

8.előadás: **FASZERKEZETEK ÉS A TŰZ**

- ezen jegyzet kizárólag oktatási célokra készült a Tartószerkezetek V. ngb_se004_5 tárgy hallgatói számára -
- a jegyzetet a felsorolt forrásokban található anyagokból szerkesztette: Halvax Katalin –



A tűz, az **égés folyamata** egy több lépcsőben lejátszódó, oxigénfelvétellel járó összetett kémiai reakció. Az égés létrejöttéhez és fennmaradásához a következő három feltételnek kell azonos térben és időben rendelkezésre állnia:

- megfelelő oxigénkoncentráció megléte,
- olyan éghető anyag jelenléte, ami adott körülmények között képes az oxigénnel történő egyesülésre,
- a reakciót beindító folyamat (ez lehet közvetlen láng, szikra vagy történhet sugárzás hatására is).



Az égés kétféleképpen mehet végbe:

- tökéletes égés: azt jelenti, hogy az oxigénfelvétellel járó kémiai reakcióhoz elegendő mennyiségű oxigén áll rendelkezésre, így a folyamat során csak CO_2 és (vízgőz formájában) H_2O keletkezik, amelyek már nem égnek tovább;
- tökéletlen égés: minden olyan esetben, amikor az éghető anyag oxidálásához nincs elegendő mennyiségű oxigén. A definícióból következik, hogy ezek az anyagok megfelelő körülmények között, oxigénhez jutva, továbbégésre (akár berobbanásra) képesek.

A különböző halmazállapotú anyagok eltérő módon égnek. A gázok és a folyadékok csak lánggal tudnak égni. Folyadékok esetében nem ténylegesen maga a folyadék ég, hanem a belőle kipárolgó gáz, a reakciózóna nem ül rá közvetlenül a folyadék felszínére. A szilárd anyagok égése összetettebb. Bennük az éghető részt a szénhidrogének (C_iH_k) alkotják. A szénhidrogéneket alkotó szénlánc hossza határozza meg az anyag halmazállapotát. Hő hatására ezek a szénláncok véletlenszerűen feldarabolódnak, és a kellően rövid darabok gázokká válnak. Az így keletkezett gáz fázisú bomlástermékek lánggal égnek, a visszamaradt szénváz pedig izzással ég. (Abban az esetben, ha később jelenik meg az éghető gáz, mint ahogy az éghető anyag meggyulladna, azaz $T_{\text{boml}} > T_{\text{gyull}}$, akkor a szilárd anyag láng nélkül, csak parázslással illetve izzással ég.)

A különböző anyagokat – és így az építési termékeket is - különböző szabványos vizsgálatoknak vetik alá, hogy meghatározzák az éghetőségi tulajdonságaikat. Ezen vizsgálatok eredményei alapján az anyagokat az alábbi táblázatban látható **tűzvédelmi osztályok**ba sorolják. Ez az építőanyag tűzzel szembeni viselkedésére jellemző osztályozás.

Az éghetőség szerinti csoportosítás, megmutatja, hogy a termék miként járul hozzá (vagy nem járul hozzá) a tűz terjedéséhez.

Osztály	Jellemző	Példa
Nem éghető anyagok		
A1	éghető alkotókat nem tartalmaz	kő, beton, tömör téglá, acél
A2	éghető alkotókat is tartalmaz	polisztirol adalékos könnyűbeton
Nehezen éghető anyagok		
B	égésével várhatóan nem áll elő flash over	gipszkarton
C	égésével a flash over kb. 10-20 perc után áll be	kezelt faanyag
Közepesen éghető anyagok		
D	égésével a flash over 2-10 perc után áll be	természetes száraz faanyag, rétegelt-ragasztott fa, OSB-lemez
E	égésével a flash over 0-2 perc után áll be	EPS hab
Könnyen éghető anyagok		
F	nincs vizsgálati kritérium (nem ismerjük az anyag tűzvédelmi paramétereit)	bitumenes zsindely tetőfedés

flash over = lángba borulás (az az átmeneti állapot, amikor az éghető anyagok tüze során a teljes felület részt vesz az égésben; a meggyulladást követő gyors és nagymértékű tűzfejlődés)

Az anyagok égése során különböző égéstermékek, korom illetve oxidok keletkeznek. Ezt a gázokban diszpergált (szétszórta, aprított), 10^{-5} - 10^{-8} m méretű szemcsékből álló rendszert, amelyet a felszálló légáram magával ragad, nevezzük füstnek. A tűzvédelmi osztályozás részét képezi a füstképződés szerinti felosztás is. Ez alapján megkülönböztetünk: („s” smoke)

s1	menekülést érdemben nem zavaró
s2	menekülést zavaró
s2	menekülést megnehezítő, ellehetetlenítő mértékű füstképződés

Fontos mert sok esetben nem maga a tűz hanem az ezzel járó füstképződés vezet katasztrófához. A füst nehezíti a mentőakciót, rontja a tájékozódást, nehezíti a menekülést. Az A2 és D osztályok közötti tartományban kell jelezni ezt a terméket. Az A1 osztály termékei alig képeznek füstöt, az E és F osztály termékei pedig nagyon sok füstöt képeznek.

A tűzvédelmi osztály jelölésének harmadik része az adott anyag égve csepegési tulajdonságait mutatja („d” droplet = cseppecske). Ez a tűz további terjedését valamint égési sérüléseket okozhat.

d0	nem csepeg
d1	nincs folytonos égve csepegés
d2	nincs kritérium (folytonos olvadás)

Ez a kiegészítő jelölés az A2-E osztályok közötti termékeket érinti.

A három vizsgált tulajdonság *együttesen* adja meg az anyag, illetve a belőle készített szerkezet teljes tűzvédelmi leírását. A szabványos vizsgálatok alapján a kezeletlen természetes faanyag tűzvédelmi osztálya: D-s2-d0 azaz közepesen éghető anyag, amely a menekülést zavaró füstöt fejleszt, de nem csepeg égés közben.

