

Fa, vasbeton és acél gerendák vizsgálata tűz hatására

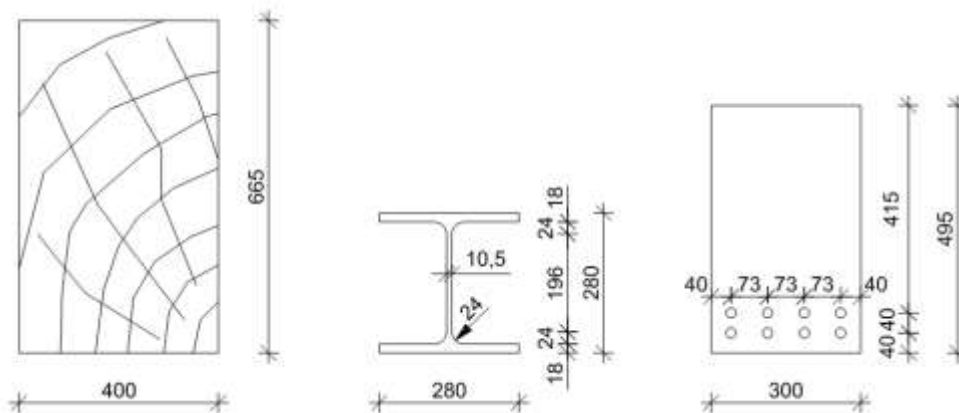
Három különböző anyagú gerenda teherbírás-számítását végezték el szerzőink 180 percig tartó tűz hatására. A gerendák nyomatéki teherbírását a könnyebb összehasonlíthatóság érdekében közel azonosra vették. Az anyagok nyomatéki teherbírás-számításhoz közvetlenül kapcsolódó tulajdonságainak változását tűz hatására elemzik. Egy óra tűzterhelést feltételezve, lehűlés után megvizsgálják a gerendák szénszálas lamellával való megerősítésének lehetőségét. Mivel a szénszálas lamellák nem elégítik ki a tűzvédelmi követelményeket, kiegészítő tűzvédelemre is javaslatot tesznek.

1. A gerendák és a tűzgörbe felvétele

A három különböző anyagú gerenda:

- 1) A fa gerenda MSZ EN 338: 2003 1. táblázata szerinti C30-as minőségű téglalap keresztmetszet (*1. ábra*).
- 2) Az acél egy első keresztmetszeti osztályú, S275-ös minőségű HEB 280-as szelvény (*1. ábra*).
- 3) A vasbeton gerenda, pedig alul két sor S500B minőségű betonacéllal rendelkező C30/37-es téglalap keresztmetszet (*1. ábra*).

A három különböző keresztmetszet az azonos nyomatéki teherbírás miatt különböző geometriai méretekkkel rendelkezik, ez látható a *1. ábrán*. Fontos megjegyezni, hogy a fa keresztmetszet méretei igen nagyok. Csak a vizsgálat miatt lettek felvéve, a valóságban nem szokás ilyen méretet alkalmazni tömör fából.



1. ábra: Fa, acél és vasbeton keresztmetszet

A keresztmetszetek nyomatéki ellenállásait az MSZ EN 1995-1-1 (faszerkezetekre vonatkozó), az MSZ EN 1993-1-1 (acélszerkezetekre vonatkozó) és az MSZ EN 1992-1-1 (vasbetonszerkezetekre vonatkozó) szabványok alapján határozzuk meg.

Ezek szerint a három keresztmetszet nyomatéki ellenállása a következő:

1) Fa keresztmetszet: 367,4 kNm

$$M_{Rd,fa} = \frac{f_{m,k} \frac{b \cdot h^2}{6}}{\gamma_m} \cdot k_{mod} = 367,4 \text{ kNm}$$

2) Acél keresztmetszet: 366,1 kNm

$$M_{Rd,acél} = \frac{f_{yk} \cdot W_{pl,HEB280}}{\gamma_s} = 366,9 \text{ kNm}$$

