

DR. BALOGH IMRE EMLÉKPÁLYÁZAT

Függőleges tűzterjedés vizsgálata homlokzatról tetőszerkezetre

Jelige: Ereszek tűzvédelme

Budapest, 2021

## TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés.....	1
1.1. Célkitűzések .....	1
1.2. Áttekintés.....	2
1.2.1. Elvek és módszerek.....	2
1.2.1.1. Numerikus CFD szimuláció FDS szoftverrel .....	2
1.2.2. Alapfeltevések .....	3
2. Szakirodalmi és jogszabályi áttekintés.....	6
2.1. Magyar jogszabályi háttér.....	6
2.2. Magyar és nemzetközi szakirodalom.....	13
3. Valós tűzesetek .....	18
4. Numerikus CFD szimuláció FDS szoftverrel.....	18
4.1. Kutatási mátrix meghatározása.....	18
4.2. Ereszkialakítást érő hőmérsékletkitét vizsgálata.....	20
4.3. Ereszkialakítás függőleges homlokzati tűzterjedést befolyásoló hatásának vizsgálata.....	23
5. Összefoglalás/Eredmények értékelése .....	24
5.1. Eredmények .....	24
5.2. Következtetések, javaslatok .....	27
6. Felhasznált források.....	29
Képmelléletek .....	31

\* \* \*

# 1. BEVEZETÉS

## 1.1. Célkitűzések

A homlokzati tűzterjedés jelensége napról napra világszerte egyre nagyobb figyelmet kap a tűzvédelmi tervezés és kutatás területén. Amikor homlokzati tűzterjedésről beszélünk, a legtöbbszörnek egy lángoló magasház jelenik meg a szemünk előtt. Ennek elsődleges oka főleg az elmúlt évtized nagy sajtóvilágosságot kapó, „látványos” tűzesetei, pl. a 2009-es pekingi TV-torony, a 2010-es sanghaji 28 emeletes lakóépület tüze, vagy a 2017 júniusában leégett londoni Grenfell Torony tűzesete.

A homlokzati tűzterjedés jelenségének vizsgálatával széleskörű nemzetközi szakirodalom foglalkozik, ám ezek leginkább elemző jellegűek. A cikkek sokkal inkább az egyes nemzeti előírások, jogszabályok, műszaki irányelvek vagy nemzeti-nemzetközi szabványok értelmezésével és illusztrálásával foglalkoznak, semmint tényleges fejlesztő célú kutatásokkal. Kevés továbbá a valós léptékű tűzteszt, amiken keresztül kutatási alapadatok lennének gyűjthetőek a tűzterjedés eme formájáról.

Magastetős épületek esetén a tűzterjedés azonban nem áll meg a legfelső szintnél. Valós probléma a homlokzatról az ereszre, majd onnan a tetőszerkezetre történő tűzterjedés. Ennek a tűzterjedési formának a szakirodalma nagyon hiányos, habár számtalan valós tűzeset támasztja alá a probléma realitását. Dolgozatomban ezzel a kérdéskörrel foglalkozom.

Dolgozatom megalapozó munkarészében elemzem a magyar és nemzetközi jogszabályi háttérrel, és betekintést nyújtok a témával foglalkozó nemzetközi szakirodalomba.

Munkám fő célja egy numerikus CFD szimulációs vizsgálatok bemutatása, amely során különböző geometriai és épületszerkezeti kialakítású ereszcsonópontok homlokzatról tetőszerkezetre történő tűzterjedést befolyásoló tényezőit vizsgáltam.

Alapvető célom a vizsgálatokkal olyan következtetések levonása, amelyeket később jogszabály-előkészítő dokumentumok, valamint műszaki irányelvek alapadataiként lehet hasznosítani.

## 1.2. Áttekintés

### 1.2.1. ELVEK ÉS MÓDSZEREK

#### 1.2.1.1. Numerikus CFD szimuláció FDS szoftverrel

Munkám tárgyi részében hő- és füstterjedési szimulációs vizsgálatokat végzek a különböző geometriájú ereszcsonópontok tűzeseti viselkedésének elemzésére.

A szimulációkat a NIST (National Institute of Standards and Technology) által fejlesztett FDS (Fire Dynamics Simulator) szoftverrel készítettem, melynek grafikus felületét a Thunderhead Engineering Ltd. Pyrosim nevű szoftverét használtam.

Az alkalmazott modell egy, az MSZ 14800-6:2009 szabványnak megfelelő homlokzati tűzterjedési vizsgálat szerint végzett valós léptékű tűzteszt adatai alapján validált modell volt [Dr. Takács Lajos Gábor, et al.

2015]. A validálás alapja a hőmérsékletkitétek megfelelő közelítése volt, amelyhez az alapot egy valós léptékű tűzteszt mérési eredményei szolgáltatták. Ezt a sík homlokzatos vizsgálatra alkalmas modellt fejlesztettem tovább a homlokzat síkjából kilógó ereszgeometria vizsgálatára alkalmas modellé (1.1-5. ábrák)

A vizsgálatok során hőmérsékletmérő termoelemeket (THCP) alkalmaztam a szerkezeteket érő hőmérsékletkitétek meghatározására.

A THCP működési alapelve megegyezik a valódi termoelemekkel: a környezetében található gáz hőmérsékletét méri, minimális eltéréssel. A minimális eltérés oka a műszer saját hőtehetetlensége. A műszer matematikai működési modellje az alábbi [McRattan et al, 2019]

$$\rho_{TC} c_{TC} \frac{dT_{TC}}{dt} = \varepsilon_{TC} (U/4 - \sigma T_{TC}^4) + h(T_g - T_{TC}) = 0$$

Az egyenlet egyes tagjai az alábbiak:

- $\varepsilon_{TC}$  – a termoelem emissziós tényezője
- $U$  – integrált sugárzási intenzitás
- $T_g$  – a cellán belüli valós gázhőmérséklet
- $h$  – a termoelem anyagának hővezetési tényezője

Az egyenlet alapján látható, hogy a THCP nem csupán a hővezetéssel, hanem a hősugárzással érkező hőmennyiség mérésére is alkalmas.

### 1.2.2. ALAPFELTEVÉSEK

Az MSZ 14800-6:2009 szabvány nyílásos épülethomlokzatokon létesített, légréssel vagy anélkül szerelt burkolatok, bevonatok, valamint vakolt hő-

szigetelő rendszerek homlokzati tűzterjedési határérték ( $T_h$ ) teljesítményének meghatározására való. 2009-es változatában nem volt alkalmas a speciális geometriai kialakítások, pl. az egymással  $120^\circ$ -nál kisebb szöget bezáró, eltérő tűzszakaszokhoz tartozó homlokzatok közötti tűzterjedés, vagy a sík homlokzat elé nyúló ereszcsonlópontra való tűzterjedés vizsgálatára. A szabvány 2020-as módosításában megjelent a szárnyfal létesítésének lehetősége, a homlokzat síkja elé nyúló vízszintes tagozatok vizsgálatára azonban még mindig alkalmatlan. Ennek áthidalására készítettem validált szimulációs modelleket, amely a vizsgálatok kiterjesztésének alapja.

A szimulációk során két lényeges tényezőt vizsgáltam.

**Az első az ereszcsonlópont környezetében kialakuló gáztéri hőmérséklet volt.** Ezzel tudtam megbecsülni, hogy az ereszt alkotó faanyagú épületszerkezeti elemek meggyulladnak-e a tűzhatás következtében. Ez a módszer a biztonság javára történő közelítés, az elemek felületi hőmérséklete a hőcsillapítás és a hőkélesztés jelensége miatt ugyanis minden esetben alacsonyabb, mint az őket körülvevő gáztéri hőmérséklet. Ellenőrző vizsgálataim szerint a valós felületi hőmérséklet és a THCP elemek által mért gáztéri hőmérséklet közötti különbség csekély, 10%-on belüli (a valós felületi hőmérsékletet egy érzékenységvizsgálat keretében egy külön modellen, adiabatikus mérőfejekkel végeztem)

**A második vizsgálati szempont az egymás fölötti szintek közötti tűzterjedés lehetősége volt.** Abban az esetben, amikor az ereszt nem a tűztér ablaknyílása fölé, hanem egy szinttel följebb, a vizsgálati tér ablaknyílása

főlé helyeztem el, lehetőség nyílt az eresz hatásának vizsgálatára és annak sík homlokzatos kialakítással való összevetésére. Ennek érdekében a szimulációs modellben a felső vizsgálati helyiséget üvegezett nyílászáróval láttam el, amelynek külső és belső oldalán is termoelemeket helyeztem el. Az üvegezés esetében nem állítottunk be üvegtörésre vonatkozó vezérlést, vagyis a modellezés során úgy tekintettük, hogy az üvegezés végig a helyén marad. Ez ismét egy, a vizsgált ereszmenti tűzterjedés szempontjából a biztonság javára történő közelítés, mert figyelembe veszi az üveg hőcsillapítási képességét, amely bár csekély, mégis mérhető különbséget okoz. Irreális eltérést mindazonáltal nem hoz létre a valós szituációval szemben, mivel az üveg infravörös tartományban található reflexiós képessége alacsony, így az ereszcsomópontból hőszigeteléssel visszavert hőt csak kevésbé veri vissza, annak nagy részét átengedi. Az, hogy az üveget megtartottam az emeleti ablaknyílásban, leginkább szimulációtechnikai okokra vezethető vissza. Ilyen módon ugyanis tisztán az eresz által visszavert hőmennyiség hatását tudtam vizsgálni, kizártam a beáramló füst által felületi hőátadással a belső tér szerkezeteire átadott hőt. Ez ismét a biztonság javára közelíti a modellt, mivel a valós tűztesztek tapasztalatai azt mutatják, hogy hasonló szituációban a tűzfészket tartalmazó helyiség feletti helyiség ablaka rendszerint betörik a kilépő láng által okozott hősokktól.

A vizsgálati modellnek vannak azonban korlátai. A korábban már említett cellaháló kialakítás miatt nagyon nehezen vizsgálható az átszellőztetett légréseken keresztül történő tűzterjedés – így az ereszeket keresztül

történő tűzterjedés egyik legjellemzőbb formája, mely az alacsony gyulladási hőmérsékletű alátéthéjazat gyors meggyulladásával és a kürtőhatás miatt a tűz légrétegben való gyors terjedésével történik. Ennek a szempontnak a vizsgálatát szintén a megfelelő helyen elhelyezett THCP hőmérsékletmérő fejek adatainak értékelésével végeztem.

Az általam használt szimulációs szoftver nem alkalmas továbbá a modellezett anyagok fizikai állapotváltozásainak kezelésére – például a faanyagok szenesedésének, a gyantatartalom hatásának, vagy az éghető magú homlokzati hőszigetelő rendszerek magjának égve csepegésének vizsgálatára. Nem vizsgálhatók továbbá az egyes rögzítőelemek (pl. az ereszdeszkázatot rögzítő szegek, vagy a vakolt homlokzati hőszigetelő bevonatrendszer rögzítő dübelek) tényleges tűzeseti viselkedése.

A fent említett modellezéstechnikai hiányosságok elsődlegesen valós léptékű tűztesztekkel lennének vizsgálhatók, amelyek fontos alapját képezik a szimulációs kutatásoknak. Az ott nyert adatok visszaforgathatók lennének a szimulációkba, ezzel pontosíthatnám a szimulációs modellek beállításait.

## 2. SZAKIRODALMI ÉS JOGSZABÁLYI ÁTTEKINTÉS

### 2.1. Magyar jogszabályi háttér

Az éghető magú vakolt homlokzati hőszigetelő rendszerek elterjedésével alapvetően megváltozott a homlokzati tűzterjedés veszélyessége. A magyar jogszabályi környezet és a tűzvédelmi mérnöki gyakorlat kiemelt fi-



gyelmet fordít az épületen kívüli, homlokzaton történő tűzterjedés jelen-ségére. Igazolja ezt a világon egyedülálló, valós léptékű, az MSZ 14800-6:2020 szabvány szerinti tűzteszt vizsgálat, amelyet az hatályos tűzvédelmi jogszabály, az 54/2014 (XII.5.) BM rendelet (továbbiakban: OTSz vagy OTSz 5.1) egyes esetekben kötelezővé tesz, és amellyel az OTSz által megkövetelt homlokzati tűzterjedési határérték teljesítményjellemző vizsgálható. A 2014-ben kiadott, 2015. március 1-el hatályba lépő „új” OTSz alapvető jellegbeli változásokat hozott a tűzvédelmi tervezés folyamatá-ban. Megszűnt több, korábban a tervezés alapjaiul szolgáló fogalom (pl. a tűzállósági fokozat és az épület egészére értelmezett tűzvédelmi osztály) és a teljes tervezési folyamat kockázat alapúvá vált. További alapvető vál-tozás volt, hogy a jogszabályból kiemelésre kerültek a korábban akár szó szerinti átemeléssel bekerült szabványok, valamint a tényleges műszaki megoldások. A szabványok teljesen kiemelésre kerültek – érvényes Euró-pai vagy Magyar szabványok betartása ugyanis jogszabályi szinten köte-lező, így értelmetlen a teljes szabvány külön jogszabályba történő beeme-lése. A műszaki megoldások Tűzvédelmi Műszaki Irányelvekbe (röviden TvMI) kerültek áthelyezésre, melyek alapelve, hogy nem minősülnek jog-szabálynak – betartásuk tehát nem kötelező –, de a bennük foglalt műszaki megoldások alkalmazása garantálja a jogszabályban megfogalmazott kö-vetelményeknek való megfelelést. A megoldások TvMI-kbe történő át-emelése azonban szakaszosan folyik, így támadnak folytonossági hézagok a műszaki tartalomban. Ilyen például az ereszek témaköre is.

