

JANKUS BENCE
SZAKDOLGOZAT

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
ÉPÍTÉSZMÉRNÖKI KAR
ÉPÜLETENERGETIKAI ÉS ÉPÜLETGÉPÉSZETI TANSZÉK
ÉPÜLETSZERKEZETTANI TANSZÉK

SZAKDOLGOZAT

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
ÉPÍTÉSZMÉRNÖKI KAR
ÉPÜLETENERGETIKAI ÉS ÉPÜLETGÉPÉSZETI TANSZÉK
ÉPÜLETSZERKEZETTANI TANSZÉK

JANKUS BENCE
SZAKDOLGOZAT

Függőleges tűzterjedés vizsgálata homlokzatról tetőszerkezetre

Investigation of vertical fire spread from facade to the roof structure

Konzulens:

Szikra Csaba

tudományos segédmunkatárs

Témavezető:

Dr. Takács Lajos Gábor

egyetemi docens

Budapest, 2019

Szerzői jog © Jankus Bence, 2019.

Szerzői jog © Szikra Csaba, 2019.

Szerzői jog © Dr. Takács Lajos Gábor, 2019.

Ide kell befűzni az eredeti feladatkiírási lapot!

NYILATKOZATOK

Beadhatósági nyilatkozat

A jelen tervezési feladat az elvárt szakmai színvonalnak mind tartalmilag, mind formailag megfelel, beadható.

Kelt,

Konzulens részéről:

külső konzulens

Elfogadási nyilatkozat

Ezen tervezési feladat a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Épületenergetikai és Épületgépészeti tanszék által a Szakdolgozat feladatokra előírt valamennyi tartalmi és formai követelménynek maradéktalanul eleget tesz. E feladatot bírálatra és nyilvános előadásra alkalmasnak tartom.

A beadás időpontja:

belső konzulens

Nyilatkozat az önálló munkáról

Alulírott, *Jankus Bence* (WHBITR), a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatója, büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és sajátkezü aláírással igazolom, hogy ezt a szakdolgozatot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, szakdolgozat feladatomban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem. Tudomásul veszem, hogy meg nem engedett eszközök használata esetén szakdolgozatom a kibocsátó intézmény által visszavonható.

Budapest, 2019. június 19.

szigorló hallgató

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	6
2. Ereszekkialakítások történeti fejlődése.....	9
2.1. Klasszikus kultúrák - Ókor.....	9
2.2. Középkor	10
2.3. Reneszánsz	11
2.4. Barokk.....	12
2.5. Historizmus	13
3. Szakirodalmi és jogszabályi áttekintés	15
3.1. Magyar jogszabályi háttér	15
3.2. Magyar és nemzetközi szakirodalom	20
4. Valós tűzesetek elemzése	43
5. Numerikus CFD szimuláció FDS szoftverrel	55
5.1. Kutatási mátrix meghatározása	55
5.2. Ereszkialakítást érő hőmérsékletkitét vizsgálata	57
5.3. Ereszkialakítás függőleges homlokzati tűzterjedést befolyásoló hatásának vizsgálata	60
6. Összefoglalás/Eredmények értékelése.....	63
6.1. Eredmények.....	63
6.2. Következtetések, javaslatok.....	64
7. Felhasznált források	67
8. Summary	69

* * *

Köszönetnyilvánítás

Szakdolgozatom megszületésében való közreműködésükért elsődlegesen köszönetet mondok konzulenseimnek, Dr. Takács Lajos Gábornak és Szikra Csabának, akik mind szakmai tudásukkal, mind tanácsaikkal segítettek és támogatták munkámat.

Köszönöm Kozák Ágnesnek, hogy rendelkezésemre bocsátotta TDK dolgozatát, és köszönöm Laczkovics Jánosnak, TDK konzulensének, hogy hozzájárulását adta saját fotóinak felhasználásához.

Köszönöm Kiss Viktóriának a családi házukban történt villanyóra tűzről készített fotódokumentáció rendelkezésre bocsátását.

Végül, de nem utolsó sorban köszönöm Sebestyén György tű. alezredes és Bán Attila tű. ezredes Uraknak, hogy érdekemben közbenjártak a Tolna Megyei Katasztrófavédelmi Főigazgatóságnál, hogy a bonyhádi tűzesetről készült tűzvizsgálati jelentést felhasználásra megkaphassam.

Budapest, 2019. június 19.

Jankus Bence

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 szemei 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 közelmúltban, 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, mint tényleges fejlesztő célú kutatásokkal. Kevés továbbá a valós léptékű tűzteszt, amiken keresztül kutatási alapadatok lennének gyűjthetők 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 valós tűzesetek alátámasztják a probléma realitását. Szakdolgozatomban ezzel a kérdéskörrel foglalkozom.

Dolgozatom megalapozó munkarészeiben rövid történeti áttekintést adok a homlokzatok, azon belül a magastetős ereszkialakítások építészettörténeti kronológiai fejlődéséről a passzív, épületszerkezeti tűzvédelem szempontjából. Elemzem a magyar és nemzetközi jogszabályi háttérrel, és betekintést nyújtok a témával foglalkozó nemzetközi szakirodalomba.

Munkám fő célja egy numerikus CFD szimulációs vizsgálatssorozat elvégzése és ezen keresztül a különböző geometriai és épületszerkezeti kialakítású ereszkialakítások homlokzatról tetőszerkezetre történő tűzterjedést befolyásoló tényezőinek vizsgálata és elemzése. 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

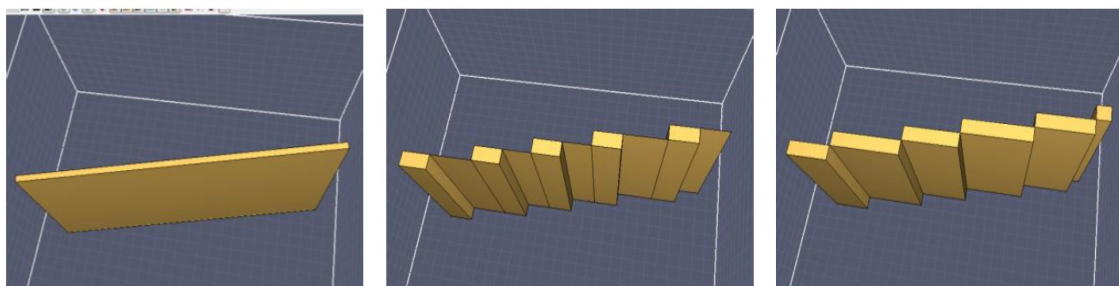
Munkám tárgyi részében hő- és füstterjedési szimulációs vizsgálatokat végzek a különböző geometriájú ereszcsumópontok tűzeseti viselkedésének elemzésére

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 (FDS verzió: 6.7.0, Pyrosim verziószám: 2018.3.1210).

A felhasznált szimulációs program a CFD (Computation Fluid Dynamics) modellezés elveit használja, melyek kifejezetten a tűzzel kapcsolatos jellemzőkre kerültek optimalizálásra (pl. felhajtóerő, hő és anyagtranszport). A program alkalmas a 3 dimenziós modellek esetén minden, a hőterjedéssel kapcsolatos fizikai folyamat kezelésére, például a testek felületeinek határán a hőáramlás vagy a sugárzás modellezésére. A hőtranszport modellezése mellett anyagtranszport (pl. füst-részecskék) modellezésére is van lehetőség.

A hőtani alapok mellett a programmal kezelhetők az aktív tűzvédelmi berendezések, valamint egyedi módon programozhatók a vizsgálni kívánt tűz paraméterei is.

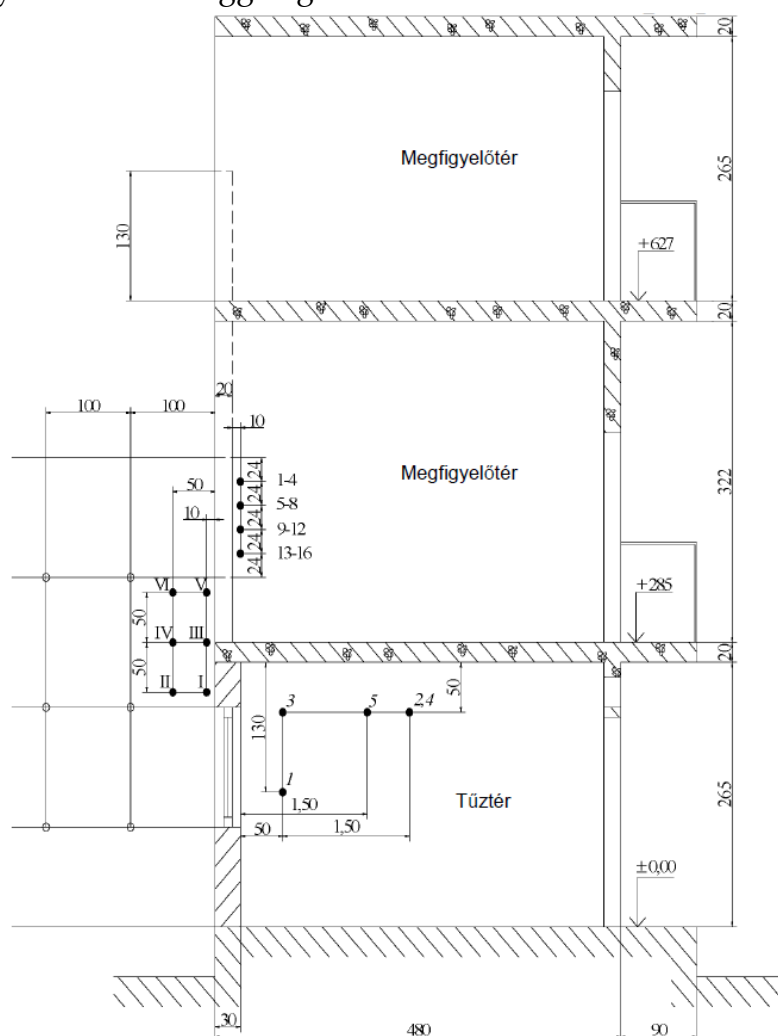
A Pyrosim program cellamodell. Ennek lényege, hogy a vizsgálni kívánt teret szabályos kocka alakú, vagy ahhoz nagyon közeli arányú cellákra osztja, majd ezen cellák egymással kapcsolódó felületein keresztül oldja meg a hő- és anyagtranszporthoz szükséges egyenleteket. A 3 dimenziós modellezés során betartottam a program gyártójának összes lényeges ajánlását: az épületszerkezeteket valós méreteikkel modelleztem, ahol lehetett, ott a cellák határaihoz igazítva. A tűztér vezérelt homlokzati nyílásának széleit szintén a cellahálózathoz igazítva alakítottam ki. Az ereszcsumópont esetén ennek a módszernek az alkalmazása nem volt megoldható. A kisméretű épületszerkezeti elemek (pl. deszkázatok, lécezők) ugyanis olyan méretű cellahálót igényeltek volna, mely esetén irreálisan nagy cellaszám, ebből következőleg pedig akár hónapokig elhúzódó futási idők alakultak volna ki. Ebben az esetben az épületszerkezeteket valós helyükön, a cellahálótól függetlenül ábrázoltam, konvertálásukkor pedig az alábbi ábrásor középső ábrája szerint blokkokra és ezeket összekötő síkokra bontottam fel.



1.1. ábra - Épületszerkezet cellahálótól független ábrázolása, illetve kétféle konvertálása a cellahálónak megfelelően. Forrás: <http://www.thunderheadeng.com/pyrosim/pyrosim-features>

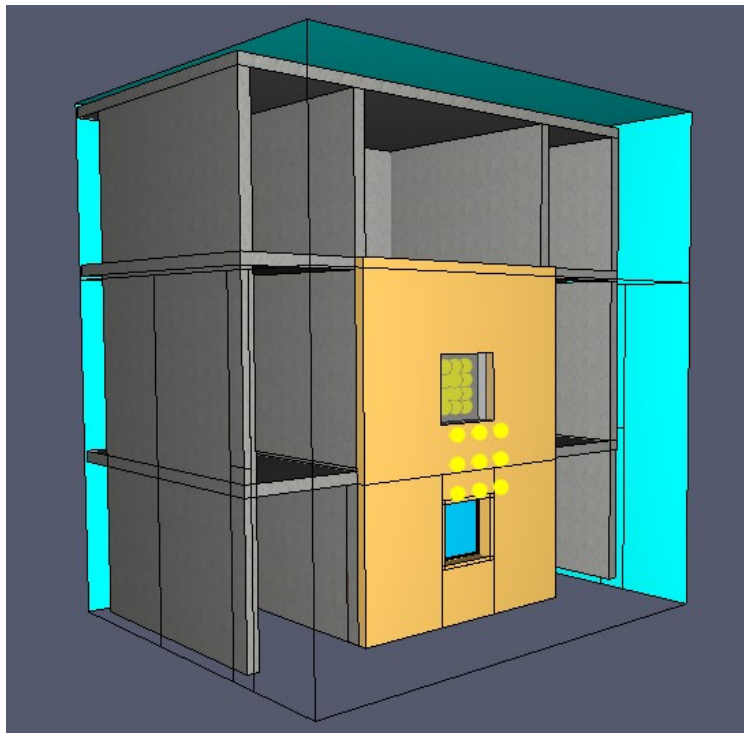
Az alkalmazott modell egy korábbi kutatás során az MSZ 14800-6:2009 szabványnak megfelelő homlokzati tűzterjedési vizsgálat szerint végzett valós léptékű tűzteszt adatai alapján validált modell volt [Dr. Takács Lajos Gábor, et al. 2015]. Ezt a sík homlokzatos vizsgálatra alkalmas modellt fejlesztettem tovább a homlokzat síkjából kilógó ereszegeometria vizsgálatára alkalmas modellé.

A validálás alapja a hőmérsékletkétegek megfelelő közelítése volt, amelyhez az alapot egy valós léptékű tűzteszt mérési eredményei szolgáltatták. A szabvány szerinti valós léptékű tűzteszt során 3 különböző pozícióban helyeznek el hőmérsékletmérő elemeket, amelyek az alábbi függőleges metszeten láthatók.



1.2. ábra – MSZ 14800-6:2009 szabvány szerinti valós léptékű tűzteszt vizsgálati modelljének függőleges metszeti rajza a hőmérsékletmérő termoelemek elhelyezkedésével

5 db elem kerül a tűztérbe, a tűzfészek négy sarka és a középpontja fölé (1-5). A homlokzat előtt 2x3 sorban, a homlokzat síkjától 10, illetve 50 cm távolságban soronként 3 db, összesen 18 db elem kerül elhelyezésre (I-VI x 3db). A sorok középső eleme az ablaknyílás tengelyében van, a másik tőle jobbra-balra, 50-50 cm-re. Az emeleti vizsgálóhelyiség homlokzati nyílászáró nélküli kialakítású, a homlokzati falnyílás mögé, a homlokzati fal belső síkjától 10 cm-re egy panel kerül elhelyezésre, melyen 4 sorban, egymástól mindkét irányban 24 cm távolságra, soronként 4 db, összesen 16 db termoelem kerül elhelyezésre (1-16). A vizsgálat során a vizsgált homlokzatburkolati rendszer károsodásán túl a szabvány előírja a hőmérsékletemelkedések vizsgálatát is. Ha az emeleti vizsgálóhelyiségben mért hőmérsékletemelkedés maximuma meghaladja a $\Delta T=180$ K-t, vagy a 4 legmagasabb mért érték átlaga meghaladja a $\Delta T=180$ K-t, vagy a homlokzat előtt a lángzónában mért hőmérséklet, illetve az emeleti vizsgálóhelyiségben mért hőmérséklet különbsége 2 percnél hosszabb időtartamon keresztül meghaladja a $\Delta T=300$ K-t, a vizsgálat véget ér.



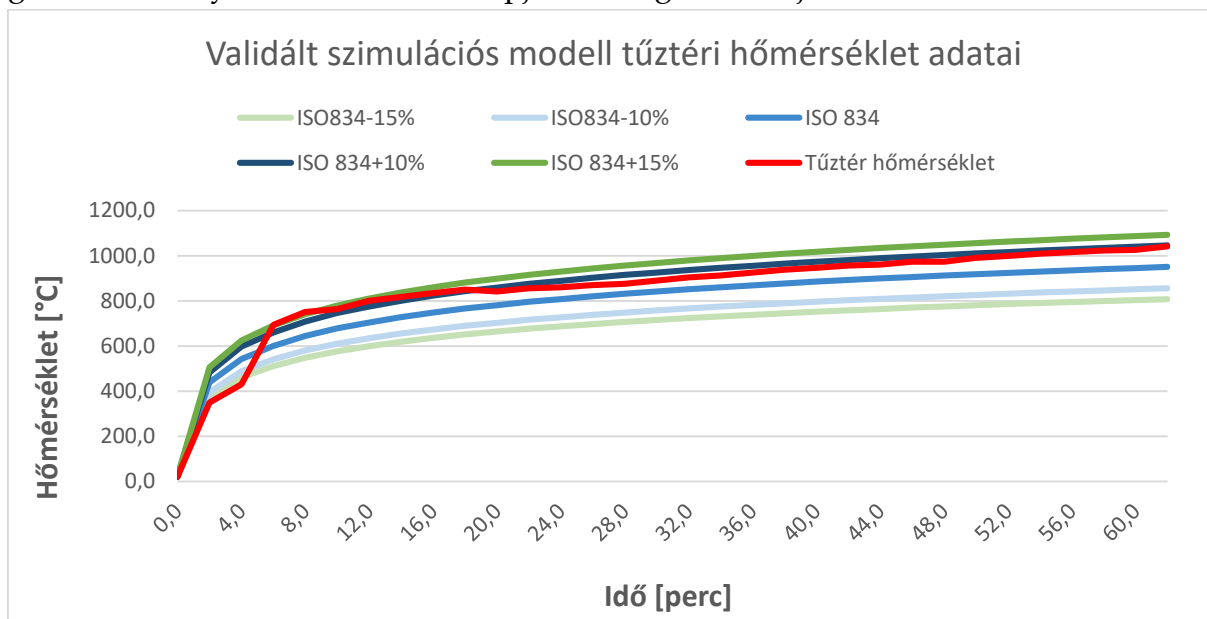
1.3. ábra – A validáláshoz használt sík homlokzatos modell 3d képe, a homlokzat előtti és az emeleti vizsgálóhelyiségben elhelyezett hőmérő elemek kiemelésével

A vizsgálati modellben alkalmazott hőmérsékletmérő termoelemek az elhelyezési cellájukon belüli gáztéri hőmérsékletet mérik (a modell alapvetése, hogy a cellahatárokon belül egy adott cellán belül a fizikai állapotjellemzők állandók).

A tüzet szintén a szabványban meghatározott módon, 650 kg tömegű, fa tetőléc-ből épített máglyával modelleztem. A modellben elhelyezésre került a szabvány által gyújtóforrásként előírt 10 kg dízelolaj is. A vizsgálati szabvány előírja, hogy a vizsgálati tűzhatás az ISO 834-1 szabvány szerinti parametrikus zárttéri cellulóz tűzgörbe (1.1) szerinti legyen.

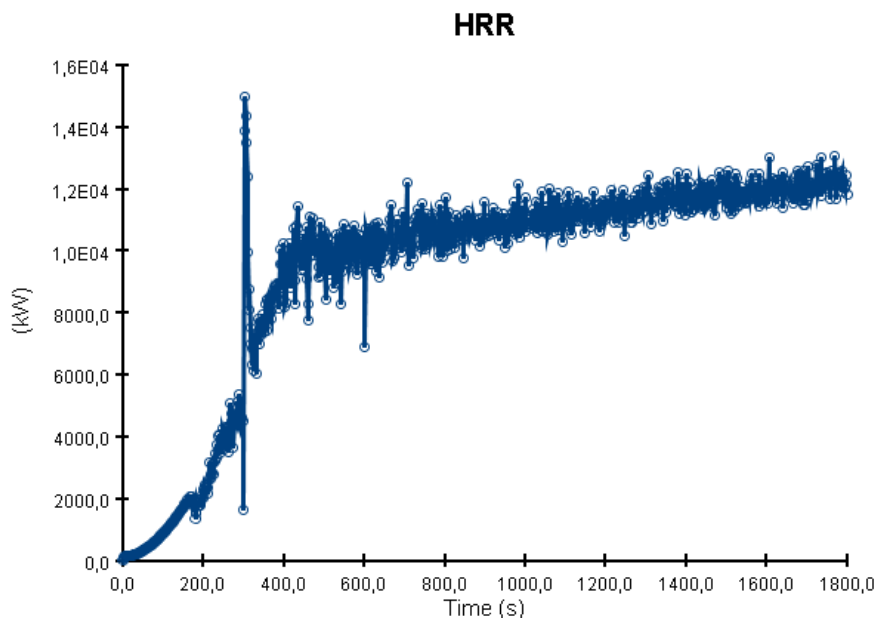
$$T = 345 \lg(8t + 1) + 20 \quad (1.1)$$

Az MSZ 14800-6:2009 szabvány a vizsgálat 6. és 10. perce között 15%, a 10. perc után pedig 10% eltérést enged meg az előírt paraméteres referencia hőmérséklet-idő görbétől. Az alábbi diagram jól szemlélteti, hogy a validált vizsgálati modell megfelel a vizsgálati szabvány előírásainak, ez alapján a vizsgálat kiterjesztésére alkalmas.



