

SZAKDOLGOZAT

OE-YBL

Hallgató neve:

Urbán Zsombor

2024.

Hallgató törzskönyvi száma:





ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Ybl Miklós Építéstudományi Kar
Építőmérnöki Intézet

SAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Urbán Zsombor

Szakedolgozat száma: [REDACTED]

Törzskönyvi száma: [REDACTED]

Neptun kódja: [REDACTED]

Szak: Tűzvédelmi szakmérnök

Specializáció:

A dolgozat címe: Füstelvezető kupolák elrendezési paramétereinek vizsgálata

A dolgozat címe angolul: Research about placing parameters of smoke exhausters

A feladat részletezése: Füstelvezető kupolák teljesítményének vizsgálata egy maximum 1000m-es csarnokban különböző típusok, elrendezések és füstöt befolyásoló tényezők esetén. A tapasztaltak alapján következmények levonása, javaslat adás.

Intézményi konzulens neve: Dr. Fehérvári Sándor

Külső konzulens neve: Kulcsár Béla Zsolt

Munkahelye: Firetech Kft.

A kiadott téma elévülési határideje: 2028. 12. 31.

Beadási határidő: 2024. 05. 15.

A szakedolgozat: Nem titkos.

Óbudai Egyetem
Ybl Miklós Építéstudományi Kar
Építőmérnöki Intézet
1446 Budapest, Thököly út 74.
1442 Budapest, Pf. 117.

Kiadva: Budapest, 2024. 03. 06.

Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom: 2024. 05. 15.

[Signature]
belső konzulens

[Signature]
külső konzulens



SZAKDOLGOZAT
KONZULTÁCIÓS NAPLÓ

Hallgató neve: Urbán Zsombor

Dolgozat száma: [REDACTED]

Szak, specializáció megnevezése: Tűzvédelmi szakmérnök

Neptun azonosítója: [REDACTED]

Törzskönyvi száma: [REDACTED]

A dolgozat címe magyar nyelven: Füstelvezető kupolák elrendezési paramétereinek vizsgálata

A dolgozat címe angol nyelven: Research about placing parameters of smoke exhausters

Belső (kari) konzulens neve: Dr. Fehérvári Sándor

Külső konzulens neve: Kulcsár Béla Zsolt

Külső konzulens munkahelye: Firetech Kft.

ALK.	DÁTUM	KONZULTÁCIÓ TÉMÁJA, TARTALMA	KONZULENS ALÁÍRÁSA
1.	2024. március 6.	Alapvető követelmények, ügyintézés menete	[Signature]
2.	2024. április 5.	Feladat átbeszélése, iránymutatás	[Signature]
3.	2024. április 23.	Külső észrevételek, információ leadásról	[Signature]
4.	2024. május 13.	Adminisztrációs ügyek, szakdolgozattal kapcsolatos észrevételek	[Signature]

A Konzultációs naplót minimum négy alkalommal az egyes konzultációk alkalmával kell láttamoztatni bármelyik konzulenssel.

A részvételt a konzulens akkor igazolhatja, ha arra a hallgató felkészülten érkezik, azaz érdemi konzultáció történt.

A hallgató a Szakdolgozat/Diplomatervezés/Diplomamunka tantárgy(ak)* követelményét teljesítette.

Kelt: Budapest, 2024.05.14.

* A megfelelő aláírandó.

[Signature]
belső (kari) konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Ybl Miklós Építéstudományi Kar

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott **Urbán Zsombor** hallgató kijelentem, hogy a dolgozat saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült dolgozatban található eredményeket az Óbudai Egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Kelt: Budapest, 2024.05.13.

hallgató

FÜSTELVEZETŐ KUPOLÁK ELRENDEZÉSI PARAMÉTEREINEK VIZSGÁLATA

Összefoglalás. Füstelvezető kupolák teljesítményének vizsgálata szimulációval egy 1000 m^2 -es csarnokban 2 különböző kupola típus, 2 különböző elrendezése valamint 3 darab lehetséges tűzkeletkezési hely esetén a födémet tartó gerendák, mint befolyásoló tényezők figyelembe vételével. Az eredmények alapján számos javaslatok megfogalmazása a füstelvezető rendszerek tervezése és telepítése szempontjából. Kiemelten a különböző elrendezések és kupola méretek előnyeire összpontosítva, és bemutatva a födémet tartó gerendák elhelyezkedésének hatását a füstelvezetésre. A vizsgálatok átfogó képet nyújtanak a füstelvezető rendszerek teljesítményéről és lehetőségeiről, amelyek segíthetik a tűzvédelmi szakembereket hatékonyabb döntések meghozatalában a gyakorlatban.

Kulcsszavak: tűzvédelem, füstelvezető kupolák, elrendezés, szimuláció, épületbiztonság

EXAMINATION OF THE ARRANGEMENT PARAMETERS OF SMOKE EXHAUST DOMES.

Abstract. Examination of Smoke Ventilation Domes' performance through simulation in a 1000 m^2 hall, considering 2 different dome types, 2 different arrangements, and 3 potential fire origin locations, with the influence of roof beams taken into account. Based on the results, several recommendations are formulated for the design and installation of smoke ventilation systems. These recommendations focus particularly on the advantages of various arrangements and dome sizes while demonstrating the impact of the positioning of roof beams on smoke ventilation. The studies provide a comprehensive overview of the performance and possibilities of smoke ventilation systems, which can assist fire safety professionals in making more effective decisions in practice.

Keywords: fire protection, smoke exhaust dome, placement, simulation, building security

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	6
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	8
2.1. Hazai szabályozások	9
2.2. CE jelölés, és szabvány	11
2.2. Füstelvezető kupolákról általánosságban	11
2.3. Füstterjedés számítása, és modellek	14
2.4. Karbantartási tényezők és piaci tendenciák	19
3. SZIMULÁCIÓ	20
3.1. Helyszín építése	22
3.2. Kupolák elhelyezése	30
4. SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK BEMUTATÁSA	35
4.1. X kupolatípus 1. elrendezés:	36
4.2. X kupolatípus 2. elrendezés:	38
4.3. Y típus 1. elrendezés:	41
4.4. Y típus 2. elrendezés:	46
5. ÖSSZEVETÉSEK	47
6. MÉRNÖKI JAVASLATOK	54
7. HIVATKOZÁSOK	56
Szakirodalom	56
Szabványok	56
Jogszabályok	56
MELLÉKLETEK	57
A melléklet	57

1. BEVEZETÉS

Az építészeti környezet folyamatos változásaival párhuzamosan nő az igény a hatékony és biztonságos tűzvédelemre. A modern építészeti trendek, az energiahatékonyság és a fenntarthatóság elvárásai mind arra ösztönöznek bennünket, hogy új és innovatív megoldásokat találjunk a tűzvédelem területén. Ebben a kontextusban különösen fontos szerepet játszanak a gravitációs füstelvezető ablakok és más tűzvédelmi rendszerek, amelyek lehetővé teszik a gyors és hatékony füst- és hőelvezetést az épületekből, minimalizálva ezzel a tüzesetek okozta károkat és veszteségeket.

A gravitációs füstelvezető ablakok alkalmazása füst- és hőelvezetési rendszerekben különleges figyelmet kap mind hazai, mind nemzetközi építészeti környezetben. Ezeknek a rendszereknek az előnyeit részben az egyszerű működési elv, valamint az alacsony hibalehetőség határozza meg, ami ellentétben áll más, például légszűrővel szellőztető rendszerekkel. A füstelvezető kupolák gyártói állandóan fejlesztik termékeiket, hogy még hatékonyabbá tegyék a füst gyors eltávolítását az épületekből. Ez a folyamat különösen az elvezető kupolák lábazatát érinti, kísérletezve annak formájával és beépítési módjával.

Annak ellenére, hogy ezek a fejlesztések rendkívül fontosak, kevés figyelmet kap az egyes kupolák elrendezésének hatása a füst kiürítésére. A tervezés során általában csak a területre eső szabad nyíló felülettel számolnak a tervezők, anélkül, hogy figyelembe vennék, hogy azok az épületen belül hol helyezkednek el.

Ebben a dolgozatban arra teszek kísérletet, hogy feltárjam, mennyire fontos az elrendezés szerepe a füst kiürítésében, és ha igen, milyen elhelyezési paraméterek befolyásolhatják az épület füstelvezetési képességét. Ezt a kutatást szimulációs módszerekkel végeztem el, különböző elrendezéseket és füstelvezető kupolatípusokat modellezve, különböző tűzkeletkezési helyzetek figyelembevételével.

Céлом az volt, hogy meghatározzam, mely elrendezés lehet a legmegfelelőbb a vizsgáltak közül füstelvezetés hatékonysága szempontjából egy bizonyos csarnokban tűz esetén. Bár az általam vizsgált csarnokot próbáltam általánosítani annak érdekében, hogy minél több helyzetet lefedjek, fontos megjegyezni, hogy minden egyes csarnok egyedi, és más a tűzvédelmi helyzete.

A kutatás eredményei kulcsfontosságúak lehetnek a hatékonyabb és biztonságosabb füstelvezető rendszerek tervezéséhez és alkalmazásához az építészeti gyakorlatban. Az ilyen rendszerek megfelelő elrendezése és kivitelezése hozzájárulhat az épületekben tartózkodók biztonságához tűz esetén, és segíthet minimalizálni a tűz okozta károkat és veszteségeket, így

gyakorlati jelentőséggel bírnak az építészeti tervezés és a tűzvédelem területén. Azok a megállapítások, melyeket a kutatás során teszünk, segíthetnek a tervezőknek és tűzvédelmi szakembereknek hatékonyabb és biztonságosabb füstelvezető rendszerek tervezésében és alkalmazásában, valamint az építészeti gyakorlatban.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. Hazai szabályozások

A füstelvezető kupolák olyan fontos építészeti elemek, amelyek célja a tűzjelző és tűzvédelmi rendszerek hatékony működésének támogatása. A füstelvezető kupolák hazai szabályozása számos jogszabályi rendelkezésen alapul, melyeket a Magyar Építésügyi Törvénykönyv és a Tűzvédelmi Szabályzatok (54/2014.(XII.5.) BM rendelet, valamint helyi Önkormányzatok által kiadott szabályzatok/rendeletek) határoznak meg.

Az építésügyi törvények és rendeletek részletesen szabályozzák a füstelvezető kupolák tervezését, kivitelezését és karbantartását. Ezek a rendelkezések megkövetelik a kupolák méreteinek, alakjának és anyaghasználatának előzetes tervezését és ellenőrzését, hogy megfeleljenek a biztonsági előírásoknak. Emellett a kupolák működéséhez szükséges automatikus vagy manuális vezérlőrendszereknek is meg kell felelniük a szabályozásoknak.

A tűzvédelmi szabályozások kiegészítik az építésügyi előírásokat, különös tekintettel a füstelvezető rendszerekre. A Nemzeti Tűzvédelmi Szabályzat részletesen meghatározza a füstelvezető rendszerekkel kapcsolatos követelményeket, ideértve a füstelvezető kupolák elhelyezkedését, méretét és működését is. Ezek a szabályozások az épület különböző részeire, funkcióira és tűzveszélyességére vonatkozó különféle előírásokat fogalmazzák meg.

Fontos megérteni, hogy a füstelvezető kupolák hazai szabályozása nem csupán formális előírásokon alapul, hanem a gyakorlati biztonsági szempontokon is. A szabályozásoknak a tűzvédelmi szakemberek és a tervezők általi gyakorlati alkalmazása elengedhetetlen az épületek és az ott tartózkodók biztonságának garantálásához. Ezen túlmenően, a szabályozásoknak a technológiai fejlesztésekkel és a tűzvédelmi kutatási eredményekkel való folyamatos frissítése is kulcsfontosságú a biztonságosabb és hatékonyabb füstelvezető rendszerek eléréséhez.

Az Országos Tűzvédelmi Szabályzat (OTSZ) számos fontos előírást tartalmaz a füstelvezetők elhelyezésére és méretére vonatkozóan. Az OTSZ szerint a füstelvezetőknek legalább 3 méter távolságra kell lenniük más épületektől, hogy megelőzzék a tűz terjedését. Emellett biztosítani kell legalább 5 méteres távolságot közvetlen szomszédos területektől, ideértve az épületeket és utakat is.

A füstelvezetők méreteit az OTSZ pontosan meghatározza. Például, egy adott méretű gyártóüzem esetén előírhatja, hogy a füstelvezető átmérője legalább 1 méter legyen, míg magassága legalább 5 méter. Ezen kívül az OTSZ részletes karbantartási előírásokat is tartalmaz a füstelvezetők számára, hogy biztosítsa azok hatékony működését és hosszú élettartamát. Továbbá szigorúan korlátozza a füstelvezetők által kibocsátott zajt, rezgést és szennyezőanyagok mennyiségét, hogy minimalizálja a környezeti terhelést. Ezek az előírások fontosak a környezetvédelem és a lakosság egészségének védelme érdekében.

Az OTSZ által meghatározott szabályok és előírások együttesen biztosítják, hogy a füstelvezetők hatékonyan működjenek és minimalizálják a tűz kockázatát, miközben csökkentik a környezeti hatásokat és megfelelnek a biztonsági előírásoknak.

A TVMI ajánlásai szerint az ablakoknak elegendő méretűnek kell lenniük ahhoz, hogy elegendő mennyiségű füst és hő tudjon távozni az épületből egy esetleges tüzeset során. Például egy 100 négyzetméteres alapterületű helyiség esetén legalább 1 négyzetméternyi füstelvezető ablakot kell tervezni a tűzvédelem érdekében.

A füstelvezető ablakok elrendezése során figyelembe kell venni az épület alakját és funkcióját. Például egy nagyobb területű raktárt vagy gyártócsarnokot ellátva lehet több füstelvezető ablakkal, míg egy kisebb irodaház esetén kevesebb ablak is elegendő lehet a megfelelő füstelvezetés biztosításához.

A füstelvezető ablakok típusai között szerepelnek a nyitható és fix ablakok. A nyitható ablakok lehetővé teszik a füst és a hő szabad áramlását, amikor szükség van rá, például tűz esetén automatikusan nyílnak. A fix ablakok pedig állandóan nyitott állapotban vannak, hogy folyamatos légáramlást biztosítsanak az épületben, ami csökkentheti a tűzveszélyt.

Az ablakok kialakításánál fontos szempont a megfelelő szellőző ablakkeretek és üvegezés kiválasztása. Ezeknek az ablakoknak rendelkezniük kell olyan anyagokkal és szerkezettel, amelyek ellenállnak a tűznek és hőnek, és biztosítják a biztonságos működést még tüzesetek során is.

Végül, az ablakok működésének módját is figyelembe kell venni. Automatikus működés esetén érzékelők vagy tűzérzékelő rendszerek aktiválják az ablakok nyitását a füst és hő eltávolításának elősegítése érdekében. A manuális működésű ablakokat pedig könnyen és gyorsan kell tudni nyitni és zárni szükség esetén.

Összességében, a füstelvezető ablakok tervezésekor számos tényezőt kell figyelembe venni a megfelelő működés és a tűzvédelem érdekében. Az épület jellemzőitől és funkciójától függően meg kell határozni az ablakok méretét, típusát, elrendezését és működési módját

annak érdekében, hogy hatékonyan működjenek a tűzveszély csökkentése és a biztonságos evakuáció érdekében.

2.2. CE jelölés, és szabvány

A CE jelöléssel ellátott természetes hő- és füstelvezető berendezések adatainak értelmezése és értékelése kiemelt fontosságú az épületek tűzvédelmében és a biztonságos evakuálásban. Az MSZ EN 12101-2 szabvány határozza meg ezeknek a berendezéseknek a műszaki előírásait és vizsgálati módszereit. Ez a szabvány lehetővé teszi, hogy a termékek jogosultak legyenek a CE jelölés használatára, és akár Magyarországon is korlátozás nélkül forgalomba hozhatók.

A füst- és hőelvezető rendszerek európai szabványai részletesen leírják a különböző típusú rendszerek műszaki előírásait és vizsgálati módszereit. Az EN 12101 szabványsorozat tíz részből áll, amelyek között szerepelnek a követelmények és vizsgálati módok, a tervezés és méretezés, valamint az energiaellátások műszaki előírásai.

Az MSZ EN 12101-2 szabvány különösen fontos, mivel meghatározza a természetes füst- és hőelvezető berendezések műszaki előírásait. Ez a szabvány egyaránt vonatkozik a tetőre és a homlokzatra szerelt berendezésekre. Az EN 12101-2 kritériumai között szerepelnek a nyitási és működési módok, az áteresztő felület, a megbízhatóság, a hó- és oldalszélterhelés, valamint a hő- és tűzállóság.

Az osztályba sorolás nemzetileg szabályozott, mivel az egyes országokban eltérőek lehetnek a környezeti feltételek. Például az északi országokban és magas hegységekben magasabb hőterhelési értékeket lehet elvárni, mint a mediterrán területeken. A CE jelölés vizsgálatakor fontos összehasonlítani a termék bevizsgált és tanúsított értékeit a hazai osztályba sorolási értékekkel.

A CE jelölésen fel kell tüntetni a gyártó/forgalmazó nevét, a tanúsító testület és azonosító számát, a gyártási évet, valamint a típust és modellt. A tanúsított értékek összehasonlítása a nemzeti követelményekkel meghatározza, hogy egy termék megfelel-e a helyi előírásoknak, és így alkalmas-e beépítésre. Ha a termék nem felel meg az elvárásoknak, nem javasolt a beépítése, de ez nem jelenti azt, hogy nem megfelelő a felhasználásra más piacokon.

2.2. Füstelvezető kupolákról általánosságban

A füstelvezető rendszerek hatékonysága számos tényezőtől függ, amelyek között szerepet kapnak a környezeti elemek, mint például a szélirány, az épület alakja és magassága, valamint a környező épületek árnyékoló hatása. A lassított széláramlatok eltérő nyomásviszonyokat hoznak létre az épület körül, amelyek hatással vannak a füstterjedésre és a füstelvezetésre. A szélesebb és irány változása befolyásolja a füstelvezető rendszer hatékonyságát, és az árnyékoló hatások is módosíthatják a széláramlatokat, ami befolyásolja a füstelvezetés hatékonyságát és irányát. Ezek a tényezők alapvető fontosságúak a füstelvezető rendszerek megfelelő tervezésében és kialakításában, hogy biztosítani lehessen a hatékony és biztonságos füstelvezetést.

