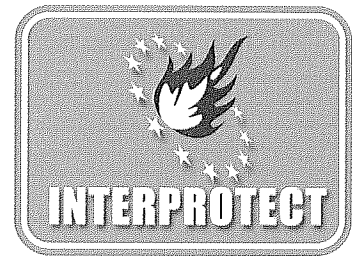




1142 Budapest
Erzsébet királyné útja 67.
Tel./fax: 0036-1-4600929



410269 Oradea
Str. Splaiul Crișanei 11.
Tel./fax: 0040-259-430162

IX. NEMZETKÖZI TŰZ- ÉS KATASZTRÓFAVÉDELMI KONFERENCIA

A konferencia előadásai

**2008. szeptember 25 – 26.
FÉLIX FÜRDŐ – ROMÁNIA**

**IX. NEMZETKÖZI
TŰZ- ÉS
KATASZTRÓFAVÉDELMI
KONFERENCIA**

A KONFERENCIA ELŐADÁSAI

**2008. SZEPTEMBER 25 – 26.
FÉLIX FÜRDŐ – ROMÁNIA**

ACÉLSZERKEZETEK TŰZVÉDELMI TERVEZÉSE

Prof. Dr. Jármai Károly
Miskolci Egyetem

Az elmúlt évtizedekben számos tragikus tűzeset történt áruházakban, szórakozóhelyeken, melyek halálos áldozatokat követeltek. Ezek sok előírás-változást eredményeztek Európában. A rendszabályok számos területre vonatkoznak, beleértve:

- Menekülési útvonal,
- Tűzterjedés: beleértve a “tűzellenállást”, “Tűzben történő reakciókat”,
- A szerkezet első védelme a védelmi időtartam szerint, R30, 60, 90 vagy 120,
- A ventilációs rendszer (füstre és meleg levegőre),
- Aktív tűzvédelmi eszközök, mint tűzoltókészülékek, füstérzékelők, tűzvédelmi zuhanyok,
- Megközelíthetőség tűzoltóknak.

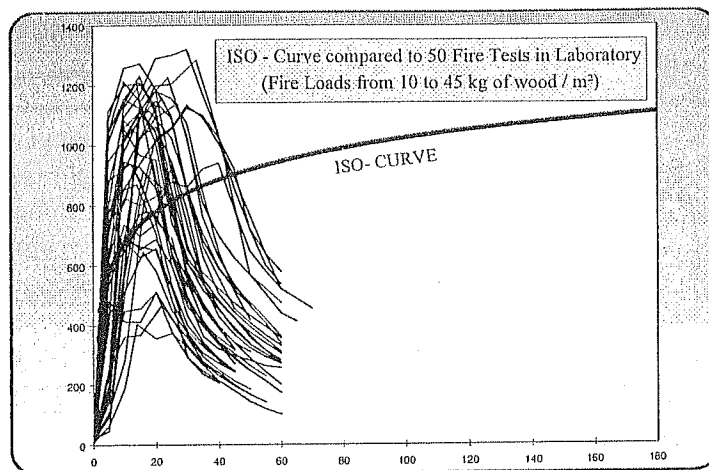
Még ha a tűzvédelem alapösszefüggései és alapfogalmai megegyeznek is mindenütt Európában, az elvárások nem egységesek. Ezt az NFSC1 [1] projekt keretében, a “Kockázat Alapú Tűzvédelmi Elvárások” tervezetben vizsgálták [2]. Például egy egyszerű emeletes háznál a tűzvédelmi elvárás R120 Spanyolországban, de nincs tűzvédelmi előírás Svédországban [2]. Egy közepes magasságú irodaépület tűzellenállása R60 elvárású Hollandiában, ám Franciaországban R120 [1]. Az elvárások fő paramétereit meghatározza az épületek magassága és az épület lakóinak száma és azok tevékenysége. A tűzvédelmi előírásoknak azokon a paramétereken kellene alapulnia, melyek befolyásolják a tűz terjedését. Beleértve a következőket:

- Tűz [a tüzek gyakorisága, a tűz terjedése, a tűz időtartama, a tűzből adódó terhelés, a tűz komolysága....],
- Szellőzés lehetőségei,
- Tűztér (típus, méret, geometria),
- A szerkezeti elem típusa,
- Kiürítési lehetőségek,
- Menekítő csoportok biztonsága,
- A szomszédos épületek rizikója,
- Aktív tűz méretei.

Az összegyűjtött adatok [1, 2] néhány kivételtől eltekintve azt mutatják, hogy a jelenlegi előírások csaknem egyformák és kevés esetben számít, hogy vannak-e locsoló berendezések, vagy nincsenek. A fizikai jellemzők szisztematikus vizsgálatával a szerkezeti biztonság sokkal valóságosabb és sokkal megbízhatóbb közelítéses vizsgálatát és valós tűzkarakterisztikát fejlesztettek ki különböző ECCS projekteken keresztül, a "természetes tűzre vonatkozó védelmi koncepció" alapján [1, 2, 3, 4].