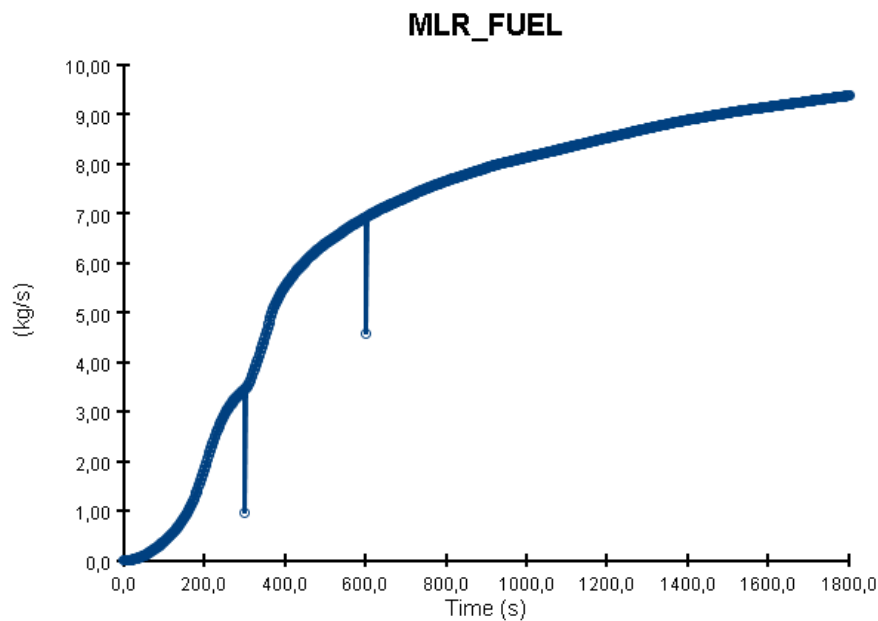
1.4. ábra – Validált vizsgálati modellben mért tűztéri hőmérsékletét és az előírt referencia értékek

A modellben létrehozott tűzhatás teljesítményének lefolyása (HRR – Heat release rate) és tömegvesztés sebessége (MLR – Mass Loss Rate) az alábbi két ábrán látható.



1.5. ábra – Vizsgálati modell tűzhatás teljesítményének lefolyása

A diagramm alapján látható, hogy a vizsgálati tűzhatás teljesítménye 12 MW körül tetőzik.



1.6. ábra – Vizsgálati modell tűzhatásának tömegvesztés sebessége

A vizsgálatok során hőmérsékletmérő termoelemeket (THCP) alkalmaztam a szerkezeteket érő hőmérsékletkitételek 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]

$$\rho_{TC} c_{TC} \frac{dT_{TC}}{dt} = \epsilon_{TC} (U/4 - \sigma T_{TC}^4) + h(T_g - T_{TC}) = 0 \quad (1.2)$$

Az egyenlet egyes tagjai az alábbiak:

- ϵ_{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 hő-sugárzással 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 hőszigetelő rendszerek homlokzati tűzterjedési határérték (T_h) teljesítményének meghatározására való. Jelen változatában nem alkalmas a speciális geometriai kialakítások, pl. az egymással 120°-

nál kisebb szöget bezáró, eltérő tűzszakaszokhoz tartozó homlokzatok közötti tűzterjedés, vagy a sík homlokzat elé nyúló ereszcsonlópontra való tűzterjedés vizsgálatára, bár továbbfejlesztése évek óta tervben van. 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 hőkéseleltetés jelensége miatt ugyanis minden esetben alacsonyabb, mint az őket körülvevő gáztéri hőmérséklet. A Pyrosim program lehetőséget biztosít ugyan adiabatikus hőmérsékletmérő elemek használatára, amelyek a fenti jelenségek matematikai modellezését is elvégzik, ezáltal közvetlenül a felületi hőmérséklet mérésére alkalmasak, alkalmazásuk azonban problémás. Az adiabatikus érzékelők matematikai modellje nem tudja kezelni azon elemeket, melyek vastagsága nincs legalább egy cella méretű – ez pedig a fent részletezett cellahálóhoz csak irreális erőforrás-igény mellett illeszthető ereszcsonlópont miatt nem volt megvalósítható. A hőmérsékletméréseket minden esetben THCP fejekkel 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 fölőbb, a vizsgálati tér ablaknyílása fölé helyeztük el, lehetőség nyílt az ereszt hatásának vizsgálatára és annak sík homlokzatos kialakítással való összevetésére. Ennek érdekében a szimulációs modellben a felső vizsgálati helyiséget üvegezett nyílászáróval láttuk el, amelynek külső és belső oldalán is termoelemeket helyeztünk 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 ereszmmenti 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 ereszcsonlópontról hőszugárzással visszavert hő csak kevéssé veri vissza, annak nagy részét átengedi. Az, hogy az üveget megtartottam az emeleti ablaknyílásban, leginkább szimulációtechnikai okokra vezethető vissza. Ilyen módon ugyanis tisztán az ereszt által visszavert hőmennyiség hatását tudtam vizsgálni, kizártam a beáramló füst által felületi hőátadással a belső tér szerkezeteire átadott hő. 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.

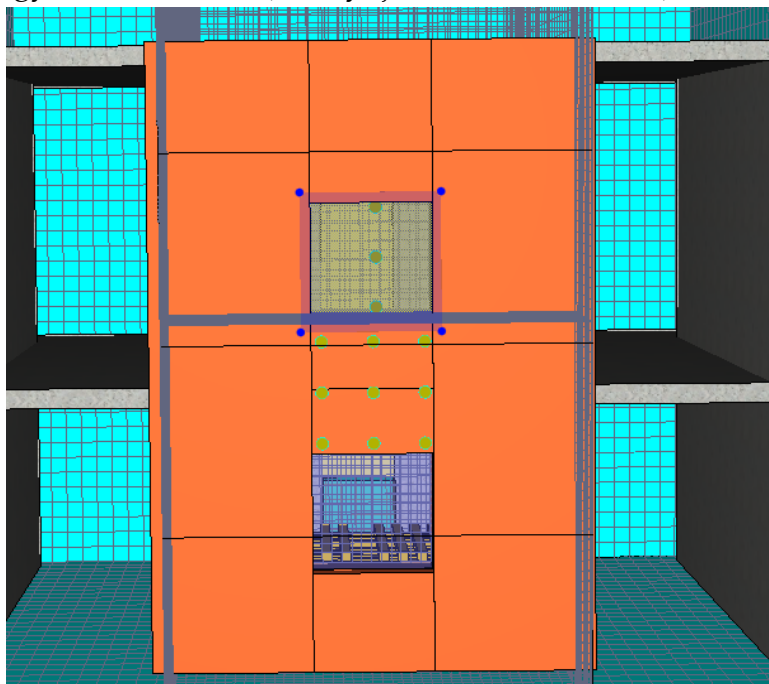
A vizsgálati modellnek vannak azonban korlátai. A korábban már említett cellaháló kialakítás miatt nagyon nehezen vizsgálható az átszellőztetett légréseken keresztül történő tűzterjedés – így az ereszekben keresztül történő tűzterjedés egyik legjellemzőbb formája, mely az alacsony gyulladási hőmérsékletű alátéthéjázat gyors meggyulladásával és a kürtőhatás miatt a tűz légréseben 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 pontosíthatnánk a szimulációs modellek beállításait.

Az ereszkialakításnak az egymás fölötti szintek közötti függőleges homlokzati tűzterjedésre gyakorolt hatásának vizsgálatakor az emelti vizsgálóhelyiség homlokzati falában kialakított homlokzati nyílást nem valós nyílászáró modellezésével, hanem egy egyrétegű, 4 mm vastag üveglap kialakításával zártam le. Annak érdekében, hogy az üveglap és a falnyílás peremei között ne alakulhasson ki „szivárgás”, illetve a modell kialakítása ne okozzon numerikus futtatási instabilitást, az üveglapot a falnyílás méretein 10 cm-el (egy cella méretével) túlnyújtva alakítottam ki. (1.7. ábra)



1.7. ábra – Emeleti vizsgálóhelyiség homlokzati nyílásának kialakítása

Az egyrétegű üveglapot az FDS szoftver a cellahálóhoz való igazítás során egy 0 vastagságú lappá alakítja át. Az üveget az programban anyagtani tulajdonságaival, emissziós, és abszorpciós tényezőivel modelleztem. [McRattan et al, 2019]

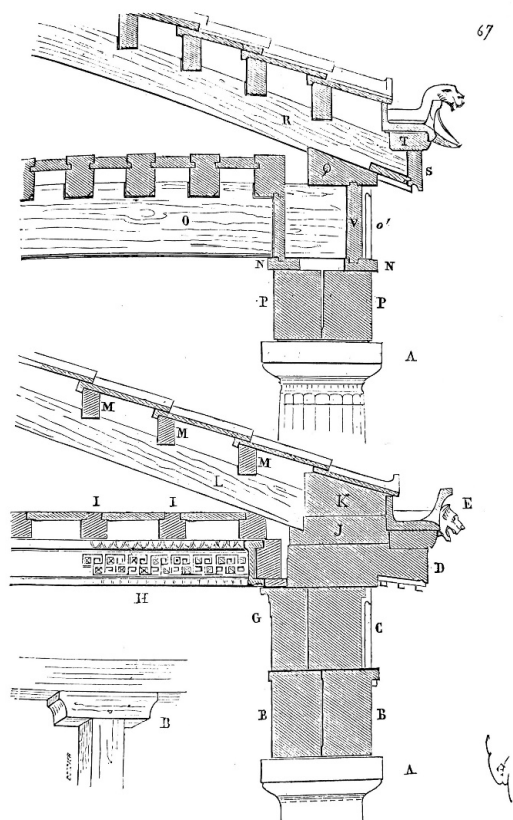
2. ERESZEKKIALAKÍTÁSOK TÖRTÉNETI FEJLŐDÉSE

2.1. Klasszikus kultúrák - Ókor

Az ókori Hellász és Róma birodalmainak születését az i.e. 1.1 századra tehetjük. A mediterrán éghajlat és a tenger száraz, meleg, kevés csapadékkal járó időjárását eredményez. A kor legjellemzőbb, a téma szempontjából releváns épületfajtája a lakóház, amelyeket az Alpoktól délre eső országok építési szokásainak és a hó hiányának megfelelően viszonylag kis hajszogú tetővel fedtek le.

A római lakóház belső átriumos kialakítása sokszor nem is tette szükségessé függő eresz csatorna kialakítását – a tető peremén lecsorgó vizet a belső udvar közepén kialakított vízgyűjtő medencébe vezették.

A görög lakóházak ereszkialakítása túlfolyós eresszel történt, mely kizárólag az oszloprend fölötti párkányzat koronázó tagozatával egy mértékben ült ki a homlokzat elé (2.1. ábra) [Kozák, 2018]



2.1. ábra – Példák görög lakóház ereszkialakítására [Viollet le Duc, 1877]

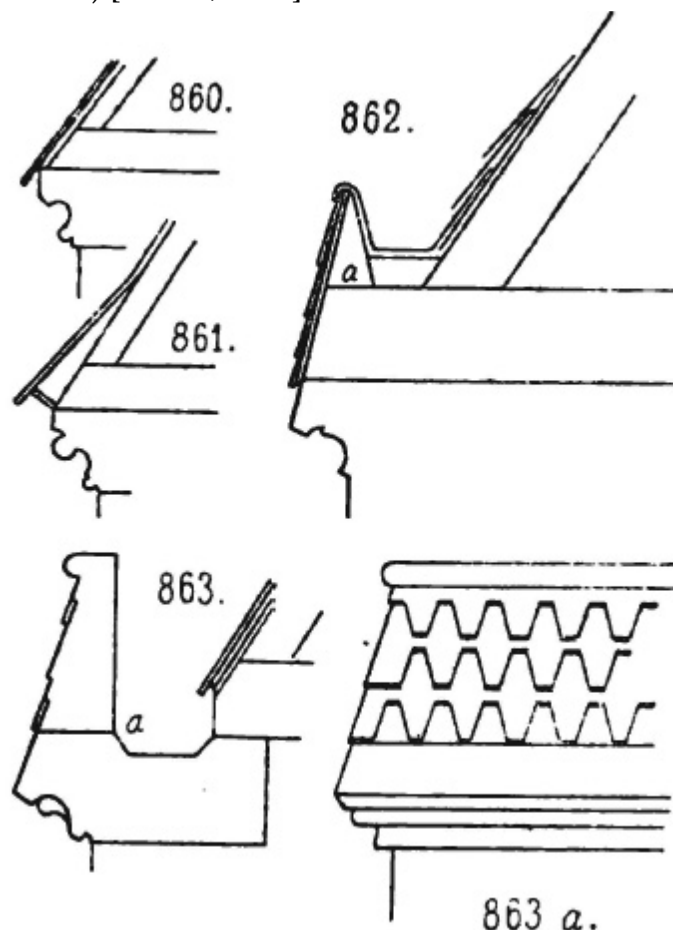
Mindazonáltal a kor építményei jellemzően földszintes, vagy maximum egy emeletes kialakításúak voltak, így a homlokzatról tetőre történő tűzterjedésnek nem volt

olyan mértékű jelentősége, mint napjainkban. A nagy, városléptékű tüzesetek oka sokkal inkább a tetőről tetőre történő tűzterjedésre vezethető vissza (lásd pl. Róma nagy tüzét Kr. u. 64-ből).

2.2. Középkor

A Római Birodalom bukása után a kulturális fejlődés földrajzi súlypontja áthelyeződik a Mediterráneumból Nyugat- és Közép-Európába. A korstílus jellemző, magastetővel fedett épülete a keresztény templom. Nyugat- és Közép-Európában a tetők kialakításánál jelentős tényező a fagy és a hó. Az éghajlat és a korstílus formanyelvének változása következtében az összetett belső tömegeket meredek hajlású magastetőkkel fedték le.

A homlokzat és a tetőszerkezet találkozása az építészeti formaképzés miatt kizárólagosan visszahúzott, a homlokzat síkja mögötti csatlakozással készült. Itt kaptak helyet a vízvezetés szerkezetei, melyek jellemzően kő anyagúak voltak, időnként fémlemez béleléssel (2.2. ábra) [Kozák, 2018]



2.2. ábra – Gótikus ereszkialakítások [Ungewitter, 1903]

A városon belüli katedrálisok jellemzően a városszövetből jól elkülönítetten, az egyéb funkciójú épületektől nagyobb távolsággal elválasztva épültek. Az osztások nélküli belső tér, illetve a jellemzően látszó fedélszékek indokolatlanná teszik, hogy esetükben homlokzatról tetőszerkezetre terjedő tűzről beszéljünk.

2.3. *Reneszánsz*

A XV. század Itáliájában született korstílus új építészeti formanyelvet hozott. Éghajlati szempontból ismét visszatérünk a kevés csapadékkal járó, meleg és száraz mediterrán vidékre, ami ismételten az alacsony hajlású tetőket vonja maga után. [Kozák, 2018] A klasszikus itáliai homlokzat és tető csatlakozása jellemzően már csüngőereszes kialakítással készült, ám a legfelső szint ablaksávja fölött komplett, klasszikus formavilágot imitáló párkánytagozat készült, jellemzően nem éghető anyagokból. Az ereszt így több méter magasságkülönbség választja el az ablakoktól, valamint alulról kő anyagú szerkezetek védik (2.3. ábra)



2.3. ábra – A firenzei Palazzo Medici Riccardi homlokzata (saját gyűjtés)

Az Európában elterjedő reneszánsz mindenhol kialakította a saját, területre jellemző formavilágát. A korabeli Magyarország területén főleg Erdélyben és a Felvidéken maradtak meg lakóházak, templomok. Itt alakult ki az ún. pártázatos reneszánsz, ami tulajdonképpen az észak-itáliai érett reneszánsz és a közép-európai késő gótika ötvözete. A formastílus lényege a várfalak mellvédjéhez hasonló, csipkés motívumokkal kialakított homlokzati mellvédfal, mely sok esetben teljesen elrejtje a mögötte húzódó tetőt. (2.4. ábra) A vízelvezetés a tető középvonala történő lejtetésével, majd az így kialakuló vápacsatorna vízköpőkkel való megtoldásával történt. A formastílus bukását pont az épületszerkezeti, a vízelvezetési problémák okozták – köszönhető volt ez elsősorban a mediterrán éghajlathoz képest sokkal több csapadékkal, valamint fagyok-

kal járó közép-kelet európai éghajlatnak. Az alacsony hajlású, belső vízelvezetésű tetők nehezen bírták a hirtelen lezúduló vízmennyiséget, sok esetben komoly vízkárok keletkeztek. Erdélyben I. Rákóczi György idejében sok helyen lebontották a pártázatos homlokzatot és visszaállították az éghajlatnak megfelelő meredek hajlású magastetőket. [Kozák, 2018]



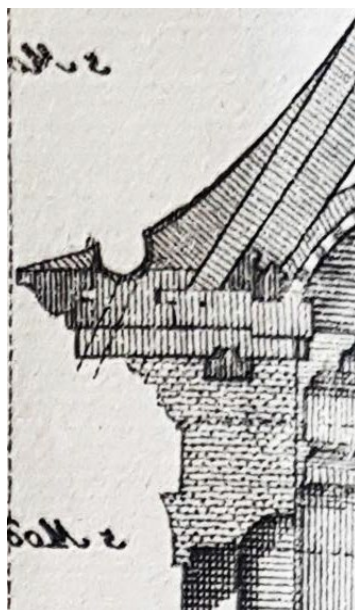
2.4. ábra – Eperjesi utcakép [Divald, 1900]

Összességében elmondható, hogy a reneszánsz ereszkialakítások – akár az itáliai csüngőereszes forma, akár a Közép-Kelet európai mellvédfalas verzió – függőleges tűzterjedés szempontjából nem jelentenek különösebb kockázatot.

2.4. Barokk

A 16. század végétől a 18. század végéig tartó korstílus nem hozott sok újdonságot az ereszképzések területén. Legfőbb építészeti jellemzője a fényűzés, így a hangsúlyt leginkább a homlokzatképzések illetve a belső terek plasztikus kialakításai kapták.

A stílus teljes Európában széles körben elterjedt. A korábbi stílusoknál részletezett éghajlati sajátosságok itt is rányomták a bélyegjüket a formavilágra, ám az ereszképzések jellemzően az észak-itáliai reneszánsz mintát követték: már a változó hajlásszögű magastető a jellemzően nem éghető anyagú koronázótagozaton keresztül találkozik a homlokzattal (2.5. bárá) [Kozák, 2018]

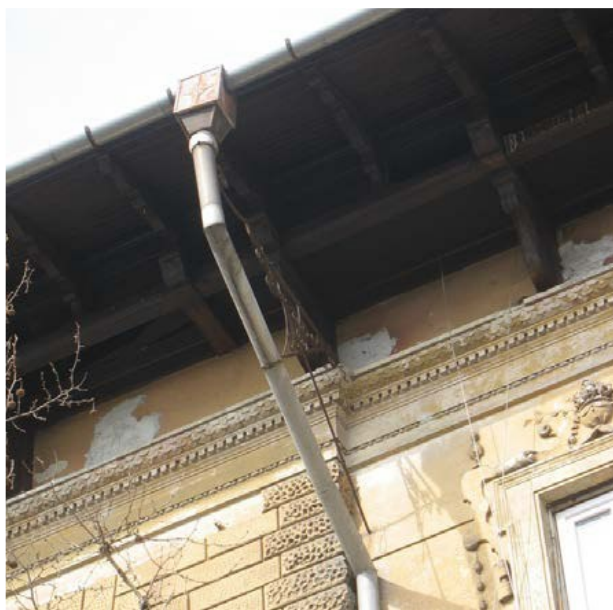


2.5. ábra – Koronázótágozatban ülő ereszt [Schübler, 1735]

Fentiek alapján az ereszek homlokzati tűzterjedéssel való veszélyeztetettsége nem romlott a reneszánsz óta.

2.5. *Historizmus*

A historizmusnak az ipari forradalom fejlődésével párhuzamosan az építészeti stílusnyelv rohamos fejlődését hozta. A megjelenő új anyagok és technológiai lehetőségek a formavilággal való kísérletezésre ösztönözték az építészeket. Ez az a korstílus, ahol először jelenik meg a napjainkban általánosnak és megszokottnak számító függőeresz csatorna (2.6. ábra) [Kozák, 2018] Emellett a kezdetben kőből, később téglából falazott párkányok továbbra is népszerűek, amelyek tűzvédelmi szempontból hatékonyan választják el a homlokzatokat a tetőszerkezetektől.



