

## Gépi és gravitációs hő- és füstelvezetés elemzése számítógépes tűzmodell segítségével

Készítette: Szilágyi Csaba tűzvédelmi mérnök  
Szolnok M.J.V.Ö. Hivatásos Tűzoltósága

A számítógépes tűzmodellek, áramlástanai modellek hasznosak lehetnek a tervezés és kialakítás során. Segítségükkel költségkímélő, esetleg olcsóbb megoldásokkal biztonságosabb épületeket tervezhetünk. A modellek segítségünkre lehetnek, hogy a jogszabályok értelmezése során ne feledkezzünk meg a tüzet leginkább irányító fizikai és kémiai törvényszerűségekről. A tűzmodell, melyet felhasználtam CFD (Computational Fluid Dynamics) elvű tűzmodell, a NIST Fire Dynamics Simulator (FDS) szoftvere. Szintén ehhez a programhoz készült a NIST Smokeview megjelenítő szoftvere. A modell matematikai eredményei alapján a Smokeview egy háromdimenziós ábrát hoz létre, mely az előre meghatározott időlépcsőnek megfelelően képkockákon szemlélteti a különböző megjeleníteni kívánt eseményeket, értékeket. Ilyenek lehetnek többek között a tűz, a füst terjedése, a hőmérsékletek, a különböző gázok koncentrációja, az áramlási sebességek, irányok és az égési sebesség. Az ábrák alján szerepel az időpont másodpercben, a jobb oldalán az érték, és annak skálája, amelyet megjelenít az ábra. A vizsgálatban szereplő ábrák ezen megjelenítő program által készültek. A szereplő ábrákon természetesen csak a lényegesebb időpontokat, fordulópontokat jelenítettem meg.

Most egy egyszerűbb csarnok jellegű épületen keresztül hasonlítottam össze a hő- és füstelvezetés két sarokpontját a tisztán gravitációs és a tisztán gépi rendszert. Az épület 20mX40m azaz 800 m<sup>2</sup> alapterületű melynek a belmagassága 5m, a tetőfödém kialakítás pedig vízszintes. A 9/2008 ÖTM. rendelet (továbbiakban: rendelet) szerinti követelményeket alkalmaztam mind a két esetben.

A gravitációs kialakítás esetén a tetőfödémén kerülnek kialakításra a hő- és füstelvezető nyílások. A levegő utánpótlást pedig a négy sarokban nyíló ajtók biztosítják. A nyílások méretét a rendelet alapján számítottam. Méretezési csoportnak a 3. csoportot választottam. Az 5 méteres belmagasságot és a minimális 3m füstmentes levegőréteget figyelembe véve a 3. táblázat alapján a szükséges hatásos nyílás felület 7,3 m<sup>2</sup>. A pótlevegő nyílásoknak dupla méretűnek kell lenniük, tehát 14,6 m<sup>2</sup> szabad nyílásfelületre van szükségünk. Figyelembe véve az elhelyezési követelményeket 3 nyílás került kialakításra az épület hossz tengelyében arányosan és egymástól egyenlő távolságra. A modell felbontásához igazodva az elvezető nyílások 1,6mX1,6m nagyságúak. Összesen tehát 7,68 m<sup>2</sup>-t biztosítanak. A négy ajtó nyílás egyenként 2mX2m, így összesen 16 m<sup>2</sup> - en áramlik a térbe a friss levegő.

A másik lehetőség a gépi elvezetés és betáplálás. Ebben az esetben a rendelet alapján gravitációs elvezetés esetén szükséges elvezető felület minden négyzetmétere után 2m<sup>3</sup>/s levegő mennyiséget kell elszívni és betáplálni a térbe. Az elszívás és befűvés teljesítménye 15m<sup>3</sup>/s. Esetünkben 3 bevezető és 3 elszívó nyílás egyenként 0,64 m<sup>2</sup> felülettel kerül kialakításra. A szükséges 15 m<sup>3</sup>/s levegő mennyiséget a 3 nyíláson áramoltatva az áramlási sebesség 7,8 m/s lesz. Ez a sebesség a kiegyenlített rendszerek esetében a rendelet szerint megfelelő, azonban a depresszív rendszerek esetében a levegő sebessége a bevezetőnyílásokon nem lehet nagyobb 5 m/s -nál.