A módszer statikai és valószínűségi közelítések és vizsgálatok eredményein alapszik. Az eljárás alkalmazható minden szerkezeti anyagra és épületre. Az 1. ábra mutatja a természetes tűz közötti összehasonlításokat különféle paraméterek esetén (helység mérete, tűzterhelései, falburkolatok, éghetőség, stb.) és a szabványtűz görbéjét.

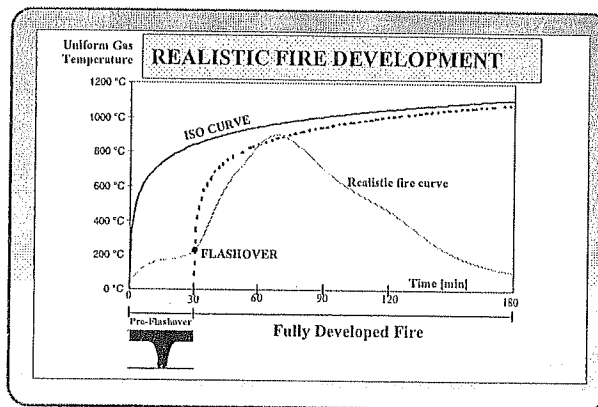
Ez mutatja annak nehézségeit, hogy megértsük az elemek viselkedését valódi tűz esetén, amikor az adatokat a szabványos ISO-tűzgörbéből kapjuk. A valódi tűz jellemzőit nem vesszük figyelembe a szabványos ISO-tűz görbéjénél.



1. ábra Hőmérséklet-idő görbe természetes és ISO-szabványtűz esetén

A 2. ábra mutatja a valós tűz jellemzőit, beleértve:

- Füstölés fázisa: A tüzgyújtás és füstölgés alacsony hőmérsékleten, melyet sokáig nem lehet megbecsülni. Ezt a fázist nem tartalmazza a 2. ábra,
- Növekedési fázis “elő-kitörés” (tűz lokalizálva): e fázis tartóssága a helység jellegétől függ. A tűz lokalizálódik egy lehetséges kisülési helyen,
- Fellobbanás: egy generált tűz. Ez a fázis alapján véve nagyon rövid,
- Fellobbanás utáni tűz: Ez a fázis megegyezik a generált tüzzel, melynél a terjedés a tüzterhelésétől és a szellőzéstől függ,
- Csökkenő fázis: a tűz nem csökken mindaddig, míg az összes éghető anyag teljesen el nem ég.



2. ábra Természetes tűz szakaszai

MÓDSZERTAN

Fejlett tűz számítási módszer

Különböző szintű tűzszámítási módszerek vannak:

- Egyszerű módszer: főleg a parametrikus tüzek
- Zóna modellek: ezek a modellek figyelembe veszik a fő paramétereket, melyek meghatározzák a tüzet
- Területi módszerek: túl összetett, hogy alaptervezési eszközként alkalmazzuk. Habár a modellek területei az egyetlen módja a bonyolult geometriának [5].

Az egyzónás modell feltételezi az egyenletes hőeloszlást a tűztérben, míg a kétzónás modellek a lokalizált tűz füsttrétegével számolnak. A tűzterjedés fő paramétere a tűzterhelés aránya (RHR). A tűzterhelés ezen aránya a tűztér méretének, a tűz aktivitásának és az időnek a függvénye. A tűz kezdetben egy lokalizált tűz a fellobbanási szakaszban. Ennek a szakasznak a kezdetét a tűz növekedése adja meg, melyet mennyiségileg mint a t^2 tűz feltételeznek. Ez azt jelenti, hogy a hőfelszabadulás arányát parabolikus egyenlet szerint határozták meg. Az épületek négy kategóriába sorolhatók a tűzterhelés sebessége szerint: lassú, közepes, gyors és nagyon gyors. A

tűzterhelés aránya elérni a maximális értékét, a tartós állapotnak megfelelő áramlási, vagy szellőztetési adottságok szerint. Az értékeléshez tudnunk kell az RHR növekedését és a tűz terjedését a fellobbanásig, vagy hogy a tűz lokalizált marad. Amikor a fellobbanás feltételei, vagy az általános tűz nem adott, a tűz lokalizálása marad. Ebben a feltételben a kétfázisú modell használatos, hogy felbecsüljük a füstreteg alapvető hatását. A tűzhöz közeli helyi hatást szintén tapasztalati modellekkel határozták meg előzetes "nagykamrás természetes tűz" kutatások alapján [6]. Hasemi [7,8,9,10] által végzett mérések, adatgyűjtések segítségével egy egyszerűbb módszerrel meghatározhatjuk lokalizált tűzben a termikus viselkedéseket. A két modell kombinációja megengedi a tűzhöz közeli és távoli hőmérsékleti mezők meghatározását.

