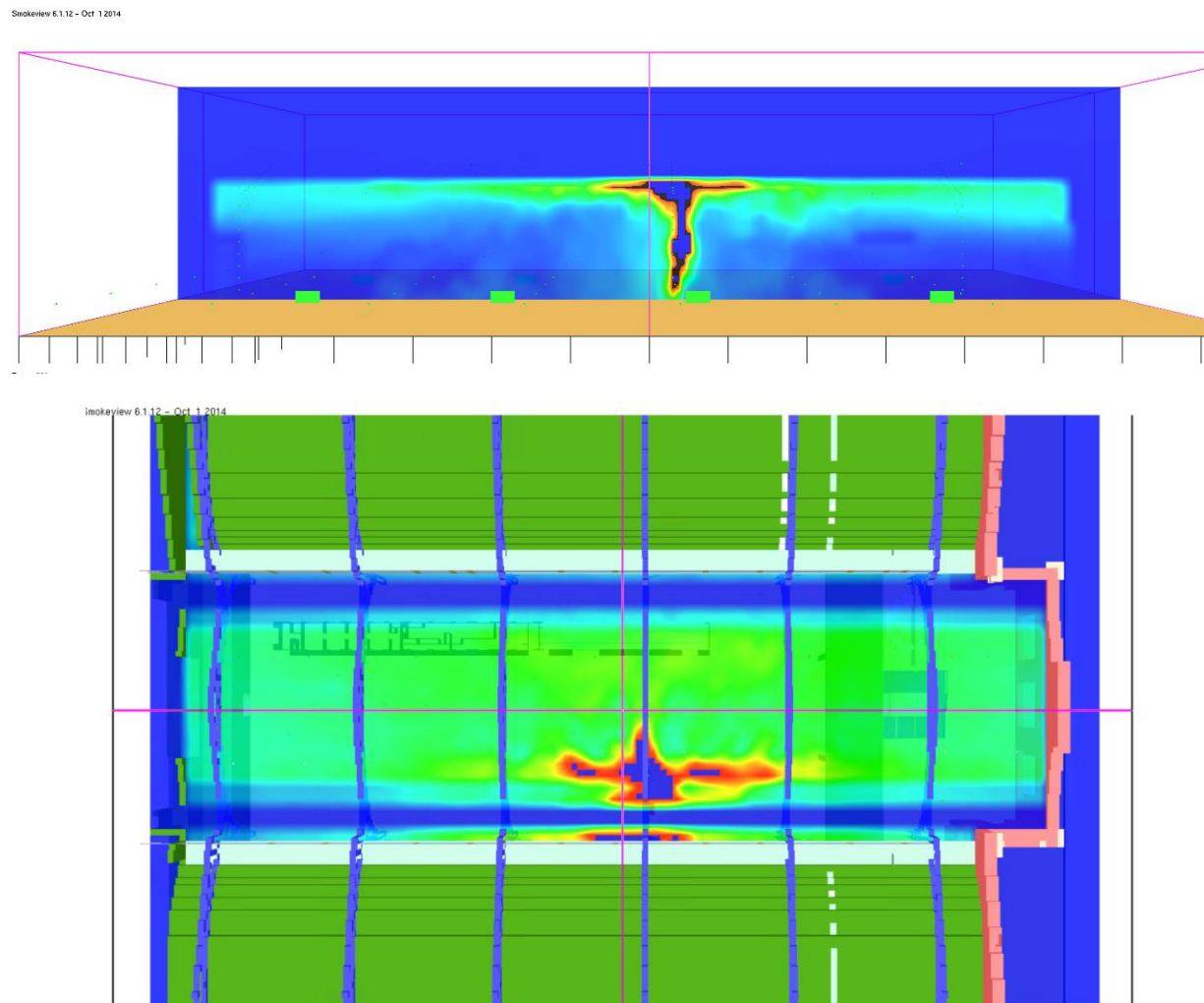
Kombinált modell

Tűzhatások szimulációja FDS modellel

Modell és hőmérséklet-eloszlás



*[Dr. Takács Lajos, Szikra Csaba,
BME Épületszerkezetani Tanszék]*



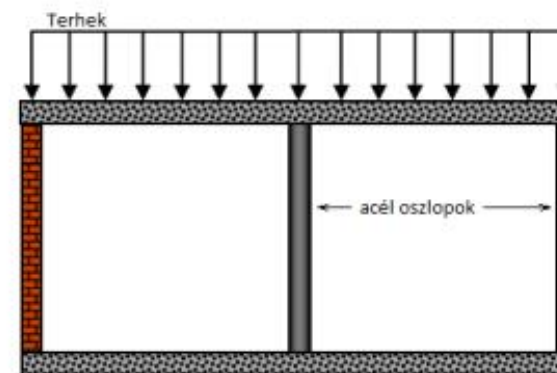
Tűzhatásnak kitett tartószerkezetek viselkedése



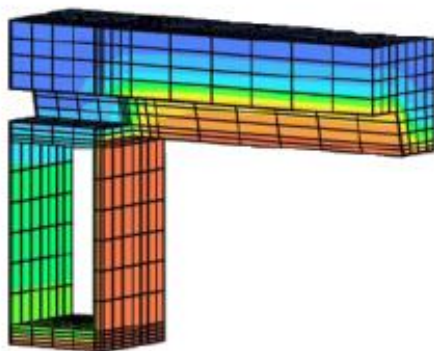
1. Gyújtóhatás



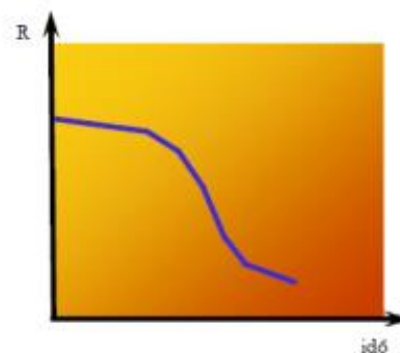
2. Termikus hatás



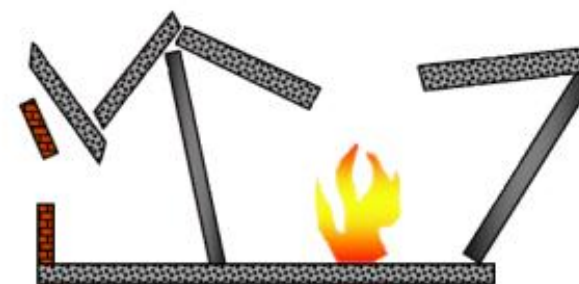
3. Mechanikai hatás



4. Termikus reagálás



5. Mechanikai reagálás



6. Lehetséges összeomlás

Szerkezet felmelegedése a tűzhatás folyamán

EC 1-1-2

EC 2-1-2

EC 3-1-2

- Elve: a tűzszakaszban lévő gáz a tartószerkezeti elemek felületén adja át a hőt
- Felületen: hősugárzás + hőáramlás
- Tartószerkezeti elemen belül: hővezetés
- Szerkezet anyagától nagymértékben függ
- Számítására az anyag szakszabványa ad útmutatást (acél EC3-1-2, vasbeton EC2-1-2...)
- Tűzvédő burkolatok, bevonatok hatását is tekintetbe lehet venni