A hő- és füstelvezetés esetén a füst és a hő hatásainak csökkentéséről beszélünk. A füst káros hatásait hamarabb érzékeljük. A füst csökkenteni fogja a látótávolságot, így nehezíti a kiürítést és a menekülést, majd a későbbiekben a beavatkozást. Természetesen a hőnek is van hatása a bent tartózkodó személyekre, (ez általában később jelentkezik) de mi rendszerint az épületszerkezetekre gyakorolt hatását vizsgáljuk. Az áramlási irányok és sebességek vizsgálata pedig nagyon nehézkes és bonyolult feladat. Azonban a kialakuló áramlások nagyobb figyelmet érdemelnének hiszen ezek szállítják a füstöt és a hő egy részét, így tudhatjuk meg hova és milyen sebességgel terjednek.

A hőmérséklet meghatározása nem bonyolult, az áramlásokat pedig vektorokkal jellemezhetjük. Egy vektort két adattal a nagyságával és irányával adunk meg. A füst jellemzése már egy kicsit összetettebb feladat. A füstöt rendszerint a sűrűségével, vagy az extinkciójával, a környezetet is figyelembe véve pedig a látótávolsággal jellemezzük. Az ember szempontjából a

menekülés és a beavatkozás során talán a legfontosabb a látás. A modellben lehetőség van a látótávolság meghatározására is.

A látótávolság a különböző tárgyak felismerési távolsága. A tárgyak láthatóságát a füst extinkciós koefficiensből számíthatjuk, figyelembe véve, hogy fényelnyelő vagy fénysugárzó anyagokról van szó [6]

$$S = \frac{KS}{K}$$

S: láthatóság [m]

KS: fényelnyelő KS=3; fénysugárzó KS=8

K:extinkciós koefficiens [1/m]

Ez alapján meghatározhatók az extinkciós értékek figyelembevételével a láthatósági távolságok.

K extinkciós koeff. [1/m]	S láthatóság [m]
0,1	30
0,12	25
0,15	20
0,17	17,6
0,2	15
0,25	12
0,3	10

1. táblázat Fényelnyelő anyagoknál különböző extinkciós koefficiensok esetén a láthatósági távolságok.

Az FDS modell alapadatai:

A tüzeset szimulációjához (40cmX40cmX40cm) felbontású teret használtam melyeket egy 40mX20mX5m-es térben helyeztem el. Egyenletes felbontást alkalmaztam a teljes térben.

A feltételezett éghető anyag egymásra rakott fa hasábokból álló 2 kocka formájú farakás. Méretük 1,2mX1,2mX1,2m. A hőfelszabadulás maximuma 7300 kW. A hőfelszabadulás adott hőfejlődési görbe mentén változik[4]. Hiszen a tűznek van egy (általában hasonló) „élet” görbéje. A termelt hő eleinte kevés, de az időben növekszik eléri a maximumát, majd csökken és megszűnik. A hő fejlődés mellett jellemző adat a füst fejlesztő képesség is. A füst fejlesztő képesség az össz. égéstermék és a füst arányát adja meg, a modellünkben használt fának a füst fejlesztő képessége pedig 0,01 [5].

A tűz lefolyását a továbbiakban jelentősen befolyásolja a szellőzés is. Modellünkben a szellőzést a gravitációs esetben a hő- és füstelvezető nyílások, a nyíló ajtók, a gépi rendszer esetében pedig az elszívó és befúvó nyílások adják. A valóságban valószínűleg mind a két esetben a tűzjelző berendezés jelére aktivizálna az elvezető rendszer, de a vizsgálat során nem modelleztem a nyitási időt. Mind a két variációban 60 s-ot tekintettem a jelzés késedelemének. Így a hő- és füstelvezető nyílások nyitásának ideje mind a két modellben 60 s volt.

A 2-8 ábrákon a gravitációs, a 9-14 ábrákon pedig a gépi rendszer működését láthatjuk. Az ábrák között 4 félét láthatunk. A füstöt három dimenzióban (nem egy sík mentén), az extinkciót, a hőmérsékletet hosszanti metszet síkon láthatjuk. A sebességet pedig vektoros ábrákon keresztmetszeti síkban szemlélhetjük meg. A füstöt megjelenítő ábra talán könnyebben érthető,