A szellőztetési rendszerek hatékonyságával kapcsolatban egy értekezés azt mutatja, hogy a tűzoltási rendszer típusa meghatározó tényező lehet a füstmozgás terjedésében az épületben. A tűz keletkezési helyétől függően azonban eltérő hatások érvényesülhetnek. Például egy londoni bírósági épületben az első emeleten keletkezett tűz esetén az örvénylő szél hatására az ablakokba fújó friss levegő befolyásolja a füst terjedését, míg egy tűzoltósági kutatóintézet esetében a hosszú folyosók és a szellőzés hiánya miatt a füst könnyebben terjedhet az épületben. A tűz keletkezési helye és az épület kialakítása tehát meghatározza, hogy milyen módon terjed a füst az épületben, és hogy mennyire hatékonyak a szellőztetési rendszerek a füst elvezetésében és a biztonságos menekülés biztosításában. [E.EVERS és A.WATERHOUSE, 1978]

Hő és Füstelvezető típusokból megkülönböztetünk RWA (Rauch und Wärme Abzugsgerate) vagy magyarul Füst- és hőelvezető berendezéseket, NRW (Natürliche Rauch und WärmeabzugsGeräte), magyarul Természetes füst és hőelvezető berendezéseket, valamint ide vehetjük az angol eredetű SHEVS (Smoke and Heat Exhaust Ventilation Systems) csoportot is (magyarul: Füst és hőelvezető szellőztető rendszerek). Azért idegen nyelven hivatkozok ezekre, mert a mai magyar piacon is leginkább ezekkel a rövidítésekkel lehet találkozni. Én jelen dolgozatban a természetes hő- és füstelvezető berendezésekkel, azokon belül a kupolákkal fogok foglalkozni.

NRWG berendezések típusai:

1. Természetes hőelvezető kupolák:

- Kürtők: Ezek a kupolák a tetőn találhatók és lehetővé teszik a meleg levegő és füst természetes kivezetését. A tetőn lévő nyílásokon keresztül a meleg levegő felfelé áramlik, és a friss levegő beáramlik a helyiségbe.
- Ablakok és tetőablakok: A tetőn vagy a falakon elhelyezett ablakok és tetőablakok szintén hőelvezető funkciót látnak el. Ezek lehetnek nyitható vagy fix ablakok.

2. Mechanikus füst- és hőelvezető rendszerek:

- Füstelvezető ventilátorok: Ezek a ventilátorok a füstöt és a meleg levegőt aktívan vezetik ki a helyiségekből. Általában a tetőn vagy a falakon találhatók, és automatikusan működnek tűzjelzés vagy hőérzékelők hatására.
- Füstelvezető csatornák: Ezek a csatornák a füstöt és a meleg levegőt a tetőn vagy a falakon keresztül vezetik ki. A csatornák lehetnek merevek vagy hajlékonyak.

3. Kombinált rendszerek:

- Néhány modern épületben kombinált rendszerek találhatók, amelyek természetes és mechanikus hőelvezetést egyesítenek. Ezek a rendszerek hatékonyan vezetik el a füstöt és a meleg levegőt.

Ezeket a rendszereket a helyiségekből történő meleg levegő és füst természetes kivezetésére használják.

A természetes hőelvezető rendszerek számos előnnyel járnak a tűzvédelem szempontjából, általában egyszerűbbek és olcsóbbak a telepítés során, mivel nem igényelnek elektromos vagy mechanikus berendezéseket. Ennek következtében a fenntartási költségeik is alacsonyabbak, ami hozzájárul a rendszer gazdaságosságához.

Az is kiemелendő, hogy ezek a rendszerek megbízhatóbbak, mivel kevesebb mozgó alkatrészt tartalmaznak, így csökkentik a meghibásodás lehetőségét, ami kritikus szempont a tűzvédelemben.

Fontos megjegyezni továbbá, hogy a természetes füst- és hőelvezető rendszerek környezetbarát megoldást jelentenek, mivel nem igényelnek vagy csak minimális elektromos energiaforrást. Ezáltal csökkentik a környezeti terhelést, és hozzájárulnak a fenntartható építészet elveinek megvalósításához. Ez a szempont mostanában előtérbe helyeződött, így az innováció ezen a területen folyamatos.

Ezen okok miatt is választottam a füstelvezető kupolák vizagátát. Elektromosság helyett mechanikus, vagy pneumatikus elven is működtethetők. Ha szellőztető funkciót szeretne a megrendelő/tulajdonos, akkor ugyan ez kevésbé jelent előnyt.

A füstelvezető kupolákat anyagukat tekintve üvegből vagy PVC-ből szokták készíteni, Csoportba sorolhatók továbbá automatizáltságuk szerint is, ugyanis egy füstelvezető kupola működhet manuálisan, kézi indításra, vagy automatikusan valamilyen jelző berendezés jelére is. Jelenleg a hatékonyságát leginkább a lábazat fejlesztésével/optimalizálásával tudják növelni.

2.3. Füstterjedés számítása, és modellek

A "Hand Calculation Methods" az empirikus modellek közül egyszerűbb, kézi számítási módszereket jelent, amelyek segítségével becslést adhatunk a tűzterjedés és füstterjedés távolságáról és időbeli alakulásáról, én azért választottam ennek a számításnak az elvégzését, hogy egy előzetes becslést tudjak végezni a füstelvezető kupolák elhelyezésére vonatkozóan.

A "füstgáz hosszúság" az a távolság, amelyet a füst elér a tüzeset helyszínétől számítva egy adott időpillanatban. Ez a távolság a füstterjedés sebességétől és az idő múlásától függ. Általában az alábbi egyszerűsített egyenletet használják a füstgáz hosszúságának becslésére:

$$D = V \cdot t$$

Ahol:

- D a füstgáz hosszúsága (méterben)
- V a füstterjedés sebessége (m/s-ben)
- t az idő (másodpercben)

Ez az egyszerűsített egyenlet feltételezi, hogy a füstterjedés sebessége állandó az adott idő alatt, ami valójában a valóságban nem mindig igaz. A valós helyzet komplexebb lehet, és más tényezők is befolyásolhatják a füstterjedést, mint például a helyszín geometriája, az épület

szerkezete, a légáramlások és a tűz intenzitása. Ezért fontos megjegyezni, hogy ez az egyszerűsített képlet csak egy becslést ad a füstgáz terjedésére, és a valós tüzeseteknél figyelembe kell venni más tényezőket és modelleket is a pontosabb eredmények eléréséhez.

A pontosabb áttekintés érdekében szeretném bemutatni a világban használt modelleket, mert mint említettem a fenti képlet nem megfelelő a füst terjedésének pontos vizsgálatára, ahhoz az idők folyamán többféle megközelítés és képlet keletkezett, melyeket az egyszerűség és áttekinthetőség miatt nem írnék ki. A továbbiakban felsorolt modellek véleményem szerint nem fedik le, az összes tudományban jelenleg fellelhető verziót, azonban ad egy nagyságrendi és felületes áttekintést arról, hogy milyen módszerek léteznek.

A füstkontroll modellek összehasonlítására M.NADY A.SAID A review of smoke controll models című írását használtam fel, ami összevet különböző modelleket, és leírja melyik mire használható a legjobban. Ezek a modellek lehetővé teszik tűzveszélyes helyzetek előrejelzését, és intézkedéseket hoznak a biztonság növelése céljából, valamint egyes szimulációs szoftverekbe implementálva is vannak.

Az Oscar Faber/UK modell egyike a legátfogóbbnak, amely lehetőséget kínál mind a stabil, mind a dinamikus légmozgás szimulálására. Négy különböző analízis szintet kínál az alkalmazások széles skálájának lefedésére. Hasznos lehet tervezőknek és tűzvédelmi szakembereknek a füstkontroll rendszerek hatékonyságának előre jelzésére, és segíthet az optimális elrendezés kiválasztásában.

A TNO/Netherlands modell egy dinamikus megközelítést alkalmaz, és figyelembe veszi a füstképződés és hőterjedés változásait a tüzeset során. Ez a modell hasznos lehet a tűzvédelmi rendszerek tervezésénél, különösen olyan esetekben, amikor fontos a tűzterjedés és a füstelvezetés hatékony kezelése.

Az IRC/Canada modell elsősorban stabil légáramlást jósol, de további változatok is léteznek, amelyek képesek dinamikus elemzésekre is. Ez a modell hasznos lehet a füstkontroll rendszerek tervezésekor és értékelésekor, különösen olyan helyzetekben, ahol fontos a füstterjedés és a légmozgás dinamikájának pontos modellezése.

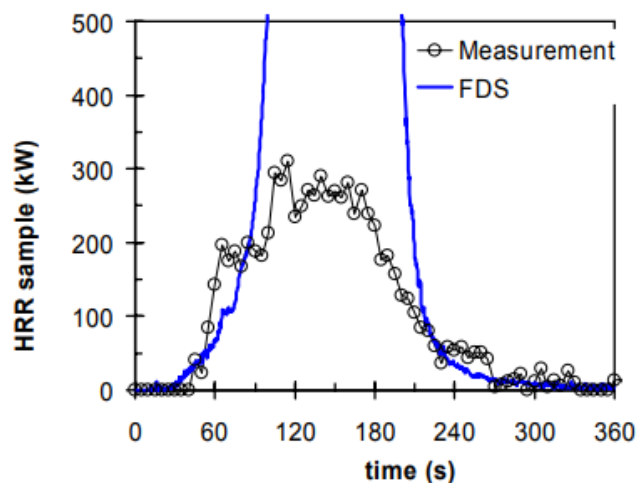
Az NBS/USA modell főként stabil légáramlásokat és nyomásokat számol ki, de nem tartalmaz füstszimulációt. Bár ez a modell korlátozottabb funkcionalitással rendelkezik a füstkontroll tervezése során, hasznos lehet az épületszerkezetek általános légmozgásának és légnyomásának elemzésére.

A BAI/Japan modell stabil állapotú modellt kínál, amely figyelembe veszi a légmozgást és a füstelvezetést tüzeset során. Ennek a modellnek az előnye az, hogy segíthet a füstkontroll rendszerek hatékonyságának és biztonságosságának előrejelzésében.

A BAE/UK modell determinisztikus és sztochasztikus módokban is működik, amely lehetővé teszi a változó forgatókönyvek vizsgálatát tüzesetekkel kapcsolatban. Ez a modell hasznos lehet az épületek tűzvédelmi tervezésénél, mivel segíthet az optimális tervezési döntések meghozatalában és a biztonsági szempontok figyelembevételében.

Az általam használt szimulációs program a PyroSim 2023, ami az FDS (Fire Dynamics Simulator) szimulátort alkalmazza, ami CFD (Computational Fluid Dynamics) elvű tűzmodellt használja, amely a hő- és füstterjedést szimulálja. Ez a szoftver általában áramlástanai számításokra épül, de különlegessége, hogy modellezi az anyagok égését is. Tehát nem csak a füst és áramlások vizsgálatára alkalmas, hanem lehetővé teszi a tűzterjedés elemzését is. Az FDS szimulációk elsősorban a hő- és füstelvezetés, valamint a légpótlás tervezésére és igazolására szolgálnak bonyolult épületek tűzvédelmi tervezése során.

Az FDS szimulációkra vonatkozóan JUKKA HIETNIEMI 2004-es "FDS Simulation of fire spread" című művét találtam relevánsnak a jelenlegi dolgozathoz, ami különböző kísérleti eredményeket vet össze szimulációs eredményekkel. Ugyan nem kifejezetten a füstre koncentrált, inkább az égésre, így is érdekes lehet jelen dolgozat szempontjából, például a 1. kép jól mutatja, hogy a szimuláció a flashover időpontját szinte pontosan megmondja, az utána lévő eltérést az okozza, hogy a szimulációban csak egy réteg PVC falbevonat szerepelt, míg a szoba sarki égetései kísérletnél gipsz táblát tettek mögé, aminek a hőelvonó képessége miatt nem következett be a flashover.



1. kép. 1500 g/m^2 PVC réteg hő kibocsátási mértékének összehasonlítása. Forrás: JUKKA [2004]

Ez a példa jól mutatja, hogy bár a szimulációs programok nagyon pontos számításokra képesek, nem mindenhatóak, kell, hogy a szimuláló személy értse, miért kapta azt az eredményt, amit kapott, és még ha így is van, előfordulhatnak olyan apró eltérések a modell és a valóság között, amik az eredményt “meghamisíthatják”.

A modelleket csoportosítani tudjuk két nagy kategóriába, Zónamodellekre és Cellamodellekre, amiknek a gyors bemutatására az alábbi forrásból kivágott táblázat tökéletes:

	Előnyök	Hátrányok	Jellemző alkalmazás
OTSZ (preszkriptív módszer)	- Egyszerű méretezés - Nem igényel különleges szoftvert és speciális ismereteket	1600 m² füstszakaszra optimalizálva - Legfeljebb 15 m belmagasságig	Kis- és közepes méretű csarnokoknál alkalmazzuk
Zónamodellek	- Nem igényelnek különleges szoftvereket - A preszkriptív módszerekénél pontosabb eredményt adnak	- Bonyolultabb számítás - Alapos mérnöki tudást igényelnek (a szakirodalom angol nyelvű) - Egyszerű belső terű épületekre alkalmasak - Nem alkalmasak az egyéb aktív tűzvédelmi berendezések működésének figyelembe vételére	Ma már csak egyszerű épületeknél és a hő- és füstelvezetés elméleti alapjainak megértésére alkalmazzák őket (Magyarországon nem terjedtek el)
Cellamodellek	- Tetszőleges épület modellezhető velük - Alkalmasak az aktív tűzvédelmi berendezések működésének modellezésére	- Alapos mérnöki tudást igényelnek (a szakirodalom angol nyelvű) - Speciális hardver- és szoftverigény, hosszú futási idő - Előzőek miatt költségesek	Nagyméretű, nagy belmagasságú vagy egyéb okokból különleges épületeknél alkalmazzuk

2. kép. Modellek tulajdonságai. Forrás:SZIKRA és DR.TAKÁCS [2012] TSZVSZ

Utoljára pedig szeretnék ismertetni egy kutatást, ami alaposan elemzi a nagy raktárak tűzjellemzőit, kitérve a tűzterjedés gyorsaságára, a magas hőmérséklet okozta veszteségekre és a tűz elfojtásának nehézségeire. Részletesen elemezték a természetes füstelvezetés hatékonyságát befolyásoló tényezőket, beleértve a tűzterhelést, az épületszerkezetet és a környezeti feltételeket. Megállapították, hogy a nagyobb füstelvezető nyílások és a magasabb raktármagasság hozzájárulhat a hatékonyabb füstelvezetéshez.

A kísérletek során négy különböző tűzszintér-típust állítottak be annak érdekében, hogy megvizsgálják ezek hatását a természetes füstelvezetésre. A kutatás eredményei alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a nagyobb füstelvezető nyílások és a magasabb raktármagasság csökkentheti a tűzszintér hőmérsékletét, lassíthatja a füst lesüllyedését és biztosíthatja a magasabb látótávolságot. A megfelelő tűzvédelmi intézkedések biztosításával a természetes füstelvezetés hatékonyan alkalmazható nagy raktárépületekben.

Ezen eredmények azt sugallják, hogy a természetes füstelvezetés fontos szerepet játszhat a tüzesetek kezelésében, különösen az olyan épületek esetében, ahol a magas hőmérséklet és a hatékony füstelvezetés kritikus szerepet játszik a biztonságos evakuáció és a tűzoltási munkálatok során. [YI QIN ET AL, 2016]

2.4. Karbantartási tényezők és piaci tendenciák

Ebben a fejezetben egy füstelvezető beépítéssel/karbantartással foglalkozó céget kerestem meg, akiket azzal kapcsolatban kérdeztem meg, hogy nyilatkozzanak nekem azzal kapcsolatban, milyen probléma a leggyakoribb a füstelvezető kupoláknál, milyen tapasztalataik vannak.

Elmondása alapján a kupola alakja nem befolyásoló tényező a meghibásodásoknál, legalábbis ők nem figyeltek meg összefüggést a kettő között. Amit viszont külön kiemelt, az a nyitó mechanika, mint tényező. A piacon megfigyelhető trend, az elektromos nyitómechanikák elterjedése, amik nem csak nyitásra, hanem zárásra is képesek. A pneumatikus nyitó berendezés ugyan erre csak dupla csövezés esetén képes, amit a beruházók gyakran nem szeretnének kiépíttetni.

A probléma ott keletkezik állítása szerint, hogy az elektromos nyitómechanikát pontosan kell illeszteni, ami így a téli-nyári dilatációkat nem viseli jól, míg a pneumatikus nyitó mechanikát a szigeteléshez illesztik, aminek így bőven van helye dilatációra. Erről a különbségről hozzátételek adatokat is adott. Jelenleg olyan 6500 pneumatikus munkahengert tartanak karban, amiből évente 1-2-t kell cserélniük meghibásodás miatt. Elektromos nyitómechanikából körülbelül 400-at tartanak karban, amiből évente 8-10 darabot cserélni kell meghibásodás miatt.

Szó esett arról is, hogy jelenlegi előírások alapján, ha egy füstelvezető ablakot szellőztetésre is használna a megrendelő, akkor azt nyitó motornak 10.000 darab nyitást kell kibírnia szellőztetés céljából, amit tapasztalata szerint egyetlen olyan motor sem tud teljesíteni, ami a piacon található, legalábbis ő még nem találkozott ilyennel.

Beszéltünk a piacon lévő újdonságokról is, többek között az egyik gyártó újításáról, ahol a füstelvezető ablak nem oldalra kicsapódna, hanem felfele nyomódna ki. Erről azt mondta, hogy kicsit kételkedik benne, hogy a fém szerkezet, ami a kinyomásért felelős nem-e feszül be hő hatására, hiszen a forró füst hatására dilatáció következik be, és ha az elektromos nyitómechanikához hasonlóan pontos illesztésekkel működik, akkor a nyitó mechanikája beragadhat valamilyen állásban, jobb esetben miután kinyílt, viszont a mechanika cseréje akkor is valószínű.

Természetesen a leírt dolgok nem feltétlenül tükrözik a teljes valóságot/piacot, más beépítők/karbantartók más tapasztalatokkal rendelkezhetnek.

A füstelvezető kupolákkal kapcsolatban a lábazat kialakításának fontosságáról beszéltünk, melyhez különböző gyártók táblázatos összehasonlítását is megmutatta.

3. SZIMULÁCIÓ

Annak ellenére, hogy maga a tűz jelentős veszélyt jelent az épületben tartózkodókra a közvetlen közelben, gyakran a füst válik a legnagyobb kockázattá azok számára, akik távolabb helyezkednek el a tüztől. A füst és a gázok veszélyt jelentenek, mivel könnyen terjedhetnek a lakott területekre és az evakuációs útvonalakra. Mivel már egy kis tűz is jelentős mennyiségű füstöt tud generálni, és nagyszámú lakóra jelenthet veszélyt, elengedhetetlen, hogy a füstmozgást hatékonyan szabályozzák.

Az általam szimulációra használt rendszer(ek) paraméterei:

1. Laptop:

CPU: Intel Core i5-5200U 2.20GHz

RAM: 8 GB

Operációs rendszer: Windows 10 Home 22H2 64bit

Videókártya: NVIDIA Geforce 920M

Futási idők: Elégé tág tartományban mozgott, leggyorsabb futtatás körülbelül 8 óra volt, átlagosan olyan 15-20 óra alatt futott le egy szimuláció, de volt, amelyiknél 3056 órát írt ki, ami két napnyi futás után sem változott.

2. PC:

CPU: AMD Ryzen 7 3700X 8-Core Processor 3.59 GHz

RAM: 32GB

Operációs rendszer: Windows 10 Pro 22H2 64bit

Videókártya: NVIDIA GeForce RTX 2060

Futási idők: Leggyorsabban 3 óra alatt futtatott le egy szimulációt, átlagosan olyan 4-5 óra kellett neki, a leghosszabb idő 23 óra volt.