3) Vasbeton keresztmetszet: 367,1 kNm

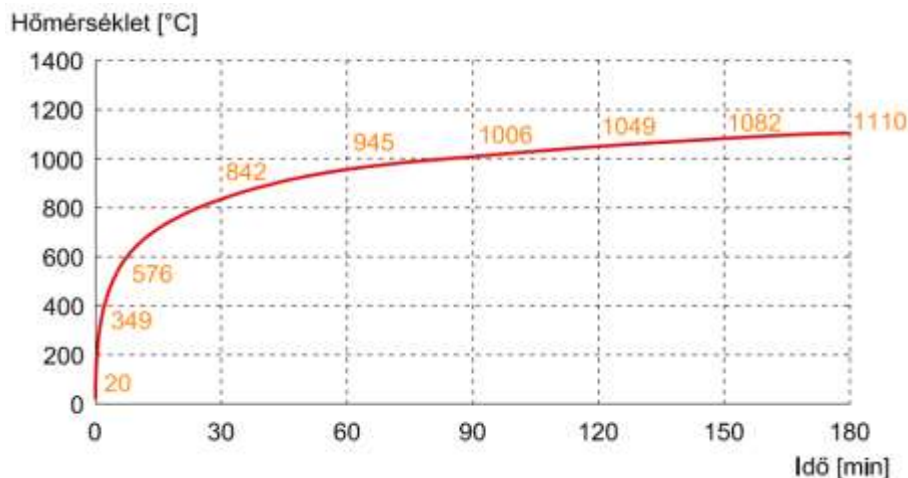
$$x_c = \frac{A_s \cdot f_{yk} / \gamma_s}{b \cdot \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c}; \quad M_{Rd,vb} = b \cdot x_c \cdot \alpha \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot \left(d - \frac{x_c}{2}\right) = 367,1 \text{ kNm}$$

Az így kapott teherbírási értékeket tekintjük etalonnak és a következőkben ezekhez fogunk viszonyítani. Ezek a nyomatéki ellenállásértékek szobahőmérsékleten érvényesek, viszont mi az emelkedő hőmérséklet hatására bekövetkező változásokat szeretnénk vizsgálni. Ehhez fel kell venni a hőmérséklet-idő görbét, hogy a keresztmetszetek időben történő hőmérsékletváltozásait követni tudjuk.

A hőmérsékletet a szabványos hőmérséklet-idő görbe alapján vesszük föl (2. ábra, később ISO-834-es görbe), amelyet számos szabványban rögzítettek, pl. ISO 834, BS 476: part 20, DIN 4102, AS 1530 (www.promat.hu). A hőmérséklet alakulását az idő függvényében a szabványos hőmérséklet-idő görbe (ISO-834) esetén a következő egyenlet írja le:

$$T = 20 + 345 \cdot \log(8 \cdot t + 1)$$

A szabványos hőmérséklet-idő görbe a 2. ábrán látható.



2. ábra: Az ISO-834-es görbe, a hőmérséklet az idő függvényében (www.promat.hu)

2. Teherbírás-számítás magas hőmérsékleten

2.1. A fa viselkedése és számítása magas hőmérsékleten

A tűzhatásnak kitett faszerkezetek viszonylag gyorsan meggyulladnak, majd égésük során a tűznek kitett felületen elszenesedett réteg keletkezik, melynek vastagsága megközelítőleg állandó ütemben növekszik. Az elszenesedett réteg, mely gyakorlatilag nem rendelkezik szilárdsággal, a teherbíró képesség fokozatos csökkenését okozza. Annak ellenére, hogy a fa éghető anyag, igen jól viselkedik a tűzzel szemben. A közel lineáris beégési sebesség hatására a fa szerkezetek tűzben való teherbírása könnyen meghatározható. A tűzállósági méretezéshez a fa fajtájától függő beégési sebesség (β) ismerete szükséges, amely a fa tartószerkezetek tűzállósági vizsgálata során a keresztmetszeti méretek időegység alatt bekövetkező csökkenését jelenti.

$$d_{char} = \beta \cdot t$$

ahol β – az elszenesedési sebesség [mm/min]
 t – a tűzhatás ideje [min]

Az elszenesedési sebesség függ még a tűzhatásnak kitett oldalak számától és a fa anyagától is. Az MSZ EN 1995-1-2:2005 szabványban leírtak alapján számolunk.