Szerkezetek tűz alatti viselkedése

Ezen termikus hatások szerint számolandó a szerkezeti elemek hőátadása. Különböző szintű modellek alkalmazhatóak. A hőmérsékleti mezők meghatározhatók a szerkezetben tűz esetén a mechanikai terhelésből, a szerkezet viselkedése pedig meghatározható szintén több szintű modellekkel. Elfogadható az egyszerűbb modellek elem/elem kalkulációjának használata. Alapjában véve ez a modell a kritikus hőmérséklet fogalmán alapszik. Ha a hőmérséklet a kritikus hőmérséklet alatt van, akkor nem történik végzetes tönkremenetel. Ha a hőmérséklet magasabb értéket vesz föl, mint a kritikus hőmérséklet, akkor a szerkezet tönkremegy. Ez a 'megfelelési vagy tönkremeneteli' kritérium. A cél, hogy a tönkremeneteli idő nagyobb legyen, mint a várható természetes tűz időtartama. Sokkal kifinomultabb modellek, például véges elemes számítások is használhatóak. A modell eredményei alapján véve a teljes tűzfennállás közbeni deformációk értékei. Néhány esetben, a teljesítmény kritérium (hogy felmérhessük, melyik szint a kielégítő) a deformáció értéke szerint adódik.

A szerkezetek tűz alatti viselkedés-vizsgálata megenged egy kivételes teljesítmény kritériumot, vagy limitált deformációt, vagy szerkezeti rongálódást. A tervezési szempontok közötti választás attól függ, hogy milyen következményei vannak a tönkremenetelnek az épület funkciójára. Például egy nagyméretű műemlék épület esetén semmilyen szerkezeti roncsolódás nem történhet rajta az egész tüzeset alatt.

Elvárt adatok

A módszer kiválasztásához az épület jellemzőit ismerni kell. A tűzteret definiálni kell nemcsak a geometriája szerint, de a tűzenergia felszabadulása és a nyitottság szerint, mely biztosítja a légcserét a tűztér környezetével.

TŰZ FEJLŐDÉSÉNEK SZÁMÍTÁSAI

Bevezetés

Amikor a tűz terjedését numerikusan szimuláljuk, különböző egyszerűsítéseket alkalmazunk. Ebben a részben a lobbanáspont előtti tüzek modelljeivel (a lokalizált tűzmodelleknek és a kétfázisú modelleknek) és a lobbanáspont utáni esettel (teljesen kifejlett tűz) foglalkozunk. A területmodelleket (CFD: Computer Fluid Dynamics) kizárták ebből a részből. Ezek túl összetettek és időigényesek az egyszerű eszközkénti használathoz.

Lokalizált tűz

Lokalizált tűzben felhalmozódott égéstermékek egy rétegben találhatóak a mennyezet alatt (felső réteg) egy vízszintes felülettel a forró réteg és az alsóbb réteg között ahol a gázok sokkal hidegebb hőmérsékletűek. Ezt a szimulációt jól szemlélteti a kétfázisú modell, alkalmazható minden lobbanáspont előtti állapotra. A gáz hőmérséklet-növekedésének számítása ezeknek a modelleknek a

használatával lehetővé teszi a füst épületben való terjedésének megismerését, és hogy megbecsüljük az élettartam-biztonságot a füstreteg magassága, mérgező füst-koncentráció, sugárzó áramlás és látható sűrűsége szerint.

A tűz fölött lévő vízszintes elemekre vonatkozó termikus hatás szintén függ a tűztől mért távolságuktól.

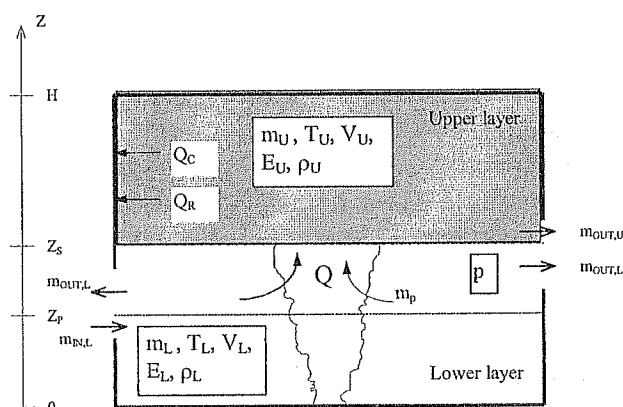
Kétszónás modellek

A zónás modell név a numerikus programoktól ered, melyekkel számítjuk a gázok hőmérsékletének növekedését az idő szerint, integrálva a szokásos differenciálegyenleteket melyek megadják a tömegmegmaradást, az energiamegmaradást a tűztér minden zónájára. Egy alapvető hipotézisen alapszanak, mely szerint a hőmérséklet egyenletes minden zónában. A zóna modellek nem csak a gázok hőmérsékletének növekedését adják meg a kamrában, hanem de információval szolgálnak a falak hőmérsékletéről, vagy a gázok nyílásokon mért kiáramlási sebességéről. A zónamodell területének adatai:

- Geometriai adatok, mint a tűztér méretei, a nyílások és a fő részek adatai,
- A falak anyagi jellemzői,
- A tűz adatai: az RHR görbe értékek, pirolízis arány, az anyag égéshője.