látványosabb, de az extinkciós ábrán látható információk, egzaktabbak. Amíg a füstábrán nem tudjuk a tér egy pontját jellemezni, -csak úgy hogy van vagy nincs füst-, addig az extinkciós ábra alapján egy adott ponton a színskáláról leolvashatjuk a pontos extinkciót. Az extinkcióból pedig megtudjuk határozni a látótávolság nagyságát is. Az 5-ös és 11-es extinkciós ábrákon a 120 s-ban a két elv között még szinte alig látható különbség, az 540 s-ban azonban már igen jelentős eltérés figyelhető meg (6-os és 12-es ábrák). A kiürítés és beavatkozás szempontjából az alsó 2 méteren lévő látótávolságnak van igazán jelentősége. A 12 ábrán az 540s-ban a gépi rendszernél a padló szinten az extinkciós érték már 0.12 felett van, (a 0.12-es érték 25 méteres látótávolságot jelent nem világító tárgyak esetén.) míg ugyanebben az időben a 6-os ábrán a gravitációs rendszernél csak 1,6 méter magasságban alakul ki ugyanez az érték. Tehát a gépi rendszer esetén a menekülés az 540s-ra jelentősebben korlátozódik, míg a gravitációs szellőzés esetén nem.

A hőmérsékleti ábrák ( 7-es és 13-ábra) összehasonlításakor nem tapasztalunk jelentős differenciát. A tetőfödém alatt csak a tűz feletti térben emelkedik a hőmérséklet 300 Celsius fok közelébe, a többi területen pedig 140 Celsius fok hőmérsékletre lehet számítani. Egyik esetben sem alakul ki az épület szerkezeteket jelentősen károsító hőmérséklet, így a hőmérséklet vizsgálatára jelen esetben nem fordítottam több figyelmet.

Mind a két variációban a rendelet előírásait alkalmaztam, de mégis az egyik jobb megoldásnak bizonyult a másikkal. A különbség magyarázatához további modellt dolgoztam ki.

Ha megvizsgáljuk, hogy a gravitációs rendszer esetében a hő- és füstelvezető nyílásoknál mekkora sebességgel áramlik ki a levegő (8. ábra) , akkor 1,5 m/s körüli értéket tapasztalunk. Számítás után megállapítható, hogy az összesen 7,68m<sup>2</sup> nyíláson 11,52 m<sup>3</sup>/s levegő áramlik ki. A gépi szellőzés esetén az átáramoltatott levegő mennyisége 15 m<sup>3</sup>/s . Érdekes kérdés, hogy vajon a nagyobb légmozgáshoz miért tartozik rosszabb levegő minőség. A választ a 8-as és a 14-es ábrák összehasonlításakor találhatjuk meg. A gépi szellőzés esetében az áramlási vektorok jóval nagyobbak , így a füst jobban elkeveredik a térben. A másik modellben, ugyanazt a levegő mennyiséget nagyobb felületen és így kisebb áramlási sebességgel juttattam a térbe. Az első esetben a gépi rendszer 0,8mX0,8m -es nyílásain 7,8 m/s sebességgel áramlott a levegő. A második gépi rendszer esetén a nyílások méretét 2mX1,6m -re növeltem, ezen a felületen ugyanaz a levegő mennyiség már csak 1,5 m/s sebességgel áramlott. A 17 ábrán látható, hogy ebben az esetben már az egész térben jóval kisebb áramlási sebességek alakultak ki, és jóval kevesebb a turbulencia is. A kisebb áramlási sebességek esetén az 540s-ban a 15-ös és 16-os füst és extinkciós ábrákon nagyobb látótávolságot tapasztalhatunk tehát a nagy áramlási sebességek károsan befolyásolják a hő- és füstelvezetés hatékonyságát. A turbulens áramlások hatására a füst jobban elkeveredik a térben, így lassabban távolítható el.

A rendelet csak depresszív rendszerek esetén írja elő az 5m/s alatti áramlási sebességet. Véleményem szerint nem probléma, ha ugyanezt az értéket alkalmazzuk kiegyenlített rendszerek esetében is. Természetesen ellenérvet is lehet felsorakoztatni. Ha a hőmérséklettel van a nagyobb problémánk a nagy sebességű átszellőztetéssel lassíthatjuk a felmelegedés sebességét. A nagy áramlási sebességek hatására ugyanis a hő nehezebben fog akkumulálódni.