Esetünkben a keresztmetszet alsó, jobb és bal oldalán fog az elszenesedett réteg kialakulni, amelyet nem fogunk figyelembe venni. Ennek a rétegnek a vastagsága időben lineárisan növekszik, így ezzel párhuzamosan csökken a teherbírás, tehát tűz esetén a beégés mértéke nem függ a hőmérséklet nagyságától.

Az 1. fejezetben leírt képlet az előzőek alapján a következőféleképpen módosul:

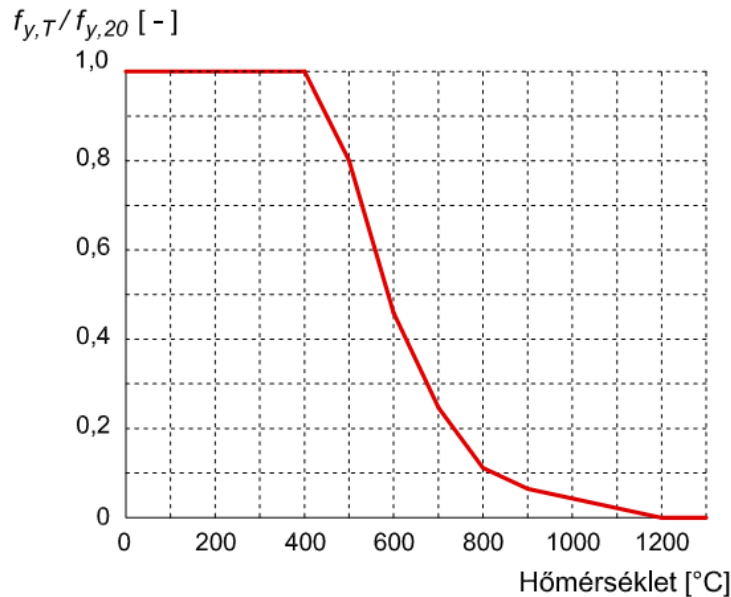
$$M_{fi,m,Rd} = \frac{f_{m,k} \frac{(b - 2\beta t)(h - \beta t)^2}{6}}{\gamma_m} \cdot k_{mod}$$

A nyomatéki teherbírás csökkenése a hőmérséklet függvényében a 7. ábrán látható.

2.2 Az acél viselkedése és számítása magas hőmérsékleten

Az acél anyagú keresztmetszet jó hővezető képességénél fogva szinte minden pontjában eléri a magas hőmérsékletet. A legszembetűnőbb változás az, hogy az acél szilárdsági és merevségi jellemzői folyamatosan csökkennek. Ugyanazon feszültséghez magasabb hőmérsékleten nagyobb alakváltozások tartoznak. A melegen hengerelt és a hidegen alakított acélok között különbséget kell tenni, mert viselkedésük eltérő a tűz hatására.

A 3. ábrán látható a melegen hengerelt acél szilárdsági csökkenése látható.



3. ábra: A melegen hengerelt acélok csökkentő tényezői a hőmérséklet függvényében (MSZ EN 1992-1-2:2004)

A tűz hatására t idő elteltével θ_a hőmérsékletűre felmelegedett acélszerkezeti elemek folyási feszültségét a normál hőmérsékleten mért értékekből határozza meg a szabvány oly módon, hogy az alapanyag folyáshatárát a $k_{y,\theta}$ tényezővel csökkenti, és a tűzhez tartozó parciális (biztonsági) tényezőket alkalmazza a normál hőmérséklethez tartozó tényezők helyett. A $k_{y,\theta}$ tényező értékei az MSZ EN 1993-1-2 szabványban találhatóak meg. A tűzhatás esetén használható parciális tényező az acél anyagra vonatkozóan az EC3-1-2 szerint $\gamma_{M,fi} = 1,0$.