A fa égési folyamata

Tűzhatás alatt a faanyag magasabb hőmérsékleten jelentős kémiai átalakuláson megy át. A faanyag égése összetett kémiai folyamat: hőbomlással valamint elszenesedett felületek parázslással/izzással egyaránt ég. A fa égése során három szakaszt különböztetünk meg: a gyulladást, az égést, és az utóizzást. Hő hatására a környezet és a fa hőmérséklete is emelkedni kezd. de 100°C alatt nem történik észrevehető változás, csupán a fa elveszti a nedvességtartalmát, a szabad és kötött víztartalmát (az a száradás a hőmérséklet emelkedésével párhuzamosan egyre nagyobb mértékű folyamat).

A gyulladás fázisai:

- vízvesztés (100 - 110°C): alig észrevehető kémiai folyamatok
- elszíneződés (110 – 150°C): kémiai folyamatok egyre felgyorsulnak, barnás majd feketés felületi elszíneződés
- szenesedés (150 - 200°C): égéshez szükséges gázok képződése, határozott faszénképződés látható
- lobbanáspont (200 - 250°C): a felszabadult gázok belobbannak
- gyulladás (250 - 300°C): az égés folyamatossá, a folyamat fenntarthatóvá válik
- öngyulladás (330 - 370°C): felszabaduló gázok gyújtóláng nélküli égése

100-200°C közti tartományban lassú felületi elszenesedés figyelhető meg. Ezen réteg alatt megkezdődik a termikus bomlás, mely során éghető/gyúlékony gázok keletkeznek és



távoznak a fából. A fa lobbanáspontja 200-250°C közé tehető, ekkor a felszabadult éghető gázok külső gyújtóhatásra a fa felületéhez közel egy pillanatra lángra lobbannak. Az eltávozott gázok folyamatos égése 250-300°C tartományban várható, ekkor a hőbomlással távozott és gyújtóhatással aktivált gázok folyamatosan égnak, továbbá a felület parázssal égése is látható. Mintegy 330 °C-ra tehető a fa öngyulladás, amikor a hőbomlással távozott gázok külön gyújtóhatás nélkül, csak a hőmérsékletük okán meggyulladnak és folyamatosan égnak.

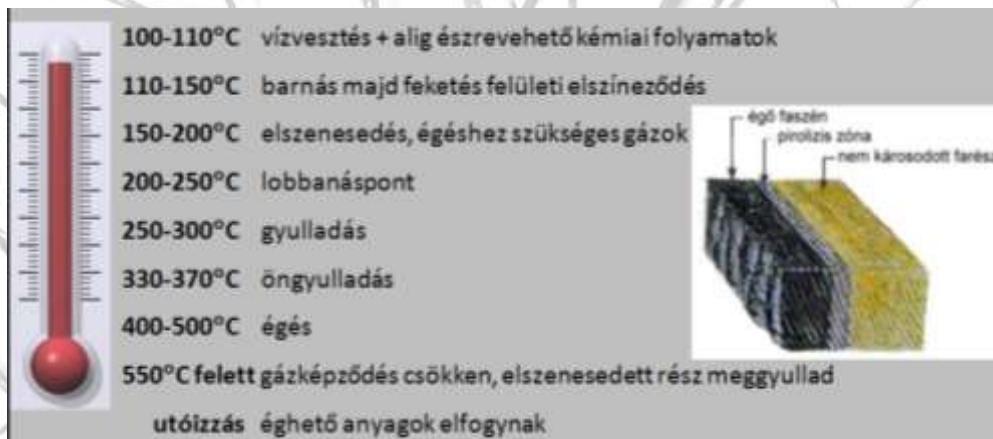
Az égés fázisai:

- égés (400 – 500°C): a gázképződés eléri a maximumát, faszénréteg kockásan/hasábokban keresztirányban repedezik
- faszén égése (550°C felett): csökken a gázképződés, a korábban képződött elszénesedett fa részek meggyulladnak (a vége felé a hőmérséklet elérheti az 1000-1200°C-ot is)

Az utóizzás fázisa:

- utóégés: az éghető anyagok elfogynak, hőmérséklet hirtelen csökken.

A faanyag égése a gyulladásig endoterm, azt követően exoterm folyamat. A tűz a faanyagban mindig kívülről befelé halad. A pirolízis zóna vastagsága 1-1,5 cm. A beégés egyenletes sebességgel halad, az égési zónák párhuzamosan követik egymást.

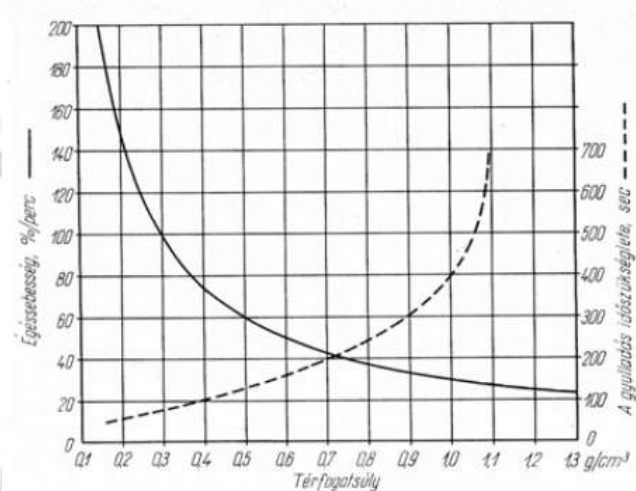


A fa égését befolyásoló tényezők

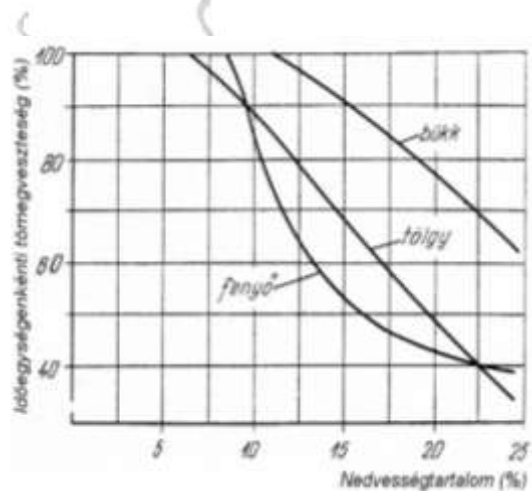
→ **sűrűség** (szöveti felépítés): minél nagyobb a faanyag térfogatsúlya, annál nagyobb a gyulladási időszükséglete illetve annál kisebb az égési sebessége (lásd ábra). Ez elsősorban a faanyag gázáteresztőképességével van összefüggésben.