Szerkezet hőmérséklete a tűzhatás folyamán

EC 1-1-2

EC 2-1-2

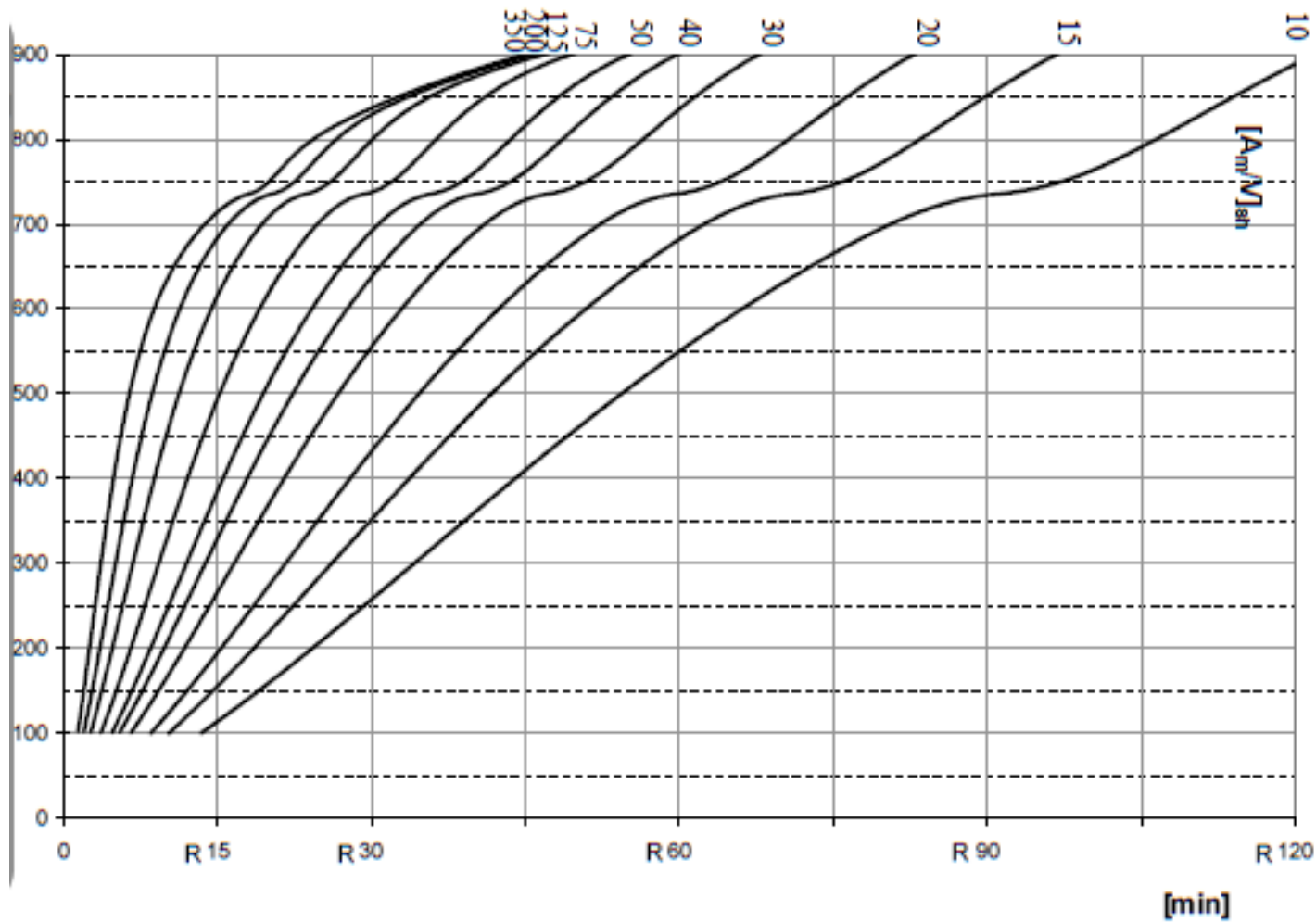
EC 3-1-2

Módszerek:

- Nomogramokkal, táblázatokkal (acél, vasbeton)
- Iteratív kézi számítással: Excel, MathCad, MathLab (acél)
- Mérnöki tervező szoftverekbe implementálva (ConSteel, AxisVM, ...)
- Célszoftverrel (Ozone, FidesC4, SAFIR...)
- Végeselemes szoftverrel (Ansys)
- Tűz-szimuláció eredményeként
- Vagy: kísérleti úton...

34/52

Nomogram – védelem nélküli acél elemekre



3. Nomogram for unprotected steel members



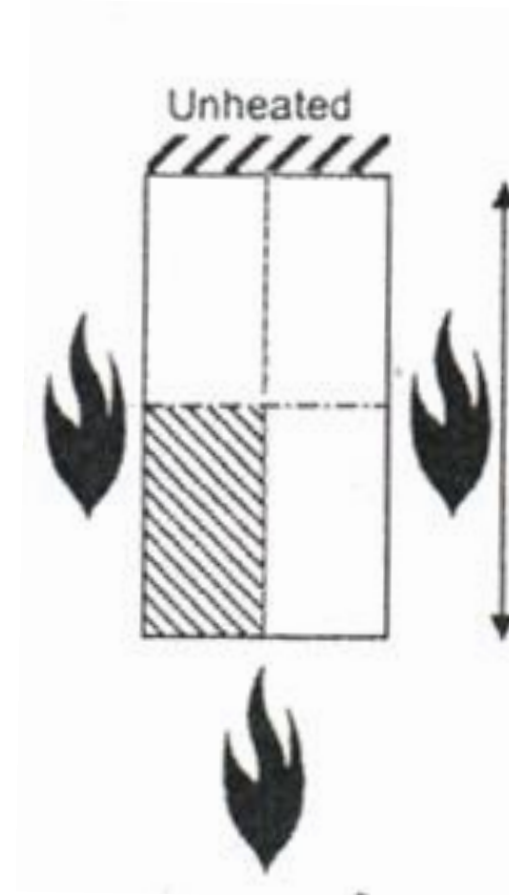
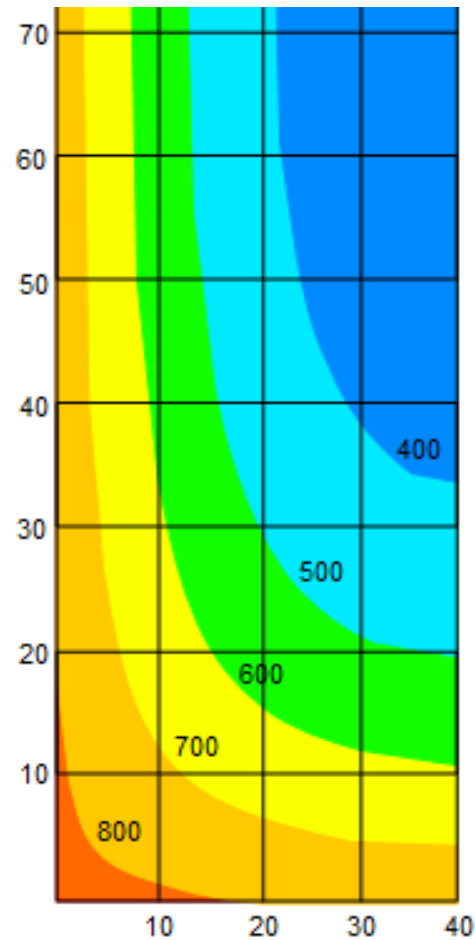
Data: Nomogram for unprotected members
SD004a-EN-EU