Alap felvetések/ az épület bemutatása:

A csarnok 1000 m^2 , amivel kapcsolatban egy $40\text{ m} \times 25\text{ m}$ -es alapterületet készítettem

A csarnok belmagassága: 6 m

Amiből a kívánt füstszegény levegőréteg a későbbi paraméterektől függ

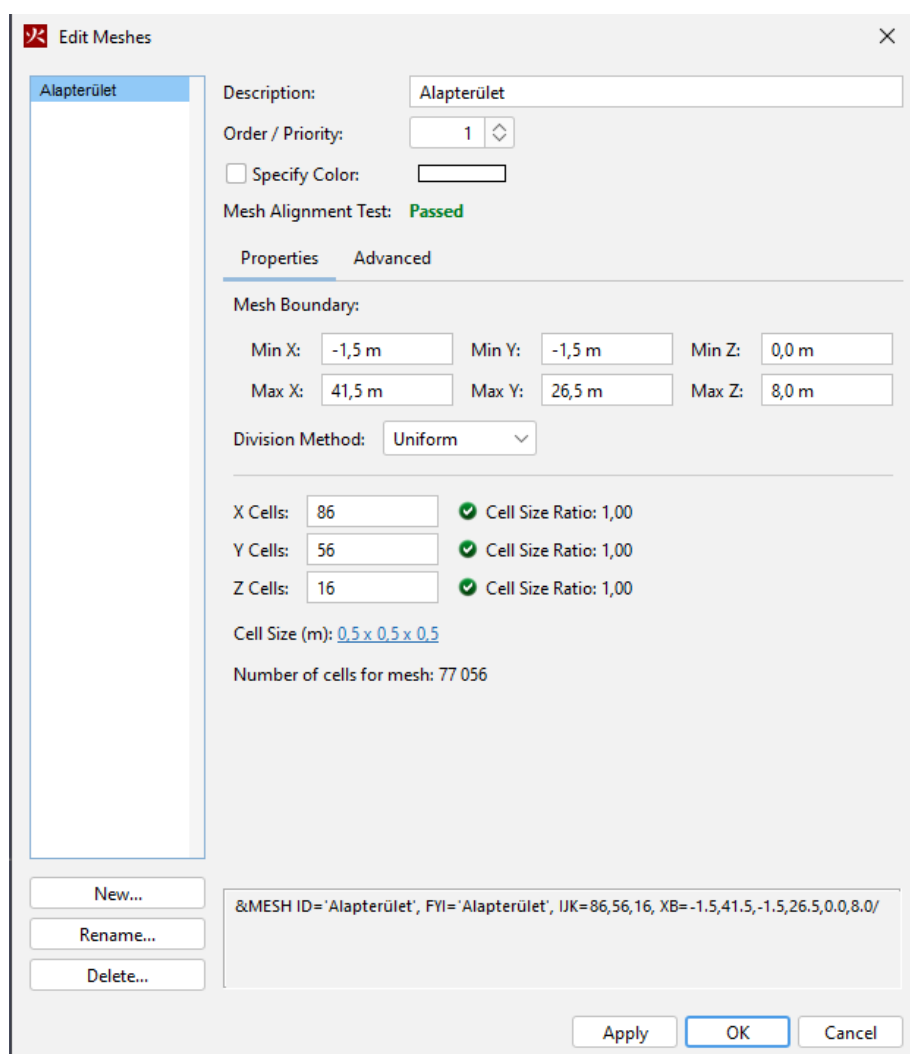
Funkciója a táblázatos füstfejlesztési képesség meghatározásához kéne, viszont én 3-as és 4-es csoportba tartozó reakciót is szeretnék vizsgálni, ezért úgy döntöttem ez most számomra nem releváns.

A fentiekből következő előírt hatásos nyílófelület, amit használtam: $\sim 16 \text{ m}^2$

Mint látható a táblázatos módszert inkább visszafelé alkalmazom, oly módon, hogy a füstszegény réteg a belmagasság körülbelüli fele maradjon lehetőleg. Az épület paramétereit megpróbáltam úgy meghatározni, hogy az a valóságnak a tapasztalataim alapján minél inkább megfeleljen. Tapasztalatom alapján a valós csarnokok nagy része inkább csak az egyik oldalán rendelkezik kapukkal, bár most elősorban az 1000 négyzetméteres vagy kisebb példányokra gondolok, nem a hatalmas gyártócsarnokokra. Az ilyen kisebb csarnoka legtöbb esetben a valóságban nem rendelkezik füst és hőelvezető kupolákkal, mivel azt jogszabály nem írja elő, maximum, ha közösségi funkcióval rendelkezik.

3.1. Helyszín építése

A helyszín megépítését a Mesh (Háló) kialakításával kezdtem, melyet úgy választottam meg, hogy a felépítendő épület körül még legalább 1,5 méteres szabad hely maradjon az oxigén pufferek miatt, valamint felette is hagytam + 2 méternyi helyet, hogy a füst útját valamennyire követni lehessen. A pontos értékek meghatározásánál figyelembe vettem továbbá, hogy egy cellaméretarányos legyen a méter mértékegységgel, pontosan 0,5 méter minden egyes cella. Azért választottam ilyen viszonylag nagy értékre, hogy a szimuláció minél előbb lefusson.



3. kép. Alapháló létrehozása [saját kép]

Az alapháló létrehozása után a falakat építettem meg, melyeket 0,5 méteres vastagsággal képzeltem el, hogy illeszkedjen a létrehozott hálóba. Mivel jelen dolgozatnak nem célja, hogy

statikailag, és építészeti piaciilag megfeleljen a valóságnak, így ezt az értéket viszonylag szabadon megválaszthattam. Az alábbi ábrán láthatók a geometriák.

Obstruction Properties

General **Geometry** Surfaces Advanced

Wall Properties

Thickness: 0,5 m

Height: 6,0 m

Alignment: Right

Reference Line

Points:	X	Y	Z
1	0,0 m	0,0 m	0,0 m
2	40,0 m	0,0 m	0,0 m
3	40,0 m	25,0 m	0,0 m
4	0,0 m	25,0 m	0,0 m
5	0,0 m	0,0 m	0,0 m
*			

Insert Row
Remove Row
Move Up
Move Down
Copy
Paste
Cut

OK Cancel

4. kép. A falak geometriai beállításai [saját kép]

Miután a geometriát létrehoztam, létre kellett hoznom az anyagot is, amiből a fal áll, aminek rétegesen elhelyezkedő égetett agyag téglát választottam, miután ezt létrehoztam, beállítottam a fal anyagaként.

Surface ID:

Description:

Color: Appearance: ☐

Surface Type:

Geometry Reaction Species Injection Particle Injection Advanced

Material Layers Surface Props Thermal

Heat Transfer

Model:

Cell Size:

Material Layers

☐ Layer Divide:

	Thickness (m)	Material Composition	Edit
1	0,5 m	1,0 "FIRE BRICK"	Edit...
*			Edit...

Insert Row Remove Row Move Up Move Down Copy Paste Cut

&RAMP ID='FIRE BRICK_CONDUCTIVITY_RAMP', T=20.0, F=0.36/
 &RAMP ID='FIRE BRICK_CONDUCTIVITY_RAMP', T=200.0, F=0.36/
 &RAMP ID='FIRE BRICK_CONDUCTIVITY_RAMP', T=300.0, F=0.38/
 &RAMP ID='FIRE BRICK_CONDUCTIVITY_RAMP', T=600.0, F=0.45/

Apply OK Cancel

5. kép. A fal anyagának létrehozása [saját kép]

Következő lépésként létrehoztam a vasbeton anyagot, amit aztán az újonnan létrehozott födém tartó gerendák és oszlopok anyagaként állítottam be. Az elrendezést szimmetrikus módon valósítottam meg, az oszlopok 10 méterre helyezkednek el a szomszédos falaktól. Összesen 2 darab található, a hosszanti oldal felől nézve 20 méteres közzel. Az oszlopok 0,5 m * 0,5 m-es keresztmetszetűek. Az általuk tartott fő gerenda 1,5 méteres belógásúak, 0,5 méter szélesek. A keresztgerendák 1 méteres belógásúak és 0,5 méter szélesek, egymástól 5 méteres távolságra helyezkednek el. Erről képet majd az alfejezet végére szúrok be, ahol jól látszik az egész szerkezet.

A következő, amit lemodelleztem, az a födém, melynek a következő rétegrendet határoztam meg:

0,001 -Steel,

0,3 Insulation (szálas hőszigetelő),

0,02 PVC

Surface ID: fodem

Description:

Color: Appearance:

Surface Type: Layered

Geometry Reaction Species Injection Particle Injection Advanced

Material Layers Surface Props Thermal

Heat Transfer

Model: 1D

Cell Size: 0,5 m

Material Layers

☐ Layer Divide: 0,0

	Thickness (m)	Material Composition	Edit
1	1,0E-3 m	1,0 STEEL	Edit...
2	0,3 m	1,0 INSULATION	Edit...
3	0,02 m	1,0 PVC	Edit...
*			Edit...

Insert Row Remove Row Move Up Move Down Copy Paste Cut

&RAMP ID='INSULATION_CONDUCTIVITY_RAMP', T=20.0, F=0.05/
 &RAMP ID='INSULATION_CONDUCTIVITY_RAMP', T=377.0, F=0.1/
 &RAMP ID='INSULATION_CONDUCTIVITY_RAMP', T=677.0, F=0.2/
 &RAMP ID='INSULATION_SPECIFIC_HEAT_RAMP', T=20.0, F=0.8/

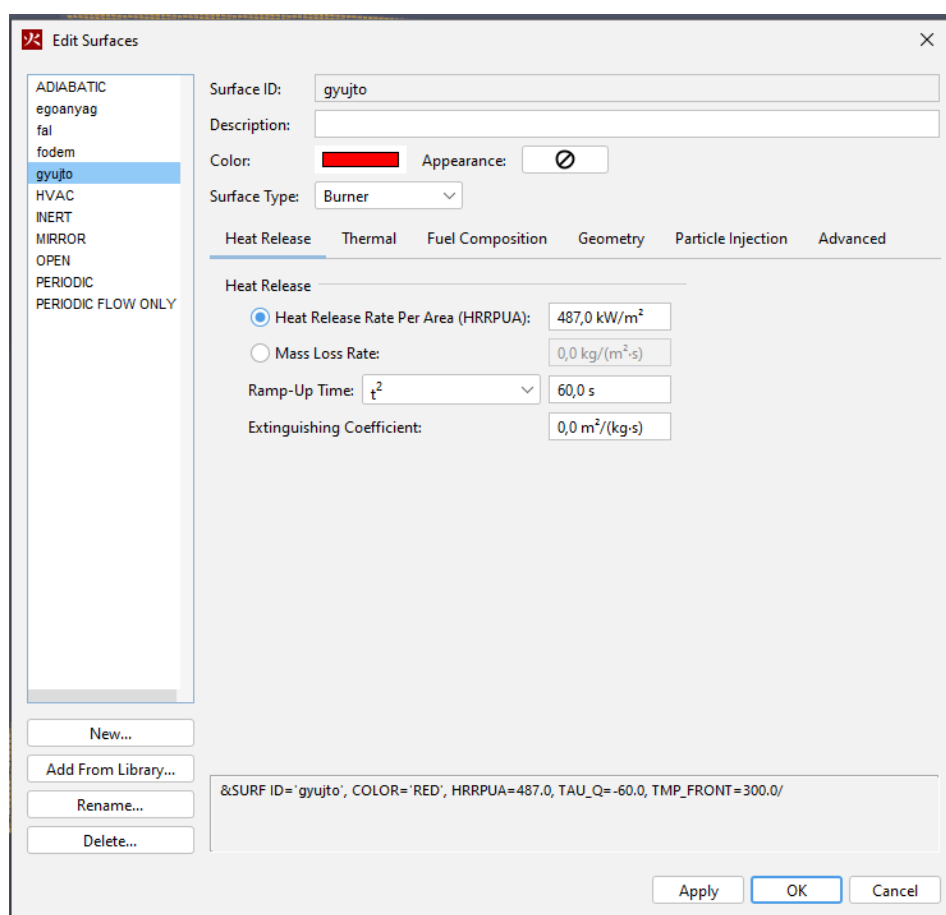
Apply OK Cancel

6. kép. Tetőfödém anyagtulajdonságai [saját kép]

Miután az épület váza megvan, elhelyeztem benne 3 különböző tulajdonságú helyre füstforrásokat, 4 darab dobozt, amiknek a külseje 0,3 méter vastag habosított műanyag, a belseje pedig faanyag. A habosított műanyagot, mint csomagolást lehet értelmezni, aminek jelentős szerepe van mind az égésben, mind a füstfejlesztésben. A faanyagot pedig azért választottam, mert egy viszonylag gyakori anyagról beszélünk, ami szinte minden környezetben előfordulhat. Az elhelyezést úgy döntöttem el, hogy a füst terjedése más geometriájú legyen az egyes helyeken. Az első próbatűzet az egyik sarokban helyeztem el,

ahol a reflekciónak köszönhetően a füst általánosságban hamarabb eléri a mennyezetet, mint a csarnok közepén. A második próbatűz a csarnok közepén helyezkedik el, míg a harmadik a hosszanti fal közepénél. A harmadik próbatűzet nem teljesen a fal közepéhez tettem, hogy egy kicsit kevésbé legyen szimmetrikus a szimuláció.

A hő kibocsátási görbe ellaposodott részét a Tűzmodellezés órán tanultaknak megfelelően 35 MW-nak vettem. A teljes felület, amit a Burner típusú felülettel be kellett vonni: $1,2 * 1,2 * 5 = 7,2 \text{ m}^2$ (a doboz alját nem vettük figyelembe) ahonnan a felületre jutó hőáram sűrűség értékének $3500 \text{ kW} / 7,2 \text{ m}^2 = 487 \text{ kW} / \text{m}^2$. A görbe felfutását t^2 -esre állítottam, szintén a Tűzmodellezés tantárgy keretein tanultaknak megfelelően.

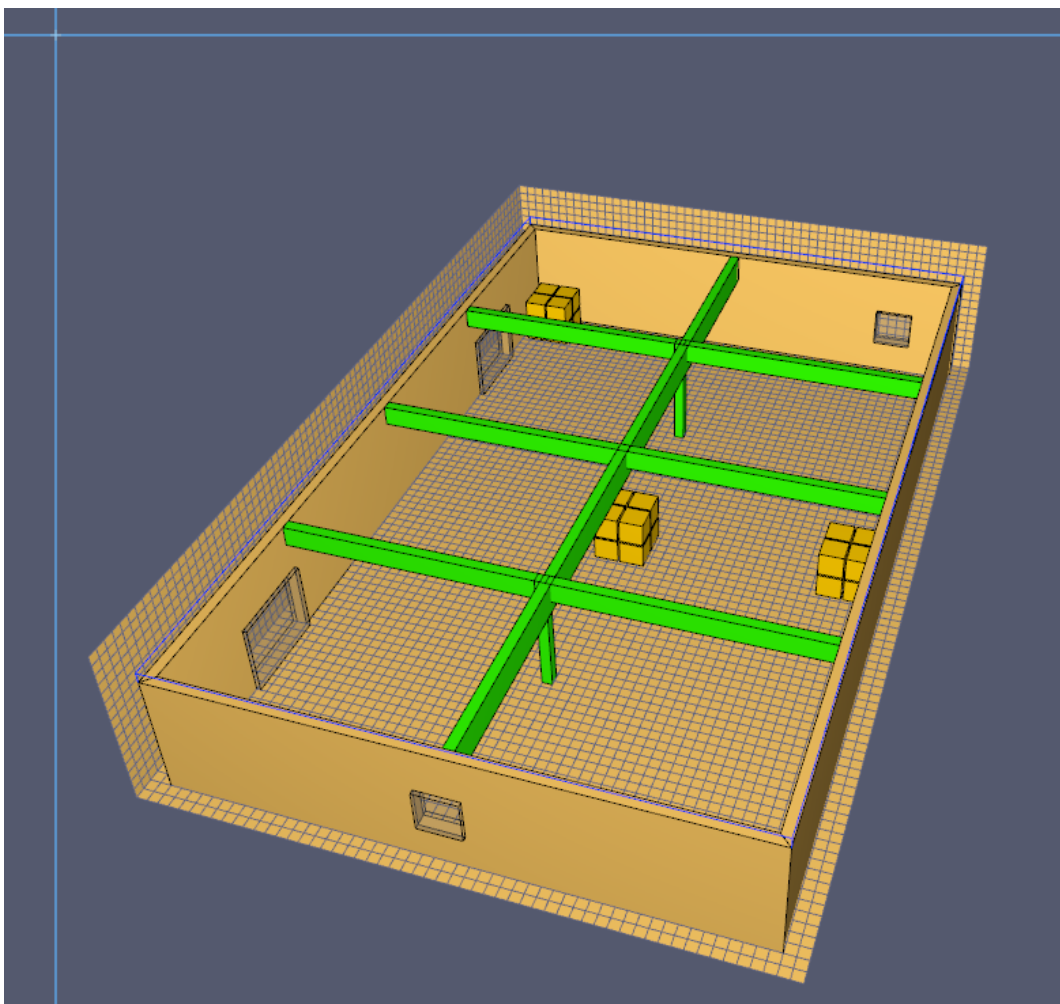


7. kép. Gyújtó felület beállításai [saját kép]

Ezek után hozzáadtam a program könyvtárából a projekthez a SFPE_Polyurethan_GM27-et, mely az OKF által előírt klasszikus logisztikai csarnokoknál előforduló kvázi legmagasabb értéket produkálja. Valamint hozzáadtam még az "FD6VnV_Propylene" reakciót is, mivel ez az anyag egy nagyságrenddel kevesebb füstöt termel, így ha a későbbi szimuláció során az az

eredmény jönne ki, hogy a csarnok túlzottan tele lesz füsttel, és következtetés nem vonható le egyértelműen, akkor ezt a reakciót használva korrigálható.

Ezután a levegőpótlásra alkalmas nyílásokat dolgoztam ki a modellen. Levegőpótlásra az egyik hosszanti oldalon kettő kapu helyezkedik el, a rövidebb oldalon pedig egy-egy ablak kap helyet, így a levegő utánpótlás nem szimmetrikus, és véleményem szerint jobban modellezi a valóságot. A kapuk méretei $4,5\text{ m} \times 3,5\text{ m}$, ami egy olyan kapu nagyság, amin kényelmesen lehet a ki és bepakolást elvégezni a csarnokban. Az ablaknyílások méretei $2\text{ m} \times 2\text{ m}$.