A 28/2011. (IX. 6.) BM rendelettel kiadott előző OTSz 341.§ (4) szerint „A tetőszerkezet nyílásos homlokzati sík elé lógó szakaszát (eresz) alsó síkján és homlokvonalán teljes hosszában és szélességében a belső burkolat tűzvédő képességével megegyező, alsó tűzhatás elleni védelemmel kell ellátni. A tűzhatás elleni védelem a 17. melléklet 1. ábráján foglaltak szerint kialakítható.” A hivatkozott ábra a mellékletben megtalálható (2.1. ábra)

Jó hivatkozási alapnak tartom a beépített tetőtér belső burkolatával megegyező tűzvédő burkolat követelmény kiírását az eresz alsó burkolatára, azonban mivel nincs a homlokzati tűzterjedés elleni gátakhoz hasonló követelmény a beépített tetőtér alatti építményszint homlokzati nyílászárói és az eresz közötti függőleges távolságra, így a légrésekkel megszakított burkolat-kialakítás nem megfelelő. Az ábrázolt geometria ráadásul a légrések felé tereli a csóvát, ami elősegíti a légrésen keresztül a tetőszerkezet belsejébe történő tűzterjedést, továbbá kettős átszellőztetésű tetőrétegrendet ábrázol, amely a páraáteresztő alátéthéjazatok széleskörű elterjedésével elavult, meghaladott műszaki megoldásnak számít.

Az OTSz 5.0-ból az épülethomlokzat elé lógó ereszekkel kapcsolatos mindenfajta követelmény kikerült. Egyedül a Tűzterjedés elleni védelem c. TvMI 1.4:2020.07.20. F melléklete tartalmaz ereszekkel kapcsolatos megoldást – az pedig a homlokzaton csatlakozó függőleges tűzszakaszhatár miatt kialakítandó vízszintes homlokzati tűzterjedés elleni gát ereszek esetén alkalmazható elvi megoldásait mutatja be. (2.2. ábra)

Az OTSz 2020 januárjában hatályossá vált módosítása (OTSZ 5.1.) sem hozott a témával kapcsolatos kiegészítést.

A 2.3.-2.4. ábrákban összefoglalom az OTSz ereszekkel kapcsolatos szerkezetekre előírt követelményeit.

A 2.3. ábra egy általam zártnak nevezett alsó ereszkialakítást mutat be beépített tetőtér esetén – tulajdonképpen a fenti, 2011-es BM rendelet szerinti ereszkialakítás aktuális épületszerkezeti szempontok szerint korszerűnek és megfelelőnek tartott, továbbfejlesztett változata. A rajzon jelöltem az egyes szerkezeti elemekre vonatkozó tűzvédelmi teljesítményjellemző-előírásokat:

- Homlokzati teherhordó fal: tűzvédelmi osztály, tűzállósági határérték (REI)
- Tetőfödém teherhordó szerkezete (fedélszék): tűzvédelmi osztály
- Tetőfödém térelhatároló szerkezete (beépített tetőtér és tetőszerkezet közötti burkolati rétegrend): tűzvédelmi osztály, tűzállósági határérték (REI)
- Homlokzati burkolat, bevonat vagy vakolt hőszigetelő bevonatrendszer: tűzvédelmi osztály, homlokzati tűzterjedési határérték
- Tetőfödém hőszigetelése: tűzvédelmi osztály
- Tetőfedés: tűzvédelmi osztály, vagy röptűzterjedés (B<sub>roof</sub>)

A hatályos jogszabály szerint az alábbi szerkezetekkel kapcsolatosan nincs követelmény (a jogszabály szerinti általános, minimum E tűzvédelmi osztályt megkövetelő előíráson kívül):

- Eresz burkolata
- Tetőszerkezet alátéthéjazata
- Tetőfedés aljzata

- Lég- és párazáró réteg
- Egyéb tetőszerkezeti kiegészítő szerkezetek (pl. ereszeszka)
- Homlokzati nyílászáró (csak pozíciója meghatározott az homlokzati tűzterjedési határérték vizsgálat jegyzőkönyvében rögzítettek szerint)

Nincsen továbbá homlokzati tűzterjedési gát követelmény a beépített tetőtér és az alatti lévő szint között, kivéve, ha a) a két szint közötti födém tűzszakasz határt alkot, vagy b) a homlokzatburkolati vagy bevonatrendszer nem rendelkezik a jogszabály által a szintszám alapján előírt homlokzati tűzterjedés elleni határérték minősítéssel.

Kiemelten fontosnak tartom a fentiek alapján, hogy a tetőfödém teherhordó szerkezetére nem vonatkozik tűzállósági határérték kritérium! Mivel a beépített tetőterek belső burkolataként alkalmazható, megfelelő tűzállósági határértékkel rendelkező szerkezetek teljesítik a tűzeseti R kritériumot is, így a burkolatot tartó fedélszerkezetre ez a követelmény már nem vonatkozik. Az Építményszerkezetek tűzvédelmi jellemzői c. TvMI (11.2:2020.01.22.) 3.1.5. pontja („Adott építményszerkezet OTSZ 14.§ szerinti tűzvédelmi osztálya arra a szerkezeti kialakításra (rétegrendre) vonatkozik, amelyre a tűzállósági határérték”) alapján a fedélszerkezetre tűzvédelmi osztály követelmény vonatkozik.

Egy másik alapvető tűzvédelmi probléma, hogy a beépített tetőtereket a tetőszerkezettől határoló burkolatok minősítése egyoldali (belső) tűzha-

tásra történik. Nincsenek tehát arra felkészítve, hogy egy külső, a tetőszerkezet felől érkező tűz esetén a huzamos emberi tartózkodásra szolgáló belső teret megvédjék.

További kritikus pontok a belső burkolat részletképzései. Amennyiben nem készül az általam vázolt megoldás szerinti kettős belső burkolat – egy felületfolytonos tűzvédelmi réteg és alatta egy esztétikai burkolat, mely mögött a villamos és esetleges gépészeti szerelvényezés végezhető –, akkor az összes, az egyszeres burkolaton kialakított áttörést megfelelő tűzterjedést gátló lezárással kell ellátni. Ezeknek kialakítása szereléstechnikailag rendkívül körülményes, ezért a tapasztalatok alapján vagy elhagyásra kerülnek, vagy nem megfelelő felületfolytonossággal kerülnek kialakításra.

Mindazonáltal, amennyiben a tűz betérjed a jellemzően éghető anyagú tetőszerkezet légréseibe, még ha a belső tereket nem is éri el, az alátét héjazat és a tetőfedés komoly, kiterjedt károsodását okozhatja, aminek helyreállítása és javítása nagyon költséges lehet. Úgy gondolom, megéri tehát inkább a megfelelő, teljeskörű passzív tűzvédelmi megoldás kialakítása, mintsem tűz esetén a részleges kárra való törekvés.

A 3.4. ábrán egy beépítetlen padlástér példáján mutatom be a fentieket. Az ereszalját itt az általam nyitottnak nevezett módon ábrázolom, ahol az alsó esztétikai takarás az eresz síkjával párhuzamos. Nagy különbség a fenti esettel szemben, hogy itt a legfelső használati építémenyszint feletti zárófödém lesz jogszabályi értelemben a tetőfödém. A fedélszerkezettel

kapcsolatosan a jogszabály szerint változatlanul csak tűzvédelmi osztály előírás van, tűzállósági határérték nincs!

Itt az alábbi szerkezeti elemekkel kapcsolatosan van tűzvédelmi előírás:

- Homlokzati teherhordó fal: tűzvédelmi osztály, tűzállósági határérték (REI)
- Tetőfödém teherhordó és térelhatároló szerkezete (zárófödém): tűzvédelmi osztály, tűzállósági határérték (REI)
- Fedélszék: tűzvédelmi osztály
- Homlokzati burkolat, bevonat vagy vakolt hőszigetelő bevonatrendszer: tűzvédelmi osztály, homlokzati tűzterjedési határérték
- Tetőfödém hőszigetelése: tűzvédelmi osztály
- Tetőfedés: tűzvédelmi osztály, vagy röptűzterjedés ( $B_{\text{roof}}$ )

Mivel a beépítetlen fedélszerkezettel szemben csak tűzvédelmi osztály követelmény van (ami NAK-AK mértékadó kockázati osztály esetén D, vagyis égéskésleltetés nélküli fűrésztelt faáru is lehet, de még MK mértékadó kockázati osztály esetén is csak C!), tűzállóságra a jogszabály szerint nem méretezendő.

Az OTSz AK mértékadó kockázati osztályú, legfeljebb 3 építményszintes épület esetén D REI 15 követelményt ír elő a tetőfödém tartószerkezetére és 80 kg/m<sup>2</sup> felülettömeg feletti térelhatároló szerkezetére, valamint D REI 15 a követelmény a 80 kg/m<sup>2</sup> felülettömeg alatti térelhatároló szerkezetre. Ez alapján ilyen épületeknél létesíthető akár fa szerkezetű zárófödém, mely külön méretezés nélkül nem biztos, hogy képes ellenállni egy összedőlő fedélszerkezet dinamikus terheinek. Analógiaként az OTSz 16.§

(6) paragrafusát idézném: „Az egyes építményszerkezetekre vonatkozó követelményeket az építményszerkezetek építményen belül betöltött statikai szerepének, a teherátadás rendjének figyelembevételével kell meghatározni. Egy építményszerkezet alátámasztására, gyámolítására, függesztésére, merevítésére nem alkalmazható az adott szerkezet tűzállósági követelményénél kisebb tűzállóságú szerkezet.” A fenti előírások azonban nem mennek szemben az idézett paragrafus előírásával, az egyes szerkezetek omlásával kapcsolatosan pedig nincs jogszabályi előírás. A 3.4. ábrán az építési gyakorlat szerint leggyakrabban kialakított vasbeton záródófedémet ábrázoltam – ez a szerkezet jó eséllyel képes ellenállni az összedőlő fedélszerkezet dinamikus terhének, ám ezt is célszerű lenne számítással alátámasztani.

Fentieket olyan joghézagnak tartom, amelyet a jogszabály módosításával, vagy irányelben rögzített, tűzvédelmi szempontból megfelelő megoldásokkal kellene kezelni. Összességében úgy gondolom, hogy az ereszek tűzvédelmi kialakításának több figyelmet kellene szentelni, mivel nem megfelelő kialakításuk a passzív védelem ráfordításának sokszorosát kitevő anyagi károk közvetett okozója lehet.

## *2.2. Magyar és nemzetközi szakirodalom*

A homlokzati tűzterjedés valós, a nemzetközi szaktársadalmat foglalkoztató téma. A fellelhető szakirodalom jelentős része azonban magasházakkal, illetve sík homlokzaton történő tűzterjedéssel foglalkozik. Dolgozatommal céloom annak bemutatása, hogy az általános szituáció mellett fontos a részletek, speciális esetek (pl. falsarkok vagy eresz) vizsgálata is.

Az témáról az FKI kiadványában [Érces Gergő et al, 2014] részletes tanulmány jelent meg. A tanulmány foglalkozik a tűzkeletkezés helyével és okaival is (valós tűzesetre példa: 2.5. ábra)

Vágó Bálint cikkében [2015] éghető magú homlokzati hőszigetelő rendszerek kivitelezésének ellenőrzésével foglalkozik tűzvédelmi szempontból. Külön kiemeli az ereszcsumópontokat, mint potenciálisan gyenge helyeket.

Nemzetközi szakirodalom a témában alapvetően azokból az országokból-régiókból lelhető fel, ahol nagy múltja van a faszerkezetű építésnek. Alábbiakban három, a világ különböző tájairól származó példát mutatok be.