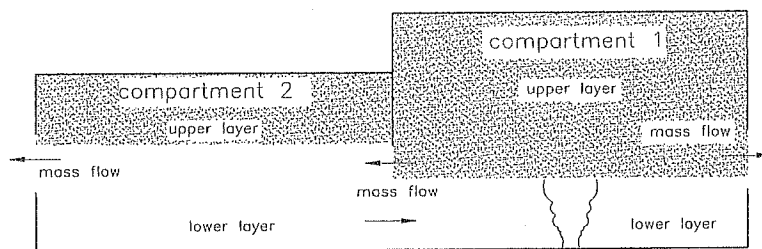
A kétszónás modellben az egyenlet egyensúlyt mutat a tömeg és az energia között, mind a két rétegben, és a két réteg közötti cseréket a légáramlási modellen keresztül. A szimuláció eredményeként a gázhőmérsékletet megkapjuk mindkét rétegben, csakúgy mint a falhőmérsékletet és a nyílásokon átmenő áramlási értékeket. Egy fontos eredménye a fejlődésnek az idő szerinti mindkét réteg vastagsága. A két réteg vastagsága, amely jobban emlékeztet a hidegebb hőmérsékletre és nem tartalmaz égésterméket, nagyon fontos, hogy megfeleljen a tűztér védhetősége a lakók miatt.

A 3. ábra megmutatja, hogyan modellezik a kamrát a kétszónás modellben, különböző határokkal az energia és a tömeg egyensúlyára vonatkozólag.



3. ábra Tűztér a kétszónás modellben

3. ábra egy tipikus egyszerű helyzet, amikor a tűztér energiát és tömeget kizárólag a külső környezettel cserél. Ezek a modellfajták képesek vizsgálni sokkal összetettebb épületeket, ahol a kamrák eredő tömeg és energia cseréi a külső környezettel és az épületen belüli más kamrákkal is történhet. Itt a különlegesség, hogy a füst terjedését vizsgáljuk a tűzkamrában és a többi kamrában is. Mint egy olyan esetben, amikor többkamrás kétszónás modellt vizsgálunk 4. ábra.



4. ábra Tűztér egy többkamrás kétszónás modellben.

A Heskestad módszer

A lokalizált tűz termikus hatását megbecsülhetjük a Heskestad módszerrel [11].

Különbségeket kell tenni a láng relatív magassága és a mennyezet magassága között.

A láng hossza L_f a lokalizált tűzben adott (lásd 5. ábra), mint:

$$L_f = -1,02 D + 0,0148 Q^{2/5} \quad (1)$$

Amikor a láng nem csapódik a mennyezetnek ($L_f < H$; lásd 5. ábra) vagy nyílt ég alatti tűz esetén, a hőmérséklet $\Theta_{(z)}$ a függőleges láng tengelye mentén szimmetrikus és meghatározható a következő módon

$$\Theta_{(z)} = 20 + 0,25 Q_c^{2/5} (z-z_0)^{-5/3} \quad (2)$$

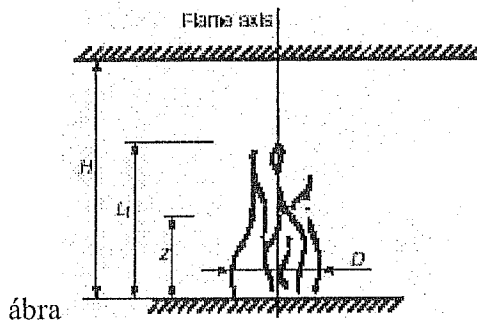
D tűzátmérő [m], lásd 5. ábra,

Q a tűz hőkibocsátás értéke [W],

Q_c a hőkibocsátás értékének konvektív része [W], $Q_c = 0,8 Q$ alapértelmezésben,

z a tűztengely mentén a magasság [m],

H a tűz alapja és a mennyezet közötti távolság [m], lásd 5.

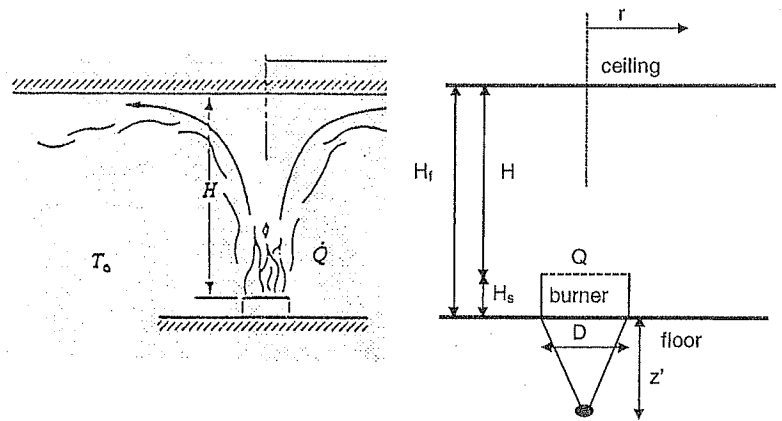


ábra

5. ábra Lokalizált tűzmodell arra az esetre, amikor a tűz nem éri el a mennyezetet.

Hasemi módszere

Hasemi módszere [7, 8, 9, 10, 11] egy egyszerű eszköz a lokalizált hatások kiértékelésére a tűz fölött lévő vízszintes elemekre. Ez a Building Research Institute, Tsukuba, Japán mérési értékeire alapszik.