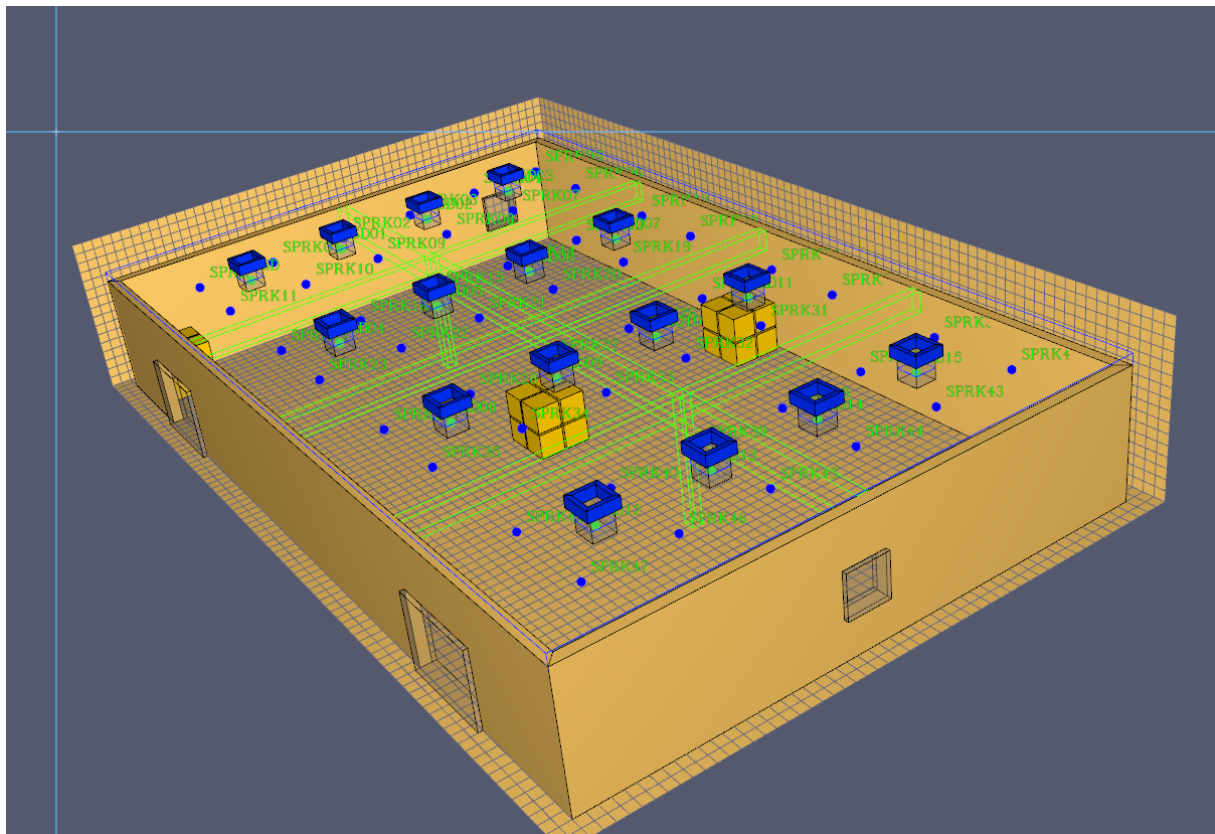
8. kép. Alapmodell Tűzhelyekkel [saját kép]

3.2 Sprinkler rendszer és vezérlések

A tűzjelző berendezéseket alapvetően a füst és hőelvezető ablakokban helyeztem el. Az ablakok nyitását úgy szabtam meg, hogy ha 2 darab érzékelő bejelez, akkor kezdjenek nyílni a

kupolák és a levegőutánpótlást végző fali nyílások is. Sprinkler rendszer alkalmazása esetén, annak 60 másodpercnyi működési időt biztosítottam mielőtt a kupolák vagy légutánpótlás reagálna. Az ablakok nyílási idejét 60 másodpercnek vettem, ami a biztonság javára téved, hiszen ez az előírt maximális idő, ami alatt egy füstelvezetőnek ki kell nyílnia.

A tűzjelző rendszer elhelyezése a Tűzvédelmi Műszaki Irányelv alapján került modellezésre minden esetben ahol van, sokszor még nagyobb darabszámban is, az esetleges későbbi vizsgálódást megkönnyítve.



9. kép. X típus 1. elrendezés esetén sprinkler elhelyezkedése [saját kép]

A sprinkler esetében a Modelljét is be kellett állítani, amit a Spray Model / Edit / Flow Rate fülön tehetek meg. Itt a paramétereket átállítom, hogy ne kifolyó víz mennyiséggel számoljon, hanem valós paraméterekkel, mint a K tényező és a Nyomás. Ezeket az alábbira állítom:

K factor: $160 \text{ L} / (\text{min} * \text{atm}^{1/2})$

Operating Pressure: 0,5 bar

Ezen kívül a szivattyú nyomásának modellezése miatt a felfutási időt linearizálom, fél báros csökkenésekkel 12 lépésben 6 bárról, ezzel modellezve, hogy minél több fej lép működésbe, a nyomás lecsökken az egyes már működő fejek esetében.

Ezekén kívül a modelleken elhelyeztem még thermoelemeket, amik a hőmérsékletet mérik a gyújtóforrás közepétől egészen a plafontól 0,5 méterig 1 méteres közökkel, valamint légáramlás mérő felületeket helyeztem el minden egyes kupola kivágásban. A légáramlás mérőkkel “Mass Flow in Gas Phase” mérésére állítottam, ami az adott felületen áthaladó molekulák tömegét méri időegység alatt (kg / s). Ezt később arra tudom használni, hogy az egyes ablakok mekkora mennyiségű gázmolekulát engedtek át, ezzel mérve a hatékonyságukat.

3.2. Kupolák elhelyezése

Az kupolák szimulációját úgy valósítottam meg, hogy katalógusból kinézett valós hatásos nyíló felület méreteket vettem alapul. A két esetben az kupolák nyílófelülete különbözik, a lábazat szimulációja jelen programmal nem lehetséges, így egyszerűsítés gyanánt egy vékony falfelülettel modelleztem csak, ami 0,5 méter magasan nyúlik ki a födéméből.

Az kupolákat úgy választottam meg, hogy méretük és darabszámuk szorzata azonos legyen, ezáltal a kialakított hatásos nyílófelület is azonos nagyságú. A piacon lévő termékek ezen mérete a legtöbb esetben tört számra jön ki, így keresnem kellett két olyan gyártmányt, ahol egész szám a nyílófelület hatásos területe. A gyártókat, ahol először bukkantam ilyen kupolákra megnevezem az azonosítás végett. A kapott általam optimálisnak gondolt hatásos nyíló felület 16 négyzetméter lett. Mivel egy füstszakaszról beszélünk, füstkötény nem szükséges, azonban a 1,5 métert lelógó fő-gerenda a füst terjedését így is akadályozni fogja. A Tűzvédelmi Műszaki Irányelvben szereplő 14.5.-ös Méretezési táblázatot alapul véve, ekkora hatásos nyílófelület esetén a füstszegény levegőréteg 4 méter magas kellene, hogy legyen.

Betervezni kívánt Füst és hőelvezető kupolák:

X: Gyártó: Lamilux

Alapméret: 120 * 120

Geometriai méret: 1,44 négyzetméter

Hatásos felület: 1 négyzetméter

Darabszám: 16 darab / füstszakasz

Y: Gyártó Kingspan Essmann

Alapméret: 180 * 270

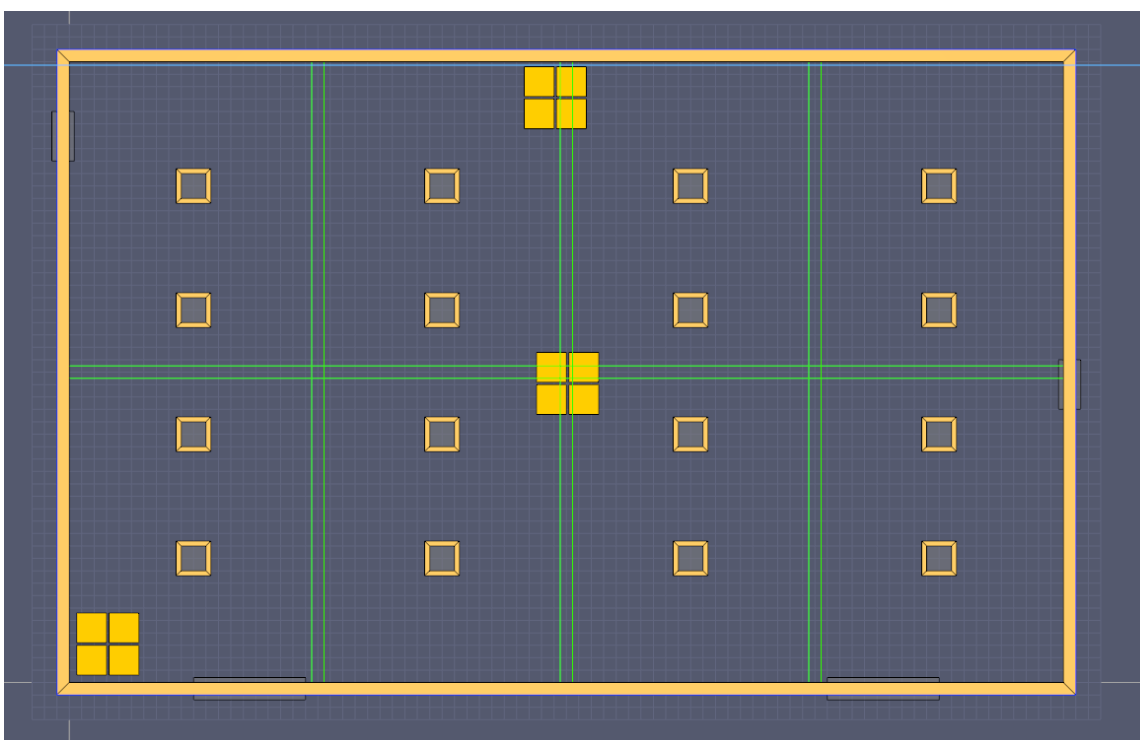
Geometriai méret: 4,86 négyzetméter

Hatásos felület: 4 négyzetméter

Darabszám: 4 darab / füstszakasz

X típus 1. elrendezés:

A 16 darab kupolát felbontottam szekciónként 2 darabos csoportokba, a rövid irányba 5 méterenként helyezkednek el (két ablak közötti táv 4 méter), a hosszanti irányba 10 méterenként.

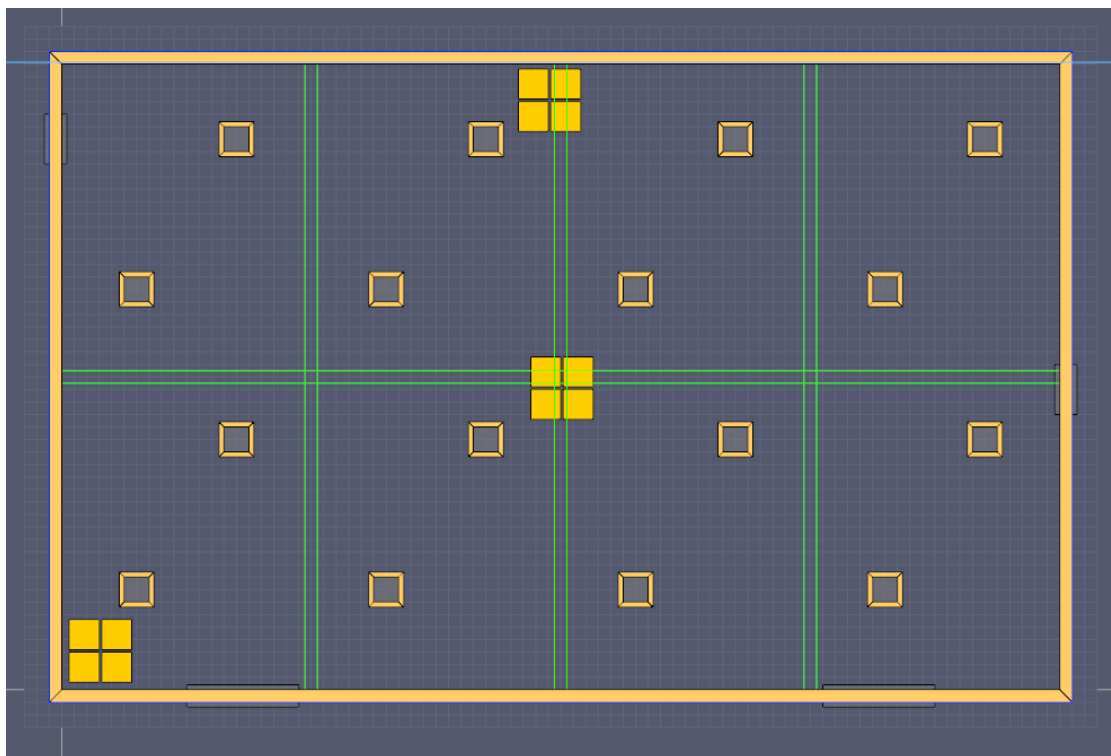


10. kép. X típusú kupolák első féle elrendezése [saját kép]

Ennél az elrendezésnél a tűzjelzők elhelyezése volt kérdéses olyan szempontból, hogy a kupolákban elhelyezett érzékelők nem fedték le teljesen a területet, a 4 darab sarok valamint a hosszanti oldal egyes pontjai az 5,7 méteres Tűzvédelmi Műszaki Irányelvben javasolt határon kívül esett, ezért 8 darab kiegészítő érzékelőt helyeztem el az épület hosszanti oldalainál. A kupolákban elhelyezett érzékelőkhöz azért is ragaszkodtam, mert a későbbi szimuláció kivizsgálás során hasznosak lehetnek még.

X típus 2. elrendezés:

A második fajta elrendezést úgy választottam, hogy azokat a kupolákat, amik abba az irányba helyezkednek el, ahol nincsen levegőutánpótlás, közelítettem a falhoz 2 méterrel minden irányba, majd a mellette lévő 1 méterrel közelebb toltam, viszont azt a faltól ellentétes oldalra toltam el 2 méterrel, így kialakult egy hullámos elrendezés. A levegő utánpótláshoz legközelebbi kupolasort 1 méterrel közelebb vittem. Összességében az ablakok közötti táv 5 méterre nőtt, miközben a falaktól lévő távolság csökkent.

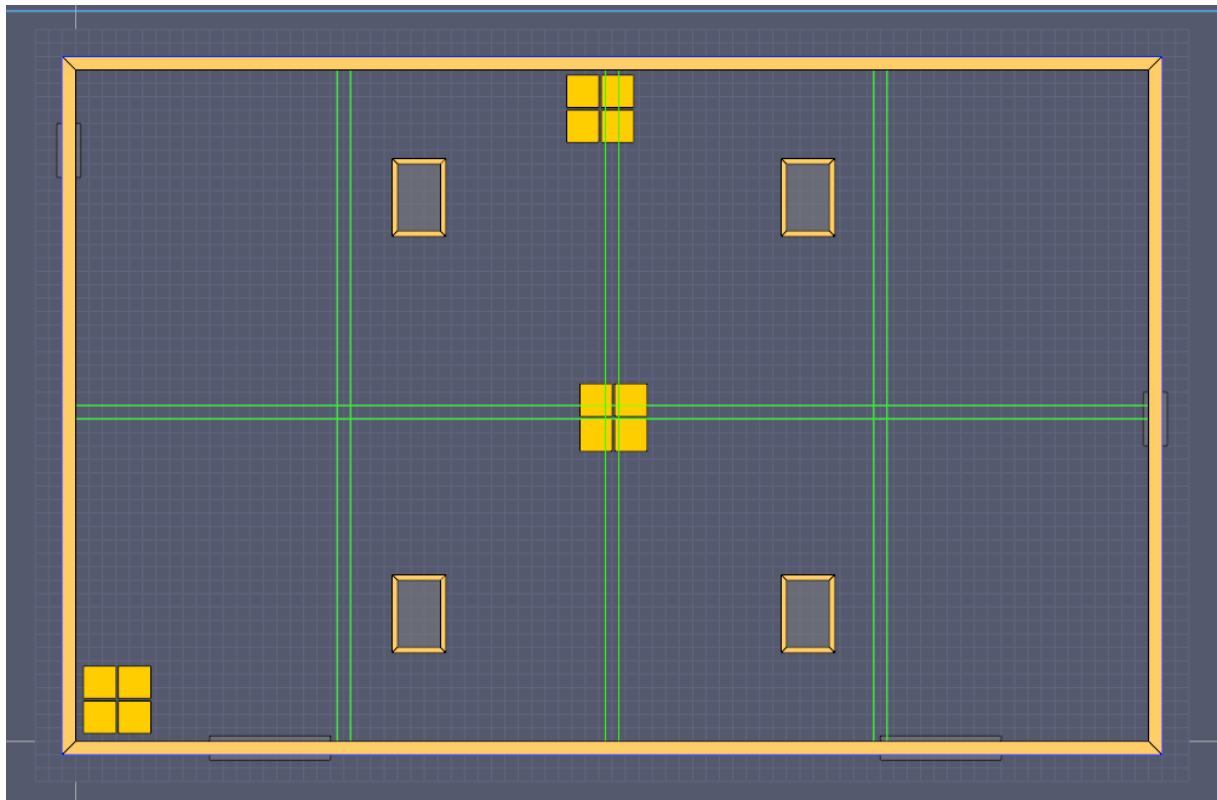


11. kép. X típusú kupolák második féle elrendezése [saját kép]

A tűzjelző berendezések esetén itt sem voltak elegendőek az ablakokba elhelyezettek, így a hosszanti oldalak mentén, valamint a rövidebb oldalaknál is kiegészítettem.

Y típus 1. elrendezés:

Az ablakokat a 12. képen látható módon helyeztem el, próbáltam a szimmetriára törekedni. Látható, hogy keletkeznek olyan gerenda közök, amikben a füst megállhat. A kupolákat nem a szekció közepébe tettem, amiben helyet kaptak, hanem megpróbáltam szélesebbre húzni, hogy az esetlegesen átszálló füst a szomszédos gerendaközökből mielőbb kivezetődjön.