2.6. ábra – Függőeresz csatorna díszes ejtővezeték tartó konzollal, fa anyagú ereszképzéssel (fotó: Laczkovics János)

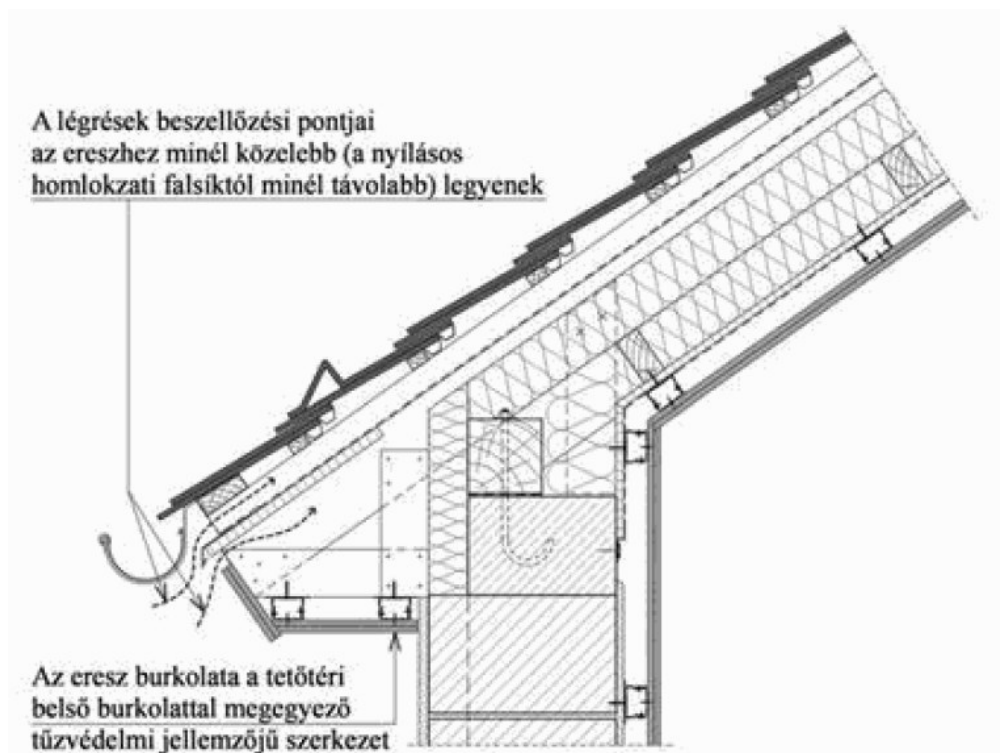
Szakdolgozatomban az ilyen, és ehhez hasonló ereszkialakításokkal foglalkozom. A tűzvédelmi problémákat legfőképpen az éghető anyagú szerkezetek alkalmazása, a nagy ereszkiülés, valamint a legfelső szinti ablakhoz közeli kialakítás jelentik.

3. SZAKIRODALMI ÉS JOGSZABÁLYI ÁTTEKINTÉS

3.1. 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 figyelmet fordít az épületen kívüli, homlokzaton történő tűzterjedés jelenségére. Igazolja ezt a világon egyedülálló, valós léptékű, az MSZ 14800-6:2009 szabvány szerinti tűzteszt vizsgálat, amelyet az hatályos tűzvédelmi jogszabály, az 54/2014 (XII.5.) BM rendelet (továbbiakban: OTSz vagy OTSz 5.0) 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 folyamatában. 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 változás volt, hogy a jogszabályból kiemelésre kerültek a korábban akár szó szerinti átemeléssel bekerült szabványok, valamint a tényleges műszaki megoldások. A szabványok teljesen kiírtásra kerültek – érvényes Európai vagy Magyar szabványok betartása ugyanis jogszabályi szinten kötelező, így értelmetlen a teljes szabvány külön jogszabályba történő beemelése. A műszaki megoldások Tűzvédelmi Műszaki Irányelvekbe (röviden TvMI) kerültek áthelyezésre, melyek alapelve, hogy nem minősülnek jogszabálynak – betartásuk tehát nem kötelező –, de a bennük foglalt műszaki megoldások alkalmazása garantálja a jogszabályban megfogalmazott követelményeknek való megfelelést. A megoldások TvMI-kbe történő átemelése azonban szakaszosan folyik, így támadnak folytonossági hézagok a műszaki tartalomban. Ilyen például az ereszek témaköre is.

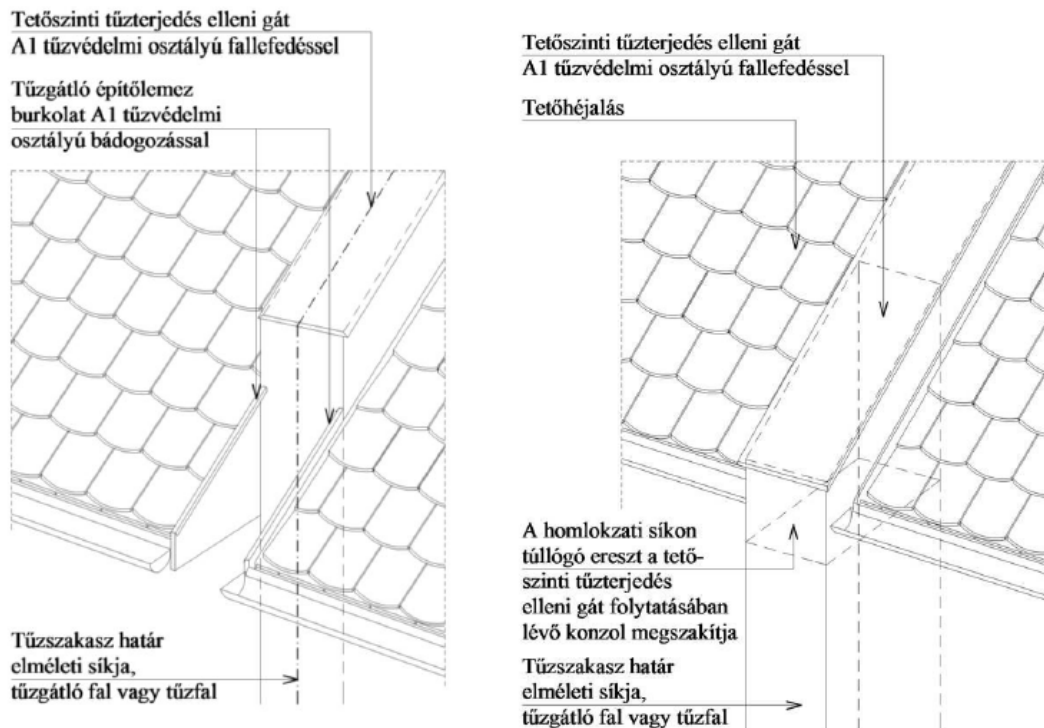
A 28/2011. (IX. 6.) BM rendelettel kiadott előző OTSz 341.§ (4) szerint „A tetőszerkezet nyílásos homlokzati sík elé lógó szakaszát (eresz) alsó síkján és homlokvonalán teljes hosszában és szélességében a belső burkolat tűzvédő képességével megegyező, alsó tűzhatás elleni védelemmel kell ellátni. A tűzhatás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



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

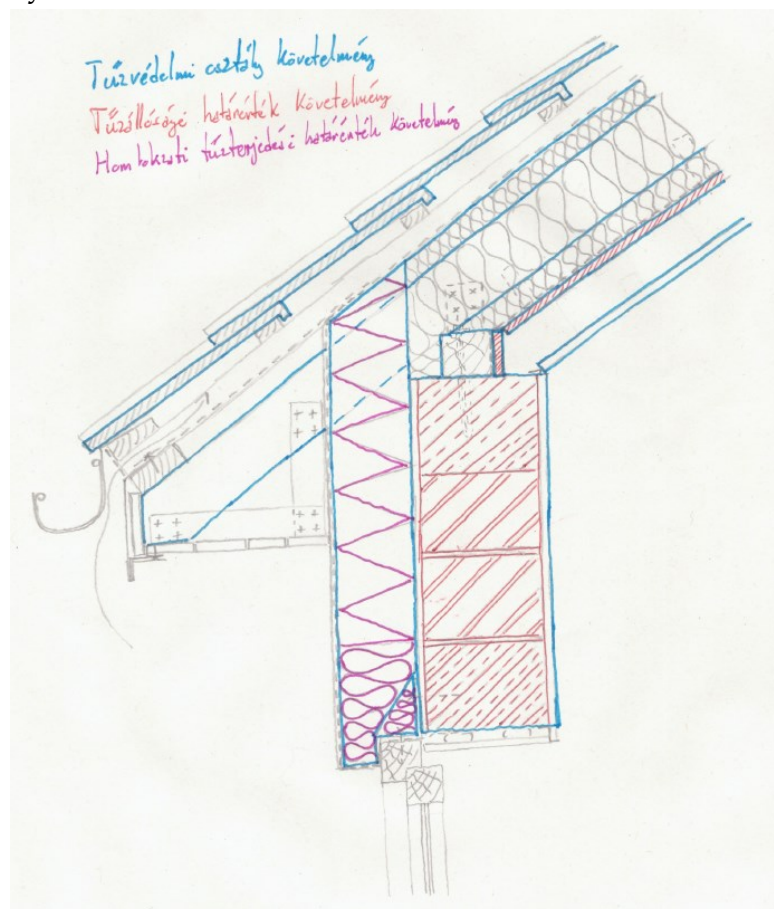
Jó hivatkozási alapnak tartom a beépített tetőtér belső burkolatával megegyező tűzvédő burkolat követelmény kiírását az eresz alsó burkolatára, azonban mivel nincs a homlokzati tűzterjedés elleni gátakhoz hasonló követelmény a beépített tetőtér alatti építményszint homlokzati nyílászárói és az eresz közötti függőleges távolságra, így a légrésekkel megszakított burkolat-kialakítás nem megfelelő. A fent ábrázolt geometria ráadásul a légrések felé tereli a csóvát, ami elősegíti a légréseken keresztül a tetőszerkezet belsejébe történő tűzterjedést. Az ábrázolt kialakítás továbbá egy kettős átszellőztetésű tetőrétegrendet ábrázol, mely 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 1.2:2017.07.03. 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. (3.2. ábra)



3.2. ábra – Ereszek megszakítása vízszintes homlokzati tűzterjedés elleni gát síkjában [TvMI 1.2:2017.07.03.]

Az alábbi ábrákban összefoglalom az OTSz 5.0 ereszekkel kapcsolatos szerkezetekre előírt követelményeit.



3.3. ábra – Beépített tetőtérhez kapcsolódó konzolos ereszkialakítás

A 3.3. 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_{roof})

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. ereszdeszka)
- 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 (1.11:2016.07.15.) 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.

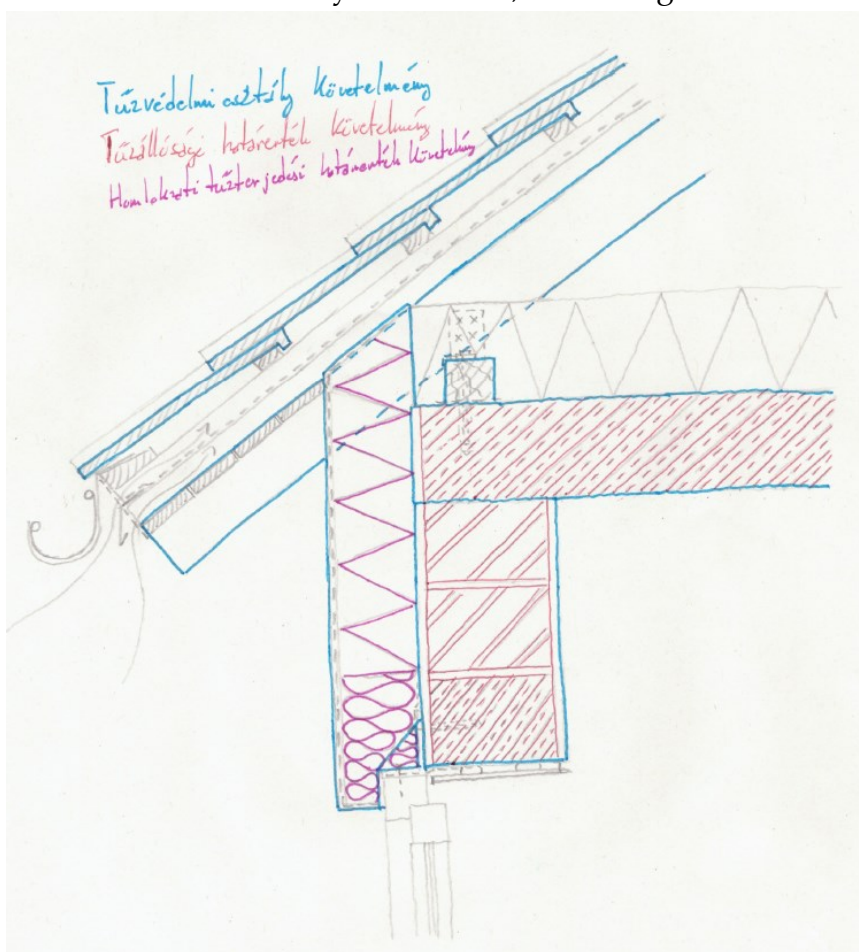
Egy másik alapvető tűzvédelmi probléma, hogy a beépített tetőtereket a tetőszerkezettől határoló burkolatok minősítése egyoldali (belső) tűzhatásra történik. Nincsenek

tehát arra felkészítve, hogy egy külső, a tetőszerkezet felől érkező tűz esetén a huza-mos 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 gépé-szeti szerelvényezés végezhető -, akkor az összes, az egyszeres burkolaton kialakított áttörést megfelelő tűzterjedést gátló lezárással kell ellátni. Ezeknek kialakítása szere-léstechnikailag 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 alátéthéjazat és a tetőfedés komoly, kiterjedt károsodását okozhatja, aminek helyreállítása és javítása nagyon költséges le-het. Úgy gondolom, megéri tehát inkább a megfelelő, teljeskörű passzív tűzvédelmi megoldás kialakítása, mintsem tűz esetén a részleges kárra való törekvés.

Az alábbi ábrán egy beépítetlen padlástér példáján mutatom be a fentieket. (3.4. ábra) 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 építményszint feletti zárófödém lesz jogsza-bályi értelemben a tetőfödém. A fedélszerkezettel kapcsolatosan a jogszabály szerint változatlanul csak tűzvédelmi osztály előírás van, tűzállósági határérték nincs!



3.4. ábra – Beépítetlen padlástérhez kapcsolódó konzolos ereszkialakítás

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_{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, pince + földszint + max. 2 emeletes épület esetén C REI 15 követelményt ír elő a tetőfödém tartószerkezetére és 60 kg/m² felülettömeg feletti térelhatároló szerkezetére, valamint D REI 15 a követelmény a 60 kg/m² 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 zárófödémeket ábrázoltam – ez a szerkezet jó eséllyel képes ellenállni az összedőlő fedélszerkezet dinamikus terheinek, 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.

3.2. 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 célom annak bemutatása, hogy

az általános szituáció mellett fontos a részletek, speciális esetek (pl. falsarkok vagy eresz) vizsgálata is.

Az FKI kiadványa [Érces Gergő et al, 2014] önálló kategóriaként foglalkozik a homlokzatról tetőszerkezetre terjedő tűz jelenségével. A tűz keletkezése alapján megkülönböztet külső és belső tűzfészkeket. Külső tűzkeletkezés lehet pl. egy villanyóra-szekrény meghibásodása (3.5. ábra), míg belső tűzkeletkezésre klasszikus példa a főzőlapon felejtett túlhevülő és kigyulladó olaj, vagy a bedugva felejtett hőtermelő berendezés (hősugárzó, vasaló, stb.).



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

A kiadvány a tűzterjedést elősegítő tényezőkként sorolja fel, az éghető anyagú ereszburkolatot, a függőleges homlokzat mentén áramló forró gázoknak vízszintes akadályt jelentő geometriát, valamint az eresz mentén beszellőztetett átszellőző tetőréteget. Az eresz meggyulladásától kezdve a továbbiakban tetősíkban történő tűzterjedésként értelmezi a tűz lefolyását. A tetősík-beli tűzterjedés fő problémái a nehéz hozzáférhetőség, olthatóság, mivel a tetőfedés – épületszerkezeti szerepének megfelelően – az oltóvizet elvezeti. A tetőfedés megbontása után a tűz hirtelen nagy mennyiségű oxigénhez jut, ami az addigi fejlődő fázisú, esetlegesen csak parázsló tüzet könnyen és gyorsan kifejeletté változtathatja.

A kiadványból hiányolom a tetőszerkezeten keresztül a belső terek felé való tűzterjedés problémájának részletezését. Beépítetlen padlástér esetén a tetőszerkezet belső burkolatával szemben nincs tűzvédelmi követelmény, így (mivel ebben az esetben 99%-ban hőszigetelés sincs, mert a termikus burok a padlásfödém síkjában van) semmi nem akadályozza a gyors tűzterjedést, a tetőszerkezet teljes leégését (ld. fentebb a jogszabályi háttérben a beépítetlen padlásterek példáját). Beépített tetőtér esetén a tetőszerkezet belső burkolatával szemben van tűzvédelmi követelmény, itt a csomópontok (elektromos és gépészeti áttörések, tetőablakok beépítése, parapetfalhoz/talpszelemenhez való csatlakozás, stb.) kialakítása a kritikus.

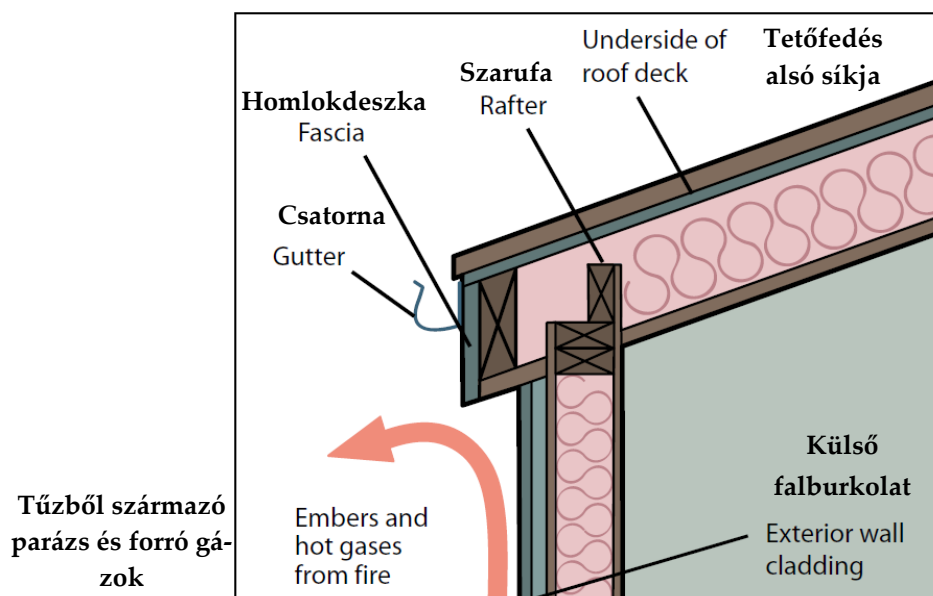
Vágó Bálint cikkében [2015] éghető magú homlokzati hőszigetelő rendszerek kivitelezésének ellenőrzésével foglalkozik tűzvédelmi szempontból. Külön kiemeli az ereszcsumópontokat, mint potenciálisan gyenge helyeket. A túllógó szarufavégek és a homlokzati hőszigetelés csatlakozása nehezen alakítható ki tűzvédelmileg megfelelően, így a biztonság érdekében lokálisan A1 tűzvédelmi osztályú ásványgyapot sáv kialakítását javasolja.

Jó megoldásnak tartom az eresz környezetében a nem éghető homlokzati hőszigetelés alkalmazását, jó analógia az OTSZ szerint megkövetelt, szintek közötti függőleges homlokzati tűzterjedés elleni gátakra. Nem oldja meg azonban az összes problémát, a homlokzati ablakon kiáramló felszálló forró csóva hatása így is közvetlenül éri a csüngőeresz éghető anyagú elemeit (a szarufavégeket vagy a deszkázatot). Külön problémás kérdéskör a vakolaterősítő hálók szarufavégek felületével való folytonosítása - ezt a hőszigetelő mag éghetőről nem éghető anyagúra való váltása szintén nem oldja meg teljesen, bár tagadhatatlanul javítja.

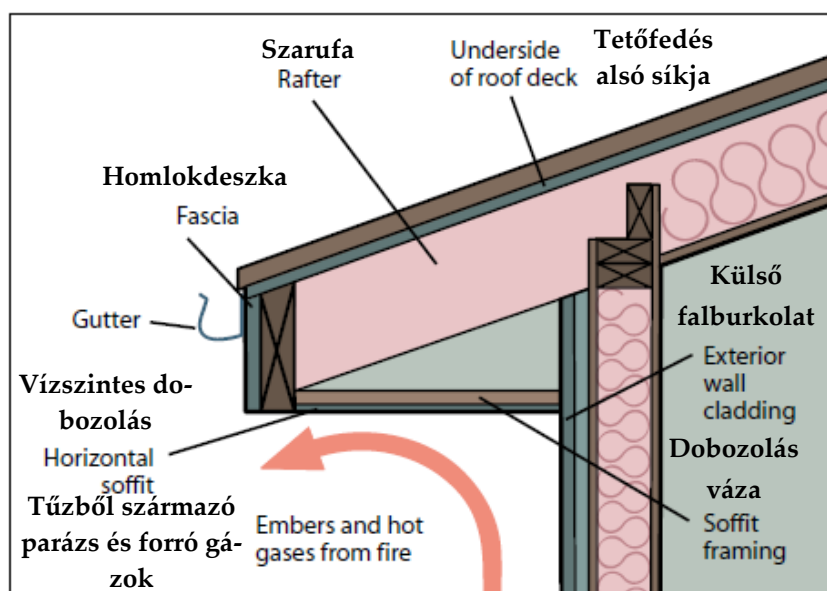
Nemzetközi szakirodalom a témában alapvetően azokból az országokból-régiókból lelhető fel, ahol nagy múltja van a faszervezetű építésnek. Alábbiakban három, a világ különböző tájairól származó példát mutatok be.