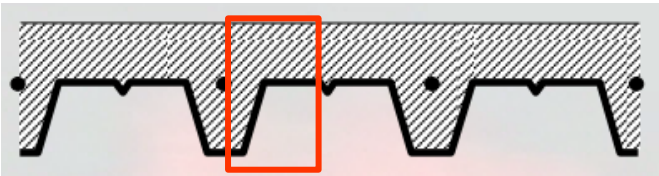
VB gerenda 2D hőmérsékleti analízise

Vb. gerenda hőmérséklet-eloszlása (izotermák)

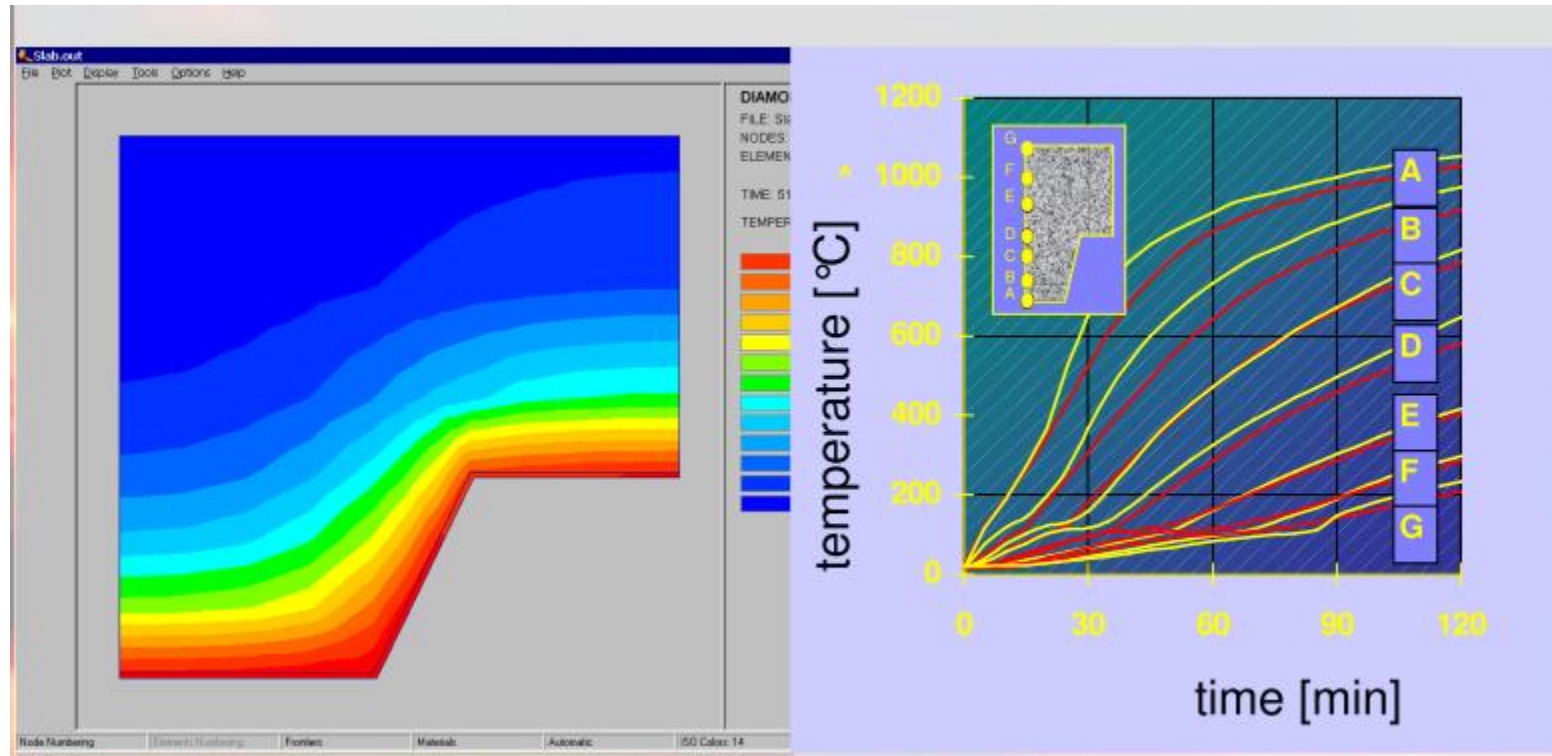
**EC2-1-2
vagy FEM számítás**



Öszvérfödém 2D hőmérsékleti analízise

FEM számítás

Acél trapézlemez + beton



FEM számítás

kísérleti mérés és számítás

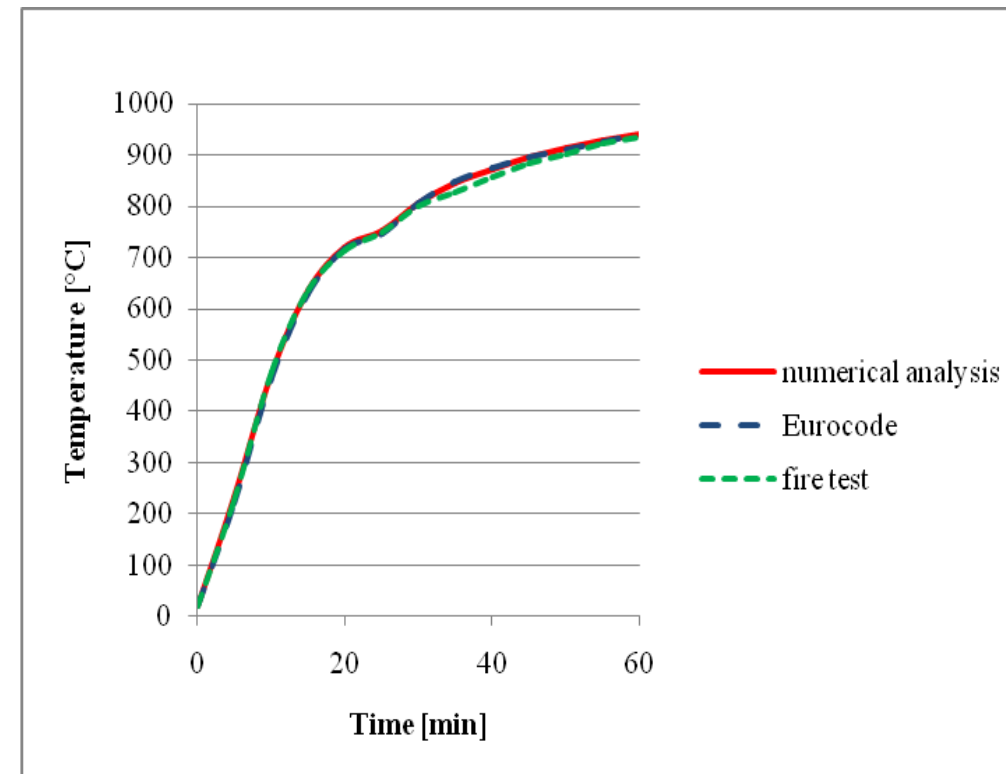
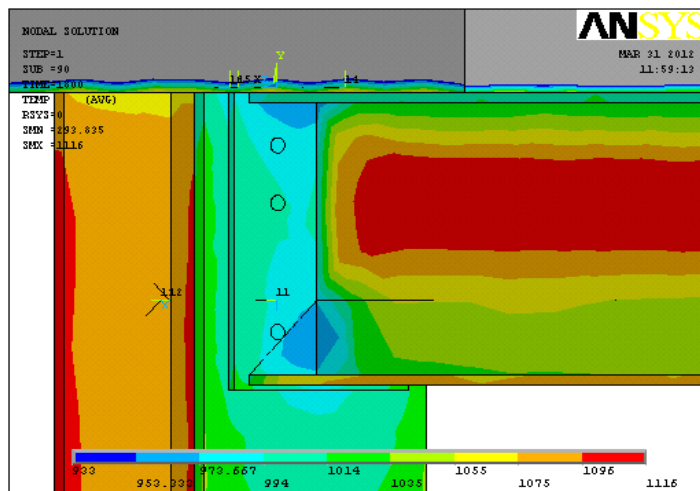


37/52

3D hőmérsékleti analízis – szerkezeti csomópont