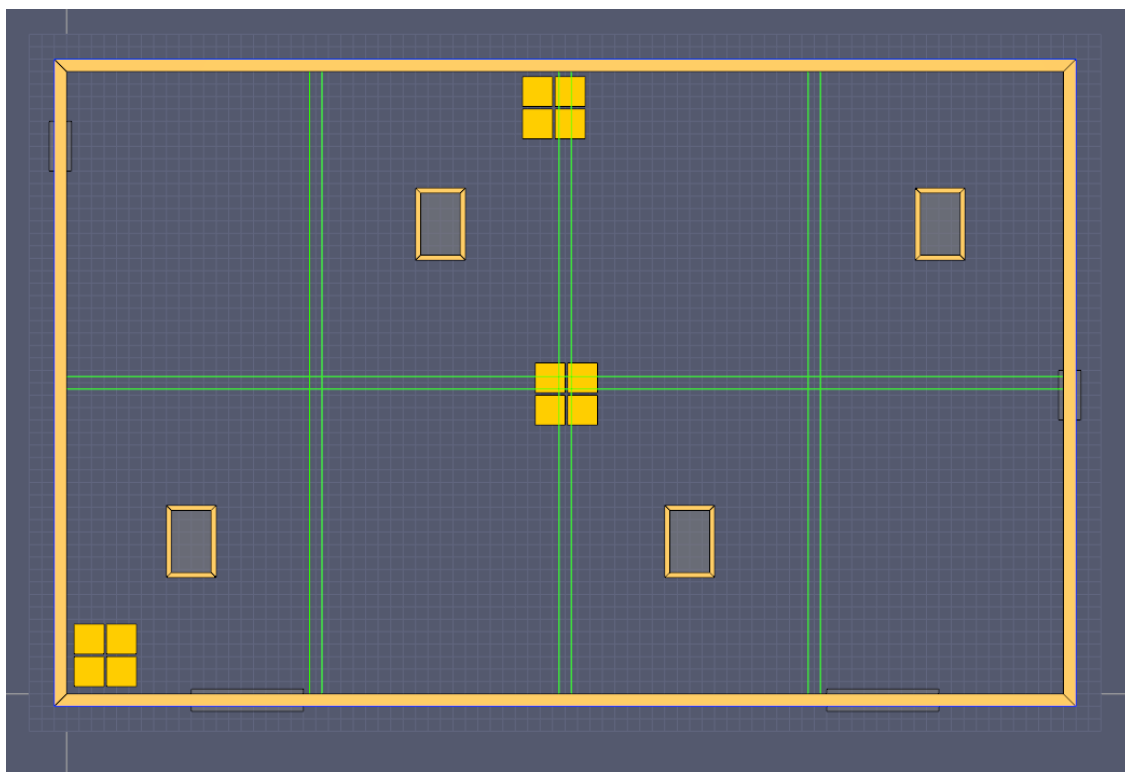


12. kép. Y típusú kupolák első féle elrendezése [saját kép]

Mint látható is a képről az ablakokban elhelyezett érzékelők itt kevésnek számítanak, így minden gerendaközben elhelyeztem négy-négy füstérzékelőt.

Y típusú kupolák 2. elrendezés:

Ez alkalommal a négyzetes / szimmetrikus elrendezés helyett szakaszosan váltakozva helyeztem el a kupolákat az alább látható módon. Azért pont a megadott szekciókba és nem fordítva, mert az elején elhelyezett oldalfali ablakok pozíciója miatt így tartottam helyesnek. Az, hogy az egyik próbatűz pont a sarokban elhelyezett ablak szekciójába esett, pusztán véletlen, gondolkoztam rajta, hogy esetleg a másik gerendaközökbe helyezem el az ablakokat, de arra jutottam, hogy mivel ha a füstforrás nem ott lenne, ahol, akkor is így helyezném el, így nem akartam megmásítani az eredményt.



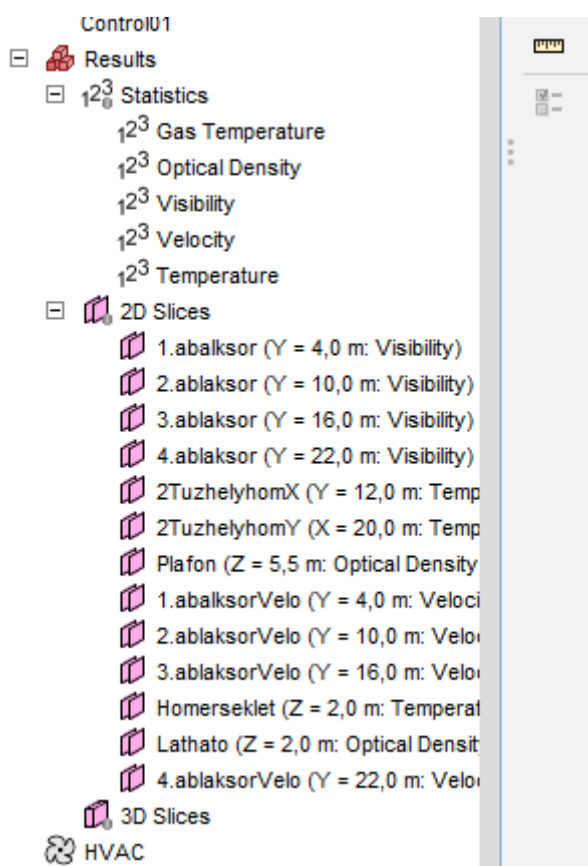
13. kép. Y típusú kupolák második féle elrendezése [saját kép]

A füstjelző elhelyezéseket az Y típus első féle elrendezésével azonosan helyeztem el.

4. SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK BEMUTATÁSA

Az eredmények taglalását elrendezésenként szeretném bemutatni, egyes általános megfigyeléseket viszont csak egy-egy elrendezés esetén írok le, hogy a dolgozat ne váljon repetitívvé. Ezen okból előfordulhat, hogy valamilyen aspektust későbbi elrendezés esetén mutatok csak be, az azonban az összes többi elrendezés esetén is igaz.

A megfelelő vizsgálathoz a programban 2D-s síkokat vettem fel, amikkel Hőmérsékletet, Láthatóságot, Sebességet, néhány esetben Viszkozitást néztem. Statisztika gyűjtést is beállítottam, ami a későbbiekben függvények grafikai ábrázolását jelenti, megkönnyítve az adatok elemzését.

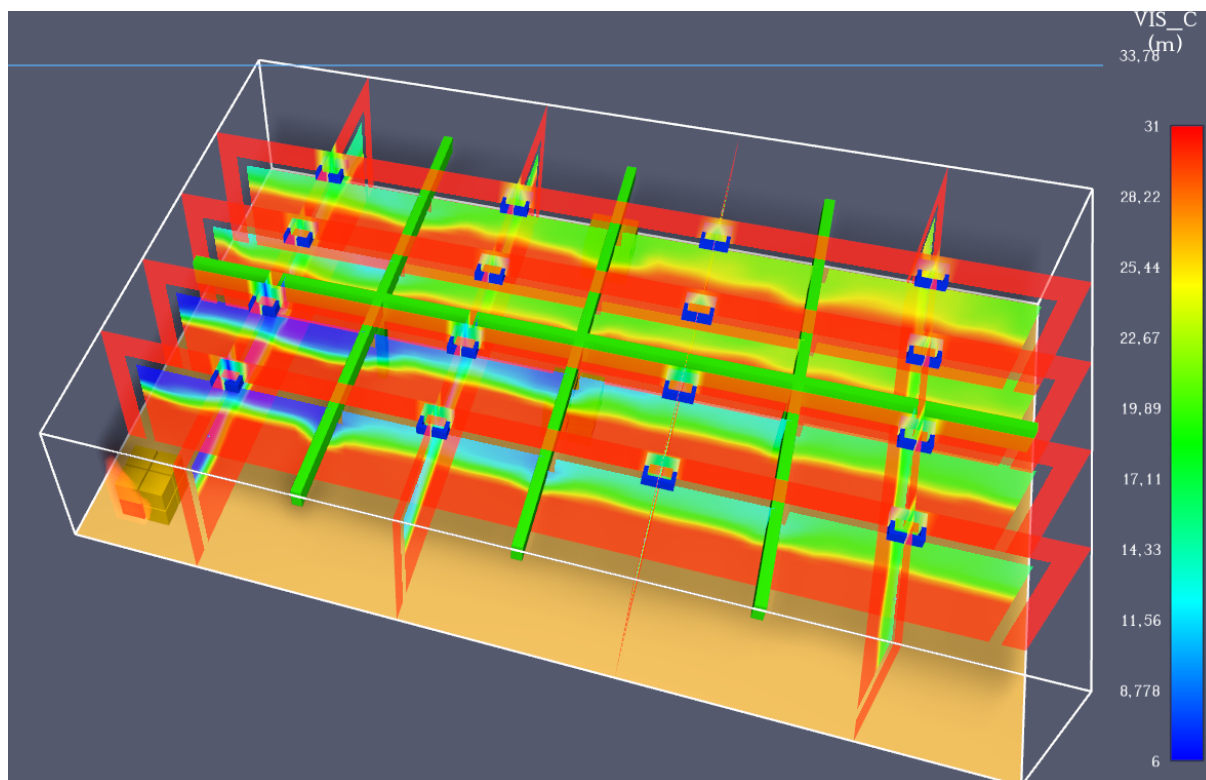


14. kép. Vizsgált paraméter beállítások az X típus 2. elrendezése esetén [saját kép]

A gyors futást megkönnyítendő vektoros eredményt nem állítottam be mindenhol, azt a sebesség vizsgálatára szolgáló metszeteknél, valamint néhány esetben a hőmérséklet és a viszkozitás vizsgálatánál állítottam csak be.

4.1. X kupolatípus 1. elrendezés:

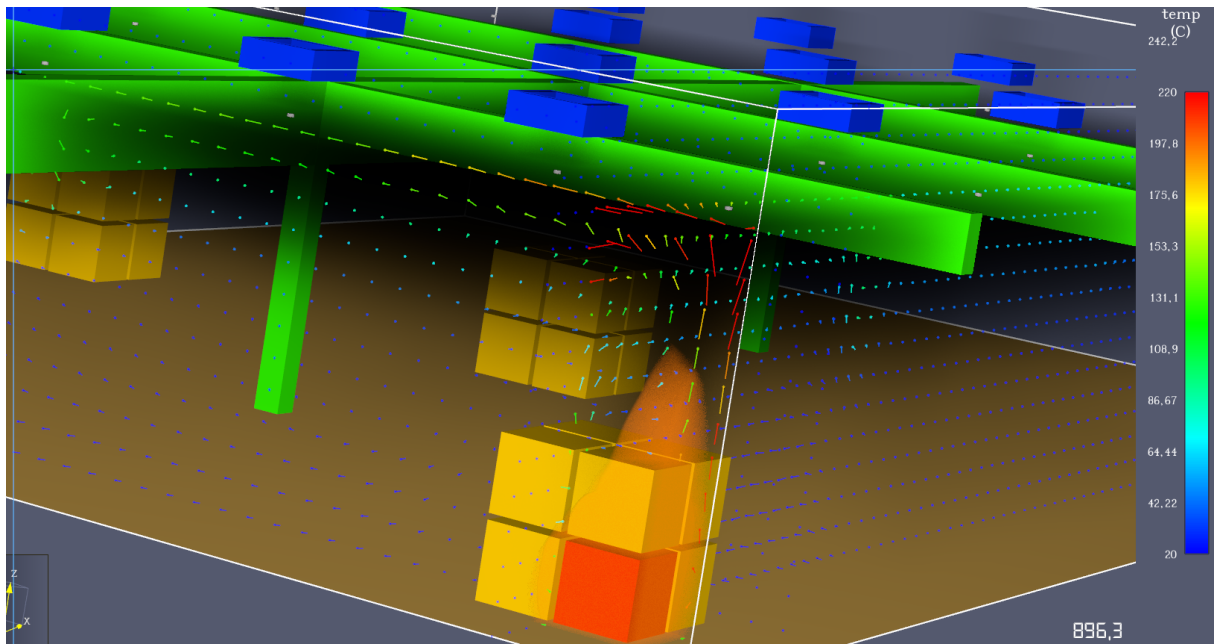
Az szimuláció eredménye animáció formájában a mellékletek között megtalálható, egy kiragadott kép, amin az kupolák síkjában felvett 2 Dimenziós vizsgálósíkok a láthatóságot vizsgálják az első tűz keletkezési hely esetén.



15. kép. Láthatóság vizsgálata a füstelvezető kupolák soraira vonatkoztatva [saját kép]

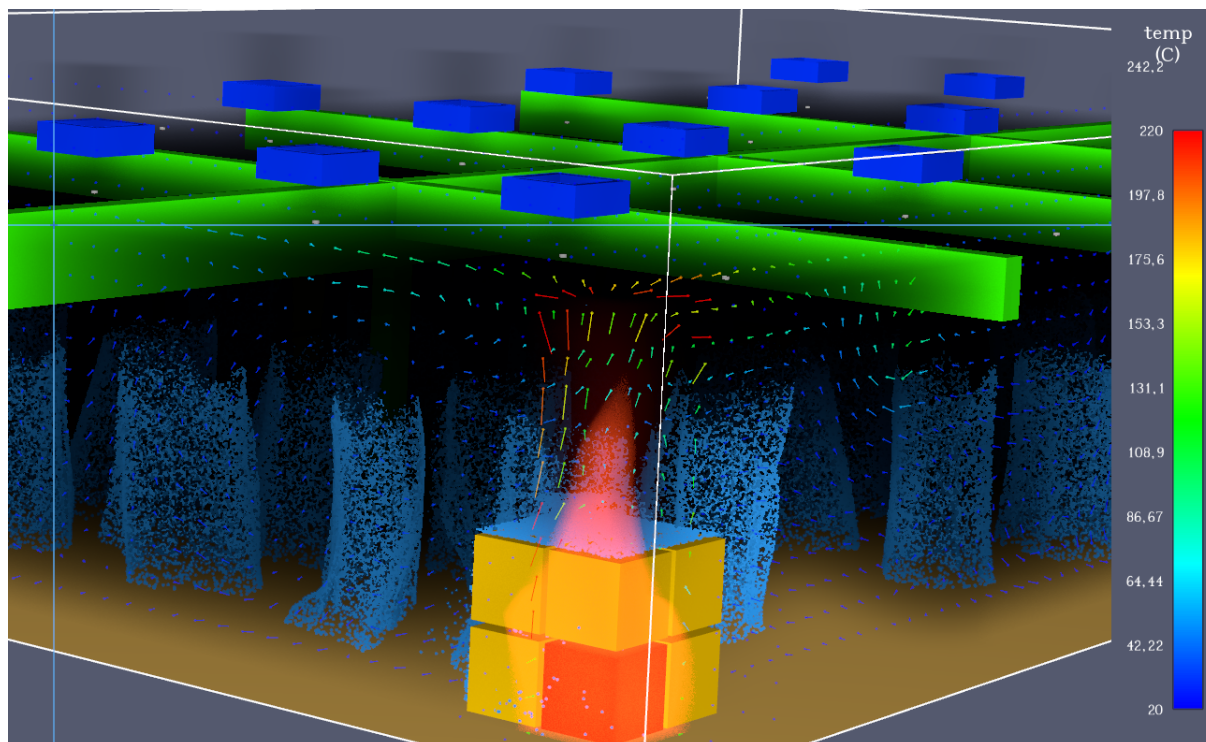
Látható, hogy a 300. másodpercben a füst réteg már lényegében teljesen kifejlődött, megfigyelhető, hogy az első két sorban elhelyezett kupolák alatt a látótávolság kisebb (~18 méter), mint a hátsó két kupolasor alatt (~20 méter). Az utolsó kupolához a 243. másodpercben ér el a füst látható része, ami annak köszönhető, hogy a középén végig futó tartógerenda a maga 1,5 méteres lelógásával egyfajta füstgátló függönyt képez, így megakadályozva a füst gyors terjedését. A képen látható viszonyok szinte teljesen megegyeznek a 900. másodperc viszonyaival.

A hőmérséklettel kapcsolatban megfigyelhető, hogy a talajszint közelében végig megmaradt, ahogy a látótávolság is. Az alábbi kép jól bemutatja, hogy a gerendák a füstöt és az általa szállított hőt az adott gerendaközbe visszaforgatják valamelyest, míg jelentős része a gerendát megkerülve tovább áramlik.



16. kép. Hőmérséklet vektorok bemutatása X típus első elrendezés első tűzhely [saját kép]

Az 17. képen látható a 16. képpel megegyező helyszín, megegyező időpillanatban, csak éppenséggel sprinkler rendszer használata közben. Az első szembe tűnő különbség, hogy a gerenda közelében kisebb a hőmérséklet, a víz hűtő hatása miatt. A második, amit észre lehet venni, hogy szintén a hűtő hatás miatt, a vektorok egy része egyfajta örvényes jelenséget mutat, ami arra utal, hogy a hűtés miatt a levegő is örvényes lesz, jobban megkeverve a levegőt a helyiségben.

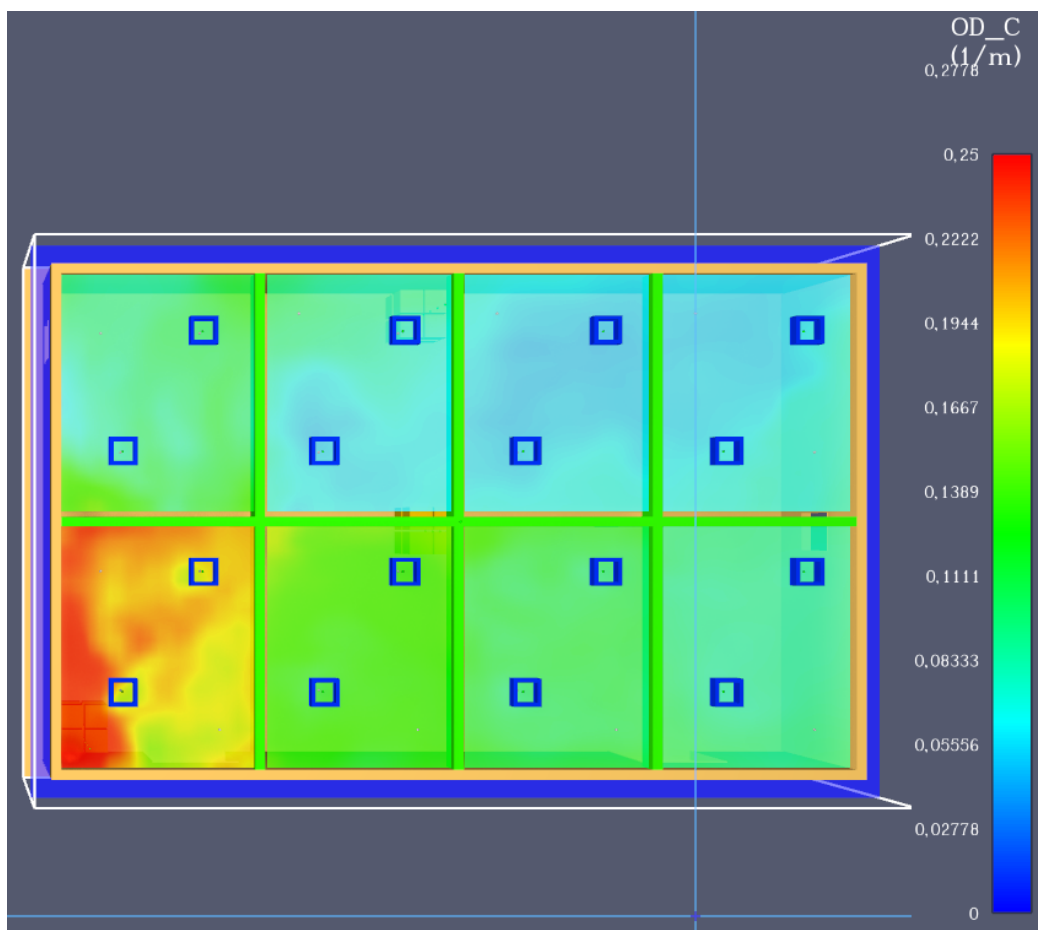


17. kép. Hőmérséklet sprinkler rendszer esetén X típus első elrendezés, első tűzhely