Az USA területén – főleg a déli államokban, pl. Kaliforniában vagy Arizonában – nagyon gyakoriak az erdőtüzek. Emellett az Államok területén hosszú időre visszanyúló hagyományai vannak a könnyűszerkezetes házak építésének – a városokon kívüli lakásállomány jelentős része ilyen szerkezetű (sőt, még a városok külső kerületeiben, a szuburbiákban is ez a jellemző szerkezeti rendszer). A FEMA (Federal Emergency Management Agency - Szövetségi Vészhelyzetkezelő Ügynökség) egy komplett műszaki irányelv sorozatot [2008] adott ki annak érdekében, hogy felhívja az építkezők figyelmét a könnyűszerkezetes házakkal kapcsolatos fő tervezési kérdésekre, és azokra műszakilag megfelelő válaszokat adjon. Az irányelv sorozat 6-os lapja önálló fejezetben tárgyalja az ereszcsumópontok tűzvédelmi szempontjait (2.6.-2.7. ábrák)



A FEMA irányelven túl Kalifornia Állam önálló valós léptékű tűzteszt vizsgálati szabvánnyal is rendelkezik homlokzatok külső tűzhatással szembeni ellenállásának vizsgálatára. [Materials, 2009] (2.8. ábra)

2015. január 1-én új tűzvédelmi törvény lépett életbe Svájcban. Az új törvény tette először lehetővé a középmagas épületeken az éghető magú hőszigetelő homlokzati rendszerek alkalmazását. Walter Schlöpfer cikkében [2015] az éghető magú homlokzati hőszigetelések tervezésének és kivitelezésének tűzvédelmi vonatkozásaival foglalkozik. A cikk írója szerint a svájci szabályozás a homlokzat szerves részének tekinti az attikát, vagy az ereszkialakítást.

A cikk végén a szerző különböző elvi megoldásokat kínál az ereszcsatlakozások jogszabályt kielégítő megoldásaira (2.9. ábra).

Esko Mikkola cikkében [2013] 3-8 emeletes favázás lakó- és irodaépületek faszerkezetű homlokzatainak, erkélyeinek és ereszkialakításainak tűzvédelmi előírásait vizsgálja több európai ország példáin keresztül. A cikk írója kérdőívet küldött körbe a tárgyalni kívánt országokba, ezen keresztül gyűjtött adatokat ottani tűzvédelmi tervezőktől a helyi szabályozásokról. A vizsgált országok: Ausztria, Svájc, Németország, Finnország, Franciaország, Norvégia, Svédország, Egyesült Királyság és Kanada.

Speciálisan az ereszkialakításokra egyik országban sem írnak elő követelményt. A cikk írója javasolja, hogy az ereszmenti beszellőztetés nyílásainak mennyiségét minimalizáljuk a légmozgás létrejöttéhez szükséges mennyiségre, valamint a fennmaradó nyílásokat lássuk el kifejezetten erre a célra fejlesztett tűzgátló záróelemekkel.

A cikk hivatkozik egy másik tanulmányra [Jukka Hietaniemi et. al, 2003], mely épületek légréseiben történő tűzterjedés vizsgálatával foglalkozik. A tanulmány írói valós léptékű tűztesztekkel végeztek átszellőztetett homlokzatok, tetőszerkezetek, illetve álmennyezetek és álpadlók tüzeinek vizsgálatára. Mikkola javasolja a tanulmány készítői által homlokzati légrésekre kifejlesztett megoldások alkalmazását a tetőszerkezet légréseinél is. A cikk írója elvi megoldást ad az eresz alsó geometriai kialakítására. (2.10. ábra) A geometria célja, hogy az alsó dobozást még kijebb húzza a beszellőzési ponttól, így eltéríti a csóvát, nehezítve az átszellőztetett légréseken keresztül való tűzterjedést. Az író kiemeli, hogy a forró gázoszlop feláramlása következtében létrejövő szívóhatás megfordítja a levegő áramlási irányát a tető átszellőztetett légréseiben vagy az átszellőztetett padlástérben. (2.11. ábra) A cikk írója EI 30 tűzállósági határérték-teljesítményű alsó védelmet javasol az eresznek.

Jukka Hietaniemi és kollégáinak tanulmánya [2013] egy rendkívül átfogó, valós léptékű tűztesztekre alapuló kutatás eredménye, amely során átszellőztetett tetőszerkezeteken és homlokzatokon belüli, valamint álmennyezetekben és álpadlóknál történő tűzterjedés jellegzetességeit vizsgálták.

Az első alprojekt egy olyan egyszerű csüngőeresz kialakítás kifejlesztését célozta, amely adaptálható a finn lakásállomány legjelentősebb részét kitevő külvárosi vagy vidéki családi házakra vagy sorházakra. A cikk 15 percen határozza meg az átlagos tűzoltósági beavatkozási időtartamot – céljuk olyan kialakítás fejlesztése volt, mely esetén a tűz 15 percen belül

nem terjed be a légrése keresztül a tetőszerkezetbe. Ennek érdekében a légrést alulról egy terelőlemezzel védték. (2.13. ábra)

A megtervezett csomóponti kialakítást külső tűzhatásnak tették ki, amelyet egy 300 x 300 mm-es propángáz táplálású égőfejjel állítottak elő. A tűzteljesítmény kb. 70 kW volt (a mérés SBI berendezéssel történt). A vizsgálati modell a 2.13. ábrán látható.

A kutatás során 5 vizsgálat készült, az alábbi vizsgálati célokkal:

1. Bázis vizsgálati modell a tűzterjedés karakterisztikájának megfigyelésére, a fejlesztési irányok kijelölésére. Elsődlegesen az alsó burkolaton, illetve a légrése keresztül való tűzterjedést figyelték.
2. Annak vizsgálata, hogy a rétegrendbe elhelyezett neméghető ásványgyapot hőszigeteléssel megszakított légrésenek milyen hatása van
3. Annak vizsgálata, hogy az alsó burkolat 50 mm-el a szellőző légréseken való túlnyújtása hoz-e érdemi változást a tűzterjedés jellegében.
4. Kontroll vizsgálat a 3. esethez annak igazolására, hogy a vizsgált szerkezeti részlet hátsó részén kialakított légkivezető nyílás mérete nincs hatással az eredményekre.
5. Az első 4 kísérlet eredményei alapján tervezett kettős ereszkialakítás vizsgálata.

A vizsgálatok alapján a kutatók a 2.14-15. ábrákon bemutatott kettős ereszkialakítás alkalmazását javasolják. A kutatás részleteit ennél aprólé-

kosabban jelen dolgozat formai és terjedelmi kötöttségei miatt nincs alkalom bemutatni, ám sokkal részletesebb feldolgozása megtalálható a témában írt szakdolgozatomban.

### 3. VALÓS TÚZESETEK

A fentiekben részletezett szakirodalmi megállapításokat valós tüzek elemzésével egészítettem ki szakdolgozatomban amely azonban jelen dolgozat terjedelmi követelményei miatt itt nem kerülhet részletes bemutatásra, mivel az a tárgyi rész rovására menne. Alábbiakban néhány tűzesetet közlök, amelyek részletes feldolgozását szakdolgozatomban elvégeztem:

- Családi ház, Tahitótfalu - forrás: Lánglovagok.hu
- Református kollégium, Budapest, Ráday utca (2019) - 3.1. ábra - saját gyűjtés
- Többlakásos lakóépület, Bonyház, Széchenyi tér (2010) - forrás: Tolna Megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság; Tolnai Népújság

A tűzesetek részletes elemzése újabb alátámasztásokkal szolgál arra, hogy az általam vizsgált tűzterjedési forma mindennapos valós problémát jelent.

### 4. NUMERIKUS CFD SZIMULÁCIÓ FDS SZOFTVERREL

#### 4.1. Kutatási mátrix meghatározása

A harmadik fejezetben részletezett hiányos jogszabályi háttér az ereszkialakítások rendkívül széleskörű geometriai variációinak megvalósulá-

sát eredményezi. A 4.1. ábrán egy fényképet mutatok be, ahol volt szerencsém két „geometriai szélsőértéket” egymás mellett lefényképezni (a kép Budapest VIII. kerületében, a Somogyi Béla utcában készült).

A kutatás során alapvető célom volt, hogy a megvalósult példák között tapasztalt rendkívül változatos geometriai kialakítások minél részletesebb lefedésére alkalmas vizsgálatsorozatot készítsek. Ennek érdekében a vizsgálatokhoz az alábbi változó paramétereket határoztam meg:

1. ereszcsumópont alsó síkjának távolsága az ablakszemöldöktől:  
 $h=0/70/130$  cm,
2. ereszcsumópont kiülése a homlokzat síkjához mérten:  $d=30/50/70$  cm,
3. ereszgeometria alsó kialakítása: látszó szarufás (nyitott) vagy dobozolt (zárt),
4. ereszcsatlakozás elhelyezkedése a tűzfészekhez képest: azonos szinten (fsz), vagy egy szinttel feljebb (em).

Az ereszcsumópont alsó síkjának meghatározása során a két szélsőértéket választottam ki először: a teljesen a nyílászáró szemöldökéhez illesztett (0 cm), illetve az OTSz által függőleges homlokzati tűzterjedés elleni gát követelményként meghatározott 130 cm-t. A harmadik esetnek a két távolság felét akartam használni – a cellahálóhoz való illesztés miatt döntöttem a 65 cm helyett a 70 cm mellett.

Az ereszkiülések mértékének meghatározásakor épületszerkezeti tervezői tapasztalataimra hagytam. Így vettem fel az egyenletesen változó mértékű 30-50-70 cm-es méreteket. Mindenképpen vizsgálni akartam,

hogy okoz-e különbséget a hőmérsékletkitétek jellegében az ereszdobozolás alsó geometriája, ezért készítettem modellváltozatokat a 3.1. fejezetben bemutatott nyitott és zárt kialakításokkal.

A tűzfészekkel azonos szinten elhelyezett ereszkialakítások elsősorban az ereszre terjedő tűz karakterisztikájának vizsgálatára készültek. Az egy szinttel magasabban elhelyezett eresszel kialakított modelleket pedig az eresznek az egymás fölötti építményszintek közötti függőleges homlokzati tűzterjedést befolyásoló szerepének vizsgálatára készítettem.

Fentiek alapján a teljes vizsgálati mátrix lefedése  $3 \times 3 \times 2 \times 2 = 36$  db eltérő szimulációs vizsgálat futtatását jelentette volna. Mivel az eredményeket a futtatások lezárulta után azonnal értékeltem, ezért végül csak 12+1 db szimulációs futtatást végeztem (a plusz egy futtatás egy referencia vizsgálat volt sík homlokzattal, az építményszintek közötti függőleges homlokzati tűzterjedés eredményeinek minél jobb összehasonlíthatósága érdekében). Ezen futtatások értékelése során arra jutottam, hogy a további esetek lefuttatása nem járna érdemi új információval, így csak erőforrás pazarlás lenne. A lefuttatott szimulációs eseteket az 5.2. ábrán látható kutatási mátrixban mutatom be.

#### *4.2. Ereszkialakítást érő hőmérsékletkitét vizsgálata*

Az ereszkialakítást érő hőmérsékletkitétet az összes, fent említett változó paraméter függvényében vizsgáltam. Mérési eredményeimet az 5.3. ábrában mutatom be. A zárt kialakítású változatokat zöld színnel, a nyitott kialakításúakat sárgával jelöltem. Az azonos magasságban elhelyezett nyitott-zárt modellpárok azonos vonaltípust kaptak.

Referenciaként három adatsort helyeztem el:

- feketével ábrázoltam az ISO 834 szabvány szerinti zárttéri cellulóz tűzgörbét;
- kézzel ábrázoltam a külső tűzhatás parametrikus tűzgörbéjét;

$$T = 660 (1 - 0,687e^{-0,32t} - 0,313e^{-3,8t}) + 20$$

- vörössel ábrázoltam a szimulációs modell tűzterében mért hőmérsékletértékek maximumát.

Mivel egy ábrában négy változó paraméter vizsgálata túl bonyolulttá tette volna az ábrát, ezért egy új diagramot készítettem az eltérő kiüléssel készített modellváltozatok mérési eredményeinek bemutatására. (5.4. ábra)

Az alkalmazott színek és vonaltípusok az 5.3. ábránál leírtakkal megegyezők voltak: a zárt kialakításokat zölddel, a nyitott kialakításokat sárgával jelöltem, valamint az azonos kiüléssel készült ereszkialakítások azonos vonaltípust kaptak.

A mérési eredmények alapján az alábbi megállapításokat tettem:

1. Az eredmények alapján az ereszkialakítást érő maximális hőmérséklet a homlokfal környezetében alakul ki. Ezt fontosnak tartom, mivel itt található a tetőszerkezet átszellőztetett légrésének beszellőzési pontja az alacsony gyulladási hőmérsékletű alátéthéjazattal együtt.
2. Az ereszkialakítást érő hőmérsékletkitét szempontjából irreleváns, hogy az eresz alsó oldala nyitott vagy zárt kialakítású. Ennek alátámasztására az 5.5. ábrán két eltérő kialakítású modellből mutatok be

egy-egy, azonos szimulációs időpillanatban felvett függőleges hőmérsékletmezőt. Minkét esetben jól látszik, hogy az ereszt a kilépő csóvát eltereli. Korábbi várakozásaimmal ellentétesen a nyitott kialakítás esetén nem alakult ki hőzug az ereszkialakítás és a homlokzat hegyesszögű csatlakozásánál.