A sűrűség növekedésével csökken a porozitása, így jelentősen megnő a gyulladási idő és az ehhez szükséges energia. Minél nagyobb a sűrűség (minél kisebb a porozitás) annál nehezebben tudnak a melegedés hatására beindult kémiai reakciók során felszabadult éghető gázok a faanyag felületére kijutni és ott a megfelelő

oxigénkoncentrációnak köszönhetően lángra lobbanni. Ebből következik, hogy a faanyagon szálirányban gyorsabban terjed a tűz, mint a többi anatómiai irányban.



→ **nedvességtartalom:** bármekkora is megelőzőleg a fa nedvességtartalma a környezetével folyamatosan egyensúlyi nedvességtartalmat tart fenn, és mivel a levegőben mindig van nedvesség így a faanyagban is. Az égési folyamata során a tűznek a fában lévő kötött és szabad vizet elsőként fel kell melegíteni majd gőzzé kell átalakítani. Ez a folyamat jelentős mennyiségű hőt von el a fától és a gyújtóforrástól egyaránt, ezáltal késlelteti a meggyulladást és az égést. Ebből következik, hogy a nedvességtartalom növekedésével nő a faanyag tűzzel szembeni ellenálló képessége. Ez a növekedés fafajonként eltérést mutat, ezt szemlélteti az ábra.



→ **járolékos anyagok (gyanta):** hazánkban az építészeti célokban felhasznált fafajok közül a legjelentősebbek a fenyőfélék, ezen fafajokban pedig természetes állapotukban gyanta található. A gyanta előnye, hogy biológiailag ellenállóbbá teszi a fát és a fűtőértékét is növeli, de ezzel egyidejűleg, mivel gyújtó hatású anyag, tűzveszélyesebbé is teszi. Különösen a gyantatászkák a kedvezőtlenek, mert megolvadva a gyanta végigfolyik a felületen és gyújtó hatású lehet. Egy ilyen belobbant gyantatáska megakadályozhatja a szénréteg kialakulását, így sokáig égő gyújtóforrásként szolgál. Minél nagyobb mennyiségben van tehát jelen a gyanta a faanyagban, annál rövidebb idő alatt tud meggyulladni, illetve annál intenzívebb lesz az égése.

→ **faanyag egészségi állapota:** a farontó gombák a fa fő alkotórészeit, a szilárd váz alkotóelemeit, a cellulózt és a lignint bontják le. Ezzel nemcsak a fa szilárdságát csökkentik hanem a faanyag tömegét, az éghető anyag mennyiségét is. Ennek következtében a beégési sebesség akár a duplájára is nőhet. A farontó rovarok, bogarak járatokat, furatok képeznek a fában. Ezek szintén csökkentik a szilárdságot valamint a járatokon keresztül gyorsabban a fa felületére jutnak az éghető gázok, így gyorsabban ég át egy ilyen faanyag, mint egy egészséges állapotban lévő. A száradás közben jelentkező belső feszültségek miatt a faanyagban, hosszirányban repedések keletkeznek ami főként a teherhordó faszerkezeteknél okozhat problémát. Bár ezek a repedések a szilárdságot lényegesen nem befolyásolják, de a mély repedések miatt tűznek kitett felület nagysága megnő, a határkeresztmetszetek lényegesen lecsökkenhetnek. Ebből a szempontból a rétegelt-ragasztott faszerkezetek kedvezőbben viselkednek, mint a repedezett természetes faanyag mivel üzemi körülmények között megfelelően előkészített tartók, melyeknél ritkábban alakulnak ki ilyen repedések.

Az előbbi befolyásoló tényezők figyelembevételével a Magyarországon leggyakrabban fellelhető fafajok négy csoportba sorolhatók a tűzzel szembeni ellenálló képességük szerint:

- jól ellenállóak (akác, bükk, kőris, tölgy)
- közepesen ellenállóak (erdei- és fekete fenyő, nyír, vörös fenyő)
- mérsékelten ellenállóak (dió, cseresznye, lucfenyő)
- nem ellenállóak (éger, hárs, jegenyefenyő, nyár)

Az elszenesedett külső réteg

Az égés során a tűznek kitett felületen egy elszenesedett külső réteg keletkezik, melynek vastagsága megközelítően állandó ütemben növekszik. A legtöbb irodalom azt mondja, hogy ez az elszenesedett réteg jó hőszigetelő és ezáltal akadályozza az alatta lévő rész felmelegedését illetve az éghető gázok felszínre törését. A faszén rétegen belül kialakul egy 1-1,5 cm vastagságú bomlási zóna, az ezen belül található farész nem szenved károkat.

Ezzel ellentétben egy másik vélemény szerint ezt a hőszigetelő képességet túlbecsülik ugyanis a felületi szén hasadásai, repedései alatt található a hőbomlás (pirolízis) zónája a repedéseken keresztül elég helyet kap az éghető gázok távozásához és a faanyag további hőbomlásához. A faszénréteg vastagsága pedig közelítően állandó, 1-2 cm körüli értéket vesz fel, az ennél vastagabb rész egyszerűen leesik, ezért nem működik vastag hőszigetelő burokként. A külső szénréteg a beégést így gyakorlatilag csak kontrollálja.