[saját kép]

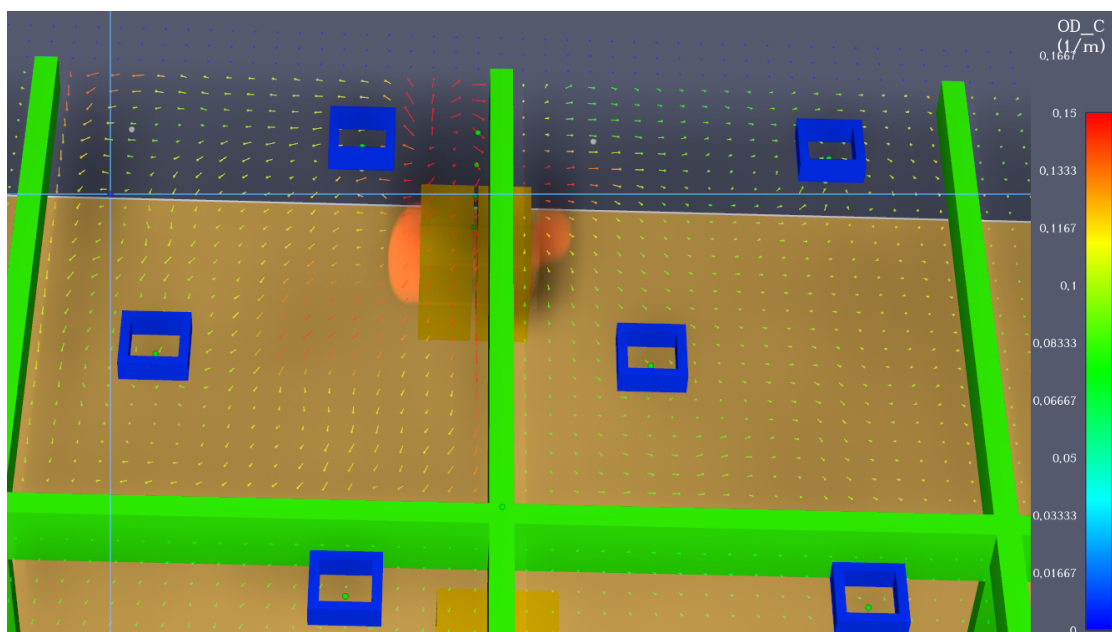
4.2. X kupolatípus 2. elrendezés:

Az optikai sűrűséget vizsgálva a plafonon a füst tagolódása jobban megfigyelhető. Jól látható, hogy a füsttől minél messzebb helyezkedik el egy gerendaköz, a füst annál kevésbé sűrű. Maga az optikai sűrűség a láthatóság reciprokaként írható le, minél kisebb távolság, amit belátunk, annál nagyobb az optikai sűrűség. A 18. kép a 750. másodpercben mutatja be az optikai sűrűség mértékét méghozzá 5,5 méteres magasságban, ami a gerendák alsó síkjánál feljebb van, így az egyes gerendaközök viszonyai jól láthatók.



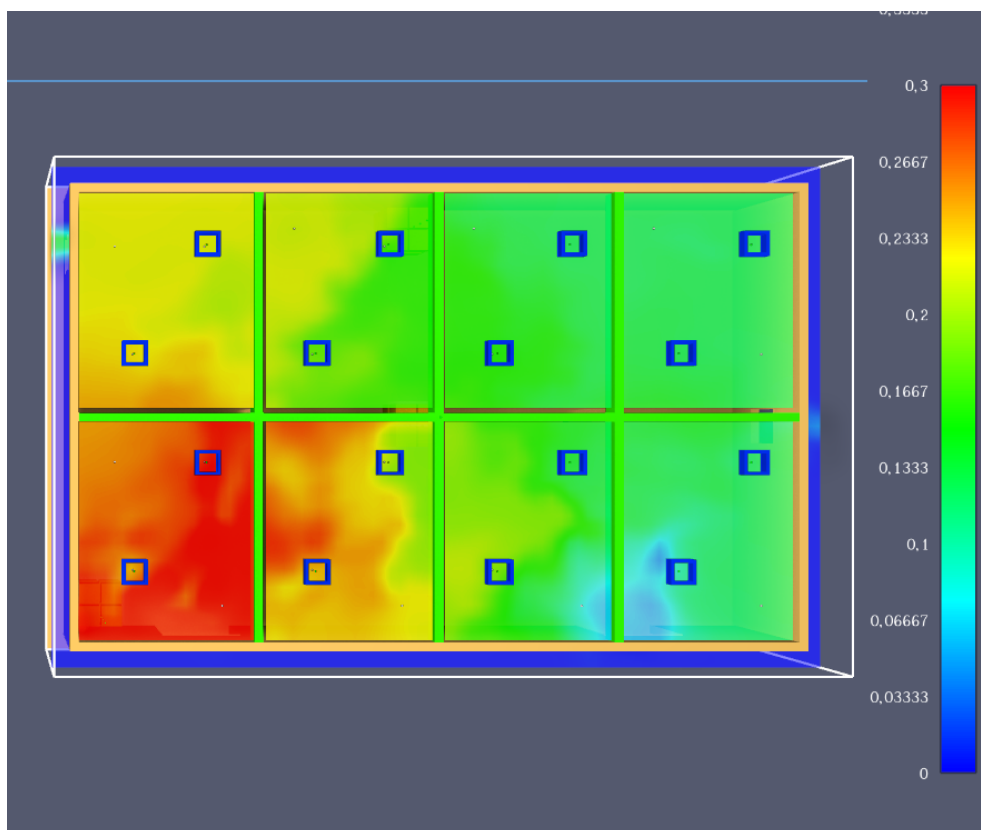
18. kép. Optikai sűrűség vizsgálata a X típus második elrendezési modelljén első tűzforrás esetében. [saját kép]

A második tűzhely szimulálásakor például vektorosam vizsgálva az optikai sűrűséget, jól látható, hogy maga ez a jellemző megfelelő módon tudja mutatni, mind a füst sűrűségét, mind pedig az irányát. Érdeemes megfigyelni, hogyan kavarg a füst a tűzforráshoz legközelebbi két gerendaközben. Ebből a kavargásból is, mint a korábban bemutatott hőmérséklet vektoros (16. kép) képnél írtam látható a gerendák füst visszaforgató / késleltető hatása. A 19. kép tehát ezt mutatja be, az égés 380. másodpercében a 2. tűzhely esetén.



19. kép. Optikai sűrűség vektoros megjelenítése 2. tűzhely esetén [saját kép]

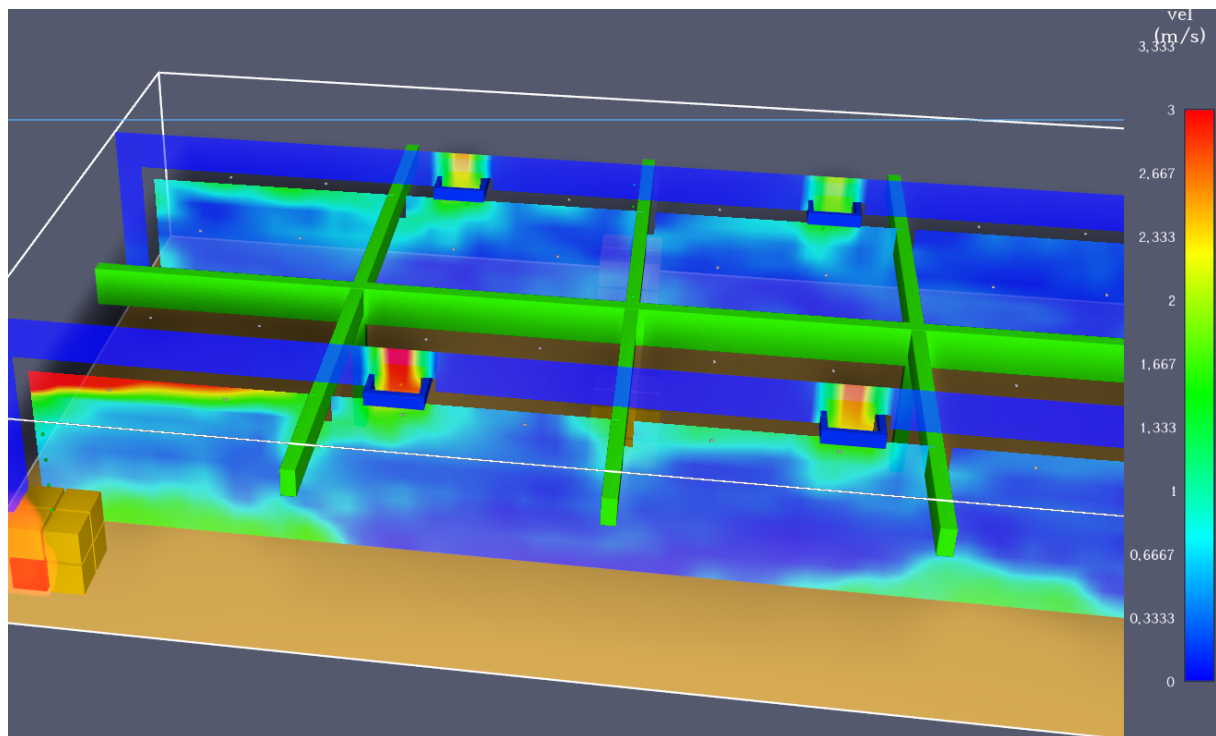
Amit érdemes még megvizsgálni, hogy a sprinkler rendszer működése milyen hatással van az optikai sűrűségre. Mint sejthető, a vízrészecskék miatt, maga a sprinkler rendszer is nagyban csökkenti a látótávolságot, ugyanakkor viszonylag egységessé is teszi a vizsgált csarnok esetében. A 20. képen megfigyelhető ez a jelenség a 18. képhez hasonló módon, hogy az összehasonlítást megkönnyítsem.



20. kép. Optikai sűrűség X/2 elrendezés esetén 5,5 méteres magasságban sprinkler rendszer használata közben [saját kép]

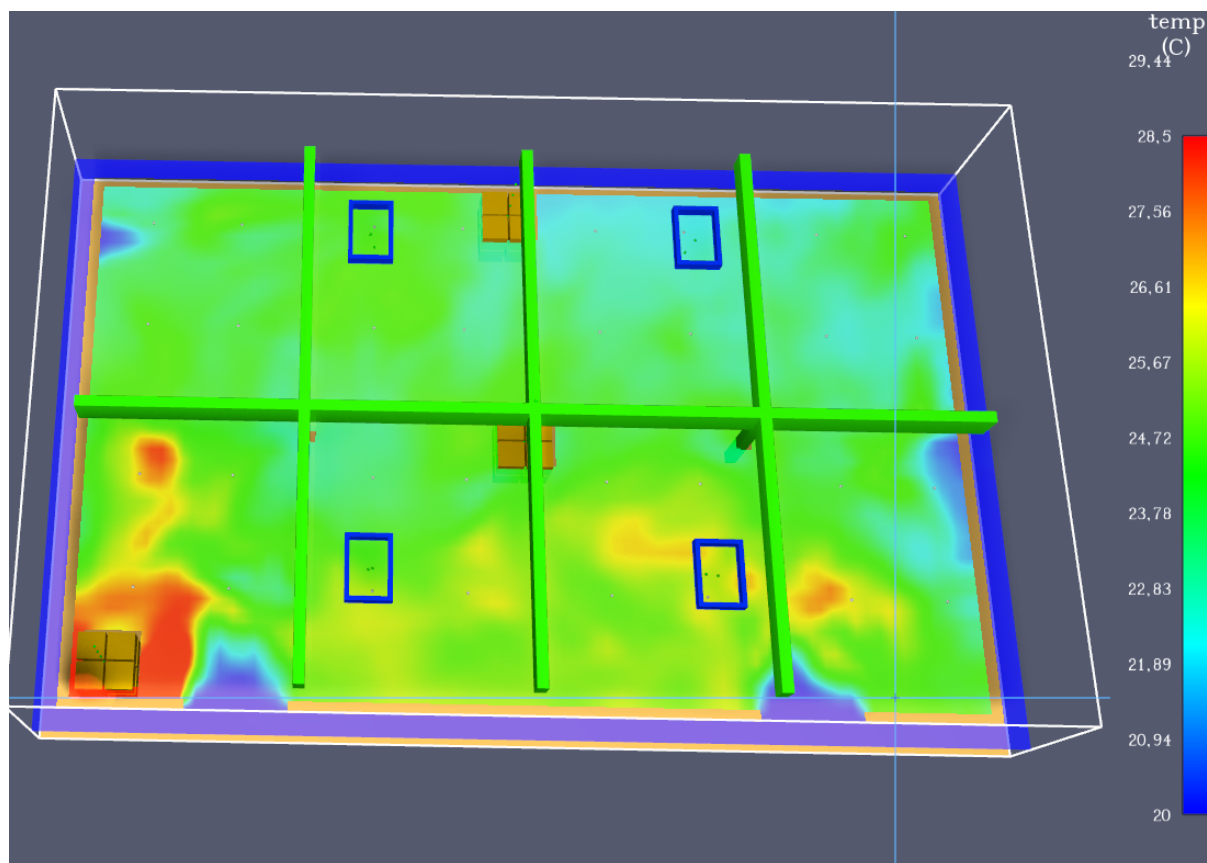
4.3. Y típus 1. elrendezés:

Ennél az elrendezésnél a sebességet szeretném megemlíteni, mint tényezőt, a 21. képen látható, hogy az egyes ablakokon különböző sebességgel áramlik ki a füst, ami többek között a nyomás és a hőmérséklet függvénye is, azonban ami számunkra fontos, hogy ezáltal az egy ablakon átfolyó gázmennyiség szintén változik. Ez azért megemlítendő tényező, mert szintén egy olyan paraméterről beszélünk, aminek optimalizálása esetén rövidebb idő alatt kivezethető a füst az adott helyiségből. Mivel természetes füstelvezető rendszerekről beszélünk, így ez az épület egy adott pontján a tüztől való távolság függvényében egy adott érték, így a különböző ablakelhelyezési variációk esetén eltérő a kivezetett gázmennyiség. A vektoros megjelenítés ennél az értéknél azért is indokolt, mert maga a sebesség is egy vektor mennyiség. Ennek ellenére a 21. kép nem vektoros sebességet mutat, aminek a praktikus oka, hogy a választott képen a színek miatt jobban láthatóak a különbségek az ablakok között.



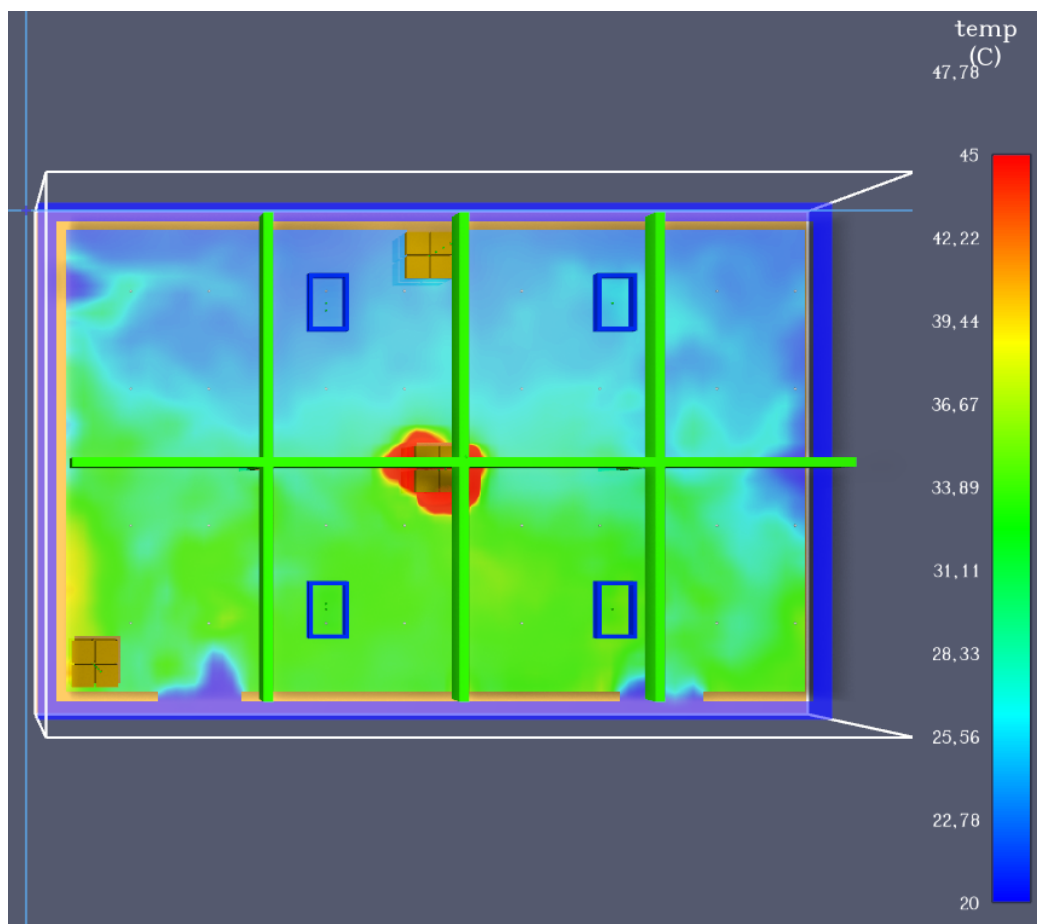
21. kép. Velocity (sebesség) vizsgálata 2D metszetekkel [saját kép]

Szintén ezen elrendezésnél mutatnám be a hőmérséklet eloszlást, amit a 21. képpel megegyezően a 605. másodpercről készítettem, a csarnok 2 méteres magasságában. Azért a 2 méteres magasságot választottam, mert az egy átlagember feje felett helyezkedik el, tehát még pont nem érinti, viszont már elég közel van ahhoz, hogy egy biztonság javára való tévedéssel fejmagasságnak lehessen hívni. A képen jól kivehetőn látszik, hogy a külső térbe nyíló kapuk és ablakok környezetében alacsonyabb a hőmérséklet a beáramló 20 °C-os levegő miatt, a tűzfészek közelében a hőmérséklet 30 °C közeli, valamint jól látható egy enyhe elkülönülés is a fő gerenda két oldalán, míg a tűzfészek felőli oldalon láthatók 26-27 °C-os pamacsok is, addig a másik oldalon akár 22 °C-os hideg foltok is megtalálhatók az ablaktól messzebb is.