3. A tűztéri nyílászáró fölött 0 cm magasságban elhelyezett ereszkialakítás esetén az ereszt érő hőmérsékletkítét közel azonos a tűztérben mért hőmérsékletekkel.
4. A tűztéri nyílászáró fölött 130 cm magasságban elhelyezett ereszkialakítás esetén az ereszt érő hőmérsékletkítét közel azonos a kültéri parametrikus tűzgörbe hőmérsékletadataival.
5. A vizsgálat valamely periódusában mindegyik ereszkialakítást éri olyan hőmérsékletkítét, mely meghaladja az építési faanyagok gyulladási hőmérsékletét (a széleskörűen használt fenyőfák gyulladási hőmérséklete 240-280 °C közötti, míg a legsűrűbb keményfáké 350-400°C között van). Ez alapján nagy biztonsággal kijelenthető, hogy az éghető ereszburkolat várhatóan meg fog gyulladni.
6. Az ereszkialakítás mértékének növekedése mérhető hőmérsékletkítét növekedést okoz, ez azonban az éghető anyagok gyulladási hőmérséklete szempontjából irreleváns. A hőmérsékletkítét még a legkisebb kitétet kapó változat (h130\_d30) esetén is elérte az építési faanyagok gyulladási hőmérsékletének tartományát.



#### *4.3. Ereszkialakítás függőleges homlokzati tűzterjedést befolyásoló hatásának vizsgálata*

A szakirodalom szerint a homlokzat síkja elé nyúló ereszkialakítás hőtorlaszt okoz a függőlegesen felszálló forró csóva útjában. Feltételezéseim szerint ennek hatása kell, hogy legyen az egymás fölötti szintek közötti, épületen kívüli, függőleges homlokzati tűzterjedés szempontjából. Ennek vizsgálati eredményeit az 5.6.-5.7. ábrákon mutatom be. Referenciaként végeztem egy szimulációt, melynek a modellje ereszkialakítás elhelyezése nélkül, sík homlokzattal került kialakításra. Ennek eredményeit kék színnel ábrázoltam a grafikonokon.

Az MSZ 14800-6:2009 szabvány szerint, amennyiben a vizsgálóhelyiségben mért négy legmagasabb hőmérséklet átlaga meghaladja a 200 °C-t, a vizsgálatot le kell állítani. A 200°C-os hőmérsékletküszöböt vörös vonallal jelöltem a grafikonokon.

A mérési eredmények alapján az alábbi megállapításokat tettem:

1. A referenciavizsgálat eredményeivel való összehasonlítás alapján kijelenthető, hogy a homlokzat síkja elé lógó ereszkialakításnak mérhető hatása van az egymás fölötti szintek között történő homlokzati tűzterjedés tekintetében.
2. A vizsgálatok eredményei alátámasztották az előző fejezet vizsgálatainak eredményeiből levont következtetéseket: az ereszkialakítás elhelyezési magasságának intenzív, kiülési mértékének csekélyebb befolyásoló hatása van a hőmérsékletkiték alakulásának tekintetében.

Igaz ez a tűztér fölötti helyiség belsejében kialakuló hőmérsékletekre is.

3. A vizsgálati eredmények szerint az eresszel kialakított modellek esetében az emeleti ablak belső oldalán a külsőhöz képest kb. 5-10%-al alacsonyabb hőmérsékleteket mértem. Ez a különbség a referencia vizsgálat esetén 15-25% volt! Kijelenthető tehát, hogy az ereszkialakítás függőleges homlokzati tűzterjedésre kifejtett hatása mind abszolút értékben, mind relatív módon kimutató.

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS/EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

### 5.1. Eredmények

Dolgozatomban a homlokzatról tetőszerkezetre történő tűzterjedés jelenségét vizsgálom.

A magyar tűzvédelmi jogszabály jelenleg nem foglalkozik az ereszkialakítások tűzvédelmi előírásaival. Az előző, 28/2011. (IX.6.) BM rendelettel kiadott OTSz tartalmazott egy előírást, mely megkövetelte az eresz alsó burkolatának a beépített tetőtér belső burkolatával megegyező tűzvédelmi jellemzőkkel való kialakítását. Az aktuális, 54/2014 (XII.5.) BM rendelet szerinti OTSz 5.1 nem rendelkezik semmilyen előírással a témában. Jelenleg ereszkialakításokkal kapcsolatosan kizárólag a Tűzterjedés c. TvMI egyik mellékletének ábráját találhatjuk, mely csak a függőleges tűzszakaszhatárok homlokzaton való csatlakozása esetén kialakítandó vízszintes homlokzati tűzterjedés elleni gát síkjában az eresz megszakításának lehetőségeivel foglalkozik. Az ereszen keresztül történő függőleges

tűzterjedés elleni védelemről sem a jogszabály nem tartalmaz előírásokat, sem a TvMI nem ad megfelelő műszaki megoldási javaslatot.

A téma nemzetközi szakirodalma szegényes. A fellelhető cikkek, dokumentumok legnagyobb része leíró jellegű. Leginkább azokból az országokból található a témában cikkek, ahol nagy múltja van a könnyűszerkezetes építkezésnek – ilyenek az USA déli államai, pl. Kalifornia, vagy Svájc és Finnország. A leíró jellegű cikkekből azonban az látszik, hogy a szakma nemzetközi képviselői már felismerték a téma fontosságát és elkezdtek a megoldások kialakításán dolgozni. Egyetlen publikációt találtam, mely valós léptékű tűzteszt-sorozattal vizsgálta a szokványos ereszkialakítási geometriákat és kísérletet tett a függőleges tűzterjedést korlátozni és/vagy késleltetni képes ereszgeometria kialakítására. Javaslatuk lényege, hogy a tetőszerkezet ereszmenti beszellőztető légrését az ereszkialakítás külső síkjától visszafelé, a homlokzat felé vissza kell húzni, alulról pedig legalább EI 30 tűzállósági teljesítményű burkolattal kell védeni. A burkolat így eltereli a homlokzatra kilépő csóvát a légrés beszellőzési vonalától.

Dolgozatom következő fejezetében néhány megtörtént tüzesetet hivatkoztam, amelyek alátámasztják a téma fontosságát. Akár a homlokzaton egy villanyóra szekrény kigyulladásával az ereszen keresztül a tűz gyorsan beterjedhet a tetőszerkezetbe, amelynek beépített tetőtér felé kialakított burkolata csak belső oldali tűzhatásra van bevizsgálva, fejlesztve. Emiatt a tűz a tetőszerkezeten keresztül könnyen elérheti a huzamos emberi tartózkodásra szolgáló helyiségeket. A bonyhádi tüzeseten részletes

vizsgálata alapján látható, hogy még egy nem közvetlenül az eresz alól érkező tűzhatás esetén is milyen kiterjedt felületen károsodhat a tetőszerkezet - a részletes elemzés megtalálható szakdolgozatomban.

Dolgozatom kutatási fejezetében numerikus CFD szimulációkat készítettem az ereszkialakítások vizsgálatára. Két alapvető vizsgálati szempontot állapítottam meg. Az első az ereszkialakításokat érő hőmérsékletkitét volt, a második pedig annak vizsgálata, hogy a homlokzat síkja elé lógó eresz befolyásolja-e, és ha igen, milyen módon az egymás fölötti szintek közötti függőleges homlokzati tűzterjedést. A kutatási mátrix előállításánál négy változó paramétert alkalmaztam: 1. az eresz alsó síkjának homlokzati nyílászáró szemöldökétől mért függőleges magasságát 2. az eresz homlokzati síktól vízszintesen mért kiülését 3. az eresz alsó dobozolásának nyitott/zárt geometriájú kialakítását és 4. az eresz tűztér szintjén vagy egy szinttel feljebb történő elhelyezését. A szimulációk eredményeinek minél jobb összehasonlíthatósága érdekében végeztem egy kontroll futtatást is, eresz nélküli sík homlokzatos kialakítással. Eredményeim alapján az alábbi lényeges megállapításokat tettem:

- Hagyományos ereszkialakítás esetén a szerkezetet a legnagyobb hőmérsékletkitét a homloklap környezetében, a tetőszerkezet átszellőztetett légrésének beszellőzési pontja körül éri.
- A szerkezetet érő hőmérsékletkitét szempontjából irreleváns, hogy az eresz alulról nyitott vagy zárt kialakítású.

- Az általam vizsgált szituációk mindegyikében volt a vizsgálat során olyan periódus, amikor az ereszkialakítás szerkezetét olyan hőmérsékletkítét érte, ami egyértelműen meghaladja az építési faanyagok gyulladási hőmérsékletét. Az eresz tehát – még egy szinttel alacsonyabban keletkező tűz esetén is – meg fog gyulladni!
- A homlokzat síkja elé lógó ereszkialakításnak mérhető hatása van az egymás fölötti szintek között történő függőleges homlokzati tűzterjedés jelenségére. Minél nagyobb az eresz kiülése és minél közelebb van a felső szint homlokzati nyílászárójának szemöldökéhez, annál intenzívebb ez a hatás.

## *5.2. Következtetések, javaslatok*

Eredményeim alapján fontosnak tartom az ereszek kialakításának újbóli jogszabályi szinten történő szabályozását, valamint az előírás követelményeit teljesítő műszaki megoldás kidolgozását és annak a megfelelő Tűzvédelmi Műszaki Irányelvbe való beemelését. Alapvető fejlesztési alapnak tartom Esko Mikkola cikkében [2013] közölt ereszkialakítást. Az alsó burkolatra vonatkozó pontos tűzvédelmi osztály és tűzállósági határérték követelményeket a komplex jogszabályi környezettel harmonizálva kellene kialakítani, de jónak tartom a Mikkola által javasolt, általános EI 30 teljesítményjellemző előírását.

Célszerűnek tartanám a tűzállósági határérték teherbírásra vonatkoztatott követelményének kiterjesztését a fedélszékre a beépített tetőtér belső

burkolatával azonos időtartam követelménnyel. Ezt beépítetlen padlásteretek esetén is előírnám a kiterjedt tetőszerkezet omlások megelőzése érdekében.

Hosszú távú kutatási célnak tekintem a tervezett kialakítások valós léptékű tűzteszttel való vizsgálatát azoknak a tűzterjedési sajátosságoknak a vizsgálatára, melyek elemzésére a numerikus szimulációk nem, vagy csak irreálisan nagy erőforrások bevonása mellett alkalmasak. Ilyenek például a szellőző légréseken keresztül történő tűzterjedés, vagy az egyes építőanyagok termikus- és halmazállapotváltozásai (pl. az éghető homlokzatburkolat vagy homlokzati hőszigetelés olvadása, égve csepegése, vagy a faanyagok gyantatartalmának befolyásoló hatása). Ezen tűztesztek lennének ugyancsak alkalmasak az eddigi eredmények alapján megtervezett új ereszkialakítás geometriák valós viselkedésének vizsgálatára is.

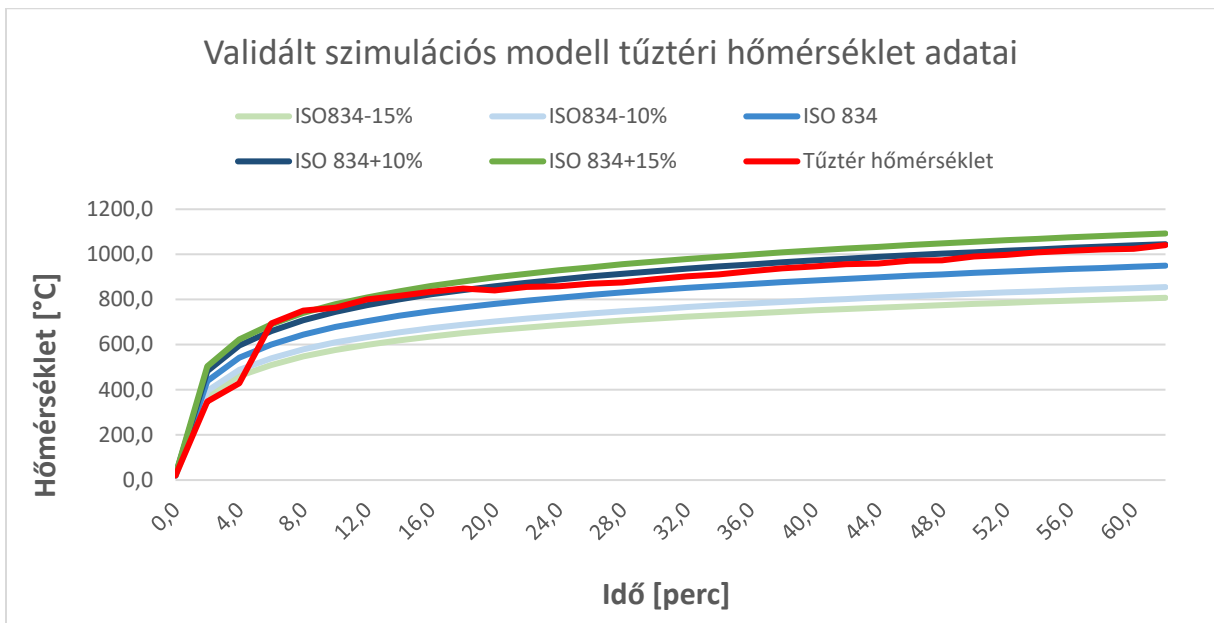
## 6. FELHASZNÁLT FORRÁSOK

1. Dr. Balázs Gábor t. ezredes, Kurcz Ernő t. fhdgy.: Tanulmány a Bonyhád, Széchenyi tér 11. szám alatt 2010. 10. 08-án történt tűzesethez; Dombóvár Város Hivatásos Önkormányzati Tűzoltósága, 2011. január
2. Érces Gergő, et al.: Alkalmazott tűzvizsgálat; Kiadó: FKI - Fővárosi Főfelügyelőség, Magyar Rendvédelmi Kar, Budapesti Tűzoltó Szövetség; Budapest, 2014 (p. 162)
3. FEMA (Federal Emergency Management Agency), Department of Homeland Security: Eaves, Overhangs, and Soffits - Home Builder's Guide to Construction in Wildfire Zones, FEMA-737; FEMA, USA, Washington DC, 2008. szeptember 1.
4. Jukka Hietaniemi, Tuula Hakkarainen, Jaakko Huhta, Ulla-Maija Jumppanen, Ilpo Kouhia, Jukka Vaari & Henry Weckman: Ontelotilojen paloturvallisuus (Fire safety of cavity spaces: Prevention of fire spread in building voids - finn nyelven); VTT Tiedotteita - Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, 2003. január
5. Materials and Construction Methods for Exterior Wildfire Exposure, SFM Standard 12-7A-3 Under Eave (Steve Quarles); State Fire Marshal (SFM), California, 2009. május 21.
6. Kevin McGrattan, Simo Hostikka, Randall McDermott, Jason Floyd, Marcos Vanella: Fire Dynamics Simulator User's Guide; NIST Special Publication 1019, Sixth Edition, Gaithersburg, Maryland, USA, 2019. február 4