Az elszenesedett réteg vastagságába a hőbomlási zónát is beleértjük, így valójában az ép keresztmetszeten kívüli részt határozzuk meg. Az elszenesedett réteg vastagságát kísérleti úton határozzák meg (és ezzel az elszenesedési sebességet is), a tűzkísérlet után a szénréteg eltávolításával. Az elszenesedési sebesség legfőképpen a fafajtól, a faanyag tömörségétől valamint a keresztmetszet geometriájától függ.

→ Sík felületen egyoldali (egydimenziós) tűzhatáskor az elszenesedési mélység és az elszenesedés sebessége jól mérhető és definiálható:

$$d_{char,0} = \beta_0 \cdot t$$

$d_{char,0}$: az elszenesedett réteg vastagsága

β_0 : az elszenesedési (beégési) sebesség sík felületen, standard tűzhatás esetén

t : a tűzhatás időtartama

→ Több oldalról működő tűzhatás esetén – mely jellemzően rúdszerkezetek ér- a sík felületekhez képest a metsződési élek környezetében többdimenziós hőáram és fokozott elszenesedés figyelhető meg. Ez egy helyettesítő, azaz a keresztmetszet határoló síkjaival párhuzamos, névleges elszenesedési front felvételével vehető figyelembe, és az elszenesedési mélység a következőképpen számítható:

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t$$

$d_{char,n}$: az elszenesedett réteg névleges vastagsága többdimenziós tűzhatásnál

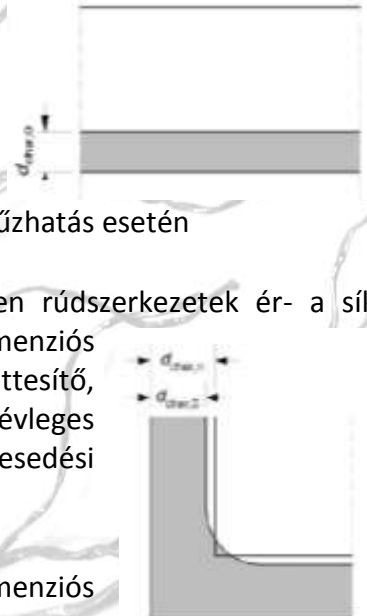
β_n : névleges elszenesedési (beégési) sebesség sík felületen, standard tűzhatás esetén

t : a tűzhatás időtartama

Az MSZ EN 1995-1-2 szabvány az elszenesedési sebességet

faanyagok esetében a következőképpen adja meg:→

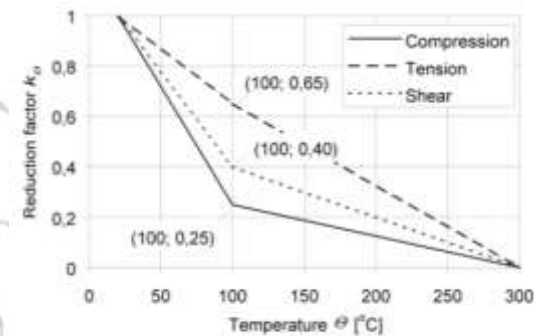
Fűrészelt fa gerendák vagy oszlopok beégési sebessége a nagyobb száradási repedések miatt nagyobb, mint az azonos keresztmetszetű RR-faé. (lásd táblázat)



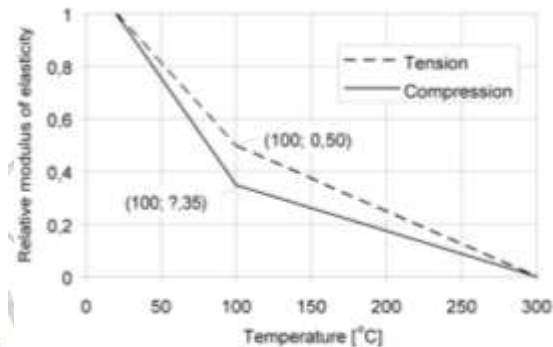
Faanyag	β_0 [mm/min]	β_n [mm/min]
a) fenyő és bükk		
RR-fa (GL), $\rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,70
fűrészelt fa, $\rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,80
b) lombos fa		
fűrészelt fa vagy RR-fa (GL), $\rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,70
fűrészelt fa vagy RR-fa (GL), $\rho_k \geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,50	0,55
c) ragasztott furnérfa (LVL)		
fűrészelt fa vagy RR-fa, $\rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,70
d) fa építőlemez, $\rho_k \geq 450 \text{ kg/m}^3$ és $d \geq 20 \text{ mm}$		
tömör falemez	0,9	-
rétegelt lemez	1,0	-
egyéb faanyagú lemezek	0,9	-

A szilárdsági jellemzők változása tűzhatás esetén

Magas hőmérsékleten a fa anyagjellemzői romlanak, az anyag 20°C-hoz képesti szilárdsága és rugalmassági modulusa csökken. A 300 °C-os normatív hőbomlási hőmérséklet felett a faanyag – pontosabban a faszén- szilárdsága értelemszerűen nulla. Az el nem égett faanyagban 60-80 °C-ot meghaladó hőmérséklet azonban csak a hőbomlási zóna alatti 4-8mm-es sávban, tehát az ép keresztmetszet peremén fordul elő. A maradék keresztmetszet további részeinek szilárdsága nem kisebb a 20 °C-on mért szilárdságnál. A hőbomlási front alatti átmeneti zónát a szabvány a $k_0 x d_0 = 7\text{mm}$ -es vastagsággal veszi figyelembe. 20 percnél rövidebb tűzhatás esetén az átmeneti zóna vastagsága csökkenthető.