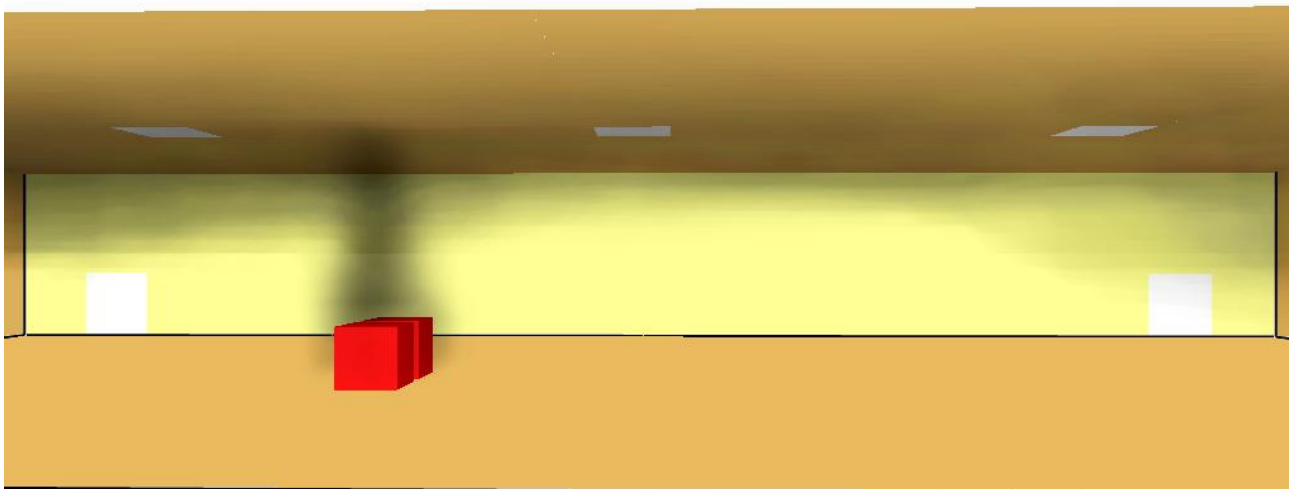
Valószínűleg nem lehet olyan jogszabályt alkotni, amelyik alapján minden egyes esetben egyszerre gazdaságos és biztonságos épületeket tervezhetünk. A tárgyi elemzés alapján is megállapítható, hogy egyébként a sok esetben határozott rendeletről szigorúbb értéket kellett alkalmazni a gépi szellőzés esetében, hogy a gravitációs szellőzéssel egyenértékű legyen. Szükséges az egyre bonyolultabbá váló tűzvédelmet önálló területként kell kezelni, hiszen az összetettsége egyre növekszik, és ha elhanyagoljuk feleslegesen drága és nem feltétlenül biztonságos épületeket építhetünk.

## Irodalom jegyzék:

- [1]: Kevin McGrattan, Simo Hostikka, Jason Floyd, Howard Baum, Ronald Rehm Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide. Nist Technology Administration U.S. Department Of Commerce 2007.
- [2]: Kevin McGrattan, Simo Hostikka, Jason Floyd, Howard Baum, Ronald Rehm Fire Dynamics Simulator (Version 5) User Guide. Nist Technology Administration U.S. Department Of Commerce 2007.
- [3]: Database4.data file of NIST Fire Dynamics Simulator. U.S. Department Of Commerce 2006.
- [4]: Vytenis Babrauskas Heat Release Rate, The SFPE Handbook Of Fire Protection Engineering, . National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, 3rd edition, 2002. 3-24.
- [5]: George W. Mulholland, National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, 3rd edition, 2002. 2-259.]
- [6]: Tadahisa Jin Visibility and Human Behavior in Fire Smoke The SFPE Handbook Of Fire Protection Engineering, . National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, 3rd edition, 2002. 2-42 – 2-53.