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. Az alapvetően ajánlott tervezési szempontok a következők:

- Túlnyúló tetőszegélyek és ereszek nélküli építészeti tömegformálás alkalmazása (3.6. ábra).
- Amennyiben az építészeti elképzelés, egyéb esztétikai szempontok vagy helyi szabályozás miatt nem elképzelhető, úgy
 - legalább 1 óra tűzállósági határértékű alsó ereszburkolat kialakítása olyan módon, hogy a beszellőzési hézagot, a szarufavégeket, talpszelement, illetve bármilyen más, a belső térbe belépő épületszerkezeti elemet a külső tűzhatás ne érhesse el,
 - valamint a vízszintes alsó ereszlezárás preferálása a tető lejtésével párhuzamos alsó lezárással szemben (3.7. ábra).
- Az eresz alsó lezárása esetén nem éghető, vagy megfelelő tűzállóságú anyagok használata (pl. minősített, megfelelő tűzállósági határértékkel rendelkező fa építőlemez, vagy cementkötésű építőlemez).



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

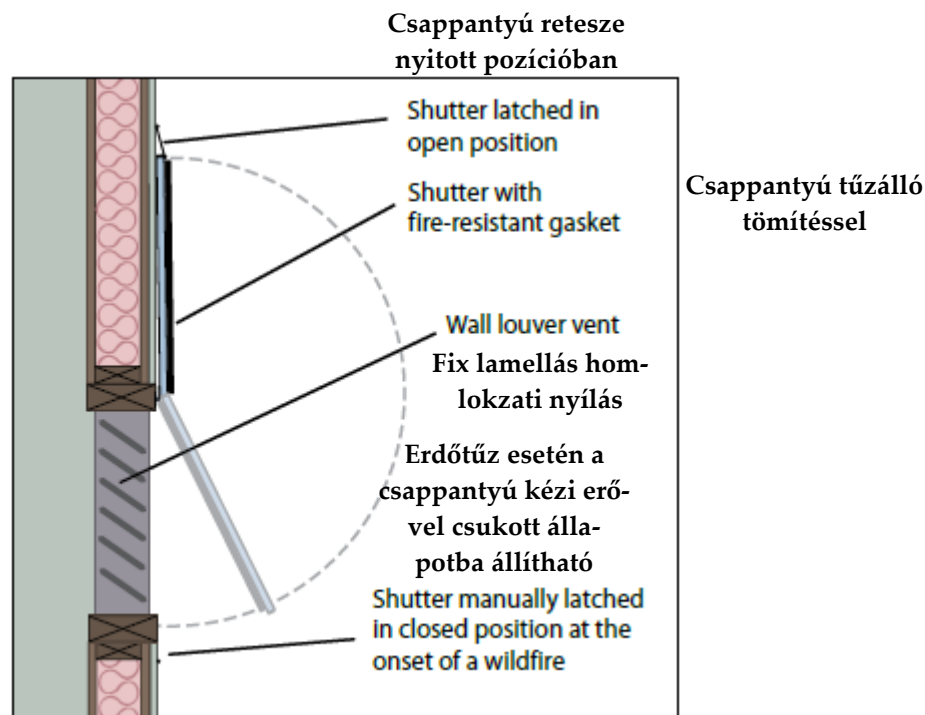


3.7. ábra – Túlnyúló ereszesetén FEMA szerint javasolt helyes épületszerkezeti kialakítás

A fenti ábrák rendkívül sematikusak, de az alapgondolatot jól fogalmazzák meg: az ereszes egy potenciálisan gyenge, tűzterjedés szempontjából kritikus eleme a homlokzatnak, amelyet védeni szükséges. Nem foglalkoznak egyáltalán a kritikus részletekkel, pl. a beszellőző légrés pozíciójával. A részletkialakítások helyes megtervezése azonban még sok munkát igényel.

A tűzhatás itt a fentieknek megfelelően külsőnek feltételezett, a szerkezetkialakítási javaslatok az erdőtűzből származó külső sugárzó hő és/vagy röptűz terjedés elleni védelemre adnak javaslatot.

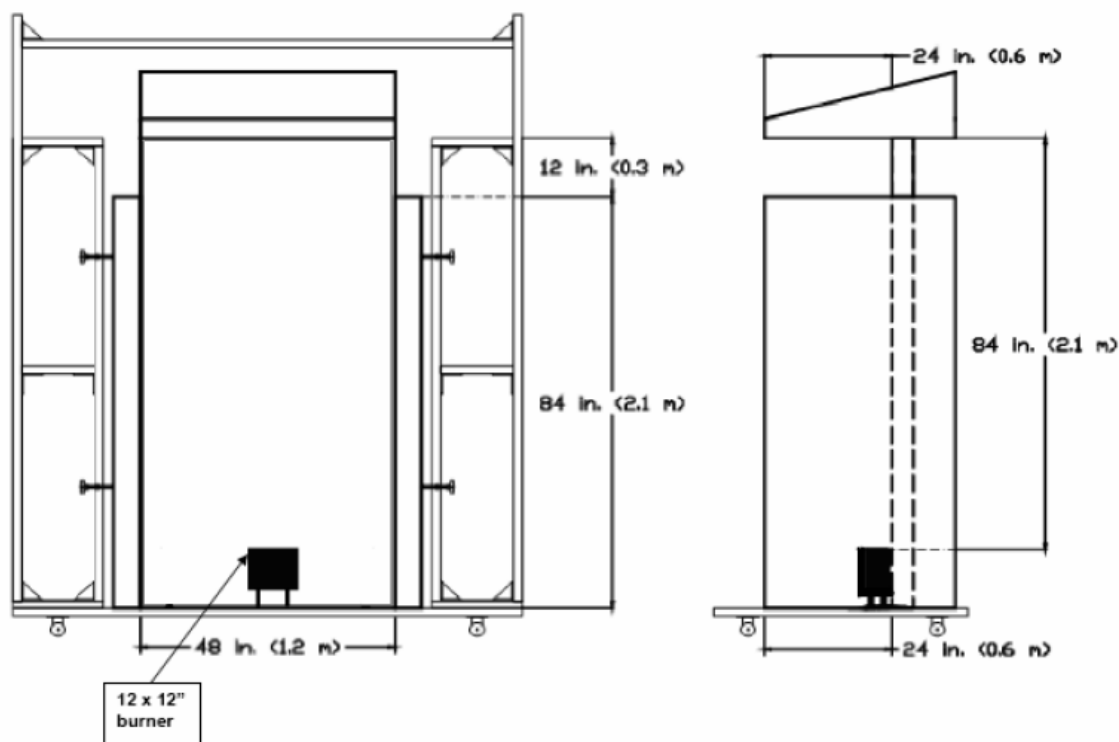
A 8-as lap foglalkozik a nyílások tűzvédelmi kérdéseivel, önálló csoportként tárgyalva az ereszek alsó beszellőztetési pontjait. Ebben az esetben a megfelelő megoldásnak automata nyílászáró csappantyúk alkalmazását tartja az irányelv. A csappantyúkat az egyéb homlokzati nyílások (pl. légtechnika beszellőző rácsa) előtt kialakítandókkal mutatja be (3.8. ábra).



3.8. ábra – FEMA által javasolt homlokzati nyíláslezáró csappantyú

Az ötlet érdekes, megérné a megfontolást. Problémájának tartom azonban az aktív működtetés szükségességét, aminek a költségvonzata is komoly lehet, másrészt nehezen megoldható épületszerkezeti problémának tartom a működtető kábelezés párazáró fólián és páraáteresztő alátét-héjazaton oly módon történő átvezetését, hogy az ne okozzon páratechnikai problémát vagy beázást. A komolyabb megfontolás és tervezés előtt valós léptékű tűzteszttel vizsgálnám a reaktív, hőre habosodó szalagok alkalmazásának hatékonyságát, melyek jelentősen kisebb költség-ráfordítással beépíthetők.

A FEMA irányelven túl Kalifornia Állam önálló valós léptékű tűzteszt vizsgálati szabvánnyal is rendelkezik homlokzatok külső tűzhatással szembeni ellenállásának vizsgálatára. [Materials, 2009] A szabvány 3-as lapja foglalkozik az ereszcsumópont külső tűzhatásra történő vizsgálatával. A vizsgálat a 3.9. ábrán bemutatott vizsgálati modellel történik:



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

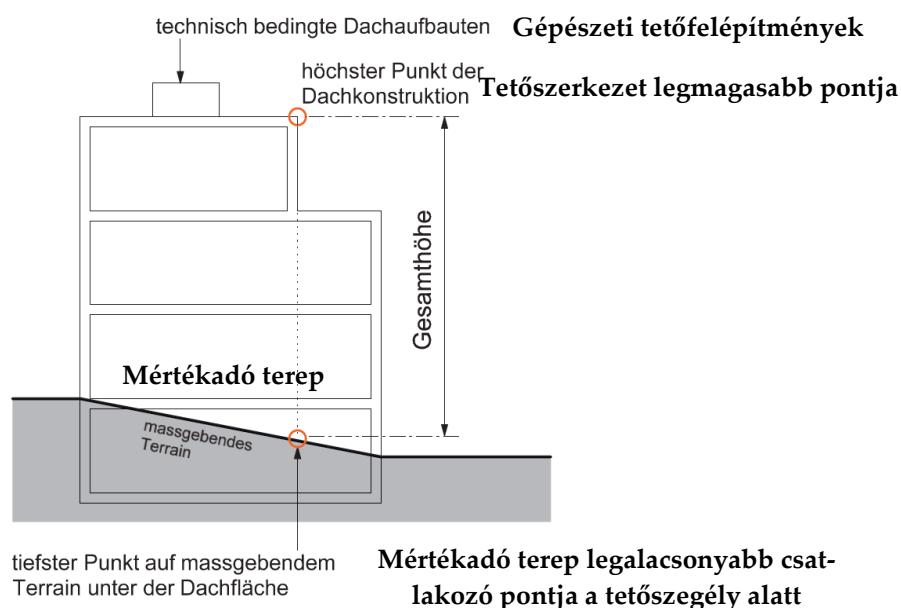
A szabvány előírásai az alábbiak:

- A vizsgálati tűz(hő)hatás egy 300x300 mm-es hőszugárzóval kerül előállításra, amelynek 300 ± 15 kW hőhatást kell leadnia a vizsgálat teljes időtartama alatt.
- Az alkalmazott vizsgálati anyagoknak légszáraznak kell lenniük – a szabvány szerint ezt a beépítés előtt legalább 30 napon keresztül 23 ± 2 °C-on és $50 \pm 5\%$ relatív páratartalmú levegőn való tárolással kell elérni. A faanyagok nedvességtartalmának 8-12% közöttinek kell lennie.
- Vizsgálati geometria: 3.5. ábra szerint.
- A vizsgálatot légmozgás nélküli környezetben kell végezni.
- A vizsgálatot 3 alkalommal meg kell ismételni, csak azután adható ki vizsgálati jegyzőkönyv.
- A vizsgálati hőhatást 10 percig, vagy addig tartják fent, amíg az ereszt épületszerkezeti elemein önfenntartó égés ki nem alakul. Amennyiben az önfenntartó égés nem alakul ki, a vizsgálati hőhatást további 30 percig fenntartják (a vizsgálat összesen 40 perces).
- A vizsgálaton megfelelt/nem megfelelt minősítés érhető el. A megfelelés kritériumai:
 - Nem történik lángbetörés az ereszt szerkezetébe.
 - Az eresz nem szenved szerkezeti károkat a tűz hatására.
 - A 40 perces vizsgálat végére nem alakul ki önfenntartó égés az ereszen.

A vizsgálati szabvány jó alap az ereszek megfelelő valós léptékű tűztesztjeinek fejlesztéséhez, de véleményem szerint sok kiegészítésre szorul. A vizsgálati hőhatás nagyon kis hőleadással jár,

a 300 kW egy kisebb méretű szemeteskuka tüzésnek felel meg (Stroup és Madrzykowski vizsgálati jelentése [2013] alapján egy 120 l-es szemeteskuka tüzésnek HRR görbéje kb 450 kW körül tetőzik), amely elhanyagolható a saját szimulációim során alkalmazott, épületből a homlokzatra kiterjedő, egy lakószoba teljes lángaborulásával egyenértékű 12 MW csúcsteljesítményű tűzhöz képest. Jelen esetben a célnak azonban ez valószínűleg megfelel, a FEMA irányelv 4-es lapja, ami a tűztávolságokkal foglalkozik, javasolja az épület 30 lábas (kb. 9 méteres) környezetében minden éghető anyag eltávolítását – a kitéti tűzhatás így ezen a körön kívülről érkezik. A 40 perces kitéti idő közel azonos az MSZ 14800-6 szabvány 45 perces vizsgálati idejével, fontos különbség azonban, hogy itt nincsenek rész-idők, nem lehet a 40 percnél alacsonyabb időtartamú megfelelést elérni. Külön kiemelném, a vizsgálatot 3 alkalommal meg kell ismételni, csak ezen információk alapján adható ki a vizsgálati jelentés és a megfelelőségi igazolás.

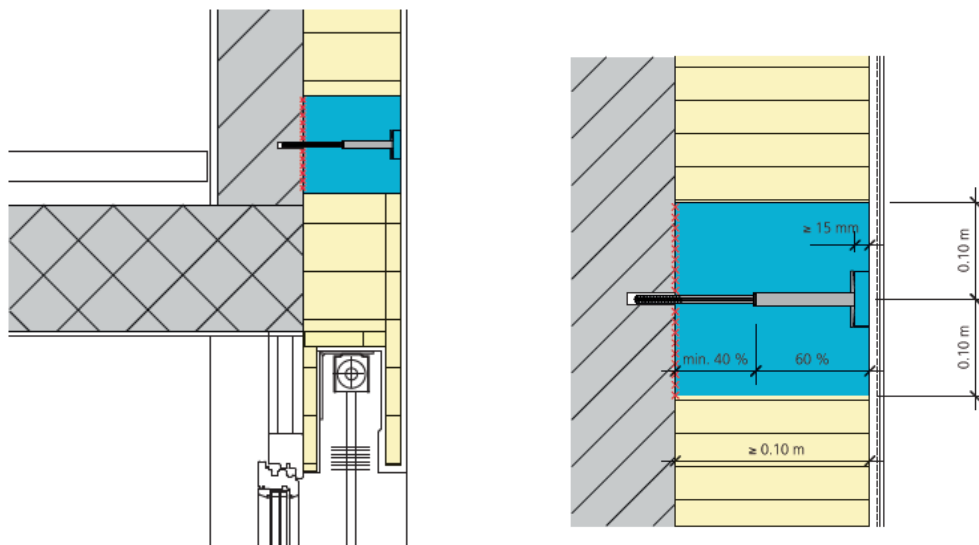
2015. január 1-én új tűzvédelmi törvény lépett életbe Svájcban. Az új törvény tette először lehetővé a középmagas épületeken az éghető magú hőszigetelő homlokzati rendszerek alkalmazását. A svájci szabályozás homlokzatmagasság – a homlokzat terpcsatlakozástól a legmagasabb figyelembe veendő pontig számított magasság - szerint 3 csoportba osztja az épületeket: 0-11 m (alacsony), 11-30 m (középmagas), 30 m feletti (magas) épületek. (3.10. ábra)



3.10. ábra – Homlokzatmagasság értelmezése a svájci tűzvédelmi jogszabály szerint [Schlöpfer, 2015]

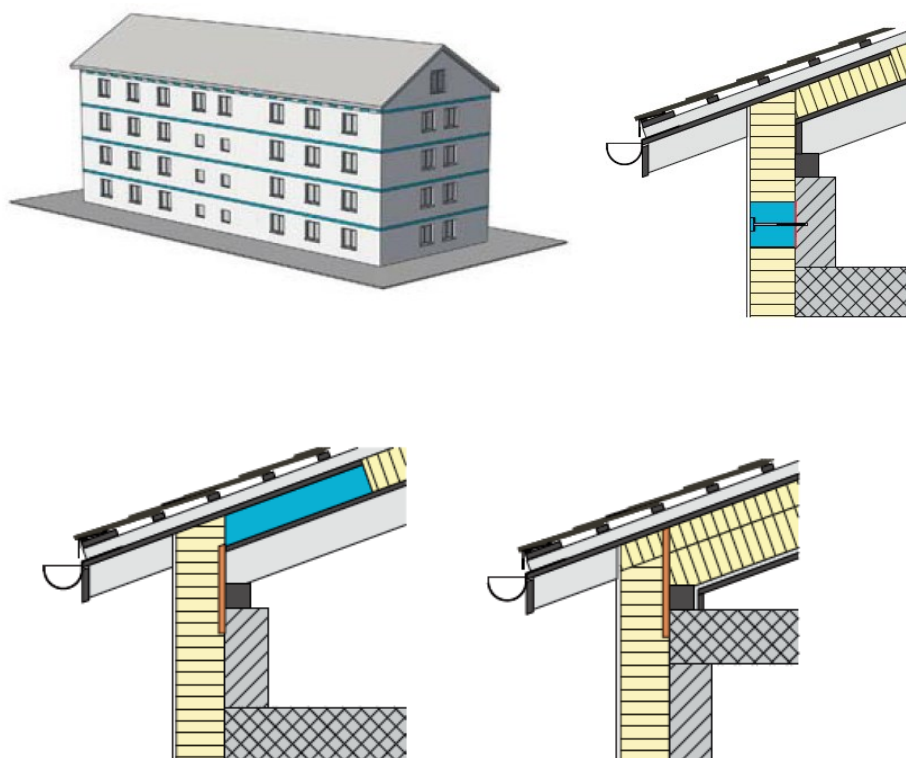
Ehhez fontos adalék, hogy Svájcban a középmagas kategóriában még engedélyezett az éghető anyagú tartószerkezet. Walter Schlöpfer cikkében [2015] az éghető magú homlokzati hőszigetelések tervezésének és kivitelezésének tűzvédelmi vonatkozásaival foglalkozik. A cikk írója szerint a svájci szabályozás a homlokzat szerves részének tekinti az attikát, vagy az ereszkialakítást.

Középmagas épületek esetén az éghető magú hőszigetelést az egyes épületszintek között nem éghető sávokkal kell megszakítani (3.11. ábra).



3.11. ábra – Éghető magú homlokzati hőszigetelés szintek közötti megszakítása nem éghető sávval a svájci tűzvédelmi jogszabály előírásai alapján [Schlöpfer, 2015]

A cikk végén a szerző különböző elvi megoldásokat kínál az ereszcsatlakozások jogszabályt kielégítő megoldásaira (3.12. ábra).



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

A magyar szabályozáshoz képest fontos különbség, hogy a középmagas kategóriában engedélyezett az éghető anyagú tartószerkezet. Magyarországon a középmagas kategória az OTSz 5.0-

val szűnt meg, korábban a 13,65-30,00 m közötti épületeket jelentette. Az aktuális OTSz-ben legjobban a KK kockázati osztály felel meg ennek, mely 14,00 m feletti legfelső használati szint-magasságú épületet jelent. Svájcban ezzel szemben már 11 m felett középmagasnak számít egy épület. További különbség, hogy a svájci jogszabály a homlokzatmagasságot méri, míg a magyar szabályozás a legfelső használati szint csatlakozó tereptől számított padlómagasságát veszi figyelembe. Ez újabb kb. 1-1,5 m-t jelent a svájci jogszabálynak a biztonság javára (beépítetlen padlástér esetén ez akár 3-4 m is lehet!).

A fent említett nem égető anyagú sávokkal történő megszakítás alapgondolatát tekintve hasonló az OTSz homlokzati tűzterjedés elleni gátaakkal kapcsolatos, valamint a vakolt homlokzati hőszigetelő rendszerek nem éghető anyagú hőszigetelő sávokkal való kiegészítésének (OTSz 25.§ (3)-(5)) előírásaihoz. A cikk nem tér ki rá, és a jogszabály kutatása közben sem találtam arra utaló előírást, hogy lenne-e a magyar homlokzati tűzterjedés elleni gátakhoz hasonló geometriai előírás az egymás feletti szintek nyílászárói között. Ez a magyarhoz képest jóval szigorúbb magassági korlátozásokkal együtt tekintve elfogadhatónak tűnik.

A cikk végén közölt elvi javaslatok az ereszcsatlakozás kialakítására sok sebből véreznek (a két kitöltés nem éghető anyagú hőszigetelést, a narancssárga pedig tűzállósági határértékkel rendelkező szerkezetet jelöl). A legelső megoldás (a jobb felső sarokban) minimális többlet biztonságot nyújt, egy kellően közeli ablakszemöldökön kicsapó csóva magasabbra nyúlhat a nem éghető sávnál, így meggyújthatja a fölötte lévő éghető anyagú hőszigetelést. A második (bal alsó) megoldás már egy fokkal jobb, de további kérdéseket vet fel a két tűzvédelmi célú szerkezet csatlakozásának épületszerkezeti részletkialakítását tekintve. A legjobbnak számomra a 3.12. ábra jobb alsó részén bemutatott megoldás tűnik, ahol nincsen ilyen csatlakozási, sem felületfolytonossági probléma. Egyik megoldás sem veszi azonban figyelembe a légrésen keresztül történő tűzterjedést. Így a tűz a légrésen keresztül betérhet a beépített tetőtérbe.

Külön kiemelném, hogy az ábrák alapján a svájci jogszabály engedélyezi középmagas épületek beépített tetőterei esetén az éghető anyagú hőszigetelések használatát – ez Magyarországon KK kockázati osztályban már tiltott (OTSz 31.§ (6))

Esko Mikkola cikkében [2013] 3-8 emeletes favázas 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. A kérdőív az alábbi témákban tartalmazott kérdéseket:

- A tűzterhelés becsült mértéke
- Tűzállósági határérték követelmények
- Tűzvédelmi osztály követelmények
- Előírások sprinkler vagy egyéb aktív védelmi berendezés létesítésére
- Homlokzati üvegezések hatása az erkélyekre
- Erkélyek használata menekülésre

A tartószerkezetre vonatkozó követelmény jellemzően R60, egyes országok, pl. az Egyesült Királyság és Ausztria azonban R90-et írnak elő 5 emelet vagy annál magasabb épület esetén – ezekben az esetekben azonban az alapfelvetésként meghatározott kategóriából is kiesnek az épületek, itt ugyanis már A2 tűzvédelmi osztály is előírás a tartószerkezetre. Svédországban ugyanebben a kategóriában szintén R90 a követelmény, sprinklerezett épület esetén ez azonban csökkenthető R60-ra.