: A faanyag relatív szilárdsága magas hőmérsékleten $k_{\theta} = \frac{f_{\theta}}{f_{20^{\circ}\text{C}}}$



: A faanyag relatív rugalmassági modulusa magas hőmérsékleten

Ellenőrzés tűzhatásra

Tűzhatásra történő ellenőrzést rendkívüli tervezési helyzetben végzünk, mely tervezési helyzet csökkentett biztonsági szintet követel meg. Faanyag esetén az MSZ EN 1995-1-2 szabvány a szilárdság 20%-os kvantilisére való tervezést engedi meg. A 20%-os kvantilis (f_{20}) és az 5%-os kvantilis (f_k) hányadosát a k_{fi} tényező mutatja meg, amelynek értékei különböző faanyagokra az alábbi szerint vehetők figyelembe:

a 20%-os és az 5%-os kvantilis aránya k_{fi}

Faanyag	$k_{fi} = f_{20} / f_k$
fűrészelt fa – fenyő vagy lombos fa	1,25
RR-fa	1,15
faalapú építőlemezek	1,15
ragasztott rétegelt falemez (LVL)	1,10

A szabvány a nem főirányhoz tartozó szilárdsági értékek tűzhatás közbeni változására nem ad értéket. Szakirodalmi adatok alapján rostokkal szöget bezáró erő esetén a tűzbeli szilárdság akár 20%-al is kevesebb lehet, mint a karakterisztikus érték ezért tűzhatásra történő ellenőrzésnél javasolt a $0,8x f_{\alpha,k}$ szilárdsági értékkel számolni.

A fa szilárdságának anyagoldali biztonsági tényezője rendkívüli teherkombinációban – a többi szerkezeti anyaghoz hasonlóan - $\gamma_M = 1,0$.

A fa keresztmetszet teherbírásának számítására az MSZ EN 1995-1-2 szabvány két módszert kínál:

- csökkentett keresztmetszetek módszere
- redukált anyagjellemzők módszere

„Csökkentett keresztmetszetek” módszere

- egyszerű tervezési módszer, a gyakorlatban túlnyomó többségben ezt használják
- a geometriától függően egy- vagy többoldali elszenesedett külső kérget nem veszünk figyelembe, és a hőbomlási front alatti átmeneti, névelegesen $k_0 \times d_0 = 7\text{mm}$ vastag zóna szilárdságát is nullának tekintjük. Az ép fakeresztmetszet ezen belüli, alacsony hőmérsékletű részét (ideális keresztmetszet) pedig a 20°C -os szilárdsági értékkel vesszük figyelembe.

Az ideális keresztmetszet szilárdságának tervezési értéke az alábbiak szerint számítható:

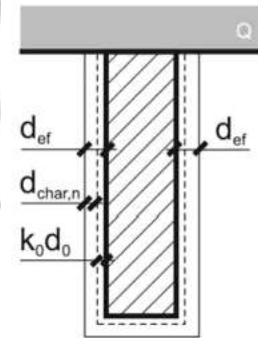
$$f_{d,fi} = k_{fi} \cdot \frac{k_{mod,fi} \cdot f_k}{\gamma_{M,fi}}$$

f_k : a szilárdság karakterisztikus értéke (5%-os kvantilis)

k_{fi} : a 20%-os kvantilis aránya a karakterisztikus értékhez képest

$\gamma_{M,fi}$: anyagoldali biztonsági tényező, értéke tűzhatásnál 1,0

$k_{mod,fi}$: módosító tényező, értéke tűzhatásnál 1,0

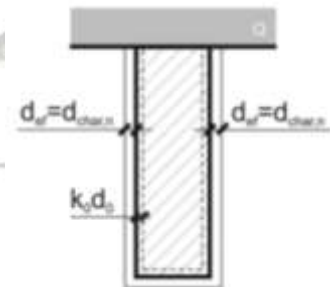


„Redukált anyagjellemzők” módszere

- munkaigényesebb módszer, de az előzőnél pontosabb eredményt ad (a mérnöki gyakorlatban jellemzően a karcsú fakeresztmetszetek igazolására használják pl. szeglemezes fatartók palló vastagságú elemei)

- az elszenesedett külső kérget nem vesszük figyelembe, a hőbomlási front alatti átmeneti kb. 7 mm vastag zónát azonban igen, vagyis a teljes maradó keresztmetszetet

Az átmeneti zóna a maradó keresztmetszet peremén, a várható legnagyobb normálfeszültségek helyén található, ezért a teljes maradó fakeresztmetszetet az átmeneti zóna magasabb hőmérsékletének megfelelő csökkentett szilárdsággal és merevségi jellemzőkkel vesszük figyelembe. Az átmeneti zóna magasabb hőmérséklete mérnökiileg nehezen megfogható fogalom, így annak hatását az indirekt, a felmelegedésre jellemző kompaktági mérőszámmal, az ép keresztmetszet kerület-terület arányával írják le.



$$f_{d,fi} = k_{fi} \cdot \frac{k_{mod,fi} \cdot f_k}{\gamma_{M,fi}} \quad E_{0.05,fi} = k_{fi} \cdot \frac{k_{mod,fi} \cdot E_{0.05}}{\gamma_{M,fi}}$$

f_k : a szilárdság karakterisztikus értéke (5%-os kvantilis)

k_{fi} : a 20%-os kvantilis aránya a karakterisztikus értékhez képest

$\gamma_{M,fi}$: anyagoldali biztonsági tényező, értéke tűzhatásnál 1,0

$k_{mod,fi}$: módosító tényező, értéke legalább 20 perces tűz esetén a következők szerint számítható:

- hajlítás esetén:

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

- nyomás esetén:

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

- húzás és rug.mod.:

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

p : az elszenesedett kéreg alatti maradó keresztmetszet kerülete (m)

A_r : az elszenesedett kéreg alatti maradó keresztmetszet területe (m^2)

A 20 percen rövidebb tűzhatás esetén a módosító tényező a $T=0$ perc-hez tartozó $k_{mod,fi}=1,0$ és a $T=20$ perc-hoz tartozó, az előzőekben ismertetett alapján számított, $k_{mod,fi}$ tényező közötti lineáris interpoláció eredményeképpen határozható meg.