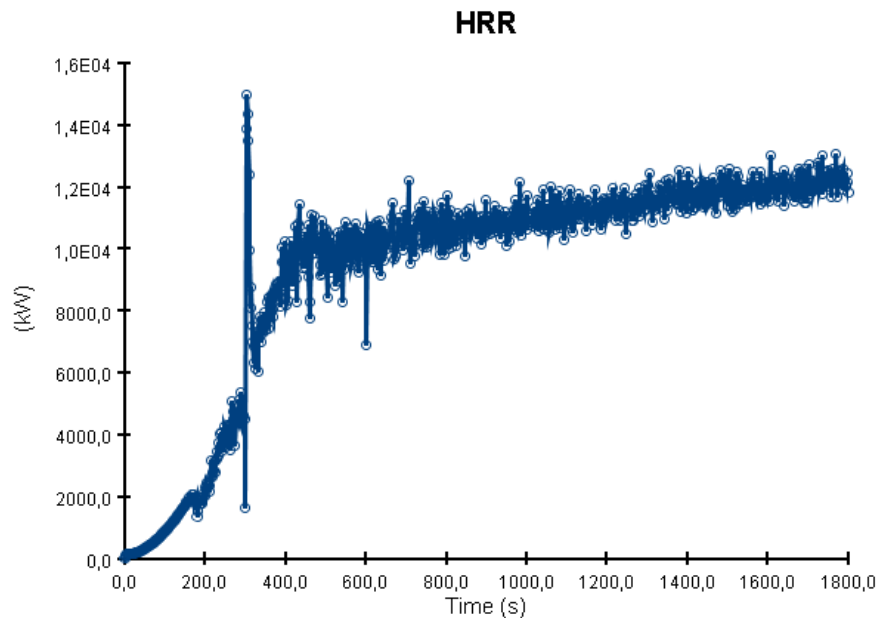
7. Mikkola, Esko: Fire safety of wooden balconies, facades and eaves; Kiadó: EDP Sciences, MATEC Web of Conferences 9, 01004, 1st International Seminar for Fire Safety of Facades, Paris (France), 2013
8. Stroup, D.W. and Madrzykowski, D.: Heat Release Rate Tests of Plastic Trash Containers (Report of Test) U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, Building and Fire Research Laboratory, April 24, 2003
9. Dr. Takács Lajos Gábor, Szikra Csaba, Kovács Botond: Homlokzati tűzterjedési vizsgálat CFD szimulációs modellezése, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, ÉPKO – XIX. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia, Csíksomlyó, 2015. június, ISSN 1843-2123



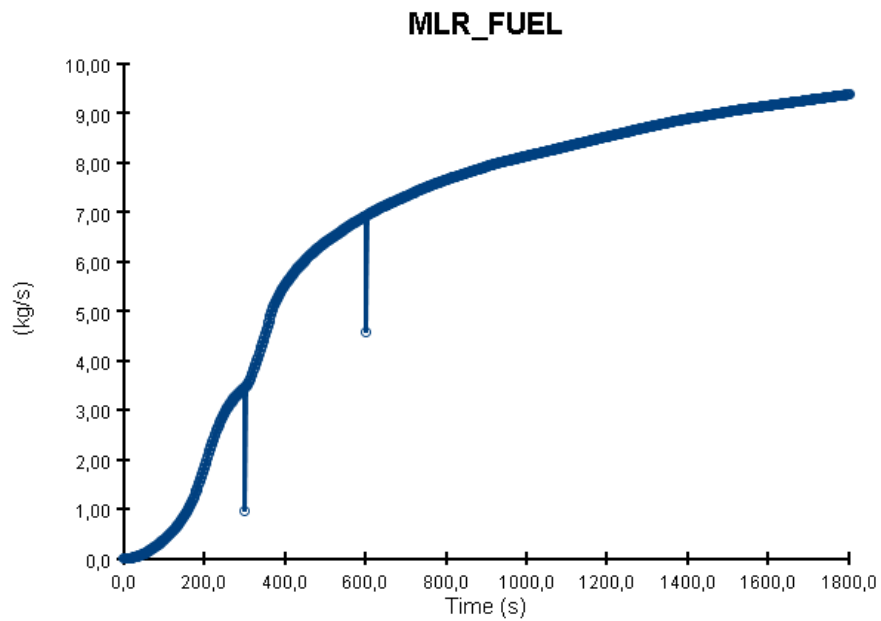




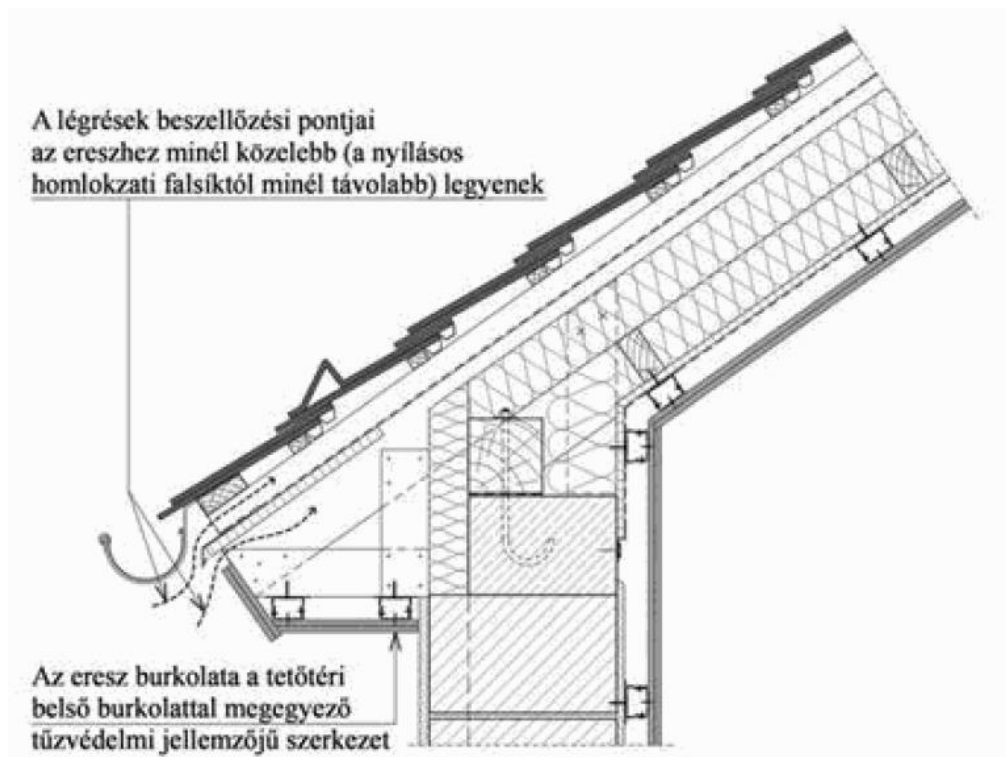
0.3. ábra – Validált vizsgálati modellben mért tűztéri hőmérsékletkítét és az előírt referencia értékek



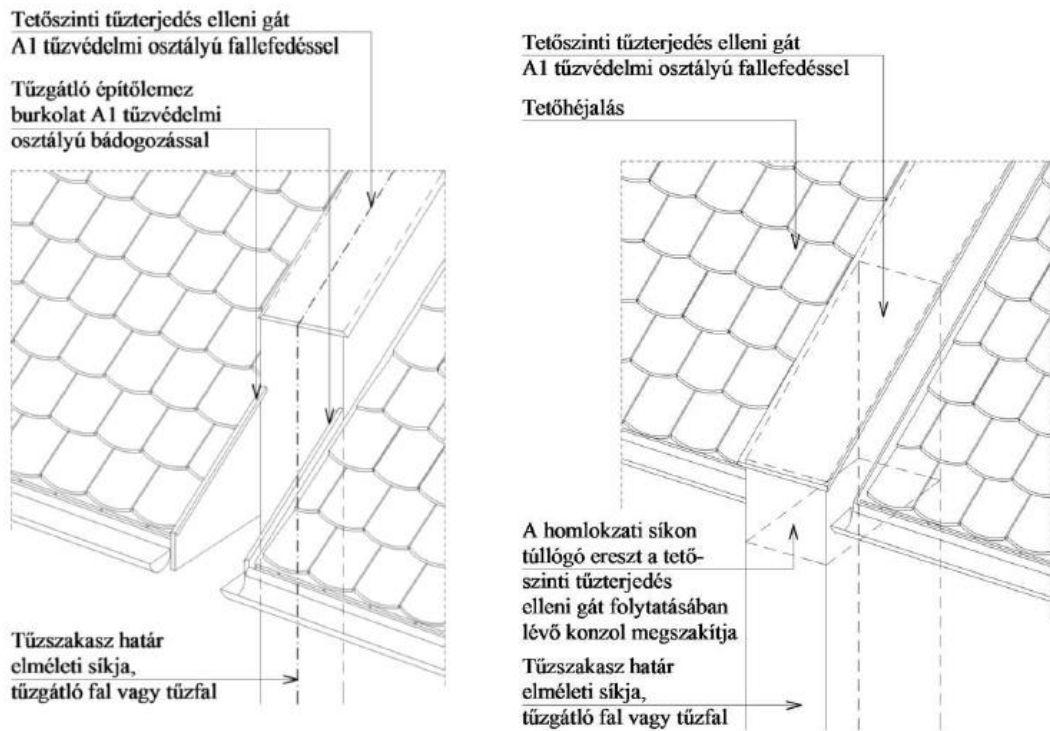
0.4. ábra – Vizsgálati modell tűzhatás teljesítményének lefolyása



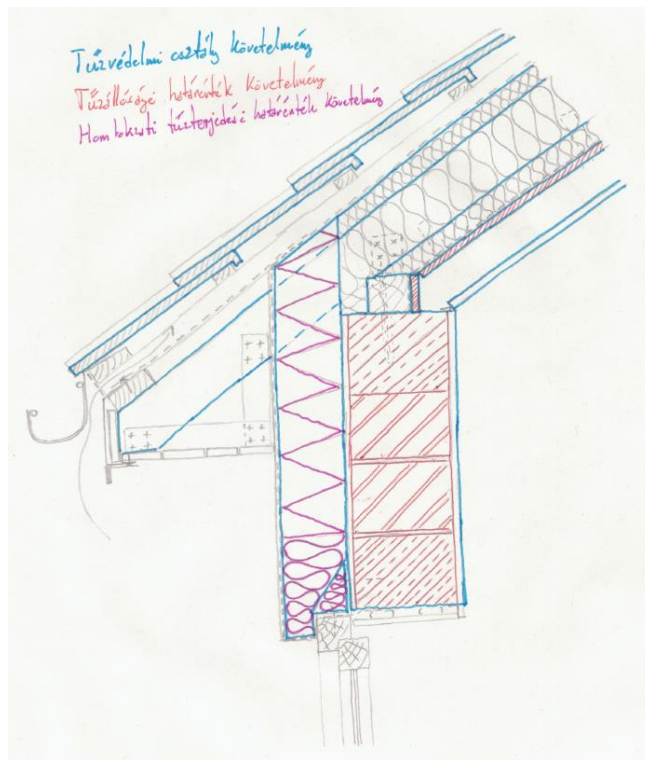
0.5. ábra – Vizsgálati modell tűzhatásának tömegvesztés sebessége