A homlokzattal kapcsolatos tűzvédelmi osztály követelmények változatosak, legjellemzőbb a D osztály, de Németországban C, az Egyesült Királyságban pedig B osztály az előírás. A füstfejlesztő képességre és az égve csepegés képességére vonatkozó előírások is meglepően tágak, s1-s3, d0-d2 között minden megtalálható. (3.1. táblázat)

Tűzvédelmi osztály	A	CH	D	FI	N	S	UK	CAN
Oltóberendezés nélkül	D-s3,d1	N/A	C-S3,d1	D-s2,d0	D-s3,d0	D-s1,d0	C-S3,d2	D
Oltóberendezéssel	D-s3,d1	N/A	C-S3,d1	D-s2,d0	D-s3,d0	D-s1,d0	C-S3,d2	D
Speciális követelmény				1. emelet: B-s2,d0		1. emelet: A2-s1,d0		

3.1. táblázat – Homlokzatra vonatkozó tűzvédelmi osztály követelmények [Mikkola, 2013]

Speciálisan az ereszkialakításokra egyik országban sem írnak elő követelményt. A cikk az ereszek tekintetében az alábbi szempontokat vizsgálja:

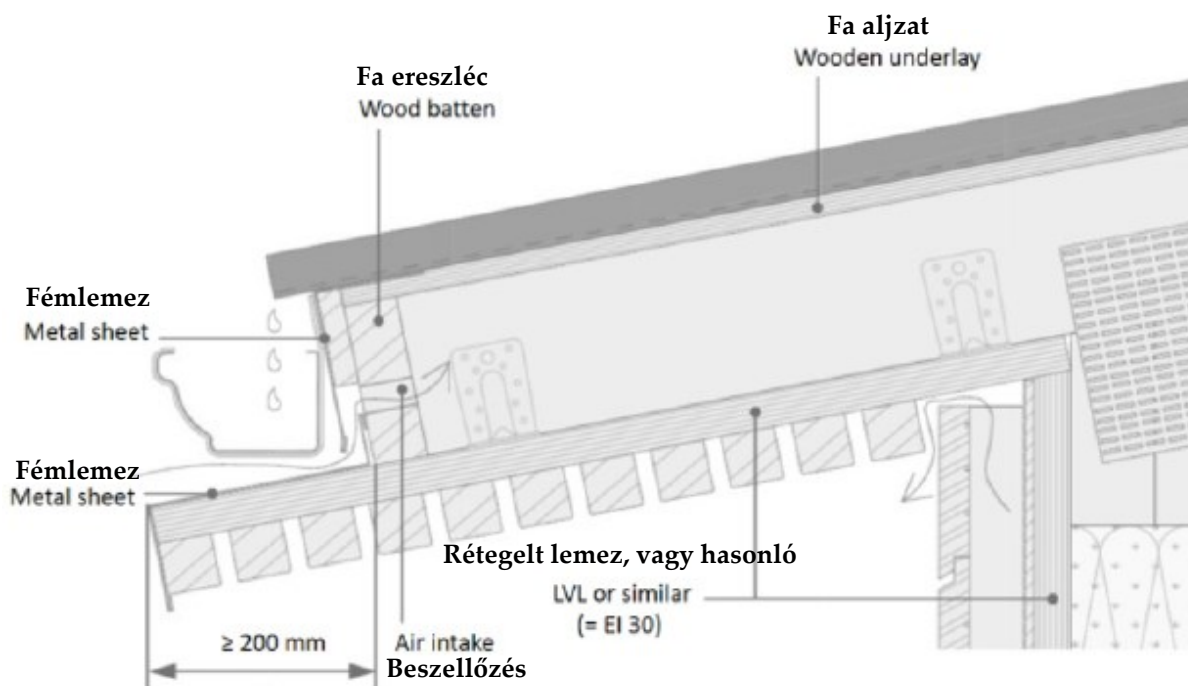
- átszellőztetett homlokzatburkolatok hatása
- tűzcsappantyúk és lezáró szelepek hatása
- ereszek tűzállósági követelményeinek kompenzációja a teherhordó tetőszerkezet tűzállósági követelményeivel (egyedi mérlegelést követel)

A cikk javasolja, hogy az ereszmenti beszellőztetés nyílásainak mennyiségét minimalizáljuk a légmozgás létrejöttéhez szükséges mennyiségre, valamint a fennmaradó nyílásokat lássuk el kifejezetten erre a célra fejlesztett tűzcsappantyúkkal.

A cikk írója szerint sprinklerezett épületek esetén az ereszre jutó hőterhelés kb. 10 kW/m² maximummal jár. Nem sprinklerezett épületek esetén ez a hatás D tűzvédelmi osztályú homlokzatburkolat esetén 100 kW/m², B tűzvédelmi osztályú homlokzatburkolat esetén 70 kW/m².

A cikk hivatkozik egy másik tanulmányra [Jukka Hietaniemi et. al, 2003], mely épületek légréseiben történő tűzterjedés vizsgálatával foglalkozik. A cikk írói valós léptékű tűztesztet végeztek átszellőztetett homlokzatok, tetőszerkezetek, illetve álmennyezetek és álpadlók tüzeinek vizsgálatára. Mikkola javasolja a korábbi cikk készítői által homlokzati légrésekre kifejlesztett megoldások alkalmazását a tetőszerkezet légréseinél is (az említett cikk részletesebb feldolgozását lsd. lentebb)

A cikk írója elvi megoldást ad az eresz alsó geometriai kialakítására. (3.13. ábra)



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

A geometria célja, hogy az alsó dobozolást 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. (3.14. ábra)



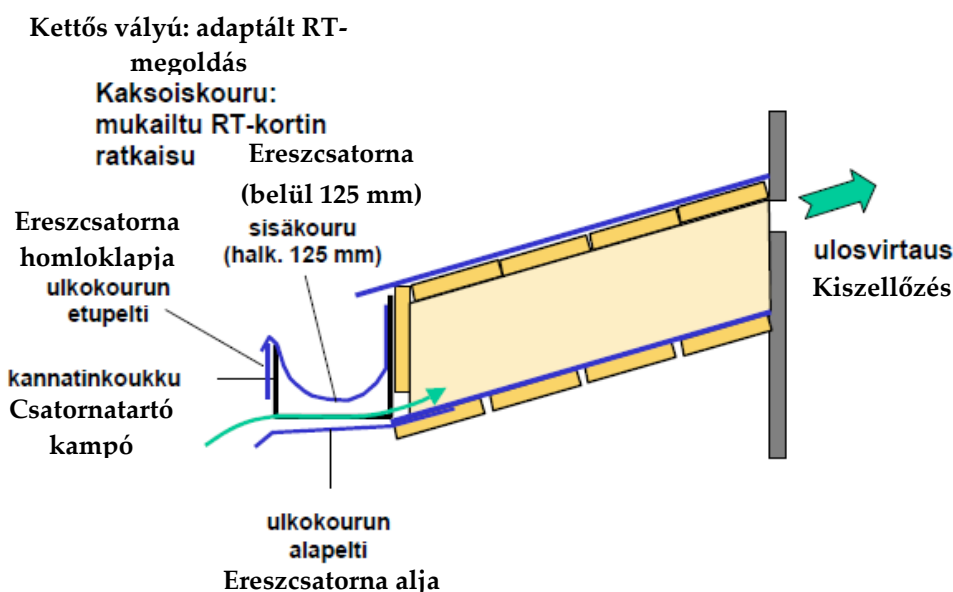
3.14. ábra – Csüngőeresz javasolt épületszerkezeti kialakítása [Mikkola, 2013]

A cikk írója EI 30 tűzállósági határérték-teljesítményű alsó védelmet javasol az eresznek.

A magasság alapján a vizsgált épületkategória kb. azonos az előző cikkben tárgyalt 11-30 m közötti „középmagas”, vagy a magyar szabályozás szerinti 14-30 m közötti kategóriával. A cikk ugyan 2013-as, és azóta elképzelhető, hogy változtak a fenti előírások, egy általános kép szemléltetéséhez azonban alkalmasak az adatok. A homlokzati szerkezetek tűzvédelmi osztályára vonatkozó előírások nagy szórást mutatnak. Kiemelném Kanada legengedékenyebb előírását, valamint azt, hogy az Egyesült Királyságban engedik d2 égve csepegési tulajdonsággal rendelkező hőszigetelések alkalmazását (v.ö.: Grenfell Tower tüzesete). Külön érdekesség Finnország és Svédország 1. emeletre előírt emelt követelménye – ennek oka véleményem szerint a külső tűzhatásból fakadó homlokzati tűzterjedés lehetőségeinek korlátozása lehet. További jellegzetesség, hogy bár sprinklerezett épületekben – mivel ott flashover nem alakulhat ki – lényegesen kisebb a belső térből a homlokzatra jutó hőterhelés, ez egyik ország szabályozásában sem jelenik meg, mint követelmény-csökkentési lehetőség. Összehasonlításképp, a magyar jogszabály kizárólag a tűzvédelmi osztályra fogalmaz meg követelményt, kiegészítő teljesítményjellemzőre (füstfejlesztő képesség vagy égve csepegés) nem. Az ereszkialakításokra egyik ország tűzvédelmi jogszabályában sincs előírás.

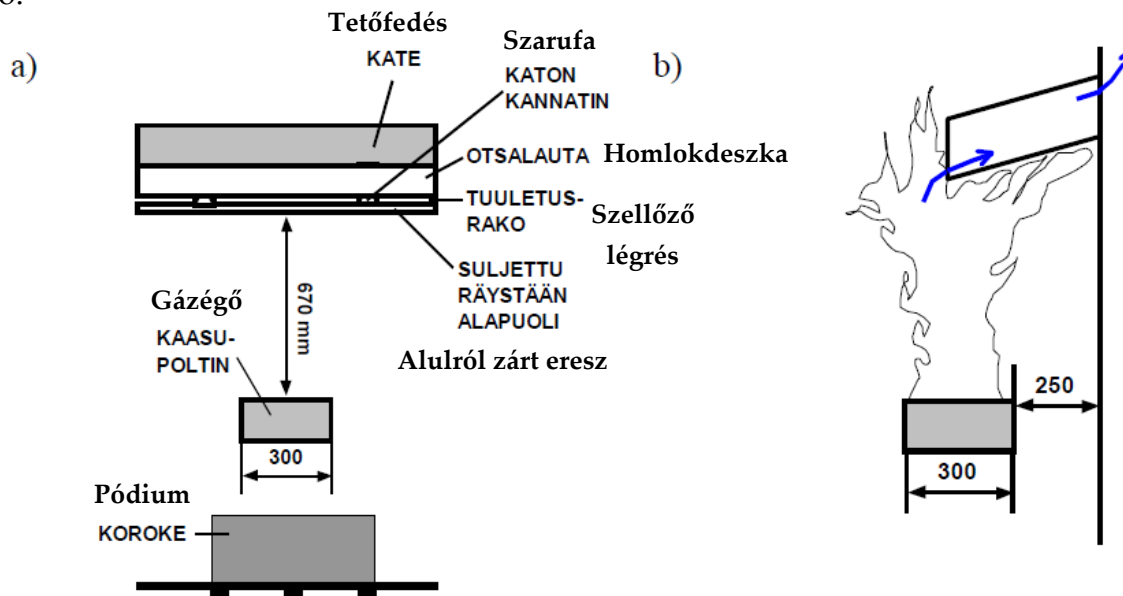
Jukka Hietaniemi és kollégáinak cikke [2013] egy rendkívül átfogó, valós léptékű tűztesztekre alapuló kutatás eredménye, mely során átszellőztetett tetőszerkezeteken és homlokzatokon belüli, valamint álmennyezetekben és álpadlóknban történő tűzterjedés jellegzetességeit vizsgálták.

Az első alprojekt egy olyan egyszerű csüngőeresz kialakítás kifejlesztését célozta, mely adaptálható a finn lakásállomány legjelentősebb részét kitevő külvárosi vagy vidéki családi házakra vagy sorházakra. A cikk 15 percben határozza meg az átlagos tűzoltósági beavatkozási időtartamot – céljuk olyan kialakítás fejlesztése volt, mely esetén a tűz 15 percn belül nem terjed be a légréseken keresztül a tetőszerkezetbe. Ennek érdekében a légrést alulról egy terelőlemezzel védték. (3.15. ábra)



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

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 3.16. ábrán látható.

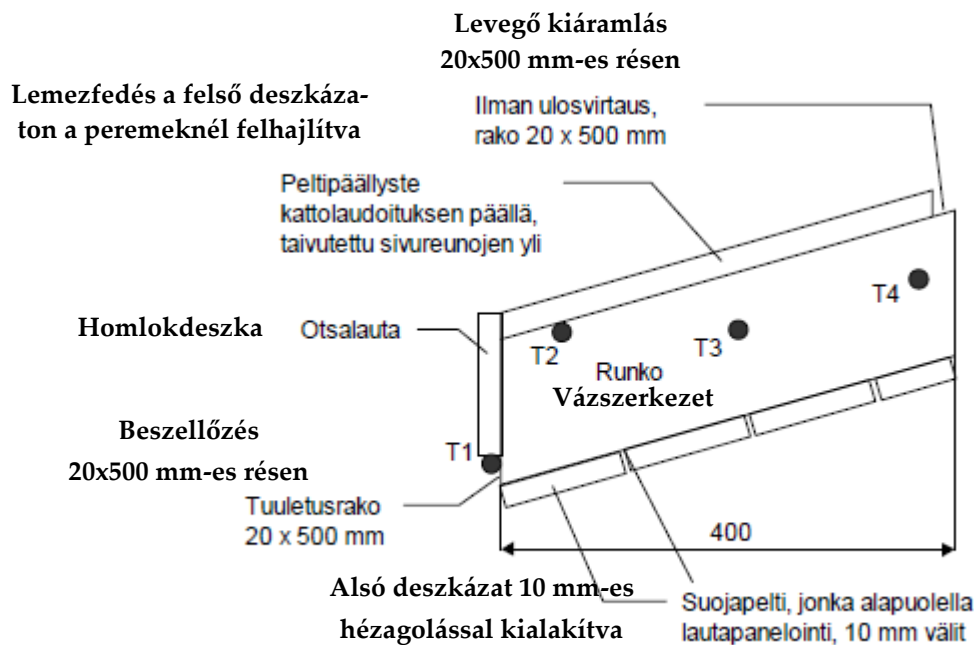


3.16. ábra – Tűzvizsgálati berendezés elől- és oldalnézeti képe [Jukka et al. 2013]

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

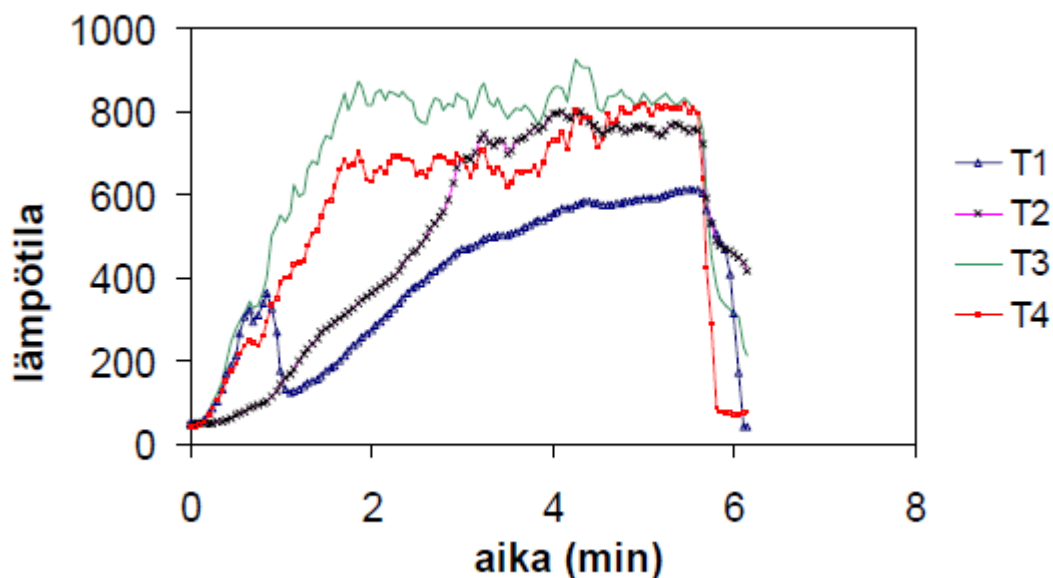
1. Bázis vizsgálati modell a tűzterjedés karakterisztikájának megfigyelésére, a fejlesztési irányok kijelölésére. Elsődlegesen az alsó burkolaton, illetve a légrésen keresztül való tűzterjedést figyelték.
2. Annak vizsgálata, hogy a rétegrendbe elhelyezett neméghető ásványgyapot hőszigeteléssel megszakított légrésnek milyen hatása van
3. Annak vizsgálata, hogy az alsó burkolat 50 mm-el a szellőző légrésen 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.

Az első vizsgálat alapvető célja a vizsgálati berendezés helyes felépítése és működése, valamint az alapvető tűzterjedési karakterisztika vizsgálata volt. Ehhez az alábbi modell készült (3.17. ábra):



3.17. ábra – 1-es vizsgálati modell [Jukka et al. 2013]

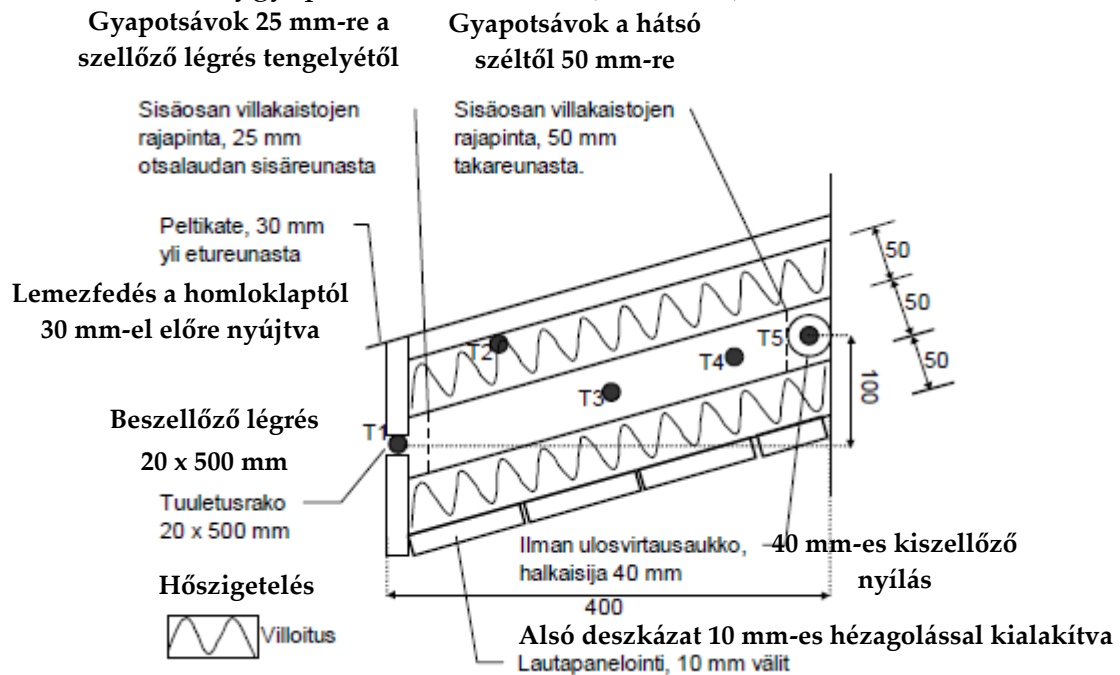
A vizsgálati modellben elhelyezett hőmérsékletmérő termoelemek által mért értékeket az alábbi hőmérséklet-idő diagram szemlélteti (3.18. ábra):



3.18. ábra – 1-es vizsgálat során mért hőmérsékletek [Jukka et al. 2013]

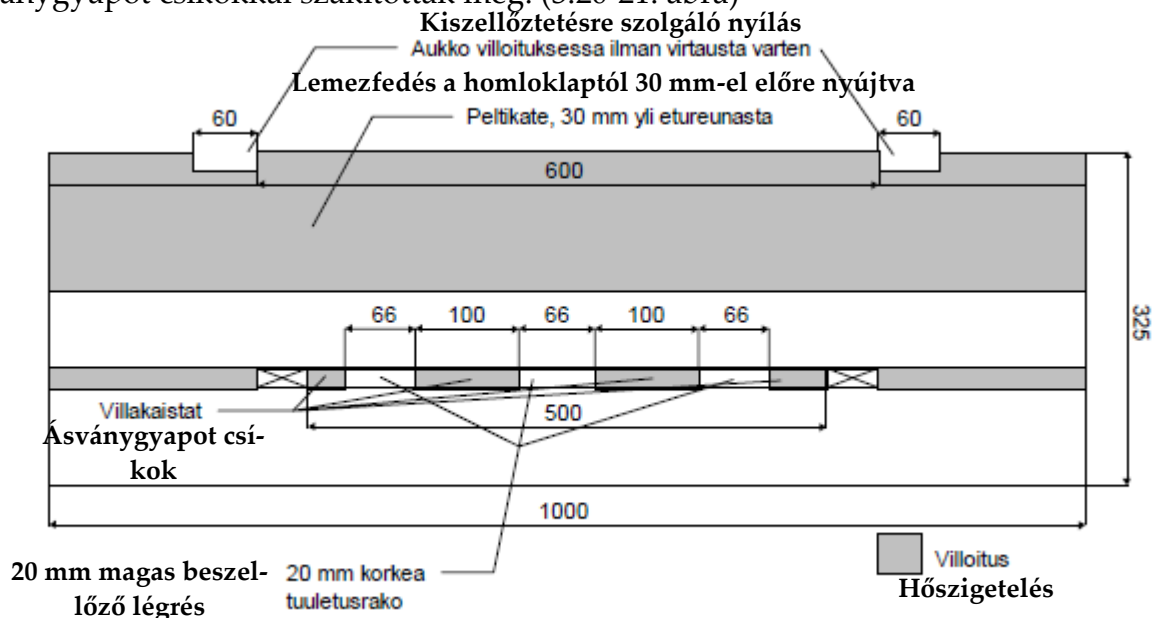
A vizsgálatok során azt tapasztalták, hogy a fluktuáló láng a vékony légréven keresztül is belép a vizsgálati modell belsejébe. Az alsó burkolatot alkotó faelemek kb 3 perc után gyulladtak meg. A T1 hőmérsékletmérő elem értékei nem relevánsak, az elem 1 perc elteltével elromlott. Az 5. percre a vizsgálati modell belsejében mért hőmérséklet meghaladta a 800 °C-t, így a vizsgálatot leállították. A cikk írói azt a következtetést vonták le, hogy a vizsgált modell sok szempontból alkalmatlan a tűzterjedés hatékony késleltetésére. Ilyen kialakítás mellett a tűz akadálytalanul terjed a légréven keresztül a tetőszerkezet belsejébe.