## Ábra Melléklet:

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

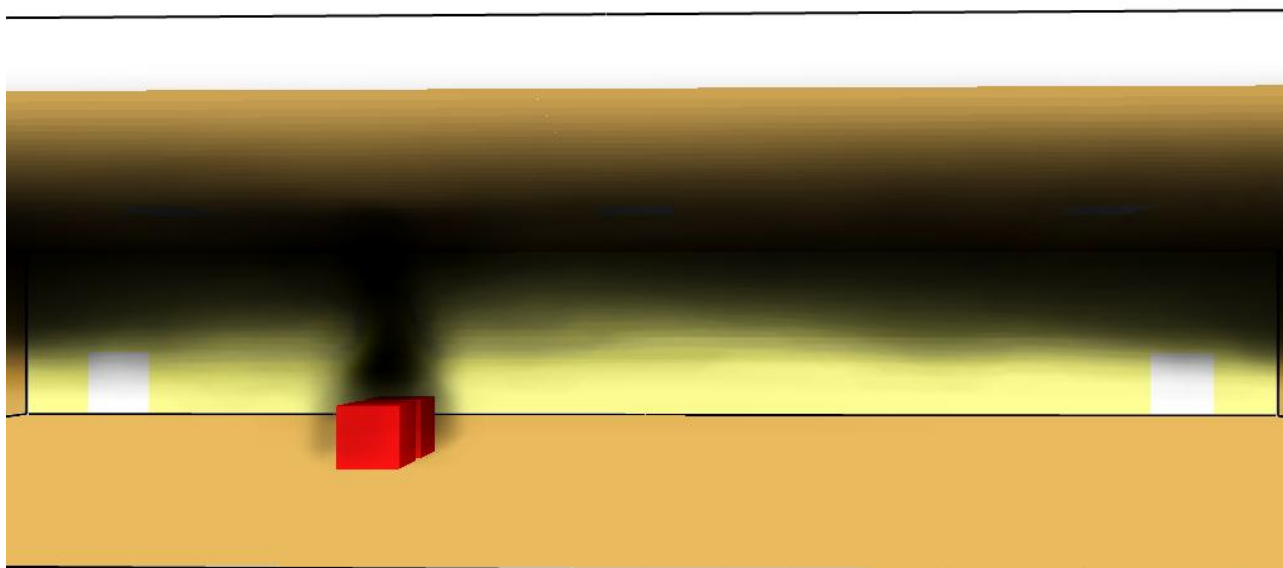


mesh: 1

Frame: 120

Time: 120.0

2. ábra gravitációs szellőzés esetén a füst terjedése a 120s-ban.



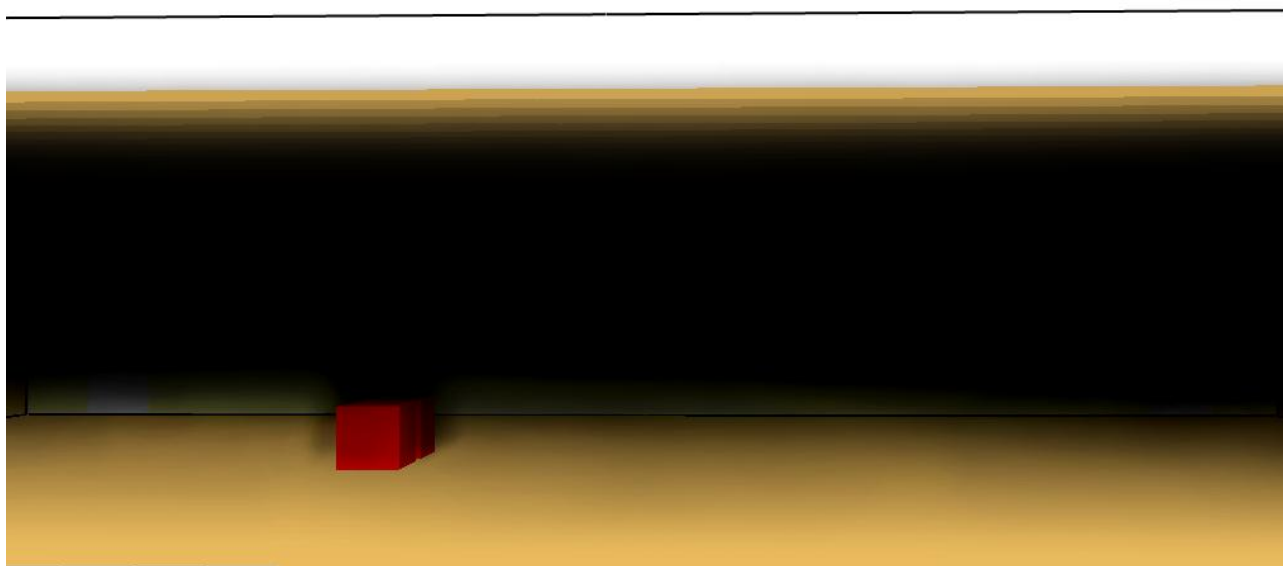
mesh: 1

Frame: 240

Time: 240.0



3. ábra gravitációs szellőzés esetén a füst terjedése a 240s-ban.