Elburkolt faszerkezetek

A védelem nélküli faanyag elszenesedését (beégését) figyelembe vevő számítási eljárásokkal általában csak korlátozott tűzállósági határértékek igazolhatók (jellemzően 30 esetleg 60 perc). Ha nagyobb tűzállósági határértéket kell elérni, akkor annak egyik módja a faanyag tűzvédő építőlemezekkel pl. gipszkartonnal történő elburkolása.

A gipsz alapú tűzvédő burkolatoknak két fő hatásmechanizmusuk van a tűzhatás idején: a hőszigetelő képességük és a saját anyaguk tűzállósága. A gipsz alapú lemezek hővezetési tényezője kb. azonos a fáéval, az anyaguk viszonylag magas tűzállósági határértéke pedig a vegyileg kötött kristályvíz kb. 150°C-on történő dehidratációja során bekövetkező hőelvonásnak köszönhető.

A hőszigetelő képesség megtartása és a lángáttörés elkerülése érdekében a szabvány a védő burkolatkornál max. 2 mm-es fugát enged meg.

Tűzhatás során a védő burkolat alatti faanyag hőmérséklete is – még ha korlátozott mértékben is, de – szintén nő. A burkolat alatt a fa a saját gyulladási hőmérsékletének elérésekor önmagában is szenesedésnek indulhat, illetve meggyulladhat, még a védő burkolat tönkremenetele előtt. A szabvány megengedi a védőburkolat tönkremenetelének idejét és a fa gyulladási hőmérsékletének elérésének időpontját azonosnak venni.

Általános gipszkarton, tűzálló gipszkarton és gipszrost lemezes burkolatok esetén a fa elszenesedésének kezdeti ideje tűzben a következők szerint határozható meg:

egy réteg gipsz alapú lemez esetén: $t_{ch} = 2,8 \cdot h_p - 14$

két réteg általános gipszkarton esetén: $t_{ch} = 2,8 \cdot (1,0 \cdot h_{p,out} + 0,5 \cdot h_{p,in}) - 14$

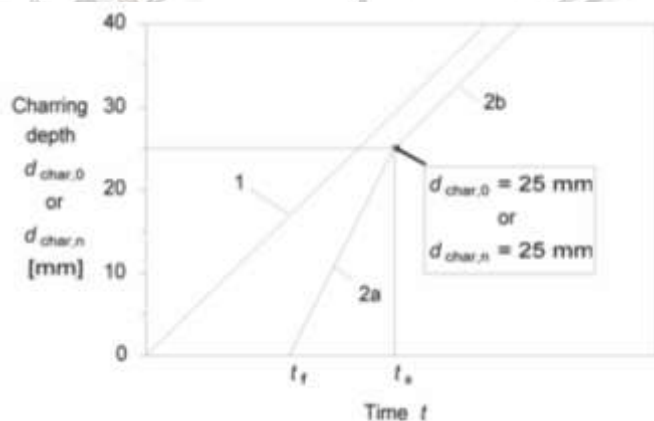
két réteg tűzálló gipszkarton esetén: $t_{ch} = 2,8 \cdot (1,0 \cdot h_{p,out} + 0,8 \cdot h_{p,in}) - 14$

h_p : a védő burkolat vastagsága

Két réteg gipsz-alapú védőburkolat alkalmazása esetén mindkét réteget azonos sűrűségű kötőelemekkel kell a szerkezeti fához rögzíteni. Azaz a belső rétegen áthaladó kötőelemek száma a külső réteg duplája.

A fa elszenesedésének kezdete egyszerűsítve tehát a gipsz alapú védőburkolat számított tönkremeneteli idejével vehető azonosnak. A fa a meggyulladás előtti „előmelegítés” miatt nemcsak a külső pár mm-es sávban hanem mintegy 20-25 mm vastag felületi zónában a hőmérséklete eléri a kb. 200-250°C-ot mire a gipszburkolat tönkremegy. A beégés kezdeti sebessége ezért a védelem nélküli esethez képest jóval magasabb,

ezt pedig a szabvány egy $k_3=2,0$ –s szorzóval veszi figyelembe. A 25mm-es beégési mélység elérése után a hőáram alakulása hasonló a védelem nélküli faanyag belső keresztmetszetében jellemző folyamattal, ezért ezt követően szabad a védelem nélküli faanyag elszenesedési sebességével számolni. Az így meghatározott maradó keresztmetszet az előzőekben tárgyalt módszerek valamelyikével igazolható, de az elszenesedési sebességet és mélységet a választott módszerhez igazítva kell számítani.



Kapcsolatok viselkedése tűzhatás során

Faszerkezetek kapcsolata jellemzően acél kapcsolóelemekkel történik. Jelentősebb tűzvizsgálati tapasztalatok a csap típusú kapcsolóelemekkel vannak így ezen ismeretek kerültek bele a szabványba. A leggyakrabban előforduló védelem nélküli csap típusú kapcsolóelemeknél két fő jelenség figyelhető meg tűzhatás során. Az acél kapcsolóelem jó hővezető képessége és kis tömege miatt gyorsan felhevül és kilágyul. Az acél jó hővezető képessége miatt az acélelemek fával érintkező palástfelülete is felhevül, ezzel csökkentve a fa beágyazási szilárdságát.