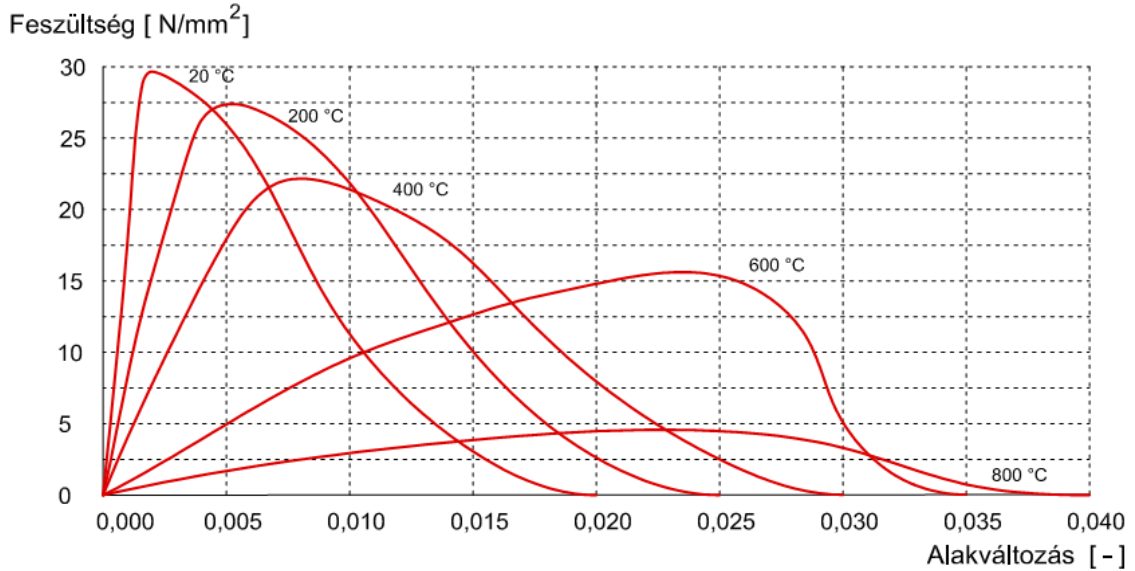
Hajlított gerendán az MSZ EN 1993-1-2 az alábbi közelítést engedi meg:

$$M_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta} \cdot \frac{W \left(\frac{f_y}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \right)}{\gamma_{M,fi}}$$

A κ_1 és κ_2 a 3 oldalról tűznek kitett védelem nélküli gerendák esetén 0,7 és 1,0. Az ISO-834-es görbéről bizonyos időközönként leolvassuk a hőmérsékleti értékeket, majd a $k_{y,\theta}$ csökkentő tényezőt ez alapján interpoláljuk. Mivel az acél különösen jó hővezető képességgel rendelkezik, ezért a hőmérséklet-eloszlást az egész keresztmetszeten állandónak lehet feltételezni. Ez alapján az idő függvényében az acél teherbírás-csökkenése is meghatározható (4.1 ábra).

2.3 A beton viselkedése és számítása magas hőmérsékleten

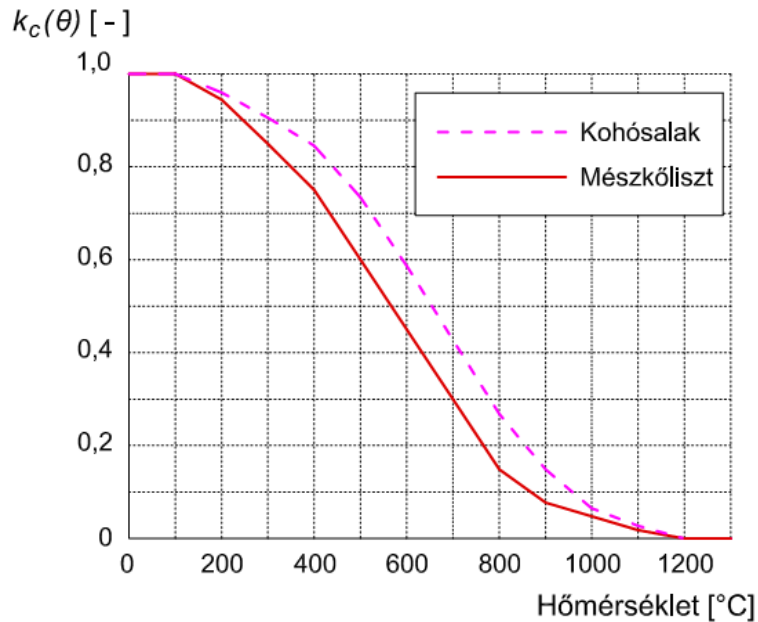
A beton tulajdonságai tűz hatására romlanak. Ennek két fő oka van. Az egyik az, hogy a beton anyagszerkezete magas hőmérsékleten átalakul, a másik a beton felülete rétegesen leválik. A beton legfontosabb jellemzője, a nyomószilárdsága 400 °C körül elkezdi jelentősen csökkenni. A 4. ábra azt mutatja, hogy már 400 °C fok körül 25%-al csökken a beton szilárdsága, a hőmérséklet további 200 °C-kal való növelésével a beton már több mint 55%-ot veszít szilárdságából.