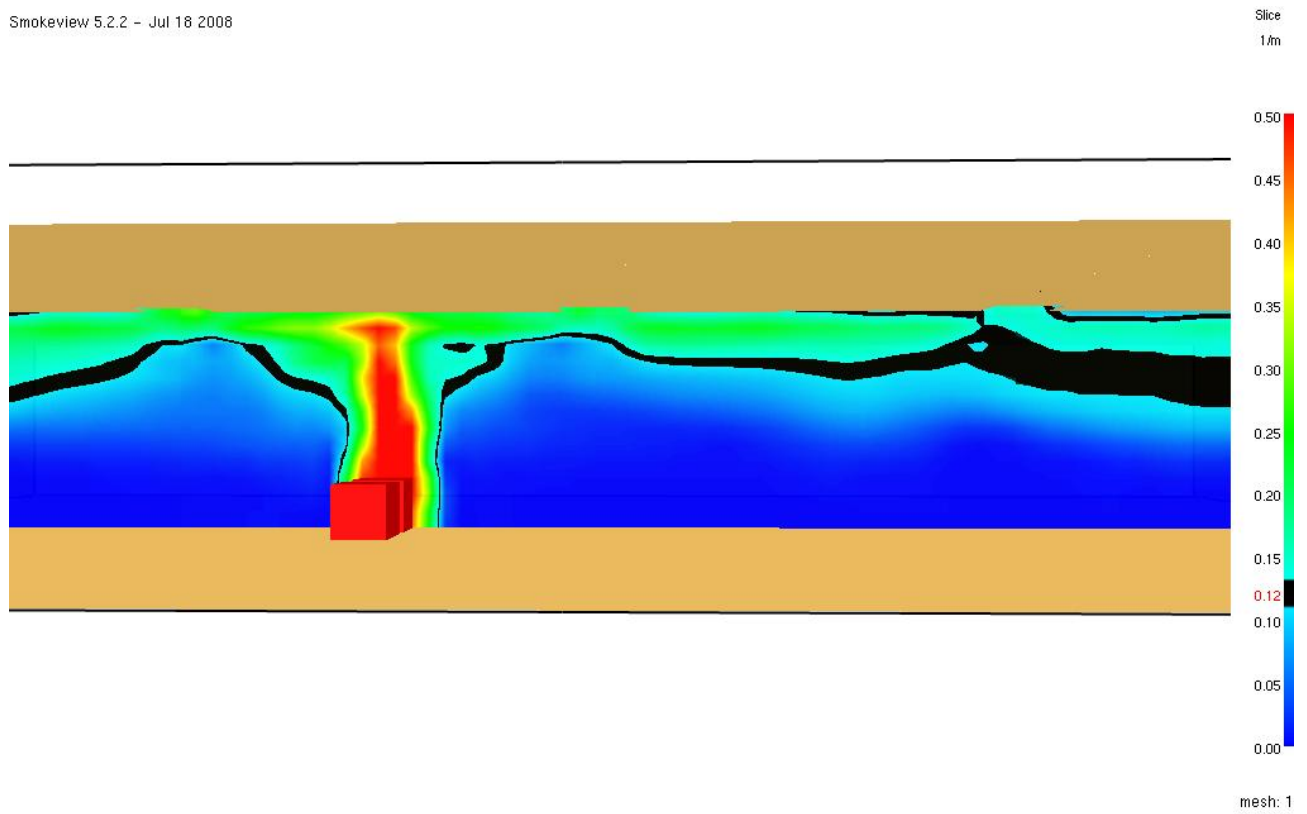
mesh: 1

Frame: 540

Time: 540.0

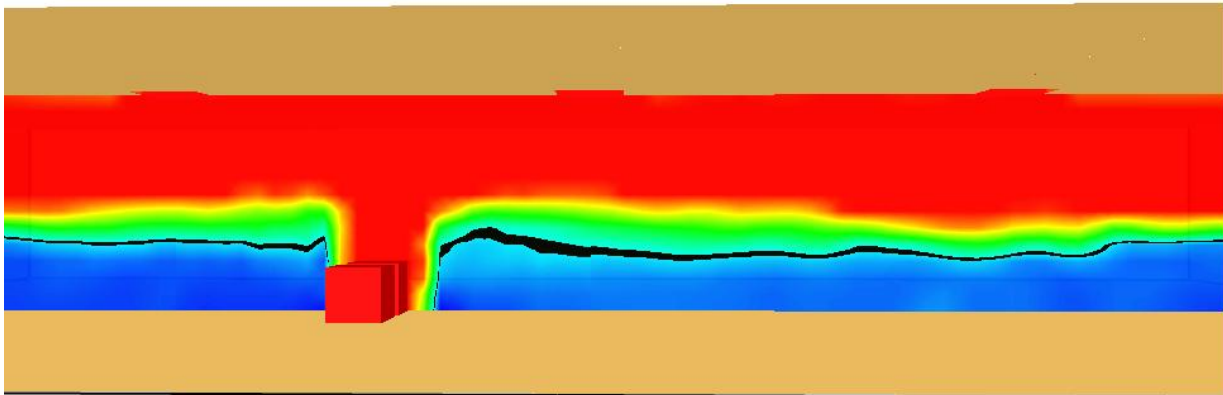


4. ábra gravitációs szellőzés esetén a füst terjedése az 540s-ban.