Gerenda alsó övének hőmérséklete - összehasonlítás

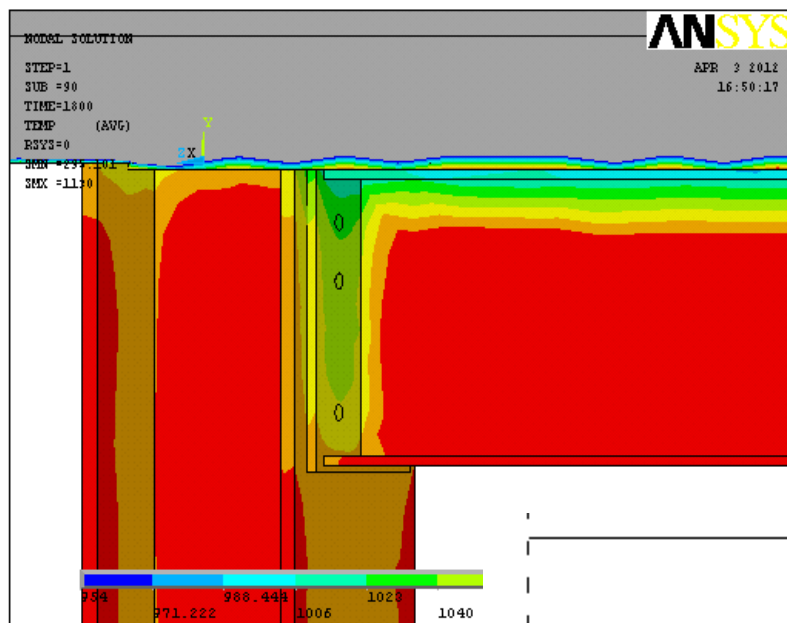
Hőmérséklet-eloszlás



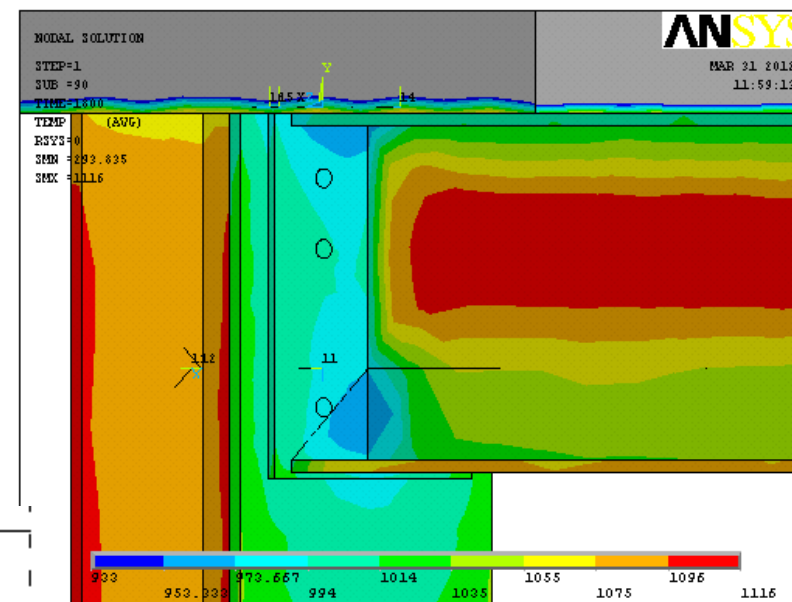
[Erdélyi Anka MSc.diplomatervéből]

38/52

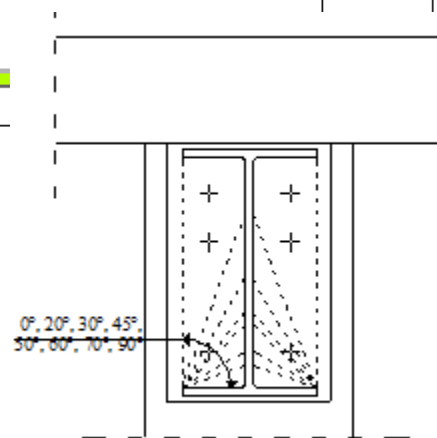
3D hőmérsékleti analízis – szerkezeti csomópont



Árnyékolás nélkül



Árnyékhatás 45°



Árnyékhatás figyelembevétele

[Erdélyi Anka MSc.diplomatervéből]



Tűzkísérletek – mért eredmények

1:1 léptékű építményeken

Cardington fire tests

Video:

<http://fire.fsv.cvut.cz/Cardington/index.htm>



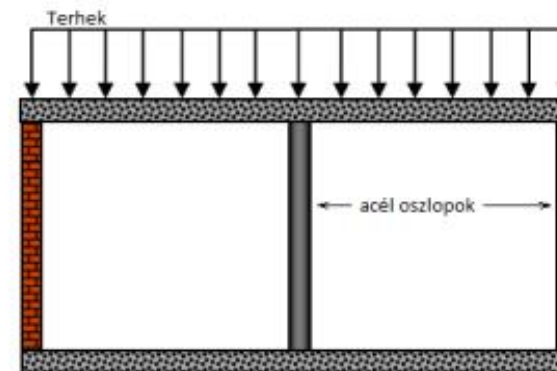
Tűzhatásnak kitett tartószerkezetek viselkedése



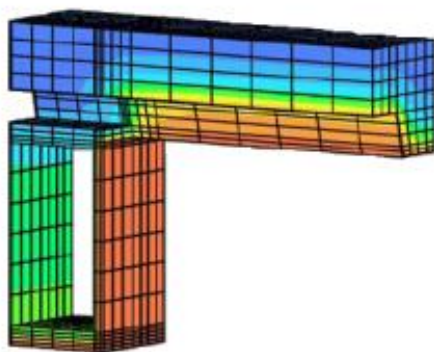
1. Gyújtóhatás



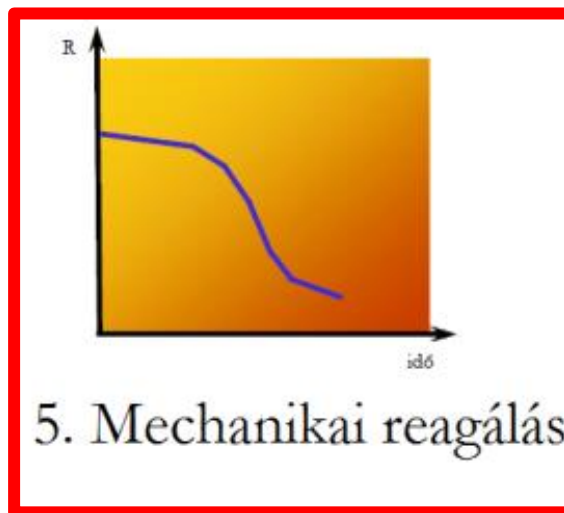
2. Termikus hatás



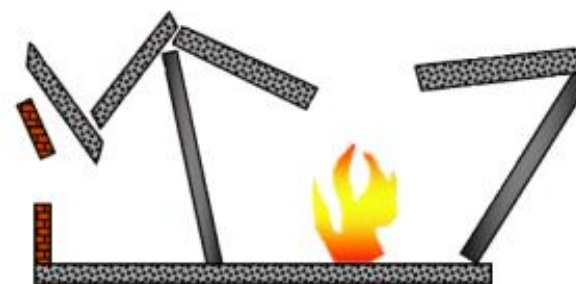
3. Mechanikai hatás



4. Termikus reagálás



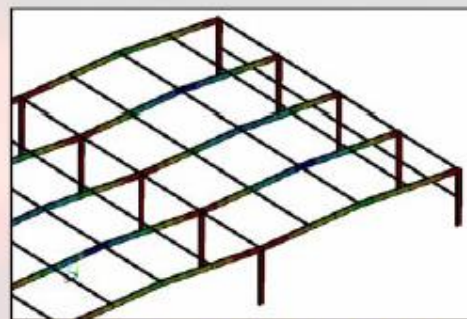
5. Mechanikai reagálás



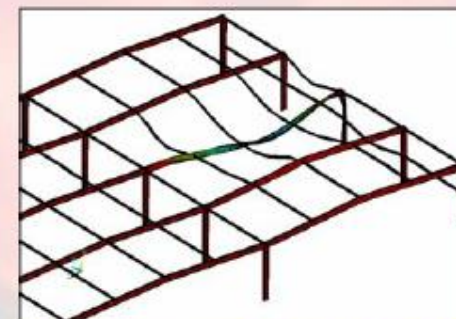
6. Lehetséges összeomlás

Tartószerkezet reagálása tűzhatásra

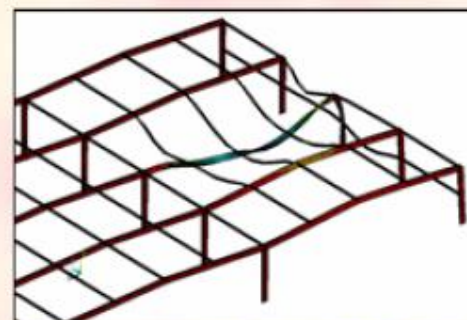
- A hőmérséklet nő → hőtágulás + merevség és ellenálló képesség elvesztése → járulékos deformáció ⇒ **összeomlás lehetősége**



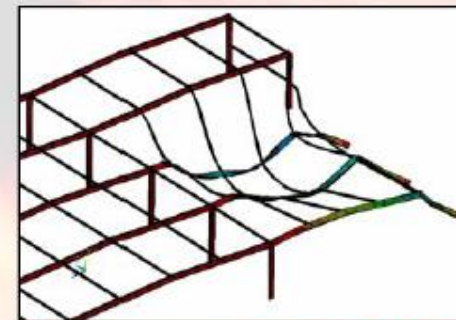
$t = 0$ $\theta = 20^{\circ}\text{C}$



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



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



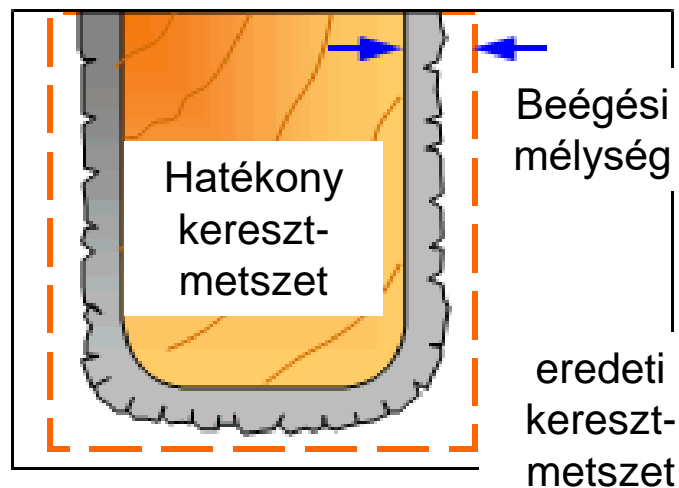
31 perc $\theta = 850^{\circ}\text{C}$



Tartószerkezet reagálása tűzhatásra

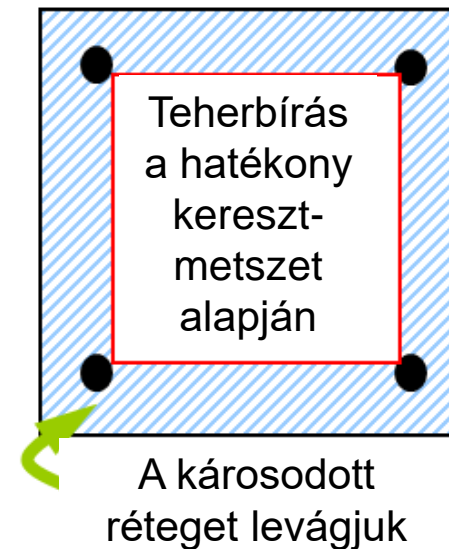
Nagyon anyagfüggő !!