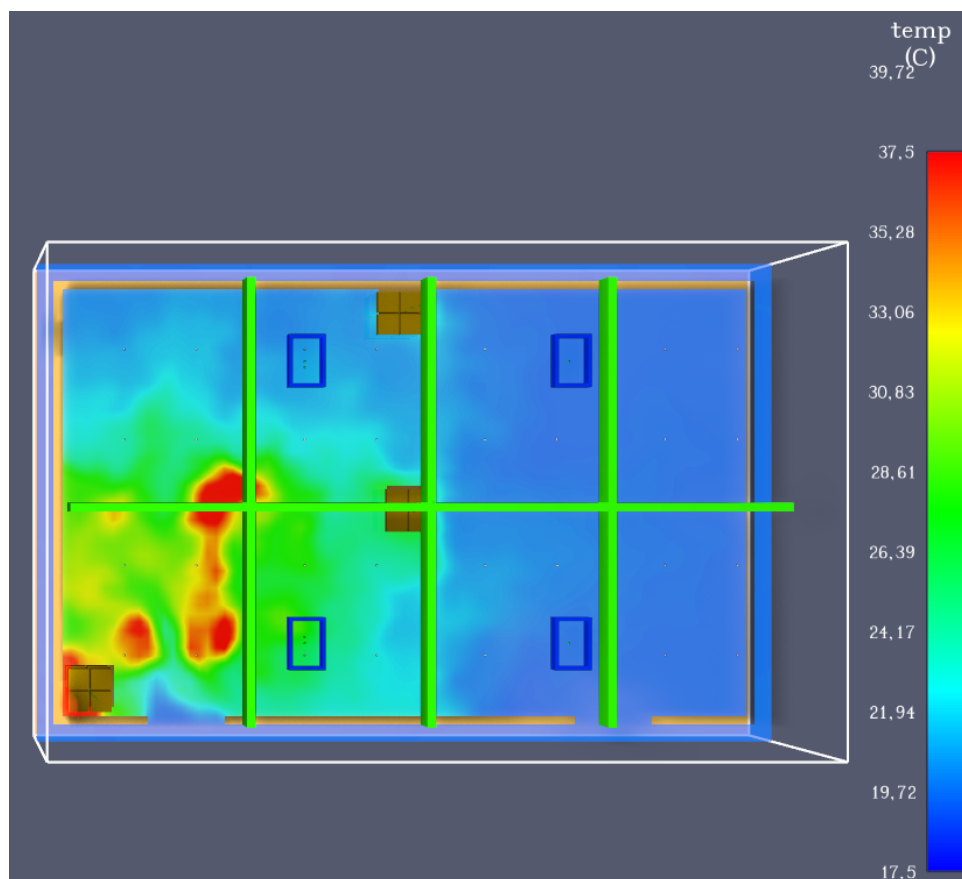
22. kép. Hőmérsékleteloszlás 2 méteres magasságban. [saját kép]

A második és harmadik tűzhelyek esetén szintén hasonló hőmérsékletelosztás figyelhető meg. A második tűzhelynél a maximális érték esetén sosem megy feljebb 2 méteres magasságban a hőmérséklet az 28°C -nál. A harmadik tűzhely esetén a dolgozatban később elmagyarázott okok miatt ez a hőmérséklet maximum nagyobb, viszont ami érdekesebb eredmény, hogy maga a szétterjedése a forró levegőnek sem annyira kiterjedt, mint az 1. és 2. tűzhelyek esetén, sokkal inkább a kapuk köze felé terelődik a forróság, ami a légutánpótlás által szolgáltatott hidegebb levegő épületben bejárt útja miatt lehetséges. Ez a jelenség a 23. képen látható, ami a tűz égésének 620. másodpercében készült, hogy látható legyen, hogy a forróbb levegő a szimuláció későbbi szakaszaiban is így viselkedett.



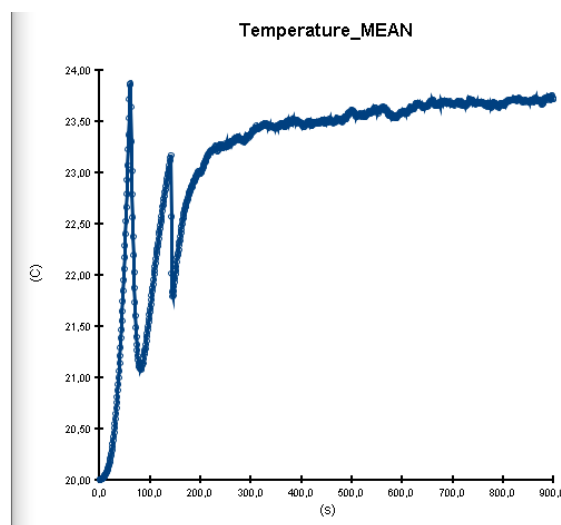
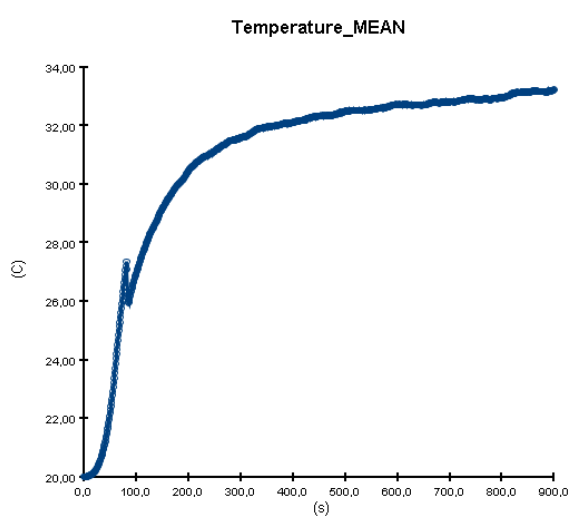
23. kép. Hőmérséklet 2 méter magasan a 3. tűzhely esetén. [saját kép]

A 24. képen spinkler rendszer használata közben látható a 22. képpel megegyező időpontban ugyanaz az elrendezés, ami miatt megfigyelhető a sprinkler rendszer hűtő hatása. Érdekes összevetni a korábbi oltó rendszer nélküli elrendezéssel, ugyanis mint látható a sprinkler rendszer a hő terjedését a keletkezési helyhez még viszonylag közel visszaszorítja. Elsőre nem egyértelmű, hogy a hőmérsékletet csökkentette-e az oltó berendezések betétele, erre azonban hamar választ lehet kapni, ha megnyitjuk az előállított statisztikákat. Onnan elég hamar kiderül, hogy míg az oltó nélküli elrendezés esetén $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ környékéig felmegy a hőmérséklet átlagban, addig a sprinkleres rendszer használata esetén, az átlagfüggvény maximuma $23\text{-}24\text{ }^{\circ}\text{C}$ környékén stabilizálódik (1. ábra).



24. kép. Sprinkler rendszer, Y/2 elrendezés és első tűzhely használata esetén [saját kép]

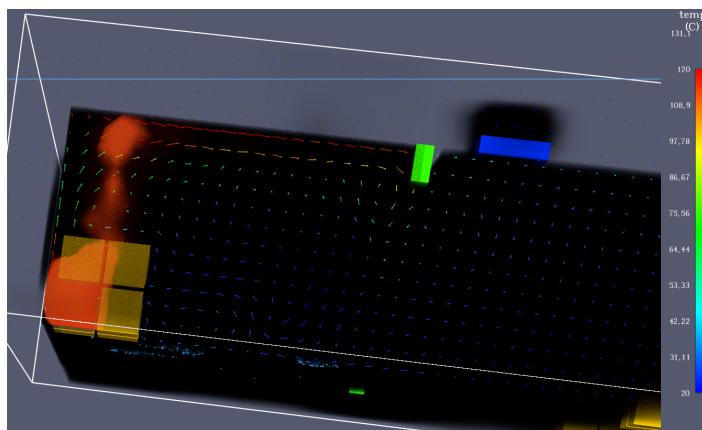
Ha a maximális hőmérsékletek esetén hasonlítjuk össze a két helyzet karakterisztikáit, azt látjuk, hogy a sprinkler rendszer használata esetén a hőmérséklet ugyan az első 100. másodpercben együtt emelkedik az oltó nélküli esettel, utána viszont visszacsökken.



1. ábra. Sprinkler nélküli és sprinkleres elrendezések átlag hőmérsékletének összehasonlítása. [saját ábra]

4.4. Y típus 2. elrendezés:

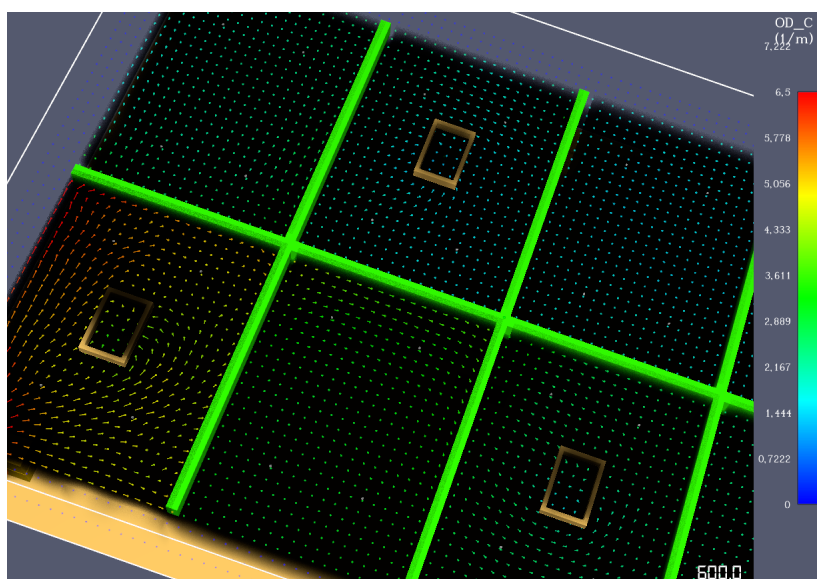
Ennél a típusnál bemutatom, hogy a poliuretán reakció használatát miért is mellőztem a szimulációk során, a 25. képen látható, hogy a sűrű fekete füst teljesen beledi a csarnok terét, így a láthatósági viszonyok mérése és vizsgálata nem ad olyan szépen elkülöníthető eredményt, mint a polipropilén reakció esetében. Ugyan ezen a képen látható továbbá, hogy a hőmérsékleti vektorokat hogyan befolyásolja, mind a gerenda, mind a gerendaközben működő sprinkler rendszer.



25. kép. Első gerendaköz Poliuretán reakció esetén sprinklerrel. [saját kép]

A 25. képen látható állapot miatt pár futtatás után úgy döntöttem a dolgozatomban inkább a polipropilén reakcióval fogok dolgozni.

Erre az elrendezésre poliuretán reakció használata közben megvizsgáltam még az optikai sűrűséget, tekintve a sűrű füst jelenlétét, és nagyon szépen kirajzolódik, ahogy a füst az elvezető kupola felé áramlik.

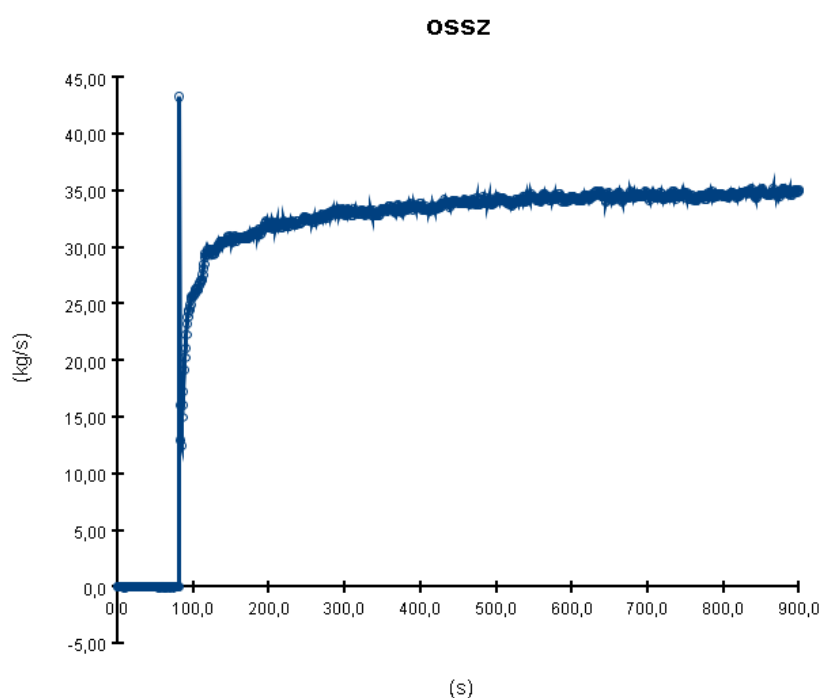


26. kép. Optikai sűrűség poliuretán reakció esetén vizsgálva. [saját kép]

5. ÖSSZEVETÉSEK

Mint látható, és következtetni is lehetett rá, a kupolák elhelyezésének hatékonysága nagyban függ a tűz keletkezési helyétől.

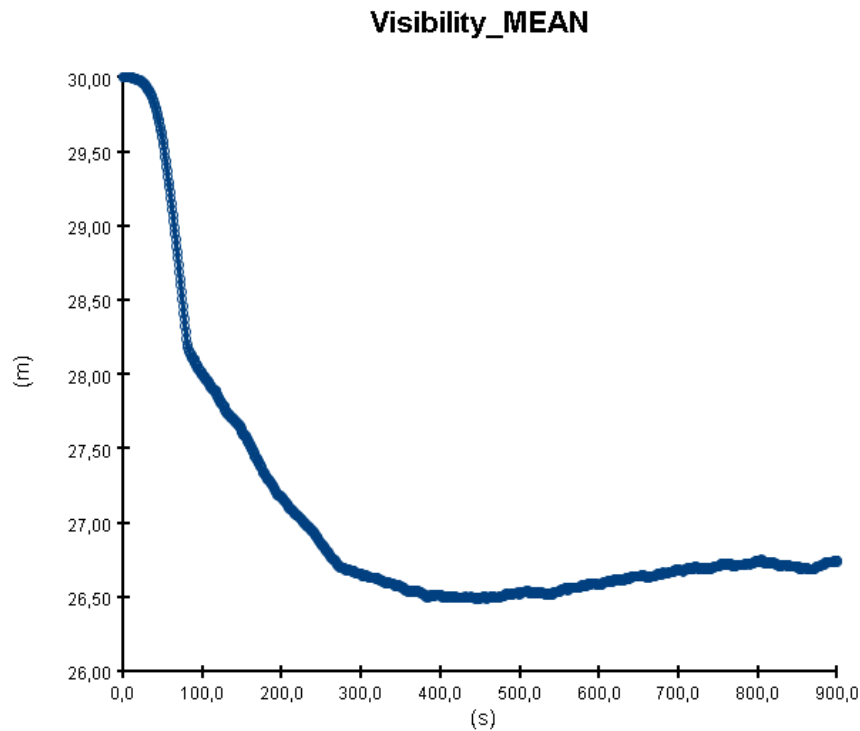
Először vizsgáljuk meg az első tűzkeletkezési hely esetén a kapott értékeket. Szeretném felhívni a figyelmet, hogy az általam leírt értékek a program által generált karakterisztikák leolvasásából adódnak, így számolni kell a szabadszemi leolvasásból adódó hibával. Bár ezt a Paint nevű programban pixelek kimérésével próbáltam csökkenteni.



2. ábra. X/1. elrendezés összes kupolán mért gáz áramlás [saját ábra]

A 2. ábrához hasonlóan minden elrendezés esetén megvizsgáltam az összes kupolán átfolyó gázmennyiséget. Mint látható az X típusú kupola esetén a nyitás pillanatában van egy kiemelkedő érték, ami miatt következhetett be, hogy a zárt térben a hő hatására megnövekedett a nyomás, és az ebben a pillanatban kiegyenlítette a kinti normál nyomással önmagát. Ezután látható hogy viszonylag stabilan beáll az érték körülbelül 34 kg/s-ra.

Emellett vizsgáltam az átlag láthatóság értékeit az egyes elrendezéseknél, valamint megnéztem a csarnokban lévő gázhőmérséklet átlagának alakulását is. Azért az átlagokat vizsgáltam, mert elsősorban valami univerzálíst szerettem volna megállapítani.



3. ábra. X/1. elrendezés átlagos láthatóság grafikon. [saját ábra]

Ahhoz hogy ezeket az értékeket az olvasó egységesen tudja látni, táblázatba foglaltam, piros színnel kiemelve minden sorban a legkedvezőbb értéket. Láthatóság esetén azt az értéket vizsgáltam, ami az átlag legkisebb értéke volt. Gáz hőmérsékletnél pedig az átlag függvény legmagasabb értékét vizsgáltam. A normál hőmérséklet függvény helyett azért választottam a gázhőmérséklet függvényt, mert bár talán kevésbé a teljes környezetet írja le, a kapott függvények esetén a hőmérséklet függvény sokszor erősen ingadozott, valamikor pedig tisztán kivehető volt, viszont úgy gondoltam, nem tudnám egységesen megítélni a kapott értékeket, ezért inkább az ugyancsak kicsit zajos, de konzisztensebb gáz hőmérséklet függvények felé fordultam.

1. táblázat: Elrendezések értékeinek összehasonlítása 1. tűzhely esetén [saját táblázat]				
	X típus 1.elrendezés	X típus 2.elrendezés	Y típus 1.elrendezés	Y típus 2.elrendezés
Össz. gázáteresztés (kg/s)	34	35	35	38
Láthatóság (m)	26,45	26,52	24,6	26,6
Átlagos gáz hőmérséklet (C)	29,65	29,6	32,5	29,1

Látható, hogy azzal, hogy nagyobb füstelvezető ablak került a füstfészek fölé, átlagban is minden érték jobb lett, mint a többi esetben. Ez véleményem szerint annak köszönhető, nagyobb mennyiségű füstöt vezetünk el már korai szakaszban is. A kapott legjobb eredményt összevettem a spinklerrel kiegészített változatával is,

Ugyan ezt a módszert alkalmaztam a másik két tűzhely esetében is, aminek az eredményeit a 2. és a 3. táblázatok taglalják.