6. ábra Lokalizált tűz sémája és Hasemi tűzleírása

A módszer adatainak jelentése:

Q a tűz hőkibocsátásának értéke [W],

H_f a padló és a mennyezet közötti távolság [m],

D tűzátmérő (vagy a jellemző hossza) [m],

H_s függőleges távolság a padló és a tűz alapja között [m],

A változók:

H a tűz alapja és a mennyezet közötti távolság [m],

Q^* tűz hőkibocsátásának arányának (RHR) dimenzió nélküli értéke [-],

Q_H^* tűz hőkibocsátásának arányának (RHR) dimenzió nélküli értéke [-],

z' függőleges irányú a virtuális hőforrás, figyelembe véve a tűz alapját [m],

L_H a láng vízszintes hossza a mennyezeten [m],

r vízszintes távolság a mennyezet és a tűz közepe között [m].

Az eljárás:

$$H = H_j - H_s \quad (3)$$

$$Q^* = \frac{Q}{1,11 \times 10^6 D^{2,5}} \quad (4)$$

$$Q_H^* = \frac{Q}{1,11 \times 10^6 H^{2,5}} \quad (5)$$

$$z' = 2,4 D (Q^{*2/5} - Q^{*2/3}) \quad Q^* < 1,00 \quad (6)$$

$$z' = 2,4 D (1,00 - Q^{*2/3}) \quad Q^* \geq 1,00 \quad (7)$$

$$\frac{L_H + H}{H} = 2,90 Q_H^{*0,33} \quad (8)$$

L_H számítása az előző egyenlet szerint a H értékből, számítható a hőáramlás q'' [kW/m^2] az r távolságra a következők szerint

$$q'' = 100 \quad y < 0,30 \quad (9)$$

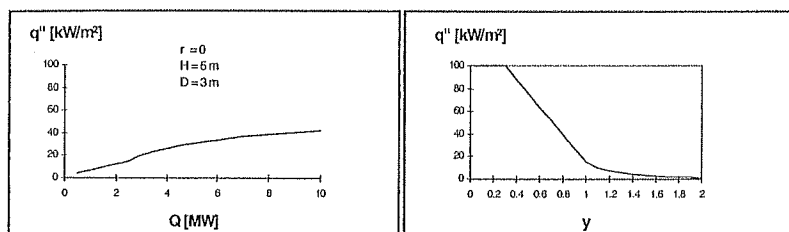
$$q'' = 136,30 - 121,00 y \quad 0,30 < y < 1,0 \quad (10)$$

$$q'' = 15 y^{-3,7} \quad y > 1,0 \quad (11)$$

$$y = \frac{r + H + z'}{L_H + H + z'} \quad (12)$$

A fluxus q'' arányosan csökken a mennyezet magasságának csökkenésével az y értéke szerint és növekszik a Q növekedésével. A 7. ábrán ezeket a függvényeket láthatjuk a következő esetre:

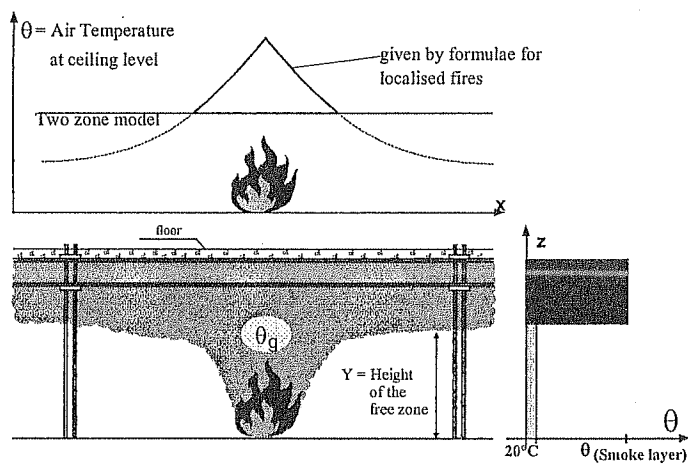
$$r = 0 \quad H = 5 \text{ m} \quad D = 3 \text{ m}$$



7. ábra q'' az y és a Q függvényében

A kétzónás modell és a lokalizált tűzmodell kombinációja

A lokalizált tűzben a gáz hőmérséklet-eloszlása a kamrában megbecsülhető a 2 zónás modell szerint. Ennél a modellnél a gáz hőmérsékletét minden rétegben a szerint a hipotézis szerint számítjuk, mely szerint azonos az egyes rétegekben. Ez az átlagos hőmérséklet a forró zónában alapjában véve elég pontos mindaddig, amíg a következő átfogó jellemzőket szem előtt tartjuk: a füst mennyisége mely elterül a kamrában, a lobbanás valószínűsége, a tető vagy a mennyezet teljes összeomlása stb.



8. ábra A kétzónás és a lokalizált tűz modellek kombinációja

A füst zóna magassága és a hőmérsékletei a forró gázoknak az acélszerkezetek szintjén a tüztől különböző távolságokra kiszámíthatóak a TEFINAF modellel [6].

Ez a modell kombinálja a kétfázisú modellt, amely tartalmazza a magasság és a forró zóna fő hőmérsékletének képletét mely megadja a csúcshőmérsékletet a tűz fölött különböző távolságokban.