A második vizsgálat során a tetőszerkezet belső keresztmetszetét az első vizsgálatban alkalmazott 100 mm-ről 150 mm-re emelték. Ennek az oka, hogy a légrést két oldalról 50-50 mm ásványgyapottal vették körbe. (3.19. ábra)



3.19. ábra – 2. vizsgálati elrendezés metszete [Jukka et al. 2013]

A beszellőző légrést sem folyamatosan alakították ki, azt 66 mm-ként 100 mm-es ásványgyapot csíkokkal szakították meg. (3.20-21. ábra)

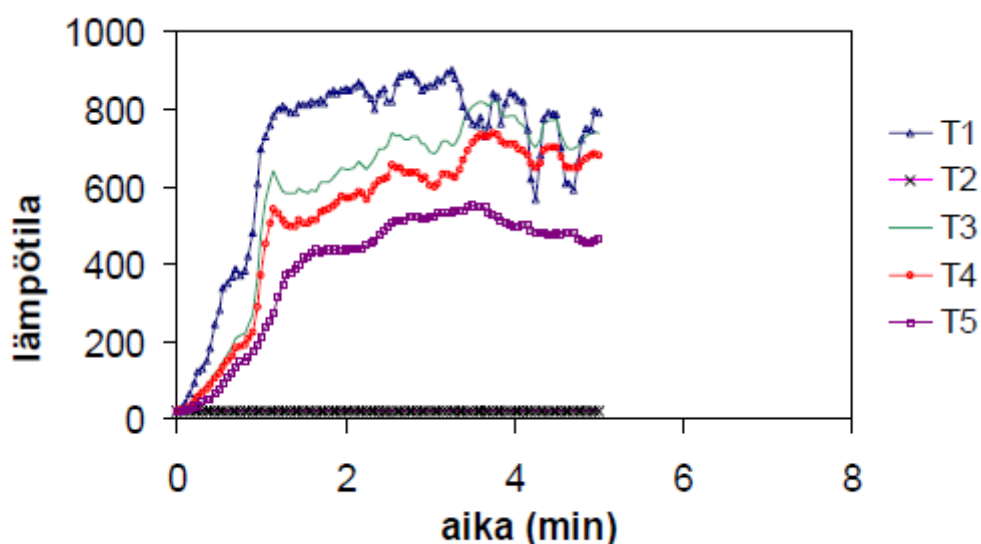


3.20. ábra – 2-es vizsgálati modell homlokzati képe [Jukka et al. 2013]



3.21. ábra – Az ásványgyapot csíkokkal megszakított szellőző légrés a valós vizsgálati modellen [Jukka et al. 2013]

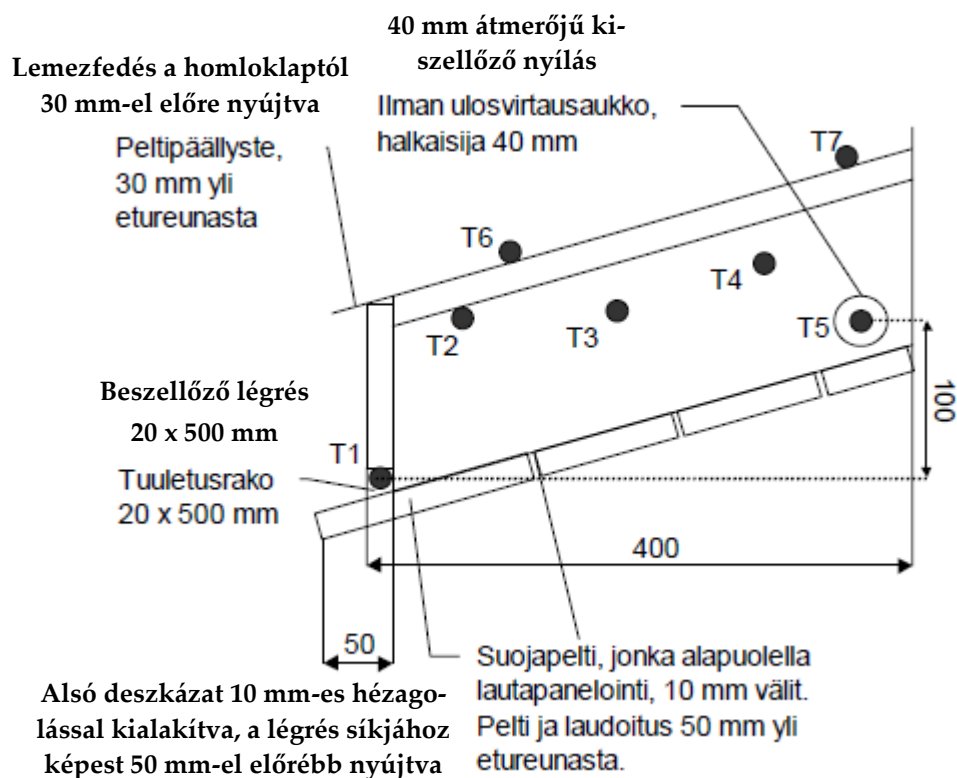
A vizsgálat során a légrésben mért hőmérséklet gyorsan emelkedett, a belül elhelyezett érzékelők esetében is 2 percnél hamarabb elérte az 500°C-t. A beszellőző nyílásban a hőmérséklet 800-900 °C körül alakult. A hőszigeteléssel védett pozícióban elhelyezett T2-es érzékelőnél nem volt mérhető hőmérsékletemelkedés. (3.22. ábra)



3.22. ábra – 2-es vizsgálat során mért hőmérséklet adatok [Jukka et al. 2013]

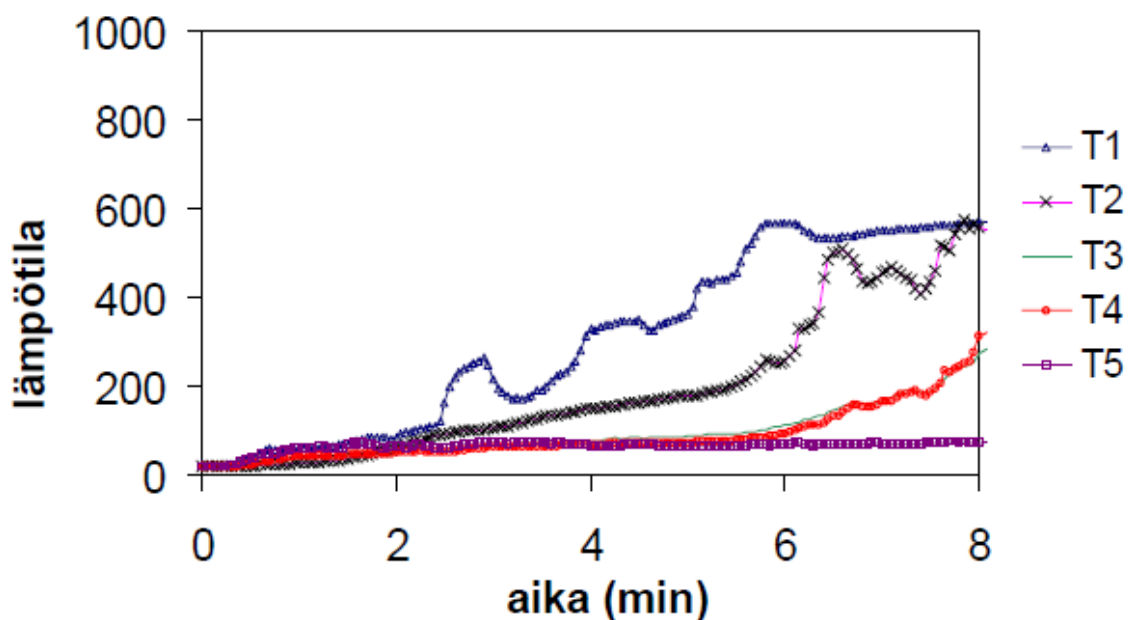
Az 5 perces vizsgálat során a vizsgálati modell erősen károsodott, a belső faelemek felületén a beégés mélysége átlagosan 10 mm volt. A cikk írói azt a következtetést vonták le, hogy a szellőző légrés részleges lezárása nem hogy akadályozza, hanem elősegíti a tűz terjedését.

A harmadik kísérletnél az eresz alsó burkolatát a légrés síkján 50 mm-el túlnyújtva alakították ki, annak érdekében, hogy a csóvát eltérítve gátolják a forró gázok és a láng légrésbe való betérését. A vizsgálati modell kialakítását a 3.23. ábra mutatja be.

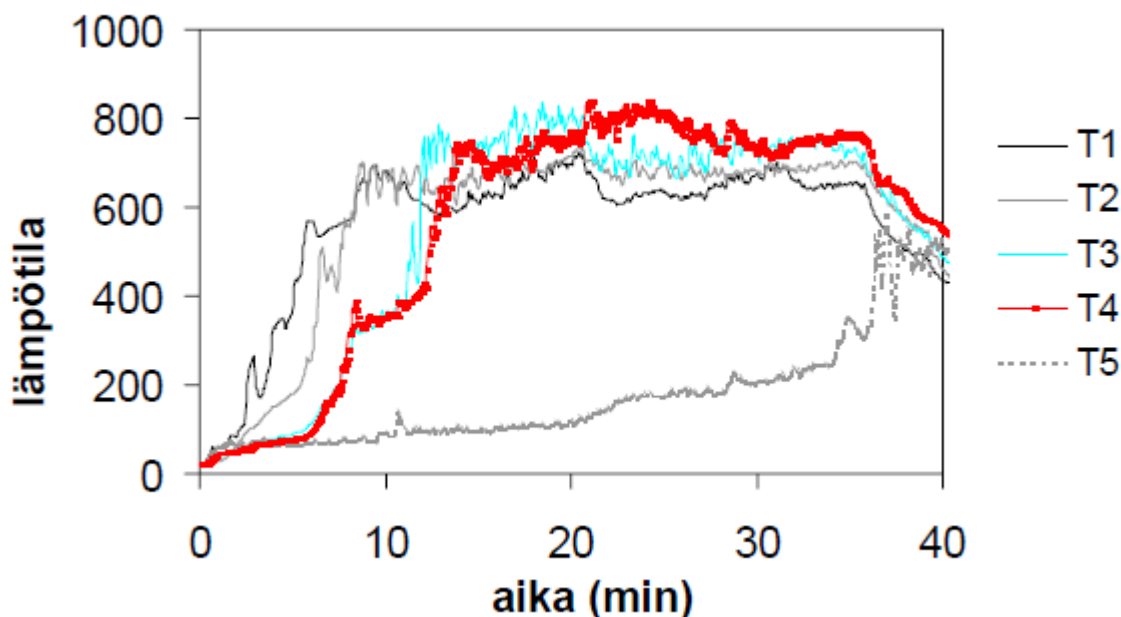


3.23. ábra – 3-as vizsgálati modell [Jukka et al. 2013]

A teszt során mért hőmérséklet adatokról két diagram is készült. Az első a vizsgálat korai fázisát mutatja be részletesen, a második a teljes vizsgálat során mért adatokat szemlélteti. (3.24-25. ábrák)



3.24. ábra – 3-as vizsgálat korai fázisának hőmérsékletmérési adatai [Jukka et al. 2013]



3.25. ábra – 3-as vizsgálat során mért hőmérsékleti adatok [Jukka et al. 2013]

Az eresz alsó burkolatának túlnyújtása jól látható javulást hozott a szellőző égérésen keresztül történő tűzterjedés jellegében. Az első 6 percen belül a tetőszerkezeten belül mért hőmérséklet nem emelkedett 100°C fölé, a faanyagok gyulladási hőmérsékletének határát, a 270-300 °C-os átlaghőmérsékletet csak a 9. percben érte el. Az eresz belsőjében az átlaghőmérséklet a 12. percben 800 °C-ra emelkedett, majd a vizsgálat végéig ennyi is maradt. Az alábbi ábrán jól látszik az alsó ereszburkolat csóva-eltérítő hatása. (3.26. ábra)



3.26. ábra – 3-as vizsgálati modell tűzvizsgálatának 4. percében készített felvétel [Jukka et al. 2013]

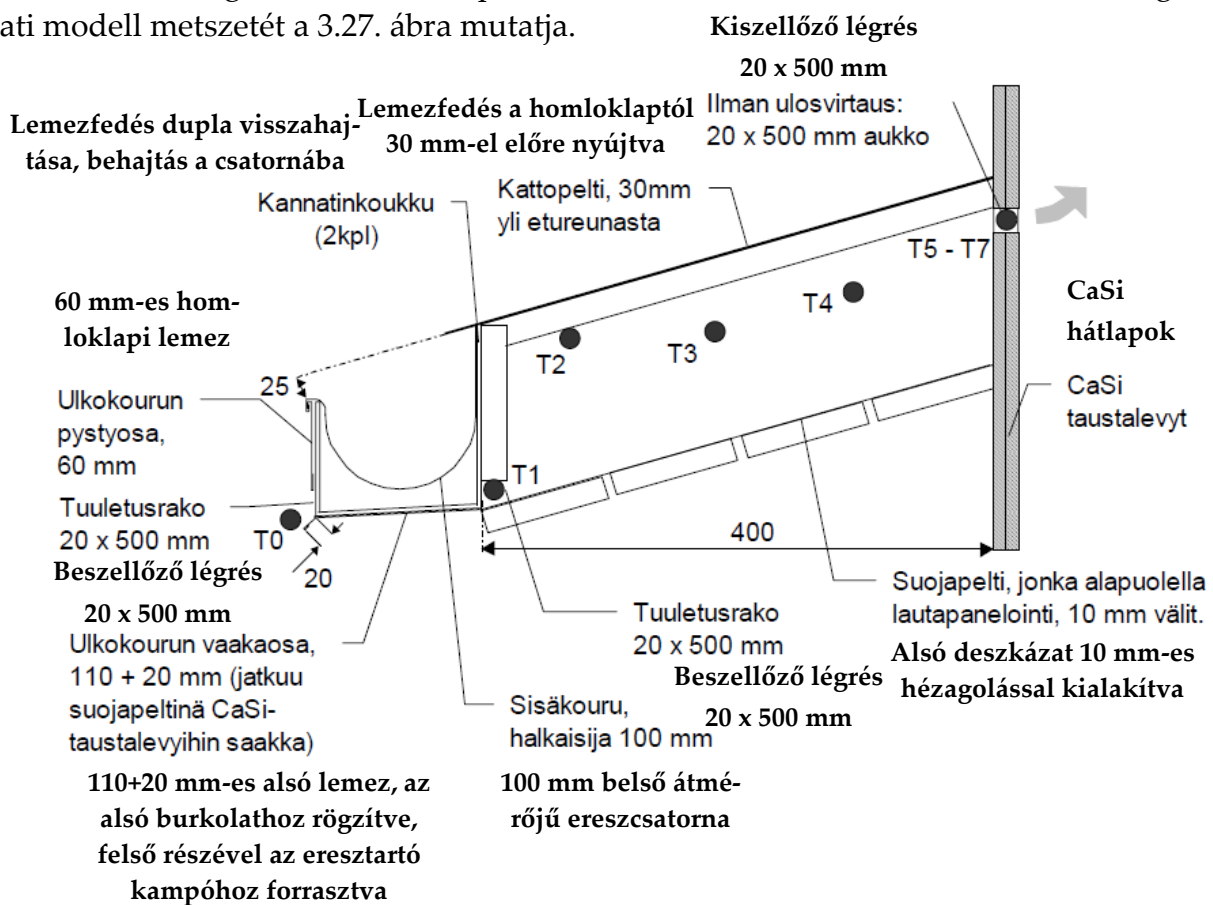
Érdekesség, hogy a levegő kifolyó nyíláson mért hőmérséklet a 20. percig 100 °C alatt volt, onnan a 34. percig egyenletesen növekedett 250 °C-ig, majd onnan ugrásszerűen kezdett nőni. Ez azzal magyarázható, hogy az égés akkor érte el a szerkezeten

belül a kiszellőző nyílást (a vizsgálatot végzők ekkor lángkicsapást tapasztaltak kiszellőztető nyíláson keresztül).

Az alsó ereszburkolat túlnyújtásának javító hatása azzal magyarázható, hogy a csóva eltérítése következtében lényegesen csökken a légréven keresztül áramló levegő szívóhatása, ami a forró gázokat a tetőszerkezetbe vezetné.

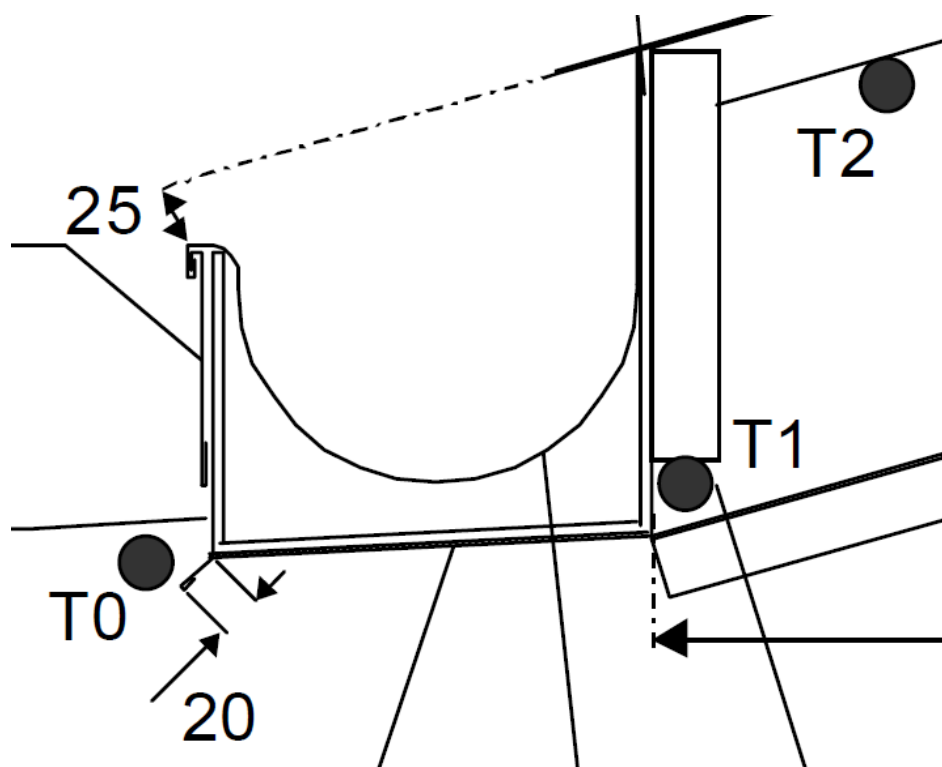
A negyedik vizsgálat célja annak bizonyítása volt, hogy a harmadik teszt során nem a kivezető nyílás kialakítása okozta a tetőszerkezeten keresztüli tűzterjedés kedvező viselkedését, a szívóhatás csökkenését. Ennek érdekében egy eltérő kivezetőnyílással építették meg a harmadik vizsgálat során kialakított ereszt. A kísérlet sikeres volt, az 3-as elrendezéshez képest 5-10%-on belüli értékeket mértek.

Az ötödik vizsgálat során ún. dupla ereszcsona kialakítására került sor. A vizsgálati modell metszetét a 3.27. ábra mutatja.