Rendkívüli tervezési helyzetben a kapcsolatokkal szemben is csökkentett biztonsági szintet ír elő a szabvány. A teherbírás 20%-os kvantilisé (R_{20}) és az 5%-os kvantilisének (R_k) hányadosa a gyakoribb kapcsolatok esetén a következő:

Kapcsolat típusa	$k_{fi}=R_{20}/R_k$
nyírt kapcsolatok fa, vagy faalapú szélső elemekkel	1,15
nyírt kapcsolatok külső oldali acéllemezekkel	1,05
kihúzóásra igénybe vett kapcsolatok	1,05

A felesleges számításokat elkerülendő a szabvány megad minimális tűzállósági határértéket néhány jellemzőbb, faelemeket összekötő kétszernyírt csap típusú kapcsolatra.

Kapcsolóelem típusa	min.tűzállósági határérték $T_{d,fi}$ [min]	feltétel
huzalszeg	15	$d \geq 2,8\text{mm}$
facsar	15	$d \geq 3,5\text{mm}$
átmenő csavar	15	$t_1 \geq 45\text{mm}$
acélrúd	20	$t_1 \geq 45\text{mm}$
fogas tárcsa / gyűrű	15	$t_1 \geq 45\text{mm}$
ahol d a kapcsolóelem átmérője és t_1 a szélső fa vastagsága		

Ha a táblázatban felsorolt kapcsolatoktól nagyobb tűzállósági határértéket várunk el, az a következő módszerrel igazolható:

„Csökkentett teherbírás” módszere kapcsolatok esetén

A táblázatban megadotthoz képest nagyobb elvárt tűzállósági határérték esetén az acélcsap anyag lágyul és a fa beágyazási szilárdsága is csökken. Ez a jelenség a szabvány alapján a nyírt, fa-fa kapcsolat teherbírásának globális csökkentésével vehető figyelembe egy „ η ” tényező segítségével. A kapcsolat „hideg” teherbírását egyébként is ki kell számolni teherbírasi határállapotban, ezért a módszer használata a legtöbb esetben kézenfekvő.

$$F_{V,Rk,fi} = k_{fi} \cdot \eta \cdot F_{V,Rk} \quad \text{és} \quad \eta = e^{-k \cdot T_{d,fi}}$$

$F_{V,Rk,fi}$: a nyírt kapcsolat teherbírása tűzhatás idején (20%-os kvantilis)

$F_{V,Rk}$: a nyírt kapcsolat teherbírása normál hőmérsékleten (5%-os kvantilis = karakterisztikus érték)

k_{fi} : a 20%-os kvantilis aránya a karakterisztikus értékhez képest

η : a hosszabb idejű tűzhatás miatti teherbírás-csökkentő tényező

k : a kapcsolatra jellemző konstans

$T_{d,fi}$: a kapcsolat előírt tűzállósági határértéke percben, de legfeljebb az alábbi táblázatban megadott érték

Kétszer-nyírt kapcsolatok elérhető tűzállósági határértéke és k-tényezője

Kapcsolat típusa	k	a módszerrel elérhető max. tűzállósági határérték $T_{d,fi}$ [min]
szeg és facsavar	0,08	20
átmenő csavar $d \geq 12m$, fa-fa kapcsolat	0,065	30
átmenő csavar $d \geq 12m$, fa- acél kapcsolat	0,085	30
acélrúd $d \geq 12m$, fa-fa kapcsolat	0,04	40
acélrúd $d \geq 12m$, fa-acél kapcsolat	0,085	30
fogas tárcsa / gyűrű	0,065	30
acélrudak esetén 4 acélrudanként legalább egy fűzőcsavar szükséges		

A faelemek túlzott elszenesedésének elkerülésére a kétszer-nyírt fa-fa kapcsolatok épségének feltétele a karcsúbb szélső fák minimális vastagsága (t_1):

$$t_1 \geq \max \begin{cases} 50 \text{ mm} \\ 50 + 1,25 \cdot (d - 12) \end{cases}$$

t_1 : a kétszer-nyírt fa-fa kapcsolat szélső fájának vastagsága

d : az acélrúd vagy csavar átmérője

OTSZ „Országos Tűzvédelmi Szabályzat”

A tűzvédelem célja, feladata:

az építmény úgy kell megtervezni és megépíteni, hogy tűz esetén:

- az építmény meghatározott időtartamig őrizze meg a 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 menekíteni őket
- biztosítva legyen a tűzoltók bejutása

Követelmények a tűznek kitett szerkezetekkel szemben:

- R – teherhordó képesség: a szerkezeti elemek azon képessége, hogy egy adott ideig egy vagy több oldalon fennálló meghatározott mechanikai igénybevétel mellett ellenállnak a tűz hatásának a szerkezeti stabilitásuk bármilyen vesztesége nélkül.
- E – integritás (lángáttörési határállapot): elválasztó funkcióval rendelkező épületszerkezet olyan képessége, hogy az egyik oldalán fellépő tűznek ellenáll anélkül, hogy a tűz a lángok vagy forró gázok átjutása következtében áttérjedne a másik oldalra, és azok a tűznek ki nem tett felületen vagy a felülettel szomszédos bármely anyagon gyulladást okozhatna.
- I – szigetelés: az épület szerkezet olyan képessége, hogy az egyik oldalon keletkező tűznek oly módon ellenáll, hogy megakadályozza a tűz átjutását a tűznek ki nem tett oldalra hőátadás eredményeként.
- M – mechanikai hatás: az épületszerkezetnek az a képessége, hogy ütésnek ellenálljon abban az esetben, ha a tűzben egy másik szerkezeti elem az illető szerkezethez ütődik.
- W – sugárzás: az épületszerkezeti elemek azon képessége, amely egy oldalon történő tűzhatás esetén vagy a szerkezeten keresztül, vagy a ki nem tett felülettől a szomszédos anyagok felé irányuló jelentős hőszugárzás csökkentése eredményeként csökkenti a tűz átmenetének valószínűségét.
- Tűzállósági határérték (TH): ennek értéke a tűzállósági követelmények betűje vagy betűkombinációja utáni szám percben.

A továbbiakban a faszerkezetek tűzbeli állékonyságát előíró R-kritérium igazolását ismertetjük. Az E és I kritériumok igazolása nem statikus tervezési feladat, azokat általában tűzállósági kísérletekkel tanúsítják.