Az EUROCODE SZERINTI MECHANIKAI HATÁSOK

Tűz esetén, a szerkezet hasznos terhelése meghatározható a következő képlettel (lásd a 6.11 b ábra relációját az EN1990 szabványban):

$$\sum_{i \geq 1} G_{k,j} + (\Psi_{1,1} \text{ or } \Psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (13)$$

$G_{k,j}$: az állandó hatások jellemző értéke

$Q_{k,1}$: változó hatások jellemző értéke

$Q_{k,i}$: változó hatások járulékos jellemző értékei

$\Psi_{1,1}$: változó hatások rendszerességi-tényezőjének értéke

$\Psi_{2,i}$: változó hatások majdnem-állandó tényezőjének értéke

Az ajánlott értékek a Ψ_1 -re és a Ψ_2 -re az EN1990 szabvány Az 1. táblázatában adottak, de változhatnak a Nemzeti Melléklet szerint.

Egy másik fontos, az Eurocode-ban nemzetileg sűrűn használatos tűztervezési paraméter a terhelés hatásfoka tűz esetén $\eta_{f,t}$, amely meghatározható mint: $\eta_{f,t} = \frac{E_{d,f,t}}{E_d}$ ahol E_d és $E_{d,f,t}$ szobahőmérsékleten figyelembe vett tervezési hatások. Ez meghatározható:

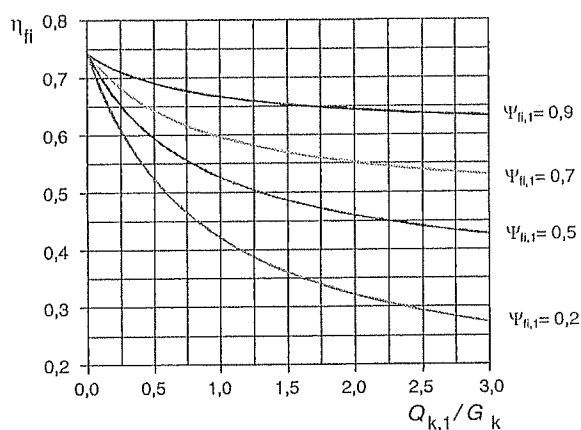
$$\eta_{fi,t} = \frac{G_k + \psi_{fi,t} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}} \quad (14)$$

Ahol $\gamma_{Q,1}$ részleges tényező a változó terhelés hatására 1.

1. táblázat Ajánlott értékek a ψ tényezőkre épületeknél.

Action	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Imposed loads in buildings, category (see EN 1991-1.1)			
Category A : domestic, residential areas	0,7	0,5	0,3
Category B : office areas	0,7	0,5	0,3
Category C : congregation areas	0,7	0,7	0,6
Category D : shopping areas	0,7	0,7	0,6
Category E : storage areas	1,0	0,9	0,8
Category F : traffic area vehicle weight ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Category G : traffic area, 30 kN < vehicle weight ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Category H : roofs	0	0	0
Snow loads on buildings (see EN1991-1.3)			
Finland, Iceland, Norway, Sweden	0,70	0,50	0,20
Remainder of CEN Member States, for sites located at altitude H > 1000 m a.s.l.	0,70	0,50	0,20
Remainder of CEN Member States, for sites located at altitude H \leq 1000 m a.s.l.	0,50	0,20	0
Wind loads on buildings (see EN1991-1.4)	0,6	0,2	0
Temperature (non-fire) in buildings (see EN1991-1.5)	0,6	0,5	0

Valójában, a terhelés határfoka η_{fi} erősen függ a $\psi_{1,1}$ tényezőtől ami az épületek kategóriájától függően változik. Az EN1993-1-2 szabványban (acélszerkezetekre vonatkozó tűz fejezete) és EN1994-1-2 szabvány (kompozit elemekre vonatkozó tűz fejezet), a következő ábra (9. ábra) megmutatja mindkét terhelési arány és a $\psi_{1,1}$ befolyását a terhelés határfokán.



9. ábra Variációk a csökkentési tényezőre η_{fi} a terhelési aránnyal $Q_{k,1}/G_k$

4. ACÉLSZERKEZETI ELEMÉK SZILÁRDSÁGI SZÁMÍTÁSA

Az elemek 3-as osztályúak az Eurocode 3 szerint [12]. A terhelés összetett, kétirányú hajlítás és nyomás. A stabilitásra vonatkozó tervezési biztonság $R_{fi,t,d}$ az idő t függvényében a következő módon határozható meg:

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{min,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y M_{y,fi,Ed}}{W_{el,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_z M_{z,fi,Ed}}{W_{el,z} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1, \quad (15)$$