- fa:



- Acél: szilárdság és merevség leépül
- Szakszabvány ad útmutatást

- vasbeton:



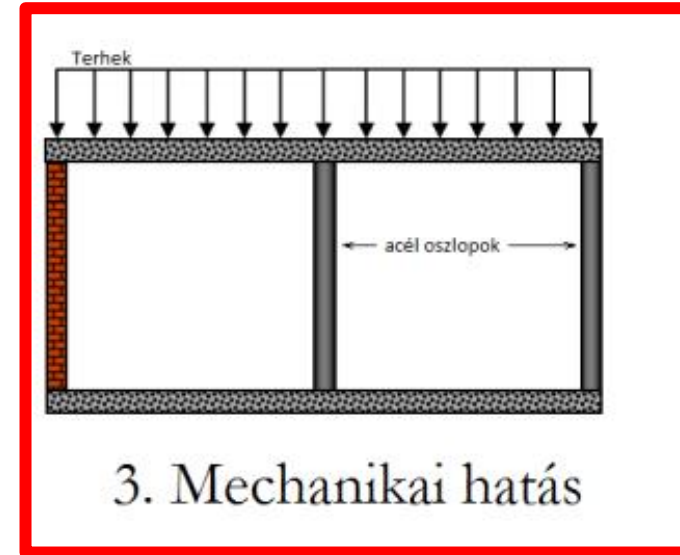
Tűzhatásnak kitett tartószerkezetek viselkedése



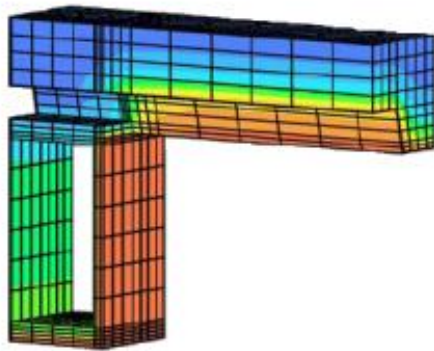
1. Gyújtóhatás



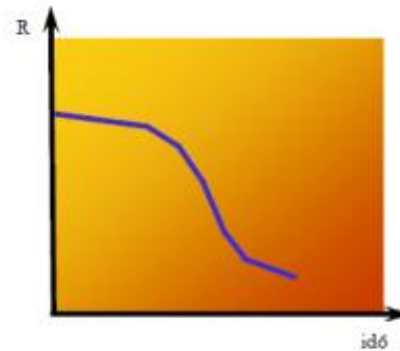
2. Termikus hatás



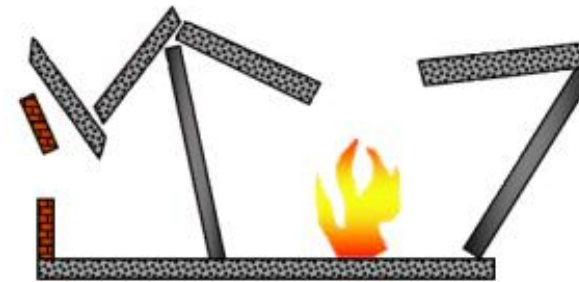
3. Mechanikai hatás



4. Termikus reagálás



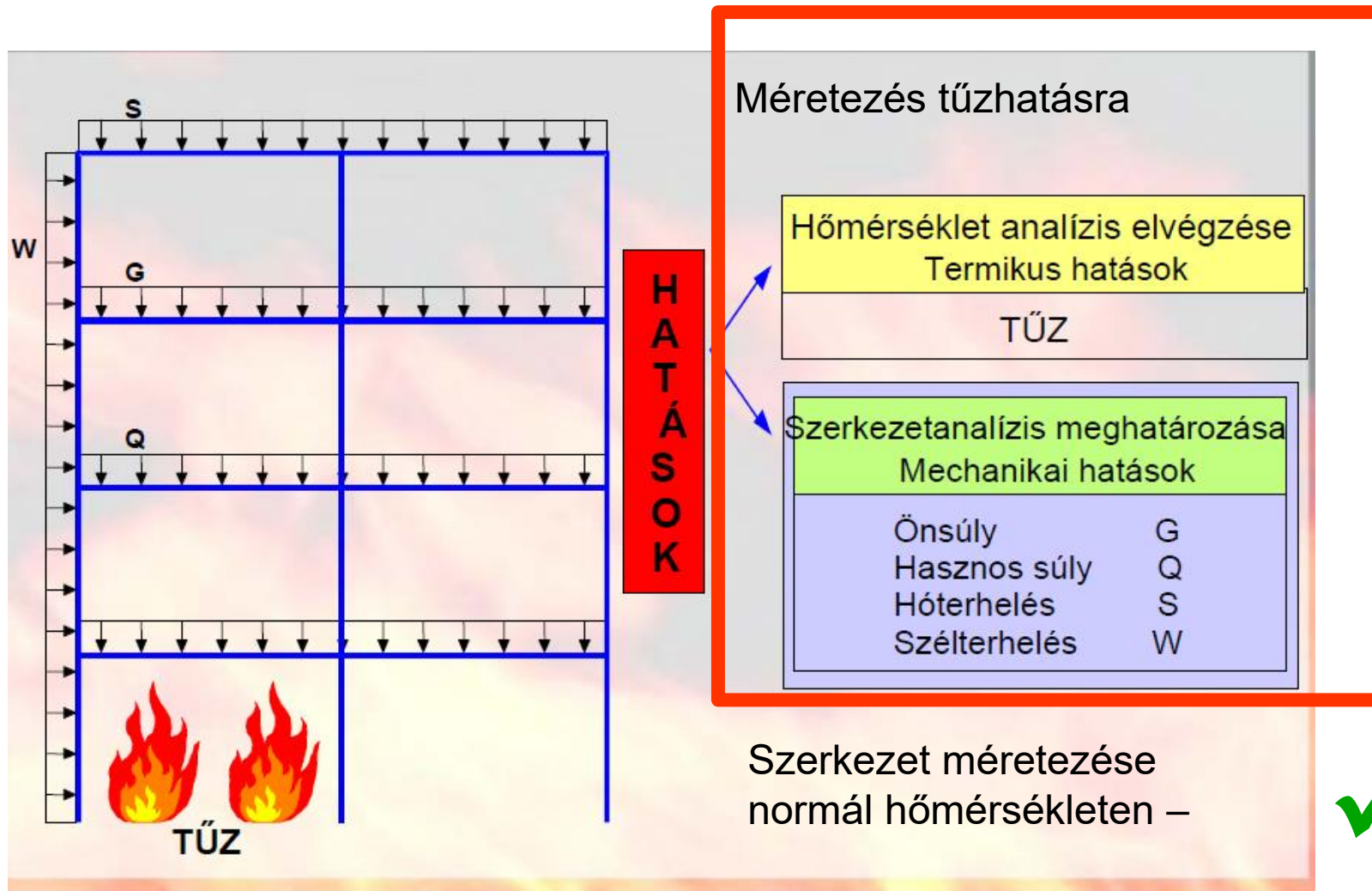
5. Mechanikai reagálás



6. Lehetséges összeomlás



Tartószerkezet méretezése - tűzhatás



Szerkezeti anyagok és
elem-méreték megtervezése

Mechanikai hatások – „tűz állapota” rendkívüli teherkombináció

EN 1990 szerint

EC 0

EC 1-1-2

$$E_{fi,d} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_d + (\psi_{1,1}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