4. ábra: A beton feszültség-alakváltozás diagramjának változása hőmérséklet hatására (fib Bulletin 46, 2008)

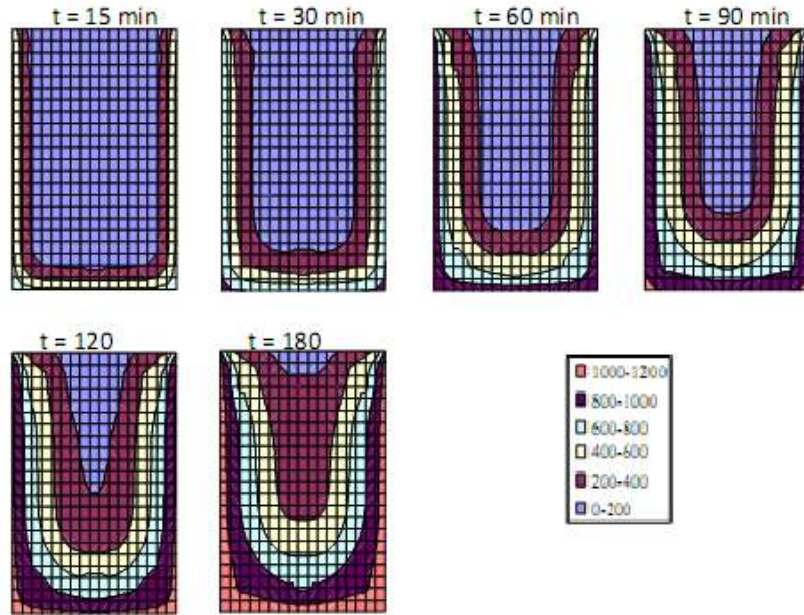
A másik alapvető információ, amit az ábráról le tudunk olvasni, hogy az alakváltozások a hőmérséklet növekedésével nőnek. A tönkremenetelhez tartozó alakváltozás 200 °C-onként 0,5%-al nő. A beton nyomó- és húzószilárdságának változását tűz hatására sok kísérletben vizsgálták. Általánosságban a szilárdsági értékeket úgy kapjuk meg, hogy egy relatív szilárdság-hőmérséklet grafikonról leolvasott tényezővel szorozzuk a beton normál hőmérsékleten mért szilárdságát. A görbét kísérletekből határozták meg. Az MSZ EN 1992-1-2:2004 csökkentő tényező is ezen diagramok alapján lett megállapítva. A 3.3 ábrán a beton nyomószilárdságának alakulását lehet nyomon követni a hőmérséklet változásának hatására kohósalak, illetve mészkőtartalmú adalékanyag használata mellett. A nyomószilárdságot a következő képlettel számítjuk ki:

$$f_{ck}(\theta) = k_c(\theta) \cdot f_{ck}(20\text{ °C})$$



5. ábra: A beton nyomószilárdságának változása hőmérséklet hatására (MSZ EN 1992-1-2:2004)
A 5. ábrán is látszik, hogy 400 °C-on elkezdődik a beton nagymértékű szilárdság-csökkenése. Majd további 600 °C-on át egyenletesen csökken, miután gyakorlatilag teljesen elveszíti teherbírását.