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{LT} M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,fi} W_{el,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_z M_{z,fi,Ed}}{W_{el,z} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1, \quad (16)$$

ahol:

$$\chi_{LT,fi} = \frac{1}{\Phi_{LT,\theta,com} + \sqrt{(\Phi_{LT,\theta,com})^2 - (\bar{\lambda}_{LT,\theta,com})^2}}, \quad (17)$$

$$\Phi_{LT,\theta,com} = \frac{1}{2} \left[1 + \alpha \bar{\lambda}_{LT,\theta,com} + (\bar{\lambda}_{LT,\theta,com})^2 \right], \quad (18)$$

$$\alpha = 0.65 \sqrt{235 / f_y}, \quad (19)$$

$$\bar{\lambda}_{LT,\theta,com} = \bar{\lambda}_{LT} \sqrt{k_{y,\theta,com} / k_{E,\theta,com}}, \quad (20)$$

ahol:

$k_{y,\theta,com}, k_{E,\theta,com}$ redukciós tényezők a szabvány 4.2 fejezete szerint, ahol a lineáris rugalmas tartományban adott $\theta_{a,com}$ maximális hőmérséklettel számolhatunk a nyomott övlemezben adott t idő esetén.

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1, \quad (21)$$

$$\text{ahol } \mu_{LT} = 0.15 \bar{\lambda}_{z,\theta} \beta_{M,LT} - 0.15 \leq 0.9, \quad (22)$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{fi,Ed}}{\chi_{y,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 3, \quad (23)$$

$$\text{ahol } \mu_y = (1.2\beta_{M,y} - 3)\bar{\lambda}_{y,\theta} + 0.44\beta_{M,y} - 0.29 \leq 0.8, \quad (24)$$

$$k_z = 1 - \frac{\mu_z N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 3, \quad (25)$$

$$\text{ahol } \mu_z = (2\beta_{M,z} - 5)\bar{\lambda}_{z,\theta} + 0.44\beta_{M,z} - 0.29 \leq 0.8. \quad (26)$$

4.1 A hőmérséklet és az anyagjellemzők meghatározása emelkedő hőmérséklet esetén

A hőmérséklet emelkedését tűzvédelem nélküli szerkezetnél [11, 12] alapján határozhatjuk meg:

Kezdőidőnek vesszük a $t_i = 0$ értéket, az időperiódus: $\Delta t_i = 5$

másodperc, $t_i = t_i + \Delta t_i$ [sec],

Az idő tartománya $0 \leq t_i \leq t_{max}$ [sec],

ahol t_{max} lehet $\frac{1}{2}$, 1, $1 \frac{1}{2}$, 2, 4 óra, ami 1800, 3600, 5400, 7200, 14400 [sec].

Az acél hőmérséklete változik $20 [^{\circ}\text{C}] \leq \theta_a \leq 1200 [^{\circ}\text{C}]$ között.

A kezdőértékek a következők:

$$\theta_a = 20 [^{\circ}\text{C}], \Delta\theta_a = 0 [^{\circ}\text{C}], \rho_m = 7850 \text{ kg/m}^3.$$

A fajhő a hőmérséklet függvényében a szabvány szerint meghatározható.

A gáz hőmérséklete a tűzhatásnak kitett szerkezeti elem környezetében (szabványos hőmérséklet-idő görbe)

$$\theta_g = 20 + 345 \log \left(8 \frac{t_i}{60} + 1 \right) [^{\circ}\text{C}], \quad (27)$$

$$\text{A nettó hőáramlási fluxus } \dot{h}_{netc} = \alpha_c (\theta_g - \theta_a), \quad (28)$$

A nettó hőszugárzási fluxus

$$\dot{h}_{netr} = \Phi \varepsilon_m \varepsilon_f \sigma \left[(\Theta_g + 273)^4 - (\Theta_a + 273)^4 \right] [\text{W/m}^2], \quad (29)$$

ahol a konfigurációs tényező $\Phi = 1$, az elem felületi sugárzóképesége $\varepsilon_m = 0.8$, a tűz sugárzóképesége $\varepsilon_f = 1.0$, a Stephan Boltzmann állandó $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} [\text{W/m}^2 \text{K}^4]$.

A teljes nettó hő fluxus a hőszugárzási és a hőáramlási fluxusok összegéből számítható

$$\dot{h}_{netd} = \dot{h}_{netc} + \dot{h}_{netr}, \quad \frac{A_m}{V_m} = \frac{1}{10^{-3} t_2}, \quad \text{ahol } \frac{A_m}{V_m} \text{ a szelvénytényező}$$

védelem nélküli acélelemeknél.

A hőmérsékletváltozás

$$\Delta \Theta_a = k_{sh} \frac{\frac{A_m}{V_m} \dot{h}_{netd} \Delta t_i}{c_a \rho_m}, \quad \text{ahol } k_{sh} = 1. \quad (30)$$

Az acélelem felületi hőmérséklete $\Theta_a = \Theta_a + \Delta \Theta_a$. A számítás iterációval történik. (31)

4.2 Az acél anyagjellemzőinek meghatározása magasabb hőmérsékleteken

A folyáshatár és a Young modulus meghatározása magasabb hőmérsékleten a Eurocode 3 1.2 része [12] alapján történik. A 2. táblázat tartalmazza a redukciós tényezőket 20 és 1200 C° között.