A_d : közvetett hatások hőmérsékletváltozásból (igénybevételek a hőtágulásból)

$G_{k,j}$: állandó hatások karakterisztikus értéke

$Q_{k,1}$: kiemelt esetleges hatás karakterisztikus értéke

$Q_{k,i}$: többi esetleges hatás karakterisztikus értéke

ψ : kombinációs tényezők rendkívüli állapotban

Mechanikai hatások – „tűz állapota” rendkívüli teherkombináció MSZ EN 1990

EC 1-1-2

| Hatás | Tényező számértéke | | |
|---|--------------------|----------|----------|
| | ψ_0 | ψ_1 | ψ_2 |
| Födém- és tetőteher | | | |
| A kategória (lakás) | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| B kategória (iroda) | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| C kategória (egyéb középület) | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| D kategória (áruház) | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| E kategória (raktár) | 1,0 | 0,9 | 0,8 |
| F kategória (könnyű járművel járt födém) | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| G kategória (közepesen nehéz járművel járt födém) | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| H kategória (közönséges tető) | 0 | 0 | 0 |
| Hóteher (általános eset) | 0,5 | 0,2 | 0 |
| Szélteher | 0,6 | 0,2 | 0 |
| Hőmérsékleti hatások (de nem tűzteher) | 0,6 | 0,5 | 0 |

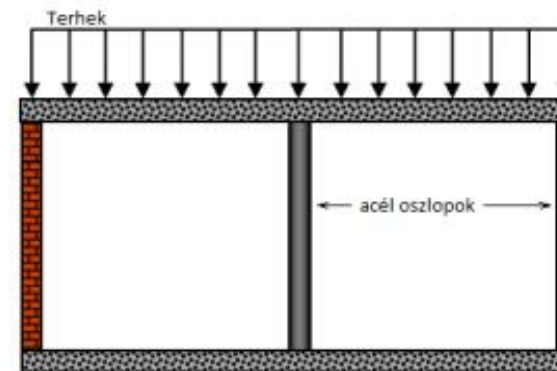
Tűzhatásnak kitett tartószerkezetek viselkedése