Mivel a beton kevésbé jó hővezető képességű, mint az acél, emiatt nem szabad konstans hőmérséklet-eloszlást feltételezni. A hőmérséklet a beton külső felülete felől a belső felület felé haladva fokozatosan csökken. Az acélbetétek a körülöttük levő hőmérsékletet szinte azonnal elérik. A számítás folyamatának bemutatásához a 60 perces nyomatéki ellenállás meghatározását vesszük példának. A hőmérséklet-eloszlást egy ugyanilyen paraméterekkel rendelkező vasbeton gerendán végzett kísérletből tudjuk meghatározni (Zandi, Burnaz, Durmuş, 2012). A gerenda ugyancsak 3 oldalról volt hőhatásnak kitéve. A gerenda hőmérséklet-eloszlási ábrája az idő függvényében a 6. ábrán látható. Megemlítendő még az, hogy a vasbeton szerkezetek tűzterherre való méretezése esetén kulcsfontosságú a betonacélok helye, vagyis az acélbetétek minél közelebb helyezkednek el a szabad felületekhez, annál gyorsabban fog bekövetkezni a keresztmetszet tönkremenetele a betétek gyors felmelegedésének következtében.



6. ábra: A vasbeton keresztmetszet hőmérséklet-eloszlásának alakulása (Zandi, Burnaz, Durmuş, 2012)

Számítás zóna módszerrel

A számítás során a zóna módszert fogjuk alkalmazni. Elsőként a nyomott betonzóna magassága kerül meghatározásra, amely a szilárdsági jellemzőktől, illetve azok felületeitől függ. A szilárdságot lehet korrigálni a hőmérséklet függvényében tehát a hasznos magasság ebben az esetben a következőféleképpen alakul:

$$x_{c,60} = \frac{2A_{\phi,20} \cdot f_{yd,800} + 4A_{\phi,20} \cdot f_{yd,600} + 2A_{\phi,20} \cdot f_{yd,400}}{9x \cdot f_{cd,200} + 4x \cdot f_{cd,400} + 2x \cdot f_{cd,600} + x \cdot f_{cd,800} + x \cdot f_{cd,1000}} = 123 \text{ mm}$$

A nyomatéki teherbírás meghatározásakor ugyancsak a beton és az acél megváltozott tulajdonságaival számítjuk ki. Meghatározzuk a nyomatéki ellenállást, feltételezve, hogy a betétek képlékeny állapotban vannak:

$$M_{c,Rd,60} = (9x \cdot f_{cd,200} + 4x \cdot f_{cd,400} + 2x \cdot f_{cd,600} + x \cdot f_{cd,800} + x \cdot f_{cd,1000})x_{c,60} \left(d - \frac{x_{c,60}}{2} \right)$$