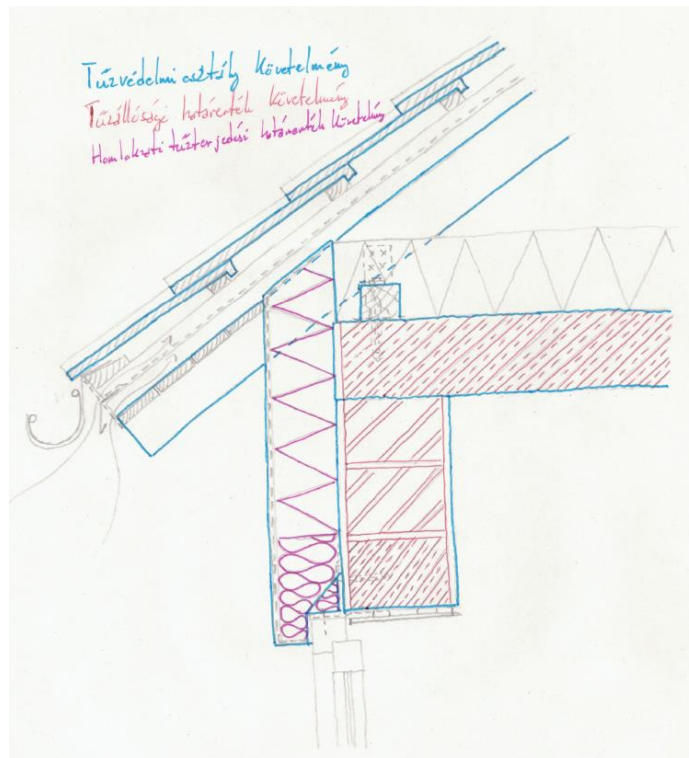
2.1. ábra - 28/2011. (IX.6.) BM rendelet szerinti, tűzvédelmileg helyes ereszkialakítás



2.2. ábra – Ereszek megszakítása vízszintes homlokzati tűzterjedés elleni gát síkjában [TvMI 1.4:2020.07.20.]



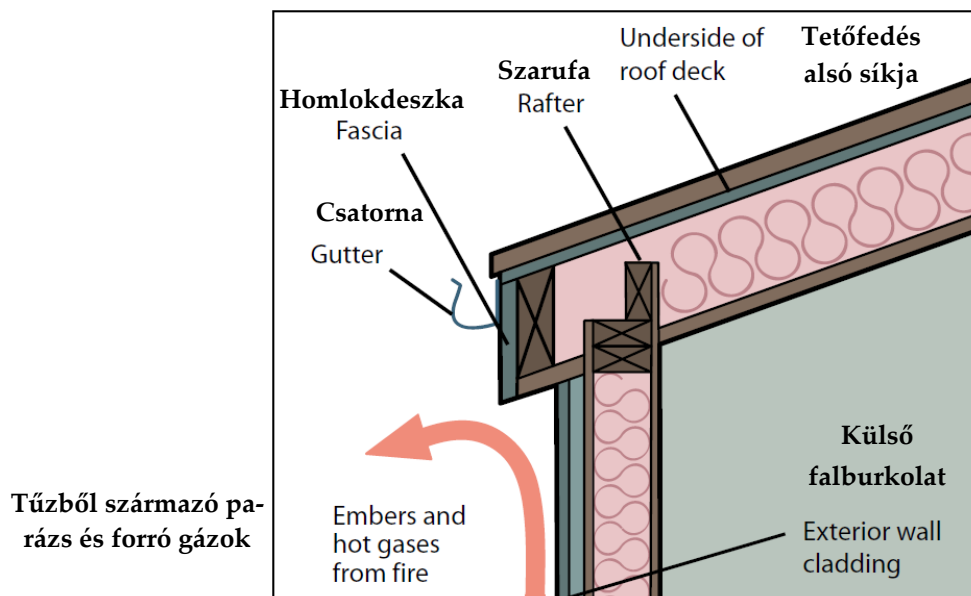
2.3. ábra – Beépített tetőtérhez kapcsolódó konzolos ereszkialakítás



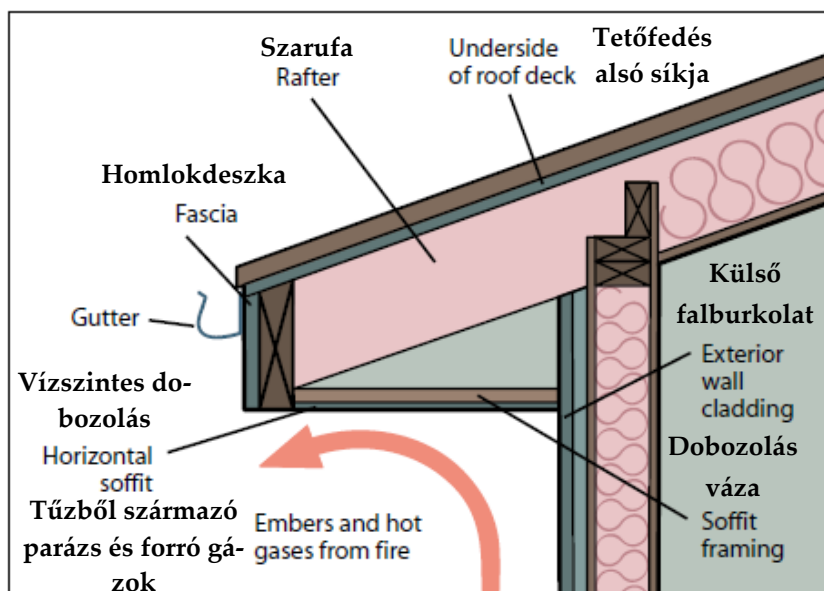
2.4. ábra – Beépítetlen padlástérhez kapcsolódó konzolos ereszkialakítás



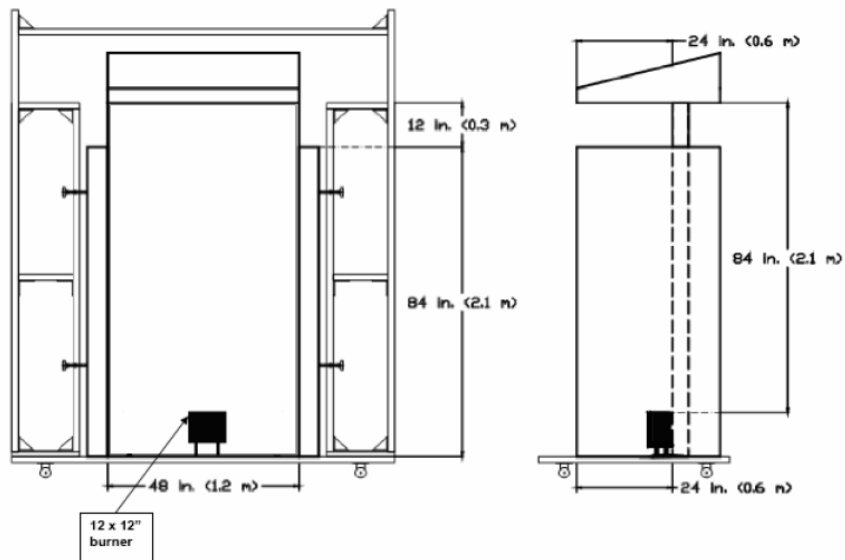
2.5. ábra – Villanyórában keletkezett tűz miatt leégett tetőszerkezet (forrás: langlovagok.hu)



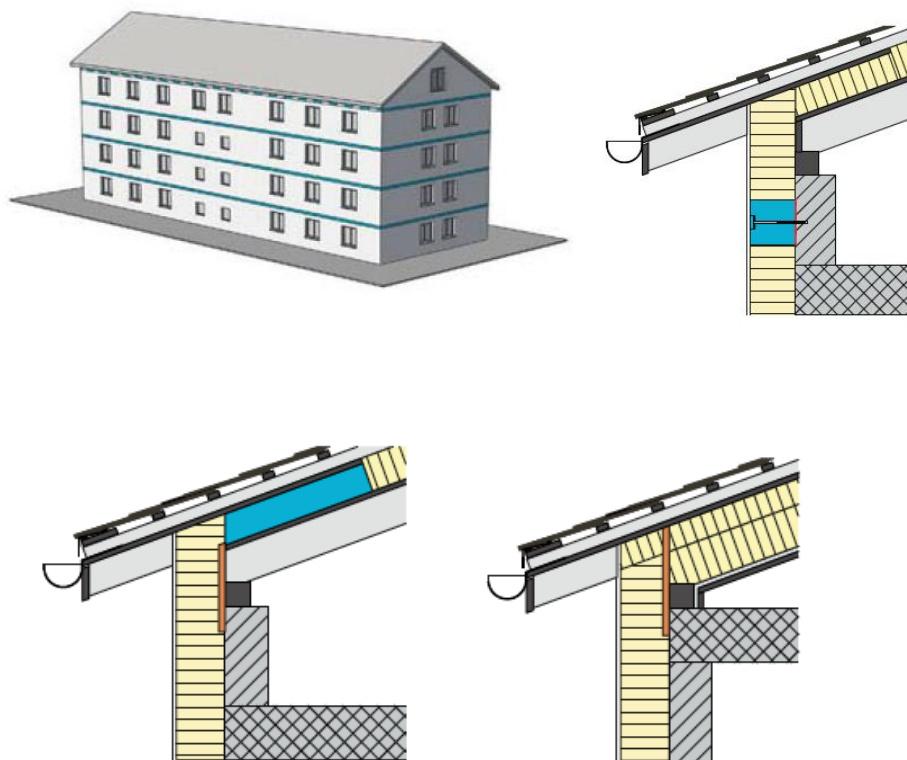
2.6. ábra – FEMA irányelv 6-os lapja szerinti ideális, kis kiülésű ereszkialakítás



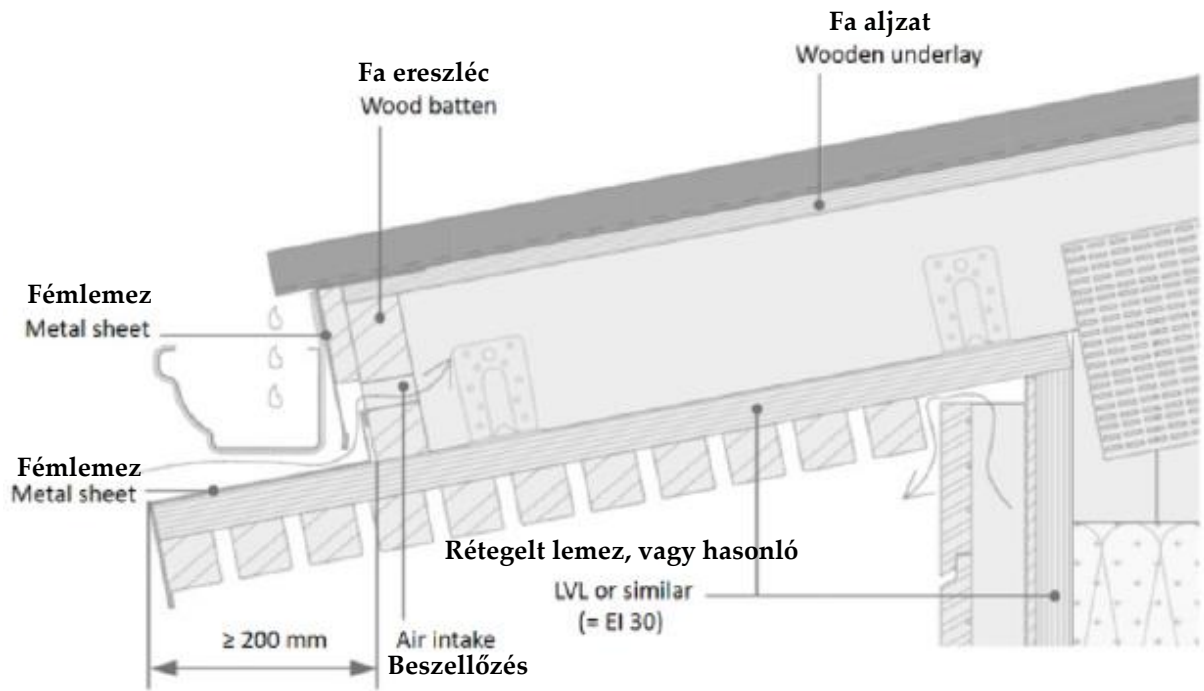
2.7. ábra – Túlnyúló ereszesetén FEMA szerint javasolt helyes épületszerkezeti kialakítás