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

Az ereszkialakítás szerkezeti geometriáját az alábbi ábrán kinagyítva is bemutatom. (3.28. ábra)



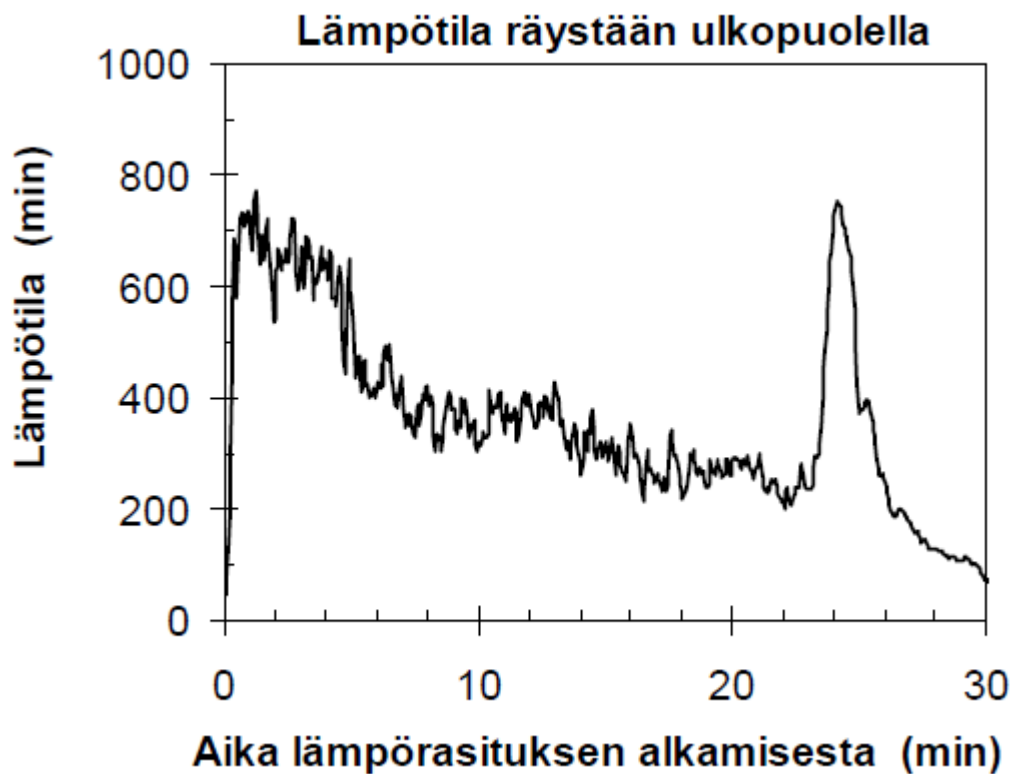
3.28. ábra – Kettős ereszcatorna épületszerkezeti kialakítása [Jukka et al. 2013]

A nagyított ábrán jól látható a szerkezeti felépítés. Az ereszcatorna U-alakú csatornatartó kampókba kerül elhelyezésre. A csatornához felülről átlapolással csatlakozik a tető fémlemez fedése. A csatornát a homloklapján kettős fekvőkorc kapcsolja össze a homloklapi lemezzel. Az alsó oldalt egy szintén teljes felületű lemezszegély védi, mely az alsó ereszdeszkázathoz kerül rögzítésre. Annak érdekében, hogy a fémszerkezet egységet alkosson, illetve az alsó lemez is kellő merevítést kapjon, a lemeznek a felső oldalát hozzáferrasztják az U-alakú csatornatartó kampókhoz. A következő kép (3.29. ábra) a kész vizsgálati modell csatorna részét mutatja be.

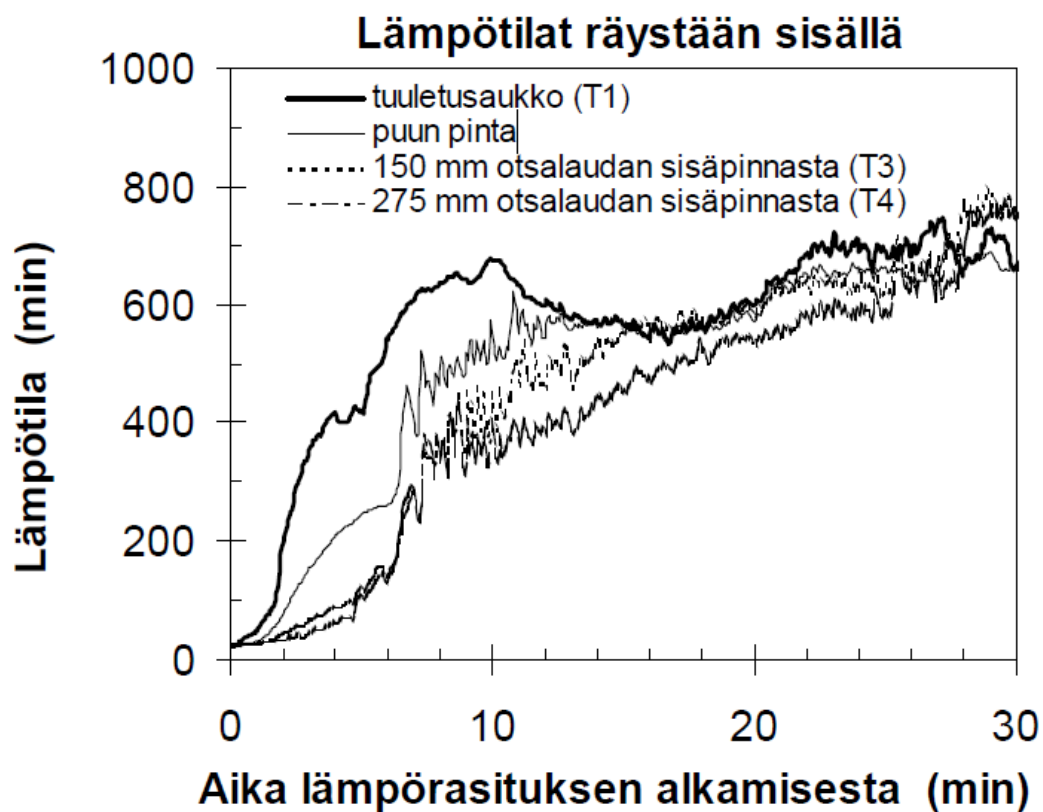


3.29. ábra – Kettős eresz kialakítása [Jukka et al. 2013]

Az eresz előtt kívül (T0 hőmérő elem), valamint a szerkezeten belül (T1-T4) mért hőmérséklet értékeket az alábbi ábrák mutatja. (3.30-31. ábra)



3.30. ábra – Ereszen kívül (T0) mért hőmérsékletek [Jukka et al. 2013]



3.31. ábra – Ereszen belül (T1-T4) mért hőmérsékletek

Az eredmények alapján kijelenthető, hogy a kettős eresz kialakítás hatására lényegesen lassabban növekszik a tetőszerkezeten belül a hőmérséklet, mint a korábbi vizsgálati modellek esetében.

Szakirodalomkutatásom során ez a cikk az egyetlen, ami valós léptékű tűztesztből álló, gondosan, logikusan felépített kutatássorozaton alapul. A kutatási cél világos, az egyes fejlesztési lépések logikusak, a kísérlet jól átgondolt, az eredmények érthetők, jól feldolgozottak. A cikk eredményei közül az alábbiakat emelném ki:

Az első négy vizsgálat csüngőeresz nélkül készült, így elképzelhető, hogy a tényleges, eresszel történő kialakítás jobb eredményeket hozott volna a légrés elé lógatott szerkezet csóva-terelő hatása miatt.

Nagyon fontos eredménynek tartom a második kísérlet következtetését, miszerint a részlegesen lezárt légréssel kialakított ereszcsomópont kedvezőtlenebb tűzterjedési tulajdonságokkal rendelkezik, mint a folytonosan beszellőztetett.

A harmadik kísérlet bebizonyította, hogy az alsó burkolat túlnyújtása lényeges javulást hoz a tűzterjedés jellegében. Az ötödik kísérletben kialakított kettős eresz alapelvét jónak tartom, azonban nem érték egyet a kialakítással. Véleményem szerint az eresz alsó oldalát valamilyen megfelelő tűzállóságú, külső térben is alkalmazható építőlemezszel kell védeni, melyre felülről ráhajtható az eresz alatti cseppentőszegély (ld. Mikkola [2013] javaslatát fentebb).

A kísérletek hiányossága azonban, hogy egyik ereszkialakítás sem tartalmaz alátéthéjazatot, mely véleményem szerint tűzterjedés szempontjából kritikus lehet a fólia alacsony gyulladási hőmérséklete, és jelenleg nem szabályozott, a fóliák fejlődése révén egyre nagyobb fajlagos felületi fűőértéke miatt.

További kérdéseket vet fel, hogy a vizsgálati hőhatás 70 kW, mely jócskán elmarad egy lakástűz teljesítményétől – azonban az ereszhez közel került elhelyezésre. Ezek alapján változatlanul fontosnak tartom a valós épületléptékű tűzteszt lefolytatását.

Érdekes lenne hasonló valós léptékű tűzteszttel megvizsgálni, hogy milyen lehetőségek vannak a tetőszerkezetek felülről, a héjazat felől történő beszellőztetésére. Ezzel az alsó, tűznek kitett oldalon egy felületfolytonos védelem lenne kialakítható.

4. VALÓS TŰZESETEK ELEMZÉSE

A fentiekben részletezett szakirodalmi megállapításokat valós tüzek elemzésével egészítem ki.

Ahogy azt fentebb már írtam, igen gyakori a meghibásodott homlokzati villanyóra szekrényből keletkező tűz, mely az éghető homlokzatburkolaton keresztül könnyen és gyorsan áttérjedhet a tetőre.

Az alábbiakban egy tahitótfalusi tüzesetet mutatok be. A tűzforrás itt is a homlokzati villanyóraszekrény volt. (4.1. ábra)



4.1. ábra – A tűzfészek – a kiégett villanyóraszekrény (forrás: www.langlovagok.hu)

A tűz az ereszen keresztül gyorsan áttérjedt a tetőszerkezetre is. (4.2. ábra)



4.2. ábra – Kiegett tetőtér kívülről (forrás: www.langlovagok.hu)

Érdemes megfigyelni a fenti ábrán az oromfalon a lambéria burkolaton áttört tűz nyomait. A tűz során a padlástér az ott található gépészeti berendezésekkel együtt teljesen kiegett. (4.3-4. ábrák)



4.3. ábra – Kiegett padlástér épületgépészeti puffertartállyal (forrás: www.langlovagok.hu)



4.4. ábra – Kiegett padlástér (forrás: www.langlovagok.hu)

A 4.4 ábra alján jól látszik, hogy meddig bontották meg a tűzoltók a tetőfedést, hogy a parázsló-égő tetőszerkezetet kívülről oltani tudják.



4.5. ábra – Oltás érdekében megbontott tetőszerkezet (forrás: www.langlovagok.hu)

A tűz a külső tűzhatás ellen tűzállósági határértékkel nem rendelkező tetőtéri burkolaton keresztül gyorsan betejed a beépített tetőtér helyiségeibe. Az érintett tetőtéri helyiségek teljesen kiégtek. (4.6-7. ábrák)



4.6. ábra – Kiegett fürdőszoba. A beépített tetőtér belső burkolata teljesen megsemmisült (forrás: www.langlovagok.hu)



4.7. ábra – Kiegett fürdőszoba (forrás: www.langlovagok.hu)

Egy másik tűzesetnél szépen látszik, hogy a szintén a homlokzati villanyóra szekrényben keletkező tűz hogyan hatolt be közvetlenül a tűzfészek fölött a homlokzat síkja elé lógó konzolos ereszkialakításon keresztül a tetőszerkezetbe. (4.8. ábra)



4.8. ábra – Villanyóraszekrény tüze miatt kiégett tetőszerkezet

A tűz a légrésen keresztül gyorsan terjedt, és a semmiféle burkolattal nem rendelkező padlásteret teljesen megsemmisítette. (4.9. ábra)



4.9. ábra – Kiégett padláster

Egy ellenpélda, ahol a lakók gyors észlelése és beavatkozása miatt nem keletkeztek nagyobb károk: a felelős itt is a nem megfelelően karbantartott villanyóra szekrény. (4.10. ábra)



4.10. ábra – Nem megfelelően karbantartott villanyóra szekrény tüze (fotó: Kiss Viktória)



4.11. ábra – A homlokzattól visszahúzott villanyóra szekrény – az eresz „védett” helyzetben

Fontosnak tartom kiemelni, hogy a lakók gyors reakciója mellett a kapcsolószekrény is sokkal „szerencsésebb” helyzetben volt az előző két tűzesethez képest. Az épület-konzol alatti kialakításnak köszönhetően a hőhatás nem érthette el a kritikus ereszcso-mópontot.

2019. január 23-án tűz ütött ki a budapesti Ráday utcában található Károli Gáspár Református Egyetem kollégiumában. A tűz után a homlokzaton több helyen jól megfigyelhető volt a homlokzaton kilépő csóva károsító hatása. Bár a tűz közvetlenül nem érintette a felső emeleti szinteket, a füst a teljes épületet betöltötte és a homlokzati nyílászárók üvegezésének kitörése után az ereszt több helyen is károsította. (4.12. ábra)



4.12. ábra – Ráday utcai kollégium tűzében károsodott esz

Figyeljük meg, hogy az esz a homlokzat síkja mögé visszahúzott kialakítású, kizárólag az ereszcatorna lóg a homlokzati sík elé. A hőhatástól a könnyűfm ereszcatorna a homlokzati nyílászáró fölött elolvadt (ez minimum 400 °C hőmérsékletet jelent). A tűz azonban az ereszcatorna károsításán túl nem tett kárt a tetőszerkezetben, a tűz a tetőre nem terjedt át!

2010. október 8-án tűz ütött ki Bonyhádon a Széchenyi tér 11 sz. alatti társasház II. emeletének 4. sz. lakásában. A tűzesetről készített vizsgálati dokumentációt [Dr. Balázs Gábor, Kurcz Ernő, 2011] a rendelkezésemre bocsátotta a Tolna Megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság, így erről a tűzesetről a korábbiaknál részletesebb képpel rendelkezem. A képek Gottwald Károly, a Tolnai Népújság riportere által készültek, vagy az általa készített videofelvételből kerültek kivágásra.

A tüzet egy ruhaszáritón hagyott, bekapcsolva felejtett hősugárzó okozta, mely túlhevül és meggyújtotta a környezetében lévő éghető anyagokat. A lakásban egy anya tartózkodott gyermekeivel, aki a gyermekek mentésével volt elfoglalva, a tüzet nem próbálta meg eloltani. A beépített automatikus oltóberendezés nélküli lakóépületben gyorsan kialakult a kifejlett tűz állapota, mely a tűzoltóság kiérkezésekor már több méteres lángokkal nyaldosta a homlokzaton a tűzfészek fölötti lakást. (4.13-14. ábrák) Az első beavatkozó egység a tűz keletkezésétől számítva kb. 12 perc alatt ért a helyszínre, mely még európai viszonylatban is gyorsnak számít.



4.13. ábra – Homlokzati tűzterjedés az első beavatkozó tűzoltó egység kiérkezése előtt kb. 1 perccel – tűzkeletkezéstől számított kb 11. perc (képanyag: Gottwald Károly, Tolnai Népújság)



4.14. ábra – Homlokzati tűzterjedés az első beavatkozó szer kiérkezésekor – tűzkeletkezéstől számított kb. 12. perc (képanyag: Gottwald Károly, Tolnai Népújság)

A 4.14. ábrán jól megfigyelhető, hogy a közvetlen tűzkitétet kapó nagymértékben a homlokzat síkja elé lógó ereszt éghető anyagú alsó dobozolása már önfenntartó módon ég (ábrán zölddel jelölve). Fontos az is, hogy az ereszt nem közvetlenül alulról érte a csóva, hanem féloldalasan, mégis elég hamar lángra kapott. A tűzkeletkezéstől számított kb. 19. percben a lángok már jól láthatóan a tetőszerkezetből csapnak ki az oromszegély mentén. (4.15. ábra)



4.15. ábra – A tetőszerkezet önfenntartó égéssel ég – tűzkeletkezéstől számított kb. 19. perc (képanyag: Gottwald Károly, Tolnai Népújság)



4.16. ábra – A tetőszerkezet másodpercekkel a beavatkozás megkezdése előtt – a tűzkeletkezéstől számított kb 20. percben (képanyag: Gottwald Károly, Tolnai Népújság)

A beavatkozás megkezdése előtt a tetőszerkezet több pontján már sűrű fehér füst ömlött ki a tetőfedés alól. Ez azt jelenti, hogy a tűz a tető nagy részére kiterjedt, már legalább parázsló fázisban volt. A parázsló tetőszerkezetet a tűzoltók végül csak a tetőfedés kiterjedt területen történő megbontásával voltak képesek eloltani.



4.17. ábra – Oltás érdekében megbontott tetőszerkezet (képanyag: Gottwald Károly, Tolnai Népújság)

A bonyhádi tüzeset jól illusztrálja az ereszen keresztül történő tűzterjedés veszélyeit:

- Az ereszt még a nem közvetlen tűzkitét következtében is meggyulladt.
- A tűz a tetőszerkezet nagy részére kiterjedt
- A tetőszerkezet belső burkolatán keresztül a tűz más lakásokba is átterjedt.
- A tetőszerkezetet csak a tetőfedés nagy felületen történő megbontása után tudták eloltani a tűzoltók.

5. NUMERIKUS CFD SZIMULÁCIÓ FDS SZOFTVERREL

5.1. Kutatási mátrix meghatározása

A harmadik fejezetben részletezett hiányos jogszabályi háttér az ereszkialakítások rendkívül széleskörű geometriai variációinak megvalósulását eredményezi. Az alábbi ábrán egy fényképet mutatok be, ahol volt szerencsém két „geometriai szélsőértéket” egymás mellett lefényképezni (a kép Budapest VIII. kerületében, a Somogyi Béla utcában készült).



5.1. ábra – Szélsőségesen eltérő ereszkialakítások (saját gyűjtés)

A bal oldalon egy emeletráépítés látható, ahol az ereszkiülés nagy mértékű, vízszintes alsó dobozolással került elburkolásra (szokványos, olcsó lambéria burkolattal), a dobozolás pedig közvetlenül a legfelső emeleti nyílászáró szemöldökével színel. A túlsó oldalon egy felújított polgári bérház homlokzata látható, szintén egy emeletráépítéssel, mely esetben azonban a plusz emelet homlokzata egy 1,5-2 m-el a főhomlokzat síkjától visszahúzva került kialakításra. A magastető eresze így szintén a főhomlokzattól visszahúzva, kis ereszkiüléssel, az előzőhöz hasonló alsó dobozolással került kialakításra. Ebben az esetben azonban az ereszdobozolás alsó síkja az alatta lévő nyílászáró szemöldöke fölött kb 1 méterrel található.

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

Az ereszcsonópont 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 cellahálózathoz 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.

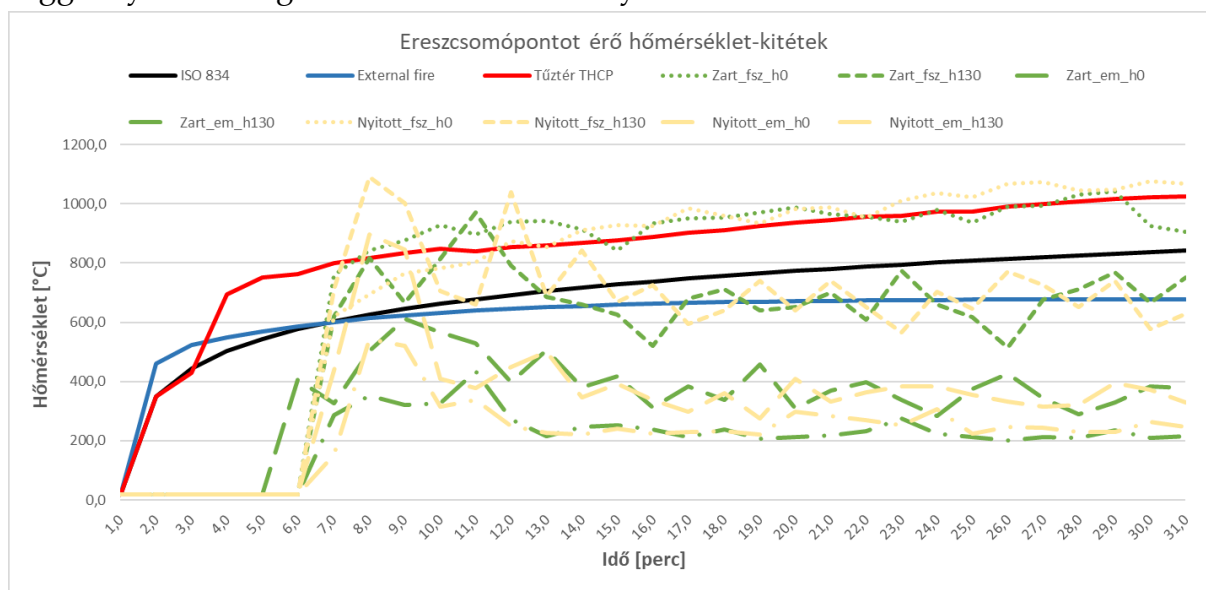
Fentiek alapján a teljes vizsgálati mátrix lefedése $3 \times 3 \times 2 \times 2 = 36$ db eltérő szimulációs vizsgálat futtatását jelentette volna. Mivel az eredményeket a futtatások lezárulta után azonnal értékeltem, ezért végül csak 12+1 db szimulációs futtatást végeztem (a plusz egy futtatás egy 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 alábbi kutatási mátrixban mutatom be.