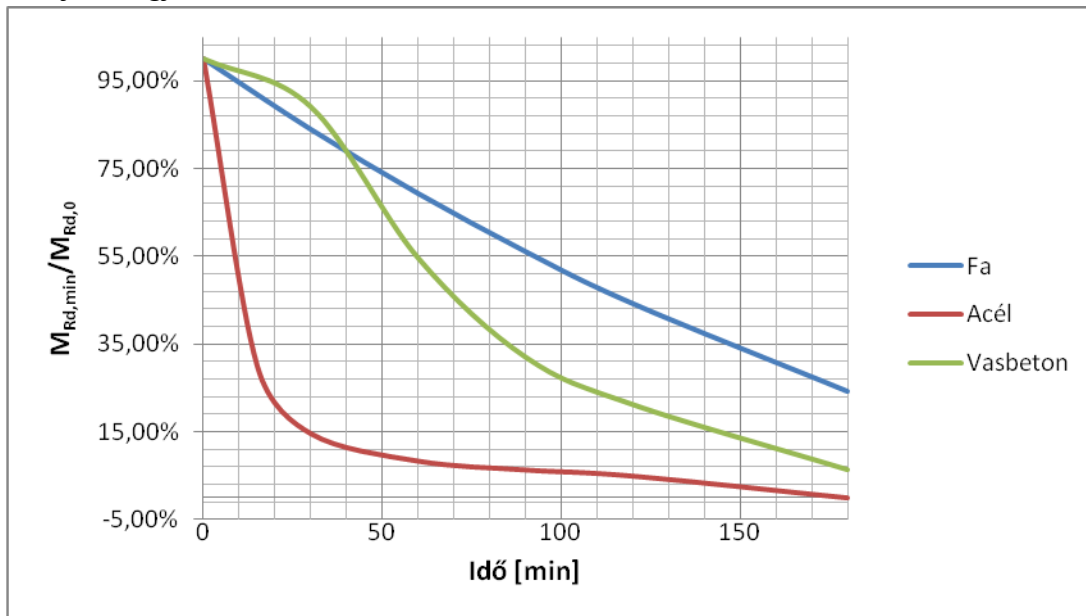
$$M_{c,60,Rd} = 200,7 \text{ kNm}$$

Ezt a számítást minden egyes időponthoz tartozó keresztmetszettel el kellett végezni. Így alakul ki a végső görbe (7. ábra).

3. Eredmények összevetése

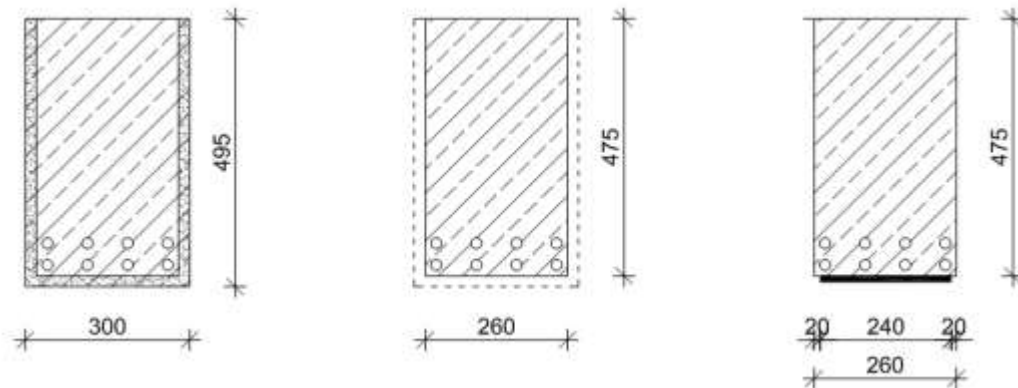
A három különböző anyagú gerenda nyomatéki ellenállás értékei láthatóak a kezdeti ellenálláshoz viszonyítva a 7. ábrán. A fa keresztmetszete időben folyamatosan csökkent. Ennek köszönhető a fa gerenda teherbírásának fokozatos csökkenése tapasztalható. A vizsgálat

alátámasztja azt az állítást is, hogy a fa jól viselkedik tűzzel szemben. A számítás szerint is a fa gerenda teljesít legjobban.



7. ábra: Fa, acél és vasbeton gerendák teherbírásai az idő függvényében tűz hatására

Az acél keresztmetszet tűzzel szemben igen érzékeny, ez szintén látható a görbén. Körülbelül 15 perc után a gerenda elveszti ellenállásának nagy részét. Ez az anyag teljesít legrosszabbul a számítás szerint is. A vasbeton keresztmetszet kezdetben jól teljesít, de 30 perc és 60 perc között jelentősen veszít teherbírásából, majd ezek után még tovább csökken. El lehet mondani, hogy a vasbeton általában jobban teljesít, mint az acél, de rosszabbul, mint a fa.



A vizsgálat folyamán különböző anyagú gerendák viselkedésével foglalkoztunk tűzterhelés alatt. A fa, acél és vasbeton keresztmetszetek anyagjellemzőit és nyomatéki teherbírásukat a tűz esetén alkalmazandó összefüggések szerint módosítottuk, így megkaptuk a három anyag jellemző viselkedését tűzterhelés alatt. A fa igen jól viselkedik tűzterhelés alatt, ellenben az acéllal, ami tűzvédelem nélkül fél órát bír.

Hivatkozások

1 – 18-ig jelölve, amelyet a szénszálas lamellákkal történő megerősítéssel elvégzett vizsgálattal kiegészülő teljes tanulmányban a Védelem Online-on közlünk.

Szabó Ferenc PhD hallgató, dr. Majorosné dr. Lublós Éva egyetemi adjunktus
BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék, Budapest