2. táblázat A folyáshatár és a Young-féle modulus redukciós tényezői a hőmérséklet függvényében

Hőmérséklet (°C)	$k_{y,\theta}$ redukciós tényező (f_y -ra)	$k_{E,\theta}$ redukciós tényező (E_a -ra)
20	1,000	1,000
100	1,000	1,000
200	1,000	0,900
300	1,000	0,800
400	1,000	0,700
500	0,780	0,600
600	0,470	0,310
700	0,230	0,130
800	0,110	0,090
900	0,060	0,0675
1000	0,040	0,0450
1100	0,020	0,0225
1200	0,000	0,0000

A folyáshatár egy adott hőmérsékleten számítható a $k_{y,\theta}$ redukciós tényezőtől $f_{y,\theta} = k_{y,\theta} f_y$. A Young-féle modulusz egy adott hőmérsékleten számítható a $k_{E,\theta}$ redukciós tényezőtől $E_{a,\theta} = k_{E,\theta} E_a$. A tűzállóság nem a tényleges, véletlenszerűen előforduló és méretű tűzre vonatkozik, hanem a szabványos tűzre (ISO 834) [13] ebben az esetben.

5 Összefoglalás

Több modellt láthattunk a tűztér hőmérsékletének, valamint a szükséges adatoknak az idő szerinti számítására. Hogy meg tudjuk egy szerkezeti elem hőmérsékletét az idő szerint határozni fontos, hogy kiszámítsuk ezeknek az elemeknek a hőáramlását.

Az áramló és sugárzó hőátadás történhet a forró gázok, a lángok és a környezetükben lévő szerkezeti elemek között. Az

elemek felmelegedése függ az elemek típusától (tisztá acél, vagy kompozit acél/beton) és a természetüktől és a tűz elleni védelmüktől. Ha a szerkezet környezetének hőmérsékletét ismerjük és a terhelések véletlen kombinációit, akkor a termomechanikai viselkedését meg tudjuk határozni. Acélszerkezetek tűzre való méretezésénél a felmelegedő anyag viselkedését és terhelhetőségét jól lehet követni a számítások alapján.

6 Köszönetnyilvánítás

A cikk a DIFISEK+ program (Dissemination of Fire Safety Engineering Knowledge) WP1 része: Termikus és mechanikus hatások, O. Vassart, L.G. Cajot & M. Brasseur, ArcelorMittal, Esch/Alzette, Grand-Duchy of Luxembourg felhasználásával készült.

7 Hivatkozások

- [1] Schleich J-B., Cajot L-G., et al.: **Competitive steel buildings through natural fire safety concept.** *ECSC Research 7210-SA/125,126,213,214,323,423,522,623,839,937*, 1994-98; Final Report 2002 – EUR 20360 EN.
- [2] Hietaniemi J: **Risk-Based Fire Resistance Requirements.** *ECSC Research 7210-PR-251*, 2000-2003
- [3] Schleich J-B., Cajot L-G., et al.: **Natural fire safety concept – Full scale tests, implementation in the Eurocodes and development of a user-friendly design tool.** *ECSC Research 7210-060*, 1997-2000; Final Report 2003 - EUR 20580 EN..
- [4] Schleich J-B., Cajot L-G., et al.: **Valorisation project - Natural Fire Safety Concept.** *ECSC Research 7215-PA/PB/PC-042-057, D-E-F-I-NL-UK & ECCS*, 1999-2001.

- [5] Kumar S., Welch S., **Natural Fire Safety Concept – The development of a CFD-Based Engineering methodology for evaluating thermal action on steel and composite structures.** *7210-PR184*, 1999-2002
- [6] **Development of design rules for steel structures subjected to natural fires in Large Compartments;** Final report *CEC Agreement 7210/ SA210, 317,517,618,832*-February 1997.
- [7] Hasemi Y. and Tokunaga Tazo: **Flame Geometry Effects on the Buoyant Plumes from Turbulent Diffusion Flames.** *Fire Science and Technology*, Vol. 4, No. 1, 1984.
- [8] Ptchelintsev A., Hasemi Y., Nikolaenko M., **Numerical Analysis of Structures exposed to localized Fire,** *ASIAFLAM's 95*, Hong Kong, 1995.
- [9] Wakamatsu T., Hasemi Y., Yokobayashi Y., Ptchelintsev A.: **Experimental Study on the Heating Mechanism of a Steel Beam under Ceiling exposed to a localized Fire.** *ASIAFLAM's 95*, Hong Kong, 1995.
- [10] Hasemi Y., Yokobayashi Y., Wakamatsu T., Ptchelintsev A.: **Fire Safety of Building Components Exposed to a Localized Fire- Scope and Experiments on Ceiling/Beam System Exposed to a Localized Fire,** *ASIAFLAM's 95*, Hong Kong, 1995.
- [11] CEN; EN 1991-1-2, **Eurocode 1 - Actions on structures, Part 1.2-Actions on structures exposed to fire.** *CEN Central Secretariat, Brussels*, November 2002.
- [12] CEN EN 1993-1-2, **Eurocode 3 - Design of Steel Structures, Part 1.2: General Rules - Structural Fire Design,** European Committee for Standardization (CEN); Brussels, Belgium, December 2003.
- [13] **ISO 834 - Fire Resistance Test – Elements of Building Construction,** International Standards Organisation; Genève, Switzerland, 1975.