			Alsó sík távolsága (h)						
			0 cm		70 cm		130 cm		
			Ereszdobozolás kialakítása						
			Nyitott	Zárt	Nyitott	Zárt	Nyitott	Zárt	
Ereszkiülés mértéke (d)	30 cm	Eresz elhelyezése	Fsz						
			Em	X					X
	50 cm		Fsz	X	X			X	X
			Em	X	X			X	X
	70 cm		Fsz						
			Em	X					X

5.1. táblázat – Kutatási mátrix numerikus szimulációkhoz

5.2. Ereszkialakítást érő hőmérsékletkitét vizsgálata

Az ereszkialakítást érő hőmérsékletkitétet az összes, fent említett változó paraméter függvényében vizsgáltam. Mérési eredményeimet az 5.2. ábrában mutatom be.



5.2. ábra – Ereszcsomópont hőmérsékletkitét vizsgálatának eredményei

A fenti ábrán az alábbi modellváltozatok eredményei láthatók:

- Zart_fsz_h0_d50 (zöld pontsor)
- Zart_fsz_h130_d50 (zöld röviden szaggatott vonal)
- Zart_em_h0_d50 (zöld hosszan szaggatott vonal)
- Zart_em_h130_d50 (zöld pontvonal)
- Nyitott_fsz_h0_d50 (sárga pontsor)

- Nyitott_fsz_h130_d50 (sárga röviden szaggatott vonal)
- Nyitott_em_h0_d50 (sárga hosszan szaggatott vonal)
- Nyitott_em_h130_d50 (sárga pontvonal)

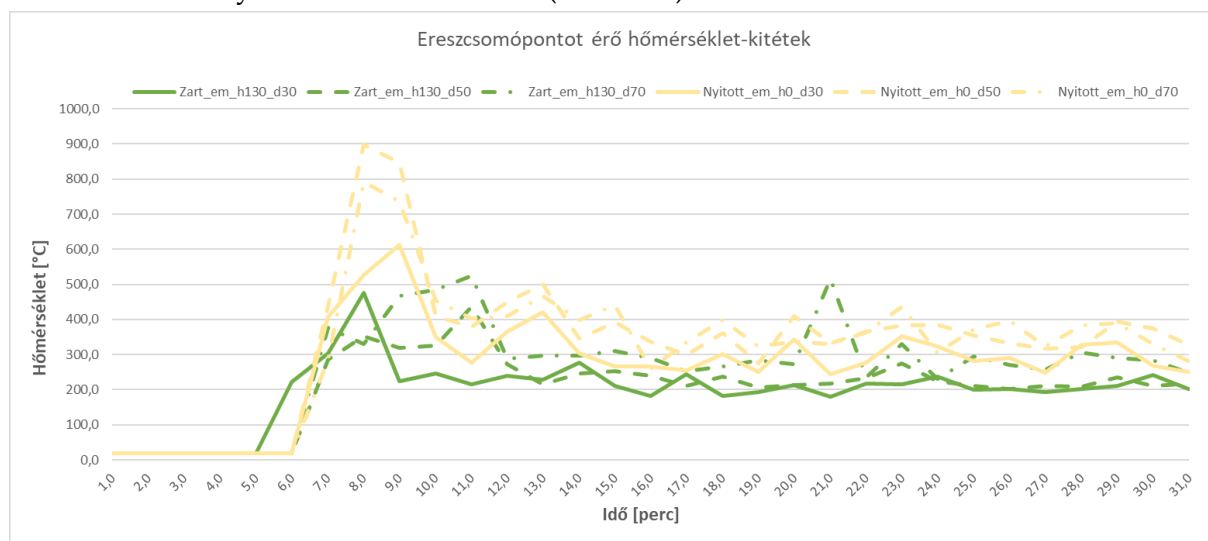
A zárt kialakítású változatokat zöld színnel, a nyitott kialakításúakat sárgával jelöltem. Az azonos magasságban elhelyezett nyitott-zárt modellpárok azonos vonaltípust kaptak.

Referenciaként három adatsort helyeztem el:

- feketével ábrázoltam az ISO 834 szabvány szerinti zárttéri cellulóz tűzgörbét (1.1);
- kékkel ábrázoltam a külső tűzhatás parametrikus tűzgörbét (5.1);
- vörössel ábrázoltam a szimulációs modell tűzterében mért hőmérsékletértékek maximumát.

$$T = 660 (1 - 0,687e^{-0,32t} - 0,313e^{-3,8t}) + 20 \quad (5.1)$$

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. (5.3. ábra)



5.3. ábra – Ereszcsumópont hőmérsékletkítét vizsgálatának eredményei

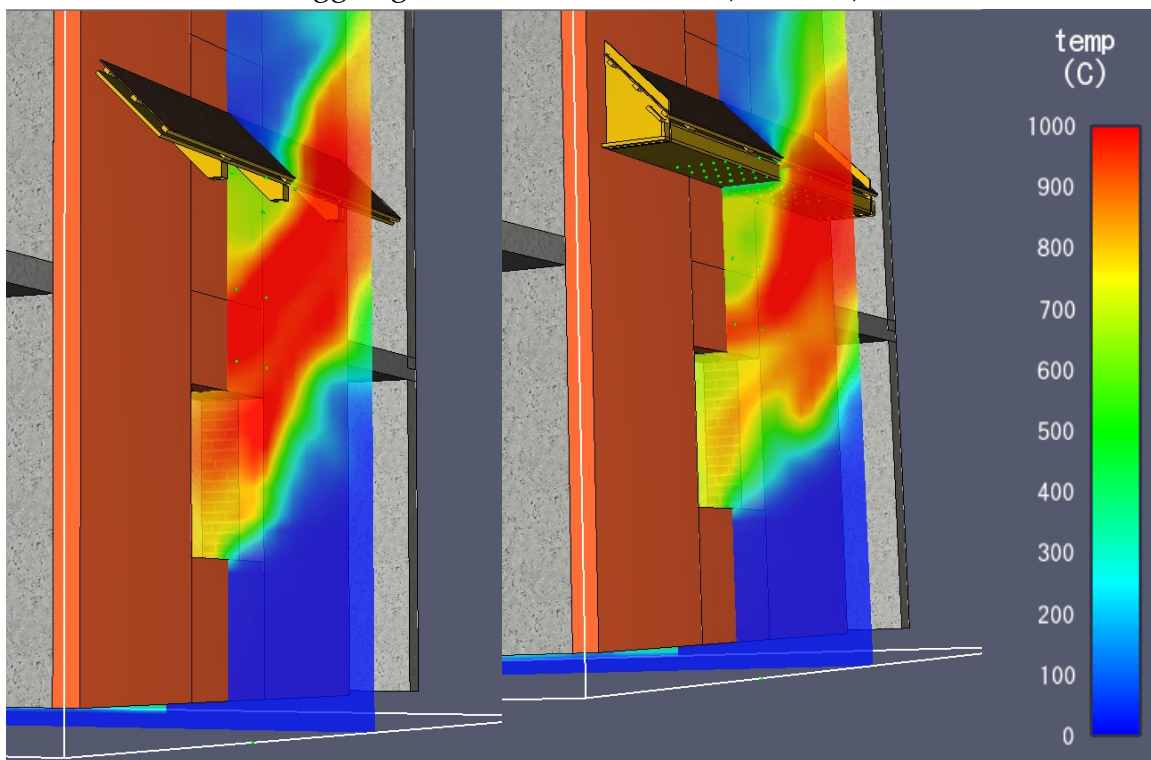
A fenti ábrán az alábbi modellváltozatok eredményei láthatók:

- Nyitott_em_h0_d30 (sárga folytonos vonal)
- Nyitott_em_h0_d50 (sárga szaggatott vonal)
- Nyitott_em_h0_d70 (sárga pontvonal)
- Zart_em_h130_d30 (zöld folytonos vonal)
- Zart_em_h130_d50 (zöld szaggatott vonal)
- Zart_em_h130_d70 (zöld pontvonal)

Az alkalmazott színek és vonaltípusok az 5.2. ábránál leírtak szerintiek 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 homlok-lap környezetében alakul ki. Ezt fontosnak tartom, mivel itt található a tetőszerkezet átszellőztetett légrésének beszellőzési pontja az alacsony gyulladási hőmérsékletű alátét héjazattal együtt.
2. Az ereszkialakítást érő hőmérsékletkitét szempontjából irreleváns, hogy az eresz alsó oldala nyitott vagy zárt kialakítású. Ennek alátámasztására az alábbi ábrán két eltérő kialakítású modellből mutatok be egy-egy, azonos szimulációs időpillanatban felvett függőleges hőmérsékletmezőt. (5.4. ábra)



5.4. ábra – Azonos magassági pozíciójú és vízszintes kiülésű nyitott és zárt ereszkialakítás esetén felvett függőleges hőmérsékletmező

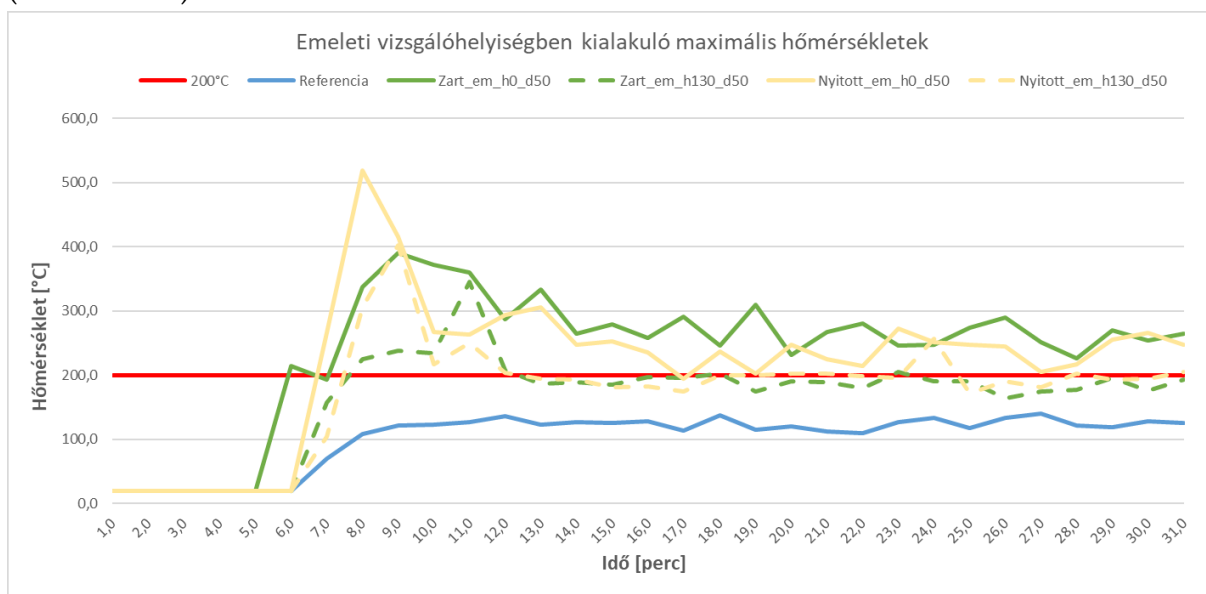
Minkét esetben jól látszik, hogy az eresz a kilépő csóvát eltereli. Korábbi várakozásaimmal ellentétesen a nyitott kialakítás esetén nem alakult ki hőzug az ereszkialakítás és a homlokzat hegyesszögű csatlakozásánál.

3. A tűztéri nyílászáró fölött 0 cm magasságban elhelyezett ereszkialakítás esetén az ereszt érő hőmérsékletkitét közel azonos a tűztérben mért hőmérsékletekkel.
4. A tűztéri nyílászáró fölött 130 cm magasságban elhelyezett ereszkialakítás esetén az ereszt érő hőmérsékletkitét közel azonos a kültéri parametrikus tűzgörbe hőmérsékletadataival.
5. A vizsgálat valamely periódusában mindegyik ereszkialakítást éri olyan hőmérsékletkitét, 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 ereszküülés mértékének növekedése mérhető hőmérsékletkitét növekedést okoz, ez azonban az éghető anyagok gyulladási hőmérséklete szempontjából irreleváns. A hőmérsékletkitét még a legkisebb kitétet kapó változat (h130_d30) esetén is elérte az építési faanyagok gyulladási hőmérsékletének tartományát.

5.3. Ereszkialakítás függőleges homlokzati tűzterjedést befolyásoló hatásának vizsgálata

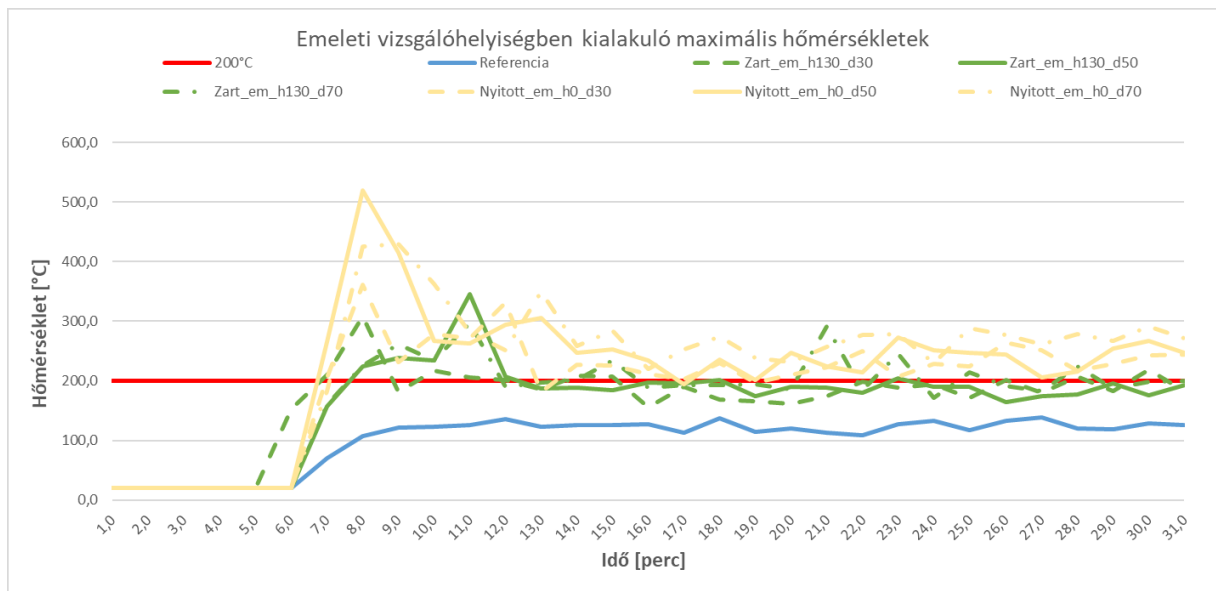
A szakirodalom szerint a homlokzat síkja elé nyúló ereszkialakítás hőtorlaszt okoz a függőlegesen felszálló forró csóva útjában. Feltételezéseim szerint ennek hatása kell, hogy legyen az egymás fölötti szintek közötti, épületen kívüli, függőleges homlokzati tűzterjedés szempontjából. Ennek vizsgálati eredményeit az alábbiakban mutatom be. (5.5-6. ábrák)



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

A fenti ábrán az alábbi modellváltozatok eredményei láthatók:

- Zárt_em_h0_d50 (Zöld folytonos vonal)
- Zárt_em_h130_d50 (Zöld szaggatott vonal)
- Nyitott_em_h0_d50 (Sárga folytonos vonal)
- Nyitott_em_h130_d50 (Sárga szaggatott vonal)



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

A fenti ábrán az alábbi modellváltozatok eredményei láthatók:

- Nyitott_em_h0_d30 (Sárga szaggatott vonal)
- Nyitott_em_h0_d50 (Sárga folytonos vonal)
- Nyitott_em_h0_d70 (Sárga pontvonal)
- Zárt_em_h0_d30 (Zöld szaggatott vonal)
- Zárt_em_h0_d50 (Zöld folytonos vonal)
- Zárt_em_h0_d70 (Zöld pontvonal)

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 hőmérsékletkitételek 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 hőmér-

sékleteket 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.

6. ÖSSZEFOGLALÁS/EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

6.1. Eredmények

Szakdolgozatomban 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 5.0 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 találhatók a témában cikkek, ahol nagy múltja van a könnyűszerkezetes építkezésnek – ilyenek pl. az USA déli államai, pl. Kalifornia, Svájc, vagy 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 cikket 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 megtörtént tűzesetek elemzésével támasztottam alá a téma fontosságát. Akár a homlokzaton egy villanyóra szekrény kigyulladásával az ereszen keresztül a tűz gyorsan beterjedhet a tetőszerkezetbe, melynek 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. Egy bonyhádi tűzeseten keresztül bemutattam, hogy még egy nem közvetlenül az eresz alól érkező tűzhatás esetén is milyen kiterjedt felületen károsodhat a tetőszerkezet.

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 esz befolyásolja-e, és ha igen, milyen módon az egymás fölötti szintek közötti függőleges homlokzati tűzterjedést. A kutatási mátrix előállítása során négy változó paramétert alkalmaztam: 1. az esz alsó síkjának homlokzati nyílászáró szemöldökétől mért függőleges magasságát 2. az esz homlokzati síktól vízszintesen mért kiülését 3. az esz alsó dobozolásának nyitott/zárt geometriájú kialakítását és 4. az esz tűztér szintjén vagy egy szinttel feljebb történő elhelyezését. A szimulációk eredményeinek minél jobb összehasonlíthatósága érdekében végeztem egy kontroll futtatást is, esz 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 beszelőzési pontja körül éri.
- A szerkezetet érő hőmérsékletkitét szempontjából irreleváns, hogy az esz alulról nyitott vagy zárt kialakítású.
- Az általam vizsgált szituációk mindegyikében volt a vizsgálat során olyan periódus, amikor az ereszkialakítás szerkezetét olyan hőmérsékletkitét érte, ami egyértelműen meghaladja az építési faanyagok gyulladási hőmérsékletét. Az esz 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 esz kiülése és minél közelebb van a felső szint homlokzati nyílászárójának szemöldökéhez, annál intenzívebb ez a hatás.

6.2. 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 alapként jónak tartom Esko Mikkola cikkében [2013] közölt ereszkialakítást. Az alsó burkolatra vonatkozó pontos tűzvédelmi osztály és tűzállósági határérték követelményeket a komplex jogszabályi környezettel harmonizálva kell kialakítani, de jónak tartom a Mikkola által javasolt, általános EI 30 teljesímenyjellemző előírását.

Célszerűnek tartanám a tűzállósági határérték teherbírásra vonatkoztatott követelményének kiterjesztését a fedélszekre 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 tűztesztel 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 ugyan-csak alkalmasak az eddigi eredmények alapján megtervezett új ereszkialakítás geometriák valós viselkedésének vizsgálatára is.

7. FELHASZNÁLT FORRÁSOK

1. Dr. Balázs Gábor tű. ezredes, Kurcz Ernő tő. fhdgy.: Tanulmány a Bonyhád, Széchenyi tér 11. szám alatt 2010. 10. 08-án történt tűzesethez; Dombóvár Város Hivatásos Önkormányzati Tűzoltósága, 2011. január
2. Divald Kornél: A felsőmagyarországi renaissance építészet. Pátria Irodalmi Vállalat és Nyomdai Részvénytársaság, Budapest, 1900
3. le Duc , Eugène Viollet: Histoire de l'habitation humaine; 1877
4. Érces Gergő, et al.: Alkalmazott tűzvizsgálat; Kiadó: FKI - Fővárosi Főfelügyelőség, Magyar Rendvédelmi Kar, Budapesti Tűzoltó Szövetség; Budapest, 2014 (p. 162)
5. 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.
6. Johann Jacob Schübler: Synopsis architecturae civilis eclecticae. Nürnberg, 1735
7. Jukka Hietaniemi, Tuula Hakkarainen, Jaakko Huhta, Ulla-Maija Jumppanen, Ilpo Kouhia, Jukka Vaari & Henry Weckman: Ontelotilojen paloturvalisuus (Fire safety of cavity spaces: Prevention of fire spread in building voids - finn nyelven); VTT Tiedotteita - Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, 2003. január
8. Kozák Ágnes: Csapadékvíz elvezető rendszerek a történeti és a kortárs építészetben. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Tudományos Diákköri Konferencia, 2018
9. 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.
10. 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
11. 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
12. Schläpfer, Walter: Neue Brandschutzvorschriften für Bauten, Applica - Fachzeitschrift des Schweizerischen Maler- und Gipserunternehmer-Verbandes, Schweiz, 1/2015, p. 5-11.

13. 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
14. 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
15. Ungewitter, Georg Gottlob: Lehrbuch der gotische construction. Negyedik kiadás, Lipcse, 1903

8. SUMMARY

In my thesis work characteristics of vertical fire spread from facade to the roof structure is discussed.

In the first chapter a short summary about the chronological development of eaves structures is presented. Then a summary of the Hungarian legislation in the topic is given. The main problem is that the national fire safety legislation does not have any regulation in the topic. Therefore there is a very diverse geometrical design for the eaves. The regulation for the interior cover of the built-in attics is not suitable to defend the interiors against a fire coming from the roof structure. And that is exactly what happens if the fire can spread inside the roof through the eaves.

The international literature handles the topic basically from the analyst point of view. Only a very few publications are based on real scale fire tests.

In my research chapter a series of CFD simulations are presented to investigate the temperature exposure of the eaves and to test the effects of the eaves in the vertical fire spread between building floors through the facade. According to the results the following statements have been done:

- The thermal exposure of the eaves exceeds the ignition temperature of building timber types. Therefore the ignition of the combustible materials on the eaves structure is unavoidable.
- The highest thermal exposure is around the fascia – exactly the same area where the openings of the roof structure's vents are.
- Cantilevered eaves in front of the facade helps the fire spread between building floors above each other.

Keywords: vertical fire spread on facade, CFD simulation, fire spread to the eaves