Tervezői feladat: az OTSZ által előírt pl. R90 akkor az adott szerkezet kibír-e 90 percet?

Az OTSZ alapján az építményeket az alábbi tűzállósági fokozatok valamelyike kell besorolni (abban az esetben, ha a jogszabály alapján nem dönthető el a tűzállósági fokozat, akkor az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság (OKF) állásfoglalását kell beszereznie a tervezőnek):

(az I. tűzállósági fokozat jelenti elvileg a legnagyobb biztonságot és a legszigorúbb követelményeket, az V. fokozat a legenyhébb)

Az I. tűzállósági fokozatnak megfelelően alakítandó ki:

- magas épület,
- középmagas, tömegtartózkodásra szolgáló épület, amelyben a tömegtartózkodásra szolgáló helyiség padlószint-magassága a 13,65 m-t meghaladja;

Legalább a II. tűzállósági fokozatnak megfelelően alakítandó ki:

- bölcsőde, óvoda, szociális otthon,
- zárt gépjárműtároló (épület),

- a mozgásukban és cselekvőképességükben korlátozott személyek elhelyezésére, oktatására, nevelésére, kezelésére, foglalkoztatására szolgáló, kétszintesnél magasabb épület,
- középmagas épület,
- az I. tűzállósági fokozatba nem tartozó épületek alatti kettő és annál több pinceszintek,

Legalább a III. tűzállósági fokozatnak megfelelően alakítandó ki:

- többszintes iskola (idetartozik a földszintes iskola is),
- a kétszintesnél magasabb, többszintes lakóépület,
- a kétszintesnél magasabb, többszintes közösségi épület abban az esetben, ha nem tartozik szigorúbb (I. vagy II.) tűzállósági fokozatba,
- a többszintes nyitott gépjárműtároló építmény,
- a mozgásukban és cselekvőképességükben korlátozott személyek elhelyezésére, oktatására, nevelésére, kezelésére, foglalkoztatására szolgáló legfeljebb kétszintes épület,

Legalább a IV. tűzállósági fokozatnak megfelelően alakítandó ki:

- a "C" tűzveszélyességi osztályba sorolású, függőleges térelhatároló nélküli, fedett terek épületszerkezetei,
- a legfeljebb egy pincszinttel, földszinttel és egy emeleti szinttel (vagy beépített tetőtérrel) rendelkező lakó- és üdülőépület,
- az egyszintes közösségi rendeltetésű épület, aminek befogadóképessége a 25 főt meghaladja, de legfeljebb 50 fő,

Legalább a V. tűzállósági fokozatnak megfelelően alakítandó ki:

- a legfeljebb egyszintes üdülő- és közösségi épület, amelynek befogadóképessége legfeljebb 25 fő.

Tűzvédelmi előírások:

"A" Fokozottan tűz és robbanásveszélyes:

Az az anyag, amelynek heves égése, robbanása indító gyújtásra bármely halmazállapotban bekövetkezhet.

"B" Tűz és robbanásveszélyes:

az a por, amely a levegővel robbanásveszélyes keveréket alkot.

"C" Tűzveszélyes:

az a szilárd anyag, amelynek gyulladási hőmérséklete legfeljebb 300 C.

"D" Mérsékelt tűzveszélyes:

az a szilárd anyag, amelynek gyulladási hőmérséklete 300 C°-nál magasabb.

"E" Nem tűzveszélyes:

Nem éghető anyag.

A létesítmény tűzveszélyességi osztályba soroláskor azt a tűzveszélyességi osztályt kell választani, amelyiknél az összesített alapterület meghaladja a 40%-ot.

Az anyagokat és a rendeltetéseket, valamint a helyiségeket, tűzszakaszokat (a bennük tárolt anyagok, illetve a rendeltetésük alapján) tűzveszélyességi osztályba kell sorolni.

Az építményt vagy annak tűzszakaszát – a tűzveszélyességi osztályba sorolástól függően – az alábbi I-V. tűzállósági fokozatnak megfelelően kell kialakítani:

- a) "A" és "B" tűzveszélyességi osztály esetén I-II.,

- b) "C" tűzveszélyességi osztály esetén I-III.,
 c) "D" tűzveszélyességi osztály esetén I-IV.,
 d) "E" tűzveszélyességi osztály esetén I-V.

OTSZ: IV. tűzállósági fokozat követelményei (táblázat részlet)

IV. tűzállósági fokozatú tűzszakasz esetén			
Az épület szintszáma		N=1	N=2
Szerkezet csoport	Szerkezet megnevezése	Tűzvédelmi osztály Tűzállósági határérték (perc)	
Teherhordó falak, pillérek	Teherhordó pillérek	D R 15	D R 30
	Teherhordó falak	D REI-M 15	C REI-M 30
	Falszerkezetek merevítő elemei	C R 15	B R 30
Vízszintes teherhordó szerkezetek	Pinceszintek közötti és pince fölötti födémek	B REI 30	B REI 30
	Emeletközi födémek	-	D REI 15
	Teherhordó gerendák	D R 15	D R 30
	Tetőfödémek tartószerkezetei	D R 15	D R 30
	Tetőfödémek merevítő szerkezetei	D R 15	D R 30
	Nyílászárthidalások	C R 15	C R 30
	Fedélszerkezetek	D -	D -

Források:

Lonsták Nóra: Faszervezetek tűzvédelme (Karcú, látszó fa tartószerkezetek tűzvédelmi tervezési segédlete) – szakdolgozat –
 Kulcsár Béla – SZIE YBL Tűzvédelmi és Biztonságtechnikai Intézet, előadásjegyzetek
 Dr. Takács Lajos Gábor – BME Épületszerkeztani Tanszék, előadásjegyzetek
 OTSZ – Országos tűzvédelmi Szabályzat