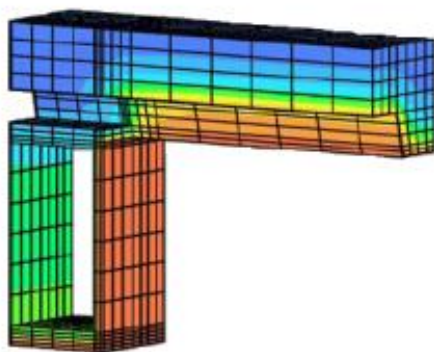
1. Gyújtóhatás



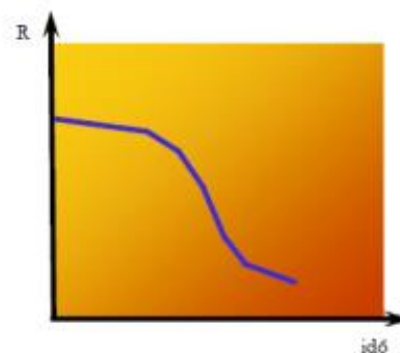
2. Termikus hatás



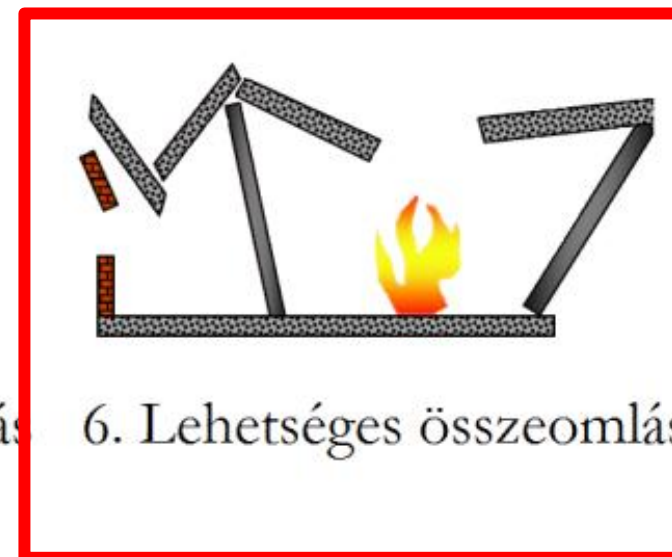
3. Mechanikai hatás



4. Termikus reagálás

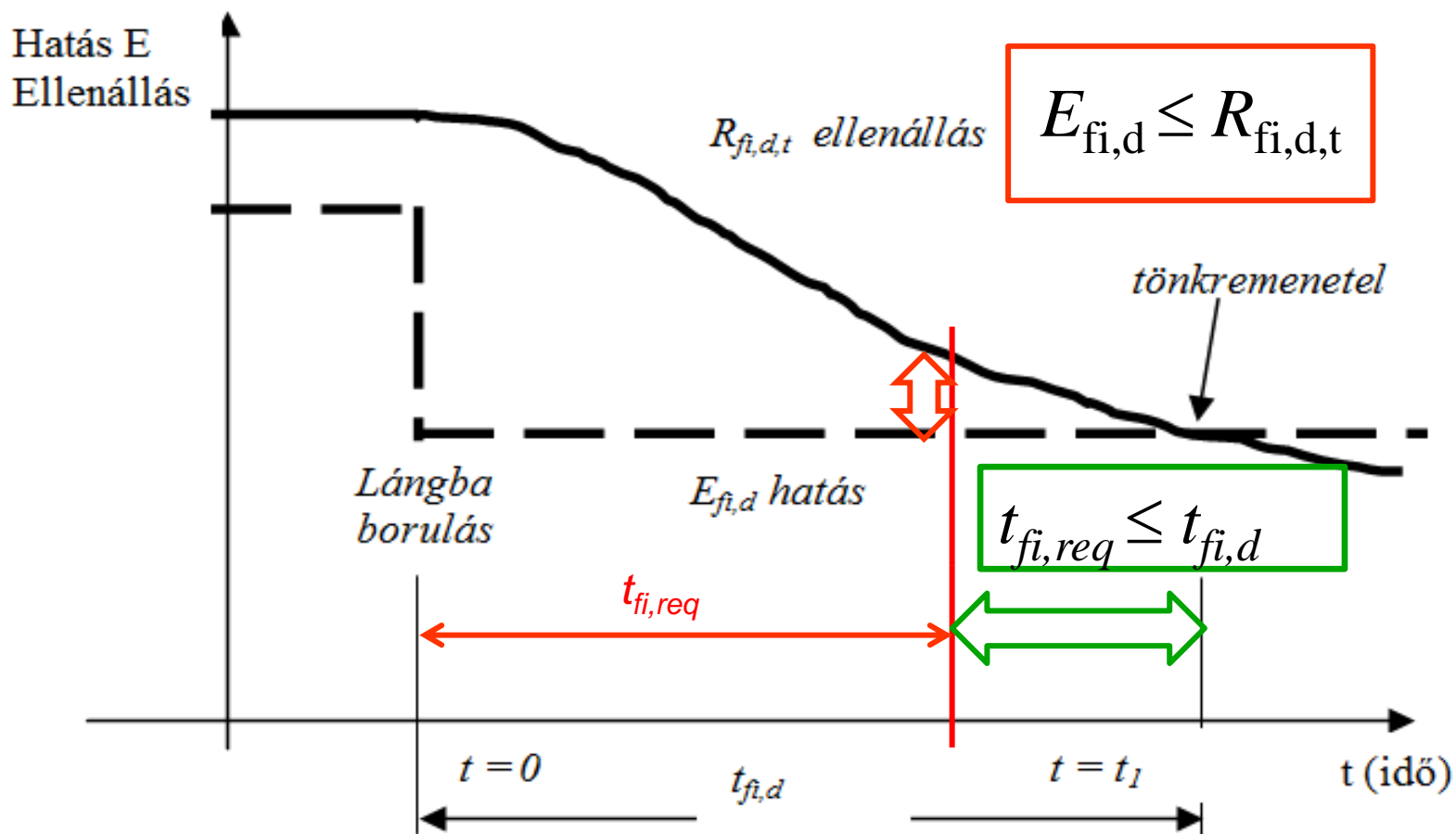


5. Mechanikai reagálás

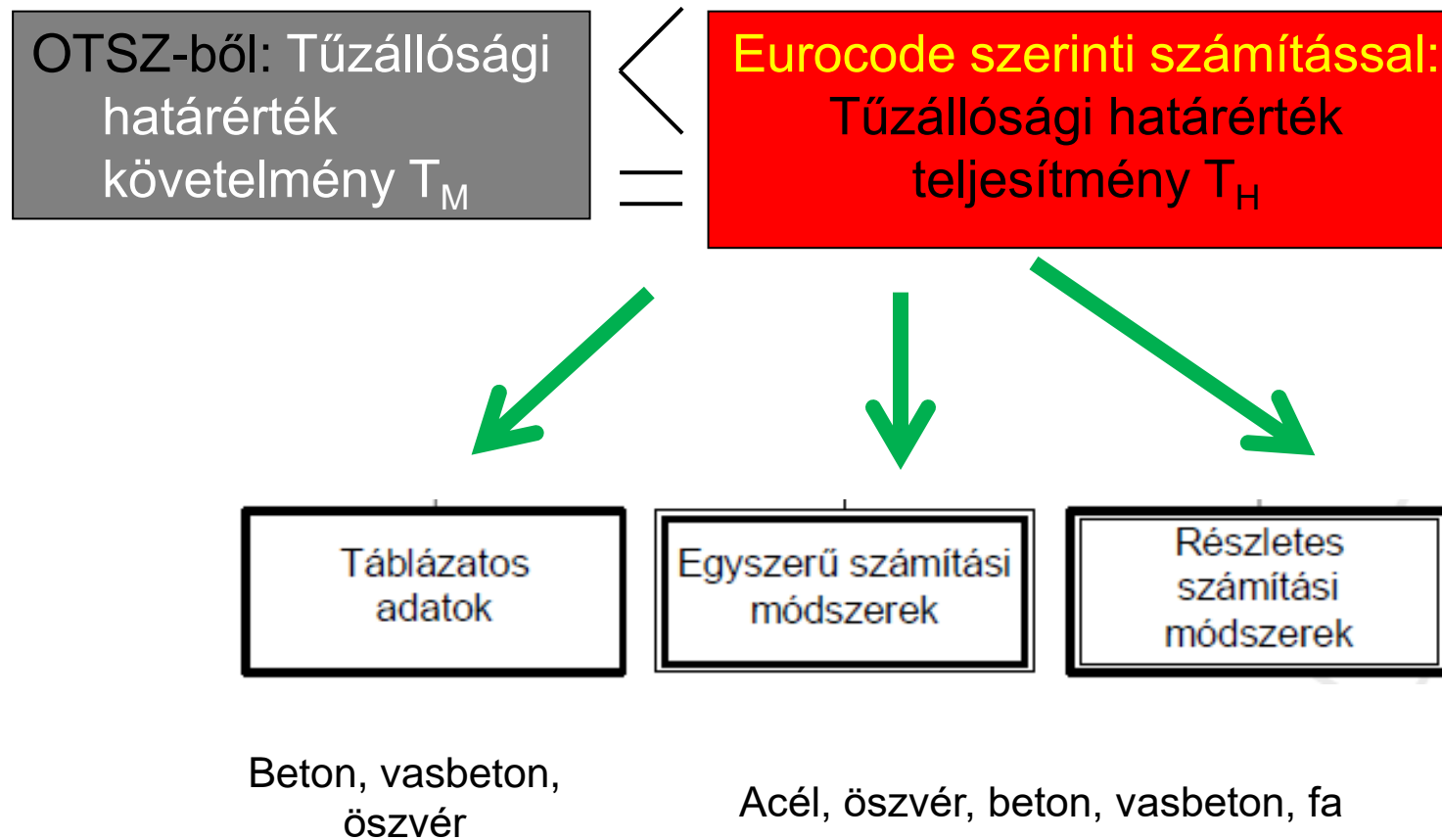


6. Lehetséges összeomlás

Szerkezet állékonyságának igazolási elve tűzhatás esetén



Mérnöki tűztervezés módszere



Szerkezetek ellenállása tűzben

EC 4-1-2

EC 3-1-2

EC 2-1-2

- Szerkezet anyagának megfelelő szabvány alapján
- Anyagtól függően más eljárásokkal
 - Beton/Vb/Öszvér: általában táblázatos módszerek vagy egyszerűsített eljárások
 - Acél: a szerkezeti elem ellenállásának csökkentése a hőhatás miatt lecsökkenő folyáshatár figyelembevételével

Köszönöm a figyelmet!

Folyt. köv....