Frame: 240  
Time: 240.0

5. ábra gravitációs szellőzés esetén az extinkció a raktár hossz tengelyében a 240s-ban

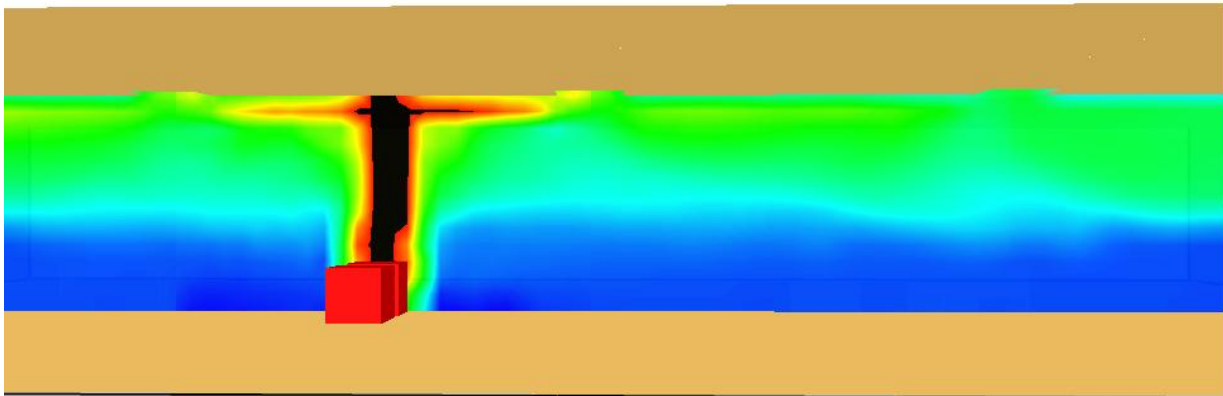


mesh: 1

Frame: 540

Time: 540.0

6. ábra gravitációs szellőzés esetén az extinkció a raktár hossz tengelyében az 540s-ban