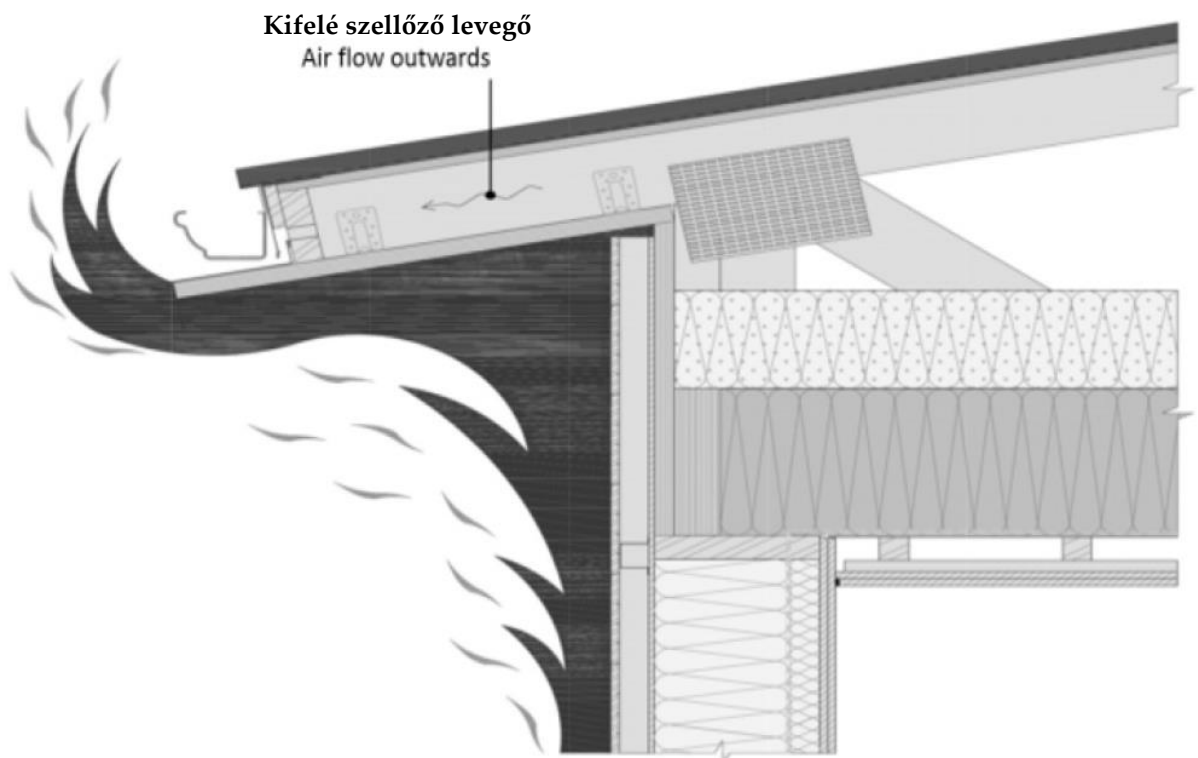
2.8. ábra - SFM Standard 12-7A-3 szerinti vizsgálati modell



2.9. ábra – Ereszcstatlakozás tűzterjedés elleni védelme svájci jogszabály előírásait kielégítő módon [Schlöpfer, 2015]

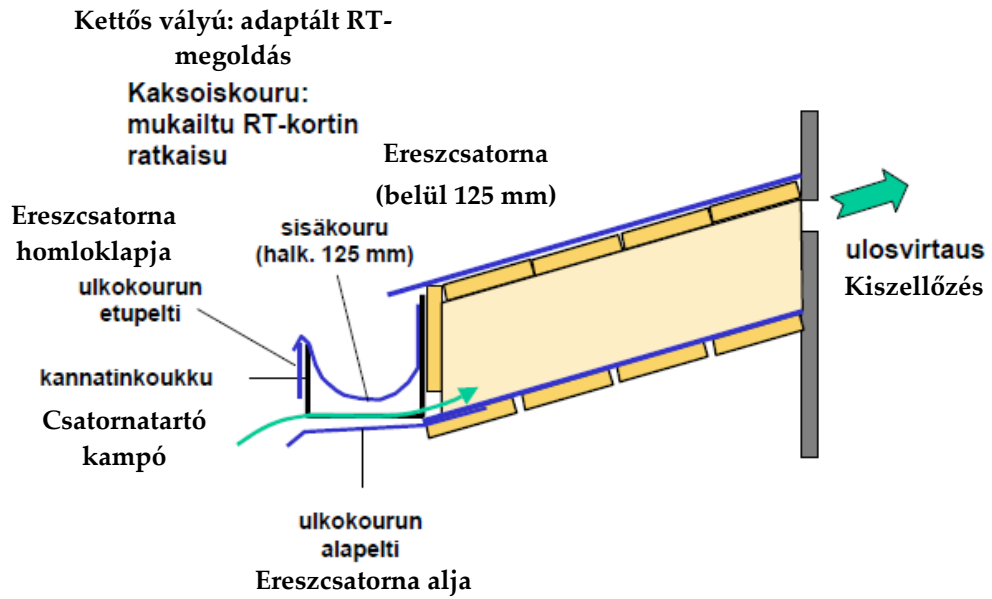


2.8. ábra – Csüngőeresz javasolt épületszerkezeti kialakítása [Mikkola, 2013]

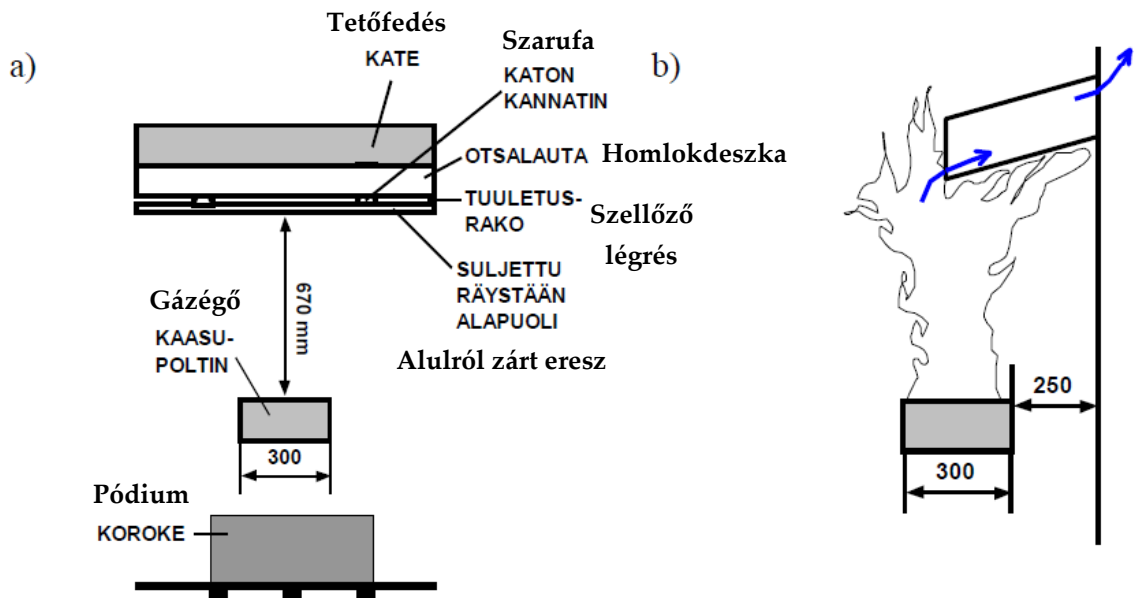


2.9. ábra – Csüngőeresz javasolt épületszerkezeti kialakítása [Mikkola, 2013]

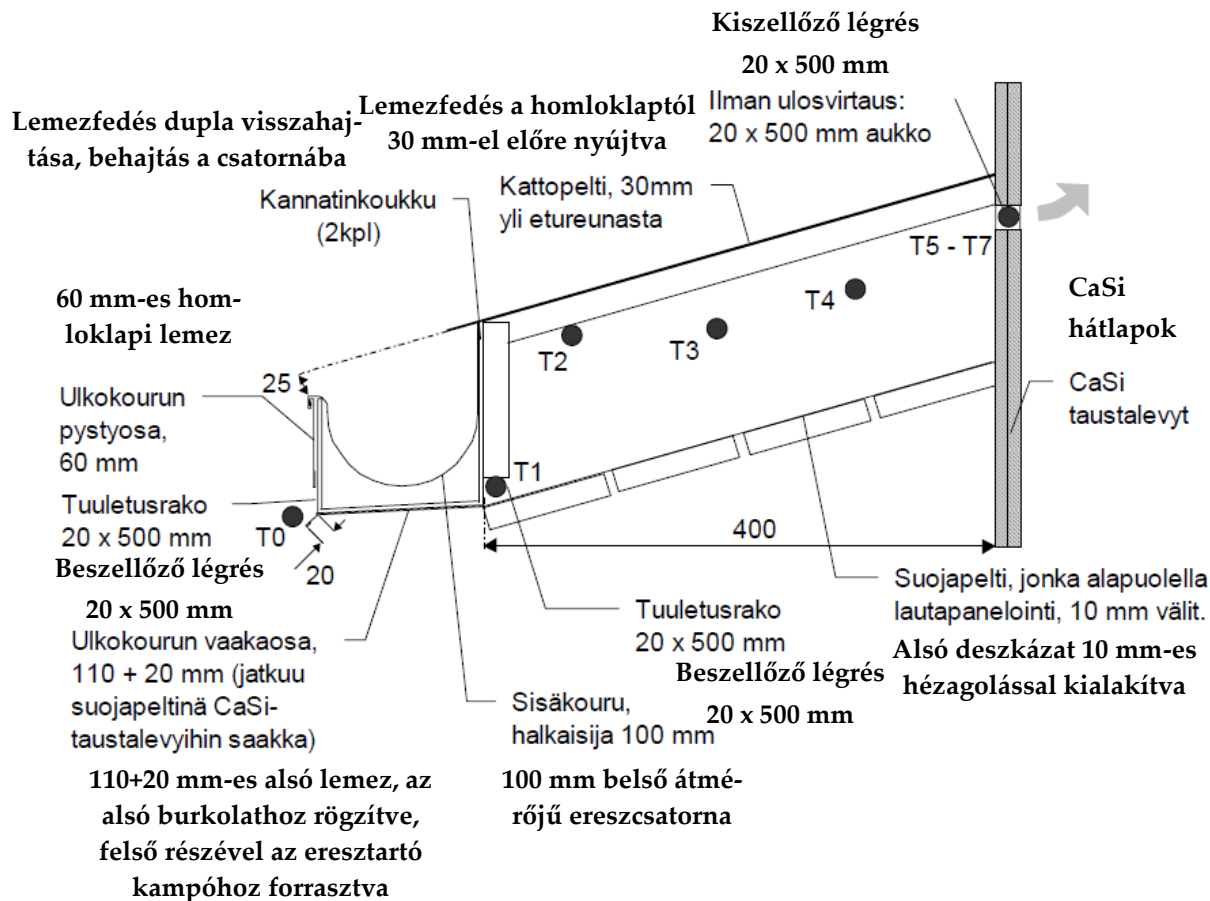




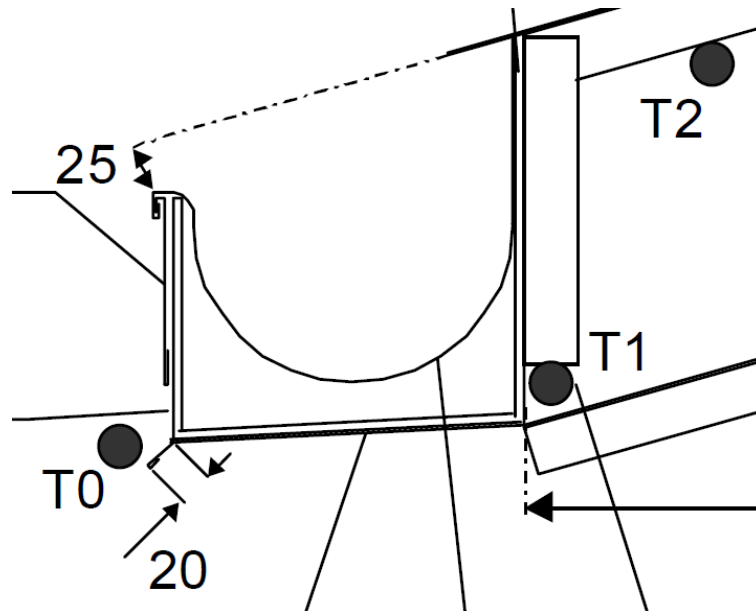
2.10. ábra – Javasolt ereszkialakítás [Jukka et al. 2013]



2.11. ábra – Tűzvizsgálati berendezés elől- és oldalnézeti képe [Jukka et al. 2013]



2.12. ábra – Kettős ereszkialakítás (ötödik kísérlet) vizsgálati modellje [Jukka et al. 2013]



2.15. ábra – Kettős ereszcatorna épületszerkezeti kialakítása [Jukka et al. 2013]