2. táblázat: Elrendezések értékeinek összehasonlítása 2. tűzhely esetén [saját táblázat]				
	X típus 1.elrendezés	X típus 2.elrendezés	Y típus 1.elrendezés	Y típus 2.elrendezés
Össz. gázáteresztés (kg/s)	33,5	33,2	31,5	37,2
Láthatóság (m)	26,85	26,9	26,2	26,7
Átlagos gáz hőmérséklet (C)	27,7	27,67	27,5	27,66

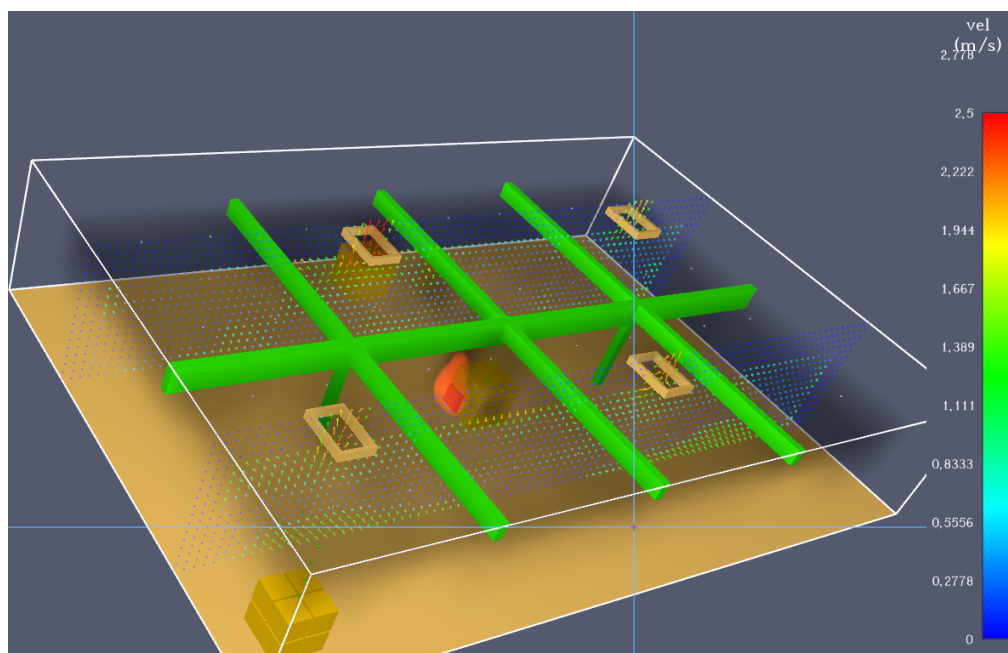
Itt érdekes eredmény az Y típus esetében, hogy a Láthatóság nagyobb, mint az 1. tűzhely esetén, az ablakok által átengedett gáz mennyisége kisebb. Összehasonlítva az áramlás sebességét, megfigyelhető, hogy a második tűzhely esetén majdnem 0,1 m/s-al lassabb, ami a légutánpótlás elhelyezéséből adódik. A Láthatósági görbéken megfigyelhető, hogy míg az első tűzhely esetében az 500. másodperc közelében van a legkisebb érték, majd enyhén

emelkedik, de konstansnak mondható, addig a 2. tűzhely esetében a 900. másodpercnél még nem teljesen egyértelmű a görbe alapján, hogy elérte-e a mélypontját.

Látható, hogy már nem egyértelműen az Y típus 2. elrendezése a legjobb, bár áteresztett gázmennyiségben még mindig magasan vezet. A fent írtak miatt láthatóság szempontjából az X típus alapján jobb megoldás lehet, mint az Y.

3. táblázat: Elrendezések értékeinek összehasonlítása 3. tűzhely esetén [saját táblázat]				
	X típus 1.elrendezés	X típus 2.elrendezés	Y típus 1.elrendezés	Y típus 2.elrendezés
Össz. gázáteresztés (kg/s)	41,2	41,3	40	46,67
Láthatóság (m)	24,29	24,36	23,66	24,18
Átlagos gáz hőmérséklet (C)	32,24	32,03	32,27	32,58

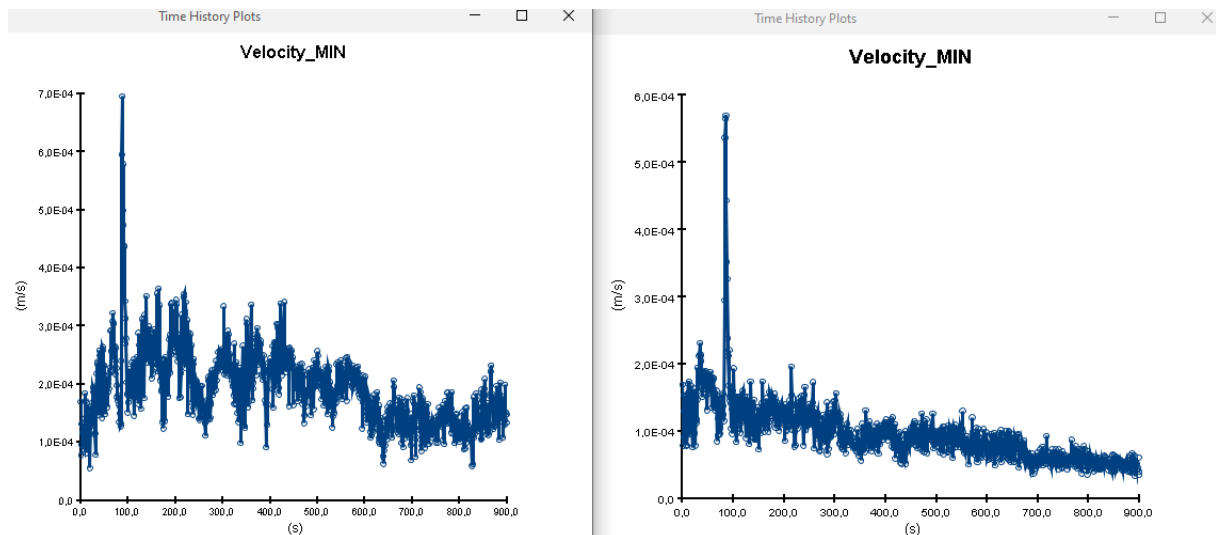
A 3. tűzhely esetén problémába ütköztem azzal kapcsolatban, hogyan is helyezzem el a gyújtóforrást, ugyanis ha csak az egyik alsó rakat oldalait választom gyújtóforrásnak, akkor a tűz maga is eltolódik középről, és az adott oldalon kezd hevesebben égni. Ez a füst elvezetés céljából sem azt az egységes középső füstforrást hozná, mint amit elterveztem. Ezen probléma kiküszöbölése érdekében, úgy döntöttem, hogy az alsó rakatok mindegyikének a befelé néző oldalait tettem meg gyújtóforrásnak. Ezáltal a gyújtóforrásnak megjelölt felületek nagysága nőtt, valószínűleg nagyobb energiájú tüzet okozva, ezért nagyobbak esetlegesen a mért értékek, viszont mivel minden elrendezést e szerint modellezek, így az összehasonlítás szempontjából nem lényeges.



26. kép. Y/2. elrendezés esetén a 3. füstforrás hibás beállítása. [saját kép]

Az eredmények alapján az látszik, hogy az X típus bár mennyiségben kevesebb gázt vezet el, mint az Y típus 2. elrendezése, láthatóság és a csarnokban lévő gázhőmérséklet szempontjából mégis jobb megoldás.

Ennek az oka véleményem szerint szintén a lineárisabb elvezetésben keresendő, valamint abban, hogy minden gerendaközben vannak elhelyezve ablakok, így az Y elrendezéssel ellentétben mindenhol ki tudja engedni a füstöt. Ez az utóbbi felvetés, ha igaz, azt is jelenthetné, hogy a nézett átlag mennyiség nem teljesen megfelelő a vizsgálat szempontjából, ezért megvizsgáltam a láthatóságot a szimuláció alapján az egyes gerendaközökben. Azt tapasztaltam, hogy a láthatóság szinte teljesen megegyezett a két esetben, a különbséget az ablakok metszeté a sebességet megnézve vélem felfedezni. Az látható, hogy míg az Y típusnál mind a négy ablakon 2,5 m/s-al ömlik ki a füst, addig az X típusnál ez ablakonként nagyon változó, van 4-5 ablak, amin ez az érték az átlag 3 m/s-ot is eléri, viszont olyan is van, ahol a 2 m/s-ot sem. A függvényeket vizsgálva az átlagnál nem olyan könnyű észrevenni a különbséget, az látható, hogy az Y típusnál kicsit nagyobb, ami viszont eltér, az a Sebesség minimális értékét mutató függvény. A 4. ábrán látható jobbra az Y, balra az X típusú kupola esetén a függvény.



4. ábra. X és Y típusok második fajta elrendezéseinek minimum sebesség függvényei a harmadik tűzforrás esetén. [saját ábra]

Mint látható az X kupolák esetén sokkal kilengőbb a függvény, ráadásul a minimális értékei így ránézve magasabbak, mint az Y kupoláknak. Ebből azt a következtetést vontam le, hogy egyszerűen az Y kupolák jobban ki vannak terhelve, ezért lehet, hogy konstanshoz jobban közelít az átáramlási sebesség minimuma, míg az X típus esetén az a pár ablak, amin nagyobb az áramlási sebesség azt eredményezi, hogy összességében a füstöt jobban elvezeti ez a megoldás. Az átáramló gázmennyiség növelt értékébe pedig az Y típus esetén valószínűleg a levegőutánpótlástól beáramló levegő is bele számított, ami ezt az értéket ugyan növeli, viszont nem jelenti azt, hogy magát a füstöt is jobban elvezetné az adott elrendezés.

Érdeemesnek gondoltam megnézni még az azonos gerendaközben lévő kupolák által áteresztett összes gáz mennyiségét a tűzhelytől legtávolabb lévő gerendaköz esetén, amihez az 1. tűzhelyre vizsgált Y típus 2. elrendezését, valamint X típus 1. elrendezését használtam.

Megfigyelhető, hogy míg a 4 négyzetméteres elvezetőn ~ 7 kg/s gáz áramlik át, addig a 2 darab 1 négyzetméteres kupolákon ~ 3 kg/s összeadva, ami mutatja, hogy a több kisebb ablak lehelyezése esetén a kiáramló füst jobban ki tudja használni az egyes ablakokat, ezáltal az épület legtávolabbi pontjára már kisebb gázmennyiség jut el. Ha a legközelebbi gerendaközt nézzük, ott megfigyelhető, hogy az összesen fele akkora nyílásfelületen szinte pontosan fele akkora gázmennyiség távozik.

Sprinkler rendszer használata által okozott változásokat is megvizsgáltam a korábban figyelt értékek esetén, az első és a harmadik tűzhely esetén egy-egy ablakelrendezést vizsgálva.

Azért csak ilyen keveset, mert az alábbi táblázatból egyértelműen látható, hogy milyen pozitív és negatív hatásokkal rendelkezik egy ilyen rendszer.

4. táblázat: Elrendezések értékeinek vizsgálata sprinkler rendszer esetén [saját táblázat]				
	1.tűzhely X típus 1.elrendezés	1.tűzhely X típus 1.elrendezés sprinklerrel	3.tűzhely Y típus 2.elrendezés	3.tűzhely Y típus 2.elrendezés sprinklerrel
Össz. gázáteresztés (kg/s)	41,2	16,5	46,67	-7,4
Láthatóság (m)	24,29	2,1	24,18	13,28
Átlagos gáz hőmérséklet (C)	32,24	24,25	32,58	22,74

A fenti táblázatban szereplő elrendezéseket azért is választottam, mert megfigyelhető egy-két érdekesség. Az Y típusú kupola esetén a negatív gázáteresztés azt jelenti, hogy a levegő a kupolán keresztül nem kifelé, hanem átlagban inkább befelé haladt. Ha egyenként vizsgáljuk a kupolákat, megfigyelhető, hogy az egyik ablakon kifelé, a többin inkább befelé áramlott a levegő. Ennek az oka a hőmérsékletviszonyok és a neki köszönhető nyomás változások. A sprinkler rendszer olyan szinten lehűtötte a levegőt a csarnokon belül, hogy negatív nyomás alakult ki sok helyen. Az X elrendezéshez képest ez azért okoz drasztikusabb változást, mert több oltófej került elhelyezésre.

Megfigyelhető mindkét esetben, hogy a látótávolság jelentősen csökken, ez a víznek köszönhető, ami az oltórendszerből származik. Valamint az átlagos gázhőmérséklet 20 °C-tól való eltérése is csökken, köszönhetően a víz hűtő hatásának.

6. MÉRNÖKI JAVASLATOK

A dolgozat írása alatt rá kellett jönnöm, hogy jelen dolgozat nem elegendő a probléma teljeskörű kivizsgálására, csupán egy kis ízelítőt ad 2 ablaktípus esetén, ami elmondások alapján a gyakrabban használt füstelvezető kupola típusokhoz tartoznak. A kapott eredmény ugyan összehasonlítás jelleggel jó, iránymutatást nem ad a többi kupola típus esetén. A probléma további vizsgálatot igényel.

Az 5. fejezetben tapasztaltak alapján levonható pár egyetemes következtetés, amik alapvető iránymutatásként szolgálhatnak a jövőbeli épülettervezési és tűzvédelmi döntésekhez.

Az 1. táblázat rávilágít, hogy ha a tűz keletkezési helye fölött nagyobb elvezető nyílással rendelkezünk, az nagyban hozzájárulhat a füst terjedésének visszaszorításához, ezáltal csökkentve a hőhatást, aminek az épület szerkezete ki lesz téve a tűzhelytől távolabb is. Érdekes tehát a potenciális tűzkeletkezési helyek fölé nagyobb elvezető kupolákat betervezni, amennyiben ezek azonosíthatók

A második tűzhely vizsgálata több mindenre is rámutatott. Egyrészt a légutánpótló nyílások figyelembe vételének fontosságára, az ugyanis a füstterjedést jelentősen tudja segíteni, vagy éppen akadályozni. Ugyancsak rámutat arra, hogy milyen elrendezés milyen esetben optimálisabb. Mint látható az eredményeken is, a láthatóság szempontjából a sok kis ablak jobb, hiszen ahogy terjed a füst, folyamatosan újabb és újabb elvezető ablakokkal találkozik, így lineárisabb az elvezetés, míg a kevesebb nagy ablak esetén átlagban rosszabb a láthatóság, de a minimális értéket figyelő diagrammról leolvasható mikor ért a füst egy újabb ablakhoz, ugyanis a láthatóság minimális értéke megugrott, ami a kisebb ablakok esetén nem áll fenn.

A harmadik tűzhely vizsgálata jobban rámutatott a több kisebb ablak elhelyezésének előnyeire, valamint arra, hogy egy-egy ablak jobb kihasználása egy egész elhelyezési struktúrát hatékonyabbá tehet.

A sprinkler rendszerek hozzájárulnak a környezet hűtéséhez, valamint a vízcseppek megkötnek a levegőben füstreszecskéket, ezáltal akadályozva a füst áramlását. Az összehasonlító táblázatból jól látható, hogy milyen előnyökkel jár az oltórendszer használata. Érdekes megjegyezni, hogy az előnyök mellett azért hátrányai is vannak, mint a táblázatból is látható kis látótávolság, ami nyilván növelhető az oltórendszerek típusának és elhelyezésének változtatásával, valamint nem szabad elfeledkezni a víz által okozott károkról.

Összegezve tehát az alábbi javaslatokat/megállapításokat tenném:

1. Optimalizált elvezető nyílások tervezése: A potenciális tűzkeletkezési hely fölé érdemes nagyobb elvezető nyílással rendelkező kupolákat tervezni. A nagyobb nyílások segíthetnek a füst gyorsabb elvezetésében, csökkentve ezzel a tűz okozta hőhatást az épület szerkezetére.
2. Légutánpótlás figyelembevétele: A füstelvezetés hatékonysága és a láthatóság szempontjából fontos szerepet játszik a légutánpótlás és az ablakelrendezés. A kisebb ablakok esetén tapasztalt lineárisabb füstelvezetés például azt sugallja, hogy az egyenletes légáramlás segíthet a füst gyorsabb elvezetésében.
3. További kupolatípusok vizsgálata: Bár a szimulációk során csak két ablaktípusra koncentráltunk, érdemes lenne további füstelvezető kupola típusokat is vizsgálni. Ez lehetővé tenné a tervezők számára, hogy még jobban tesztre szabhassák a füstelvezető rendszereket az adott épület körülményeihez és tűzvédelmi igényeihez.
4. Kiegészítő tűzvédelmi eszközök integrálása: A füstelvezető rendszerek hatékonyságának növelése érdekében érdemes lehet más tűzvédelmi eszközökkel, például tűzoltó sprinkler rendszerekkel vagy füstelvezető ventilátorokkal kombinálni őket. Az ilyen kombinált rendszerek képesek lehetnek még hatékonyabban kezelni a tűzveszélyhelyzeteket és minimalizálni azok következményeit.
5. Társadalmi és környezeti szempontok figyelembevétele: A füstelvezető rendszerek tervezésekor fontos figyelembe venni a társadalmi és környezeti szempontokat is. Például olyan rendszereket kell tervezni, amelyek minimális zajszinttel működnek, ez főleg szellőző funkció esetről lehet lényeges. Emellett olyan anyagokat kell választani, amelyek környezetbarátok és fenntarthatók.

7. HIVATKOZÁSOK

Szakirodalom

E. EVERS, A.WATERHOUSE [1978] “A computer model for analysing smoke movement in buildings”, Building Research Establishment Fire Research Station Borehamwood Hertfordshire WD62BL

JUKKA HIETANIEMI, SIMO HOSTIKKA, JUKKA VAARI [2004] “FDS Simulation of Fire Spread - comparison of model results with experimental data”, VTT Working Papers 4 (ISBN 951-38-6556-8)

M. NADY A. SAID, Ph.D., P.Eng. [1988] A review of smoke control models, ASHRAE Journal Vol. 30, No.4, April p. 36-40 (IRC Paper No. 1563)

RAFAT AL-WAKED, MOHAMMAD NASIF, NATHAN GROENHOUT, LESTER PARTRIDGE [2021] “Natural ventilation of residential building Atrium under fire scenario“ doi: 10.1016/j.csite.2021.101041

SZIKRA CSABA, DR. TAKÁCS LAJOS GÁBOR [2012] TSZVSZ konferenciára készült “Mérnöki Módszerek Tűzvédelmi Alkalmazásának Gyakorlati Kérdései” című előadása Tűzvédelmi Műszaki Irányelv: Hő és Füst elleni Védelem 2024.02.01.

YI QIN, WEI HUANG, YUE XIANG, RUI ZHANG, PAN LU, XUE TAN [2016] “Feasibility analysis on natural smoke extraction for large space warehouse buildings” doi: 10.1016/j.proeng.2016.01.161

Szabványok

MSZ EN 12101-2 [2015] Természetes füst és hőelvezetők

Jogszabályok

OTSZ [2014] Országos Tűzvédelmi Szabályzat a 54/2014. (XII.5.) BM-rendelettel közzétéve

MELLÉKLETEK

A melléklet

PyroSim forrásfájlok

- A.1. 1. elrendezés X ablak típus (1. tűzhely)**
- A.2. 1. elrendezés X ablak típus_sprinklerrel (1. tűzhely)**
- A.3. 2. elrendezés X ablak típus (1. tűzhely)**
- A.4. 2. elrendezés X ablak típus_sprinklerrel (1. tűzhely)**
- A.5. 1. elrendezés Y ablak típus (1. tűzhely)**
- A.6. 1. elrendezés Y ablak típus_sprinklerrel (1. tűzhely)**
- A.7. 2. elrendezés Y ablak típus (1. tűzhely)**
- A.8. 2. elrendezés Y ablak típus_sprinklerrel (1. tűzhely)**
- A.9. 1. elrendezés X ablak típus (2. tűzhely)**
- A.10. 2. elrendezés X ablak típus (2. tűzhely)**
- A.11. 1. elrendezés Y ablak típus (2. tűzhely)**
- A.12. 2. elrendezés Y ablak típus (2. tűzhely)**
- A.13. 1. elrendezés X ablak típus (3. tűzhely)**
- A.14. 2. elrendezés X ablak típus (3. tűzhely)**
- A.15. 1. elrendezés Y ablak típus (3. tűzhely)**
- A.16. 2. elrendezés Y ablak típus (3. tűzhely)**
- A.17. 2. elrendezés Y ablak típus_sprinklerrel (3. tűzhely)**