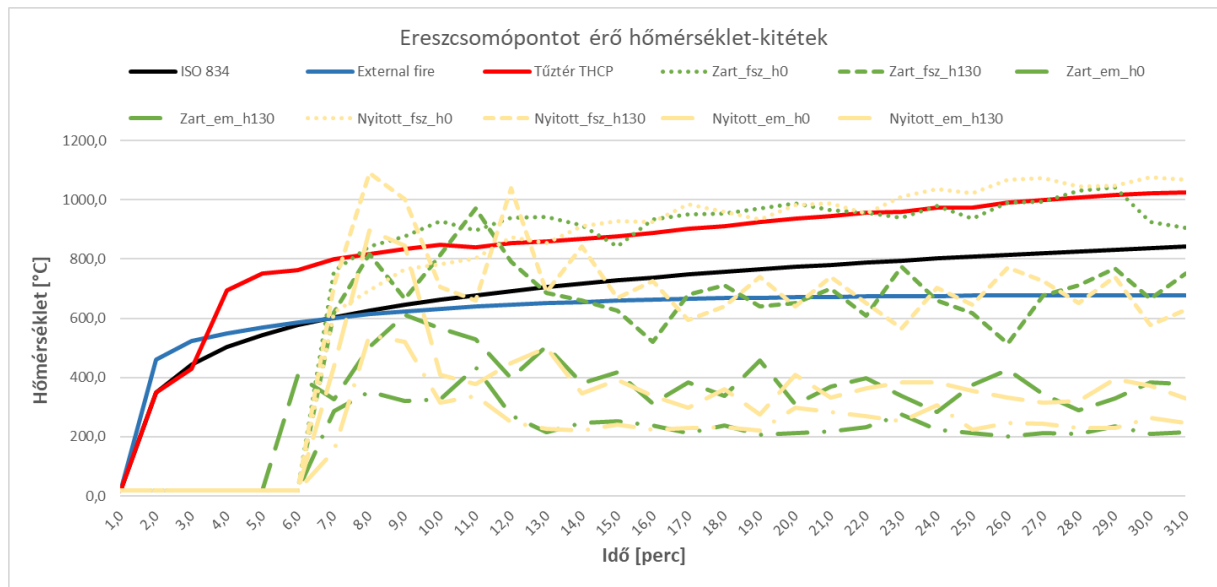
3.1. ábra – Ráday utcai kollégium tüzében károsodott ereszt (saját fotó)



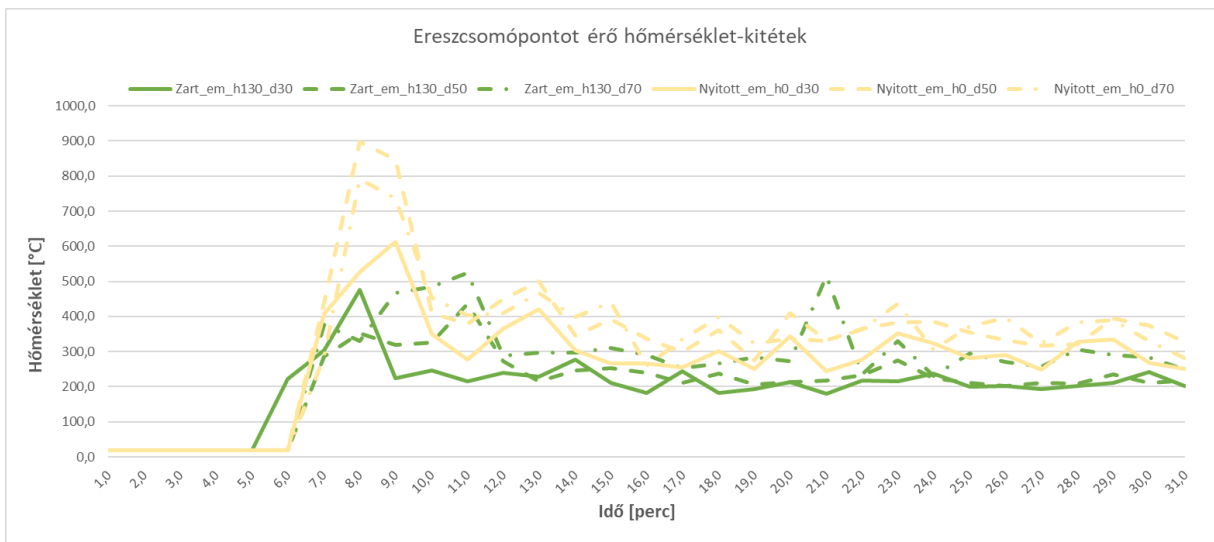
4.13. ábra – Szélsőségesen eltérő ereszkialakítások (saját gyűjtés)

Ereszküülés mértéke (d)		Alsó sík távolsága (h)					
		0 cm		70 cm		130 cm	
		Ereszdobozolás kialakítása					
		Nyi- tott	Zárt	Nyi- tott	Zárt	Nyi- tott	Zárt
30 cm	Fs						
	E	X					X
50 cm	Fs	X	X			X	X
	E	X	X			X	X
70 cm	Fs						
	E	X					X

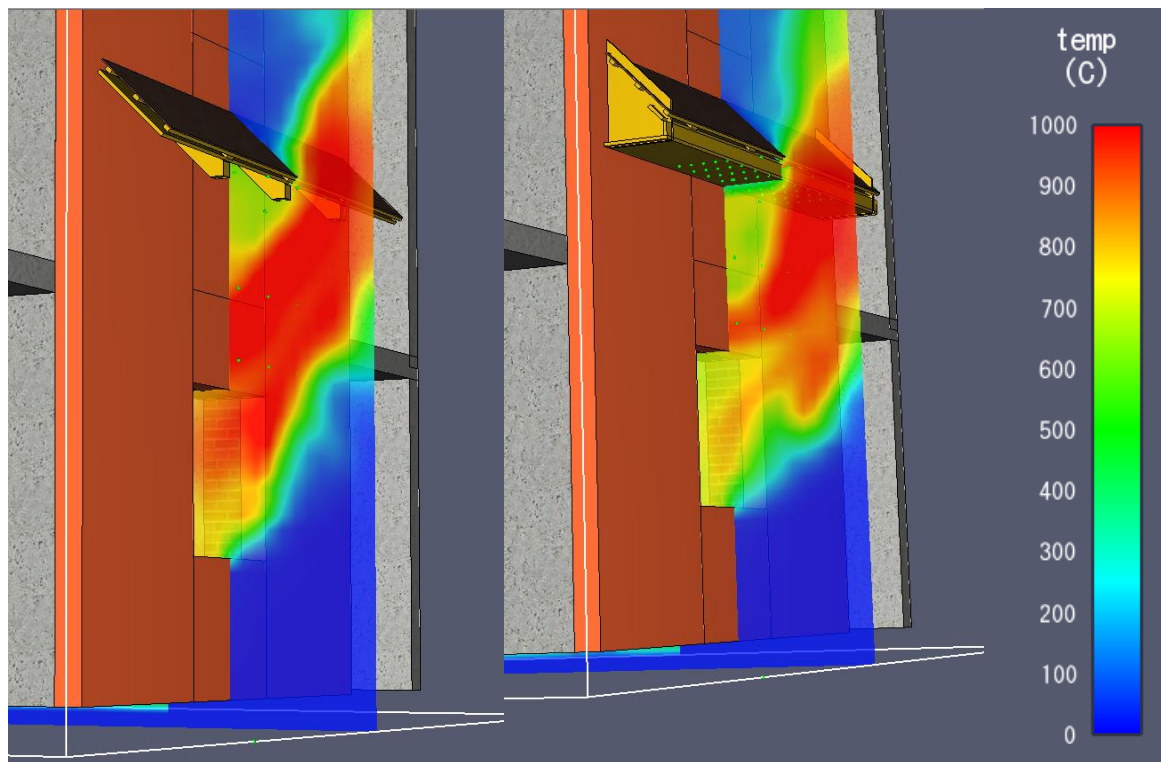
0.2. ábra – Kutatási mátrix numerikus szimulációkhoz



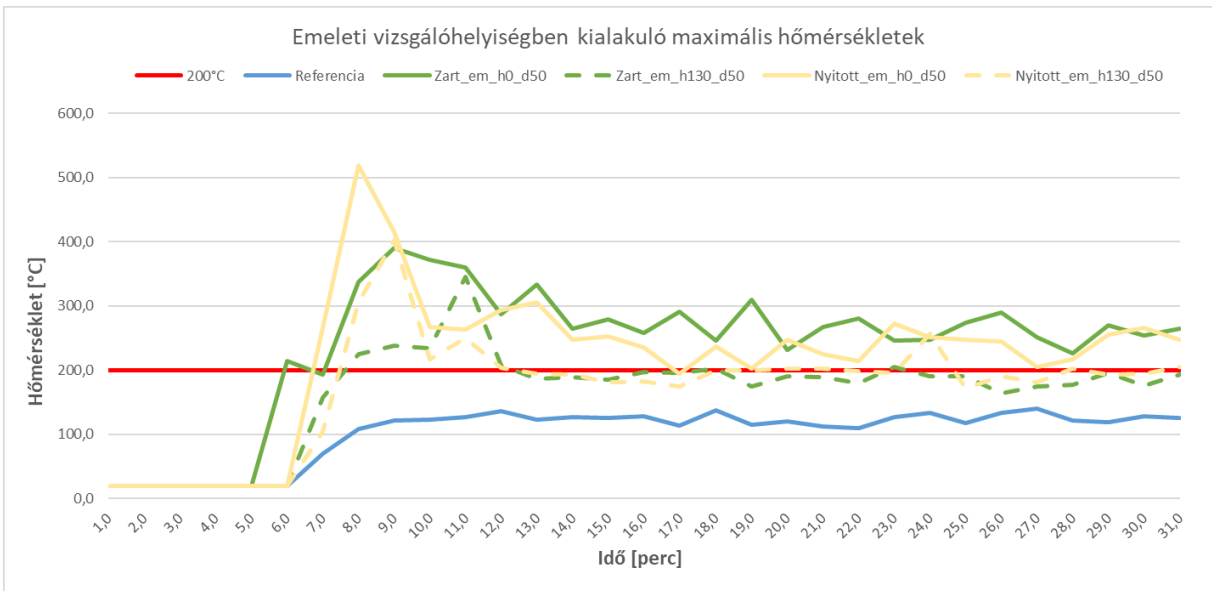
0.3. ábra – Ereszcsomópont hőmérsékletkítét vizsgálatának eredményei



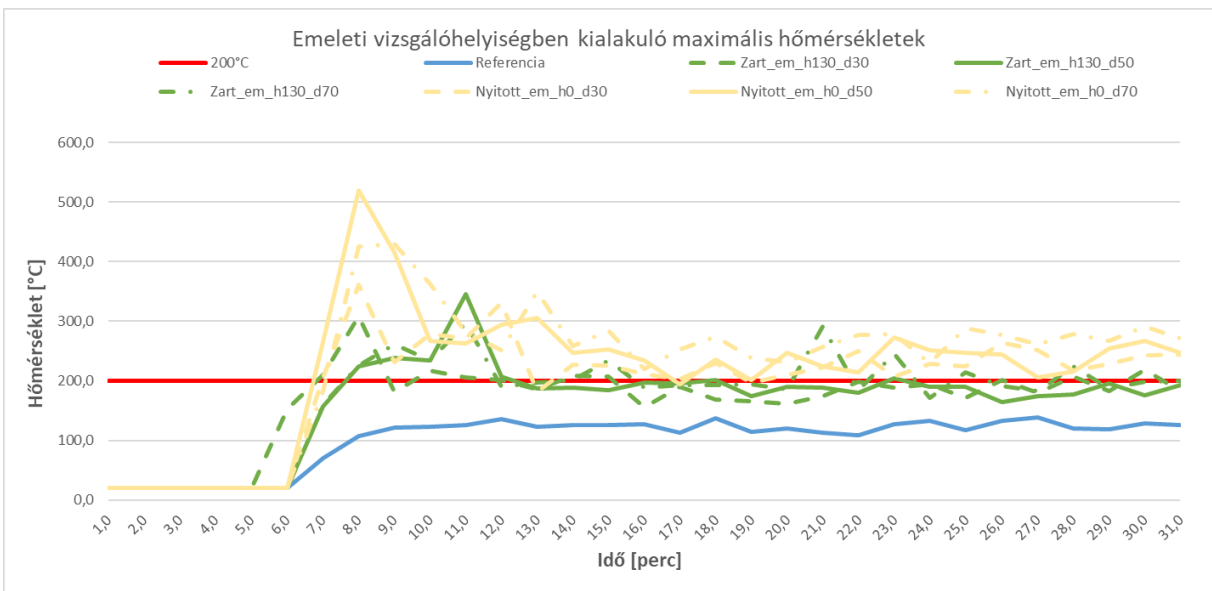
0.4. ábra – Ereszcsomópont hőmérsékletkitét vizsgálatának eredményei



0.5. ábra – Azonos magassági pozíójú és vízszintes kiülésű nyitott és zárt ereszkialakítás esetén felvett függőleges hőmérsékletmező



0.6. ábra – Ereszkialakítás függőleges homlokzati tűzterjedést befolyásoló hatása a magassági elhelyezés függvényében



0.7. ábra – Ereszkialakítás függőleges homlokzati tűzterjedést befolyásoló hatása az ereszkiülés függvényében