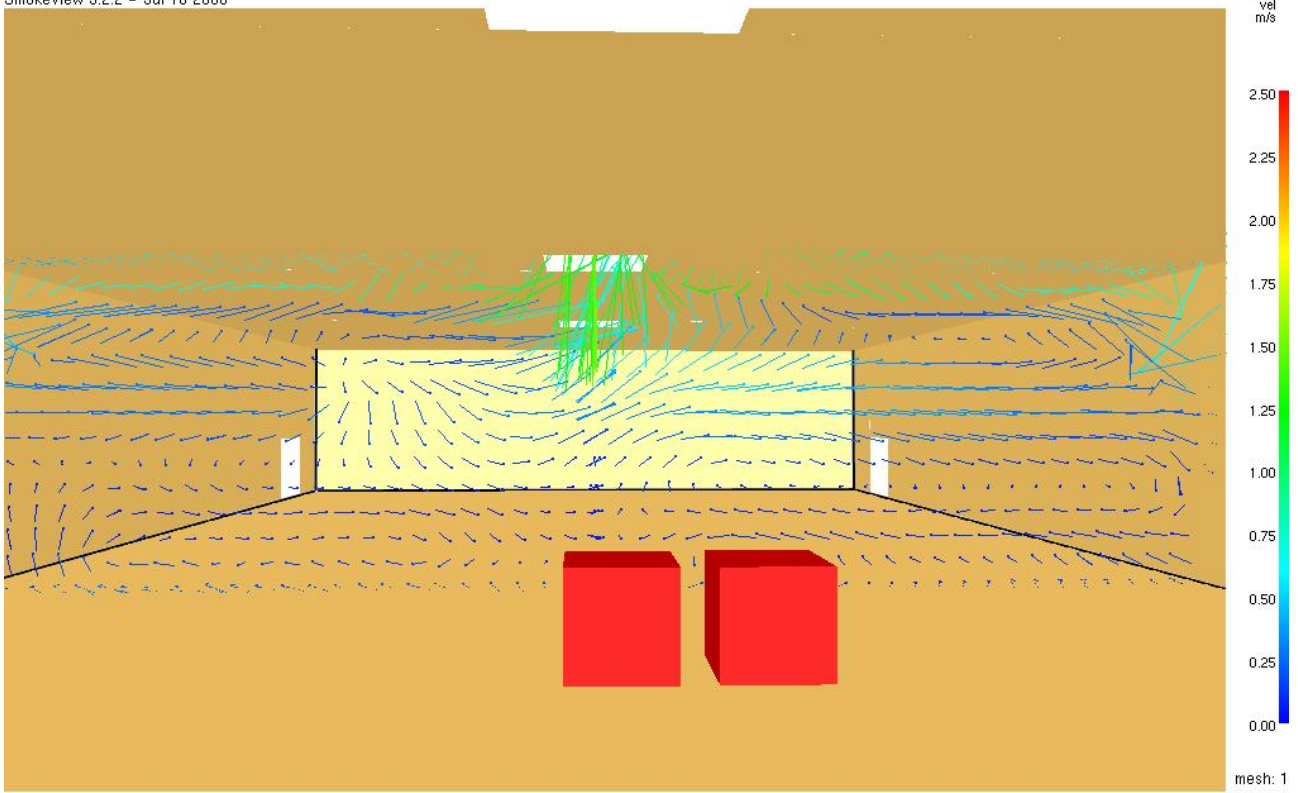


mesh: 1

Frame: 540

Time: 540.0

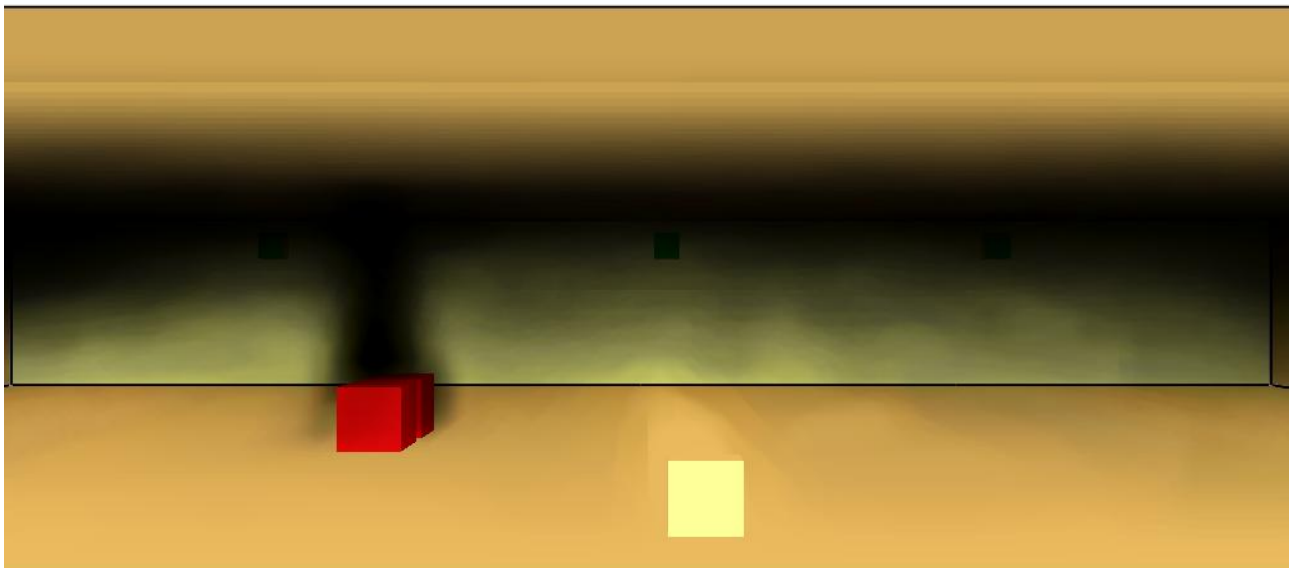
7. ábra gravitációs szellőzés esetén a hőmérséklet a raktár hossz tengelyében az 540s-ban



Frame: 200

Time: 200.1

8. ábra gravitációs szellőzés esetén a sebesség vektorok a raktár keresztmetszetében a 200s-ban

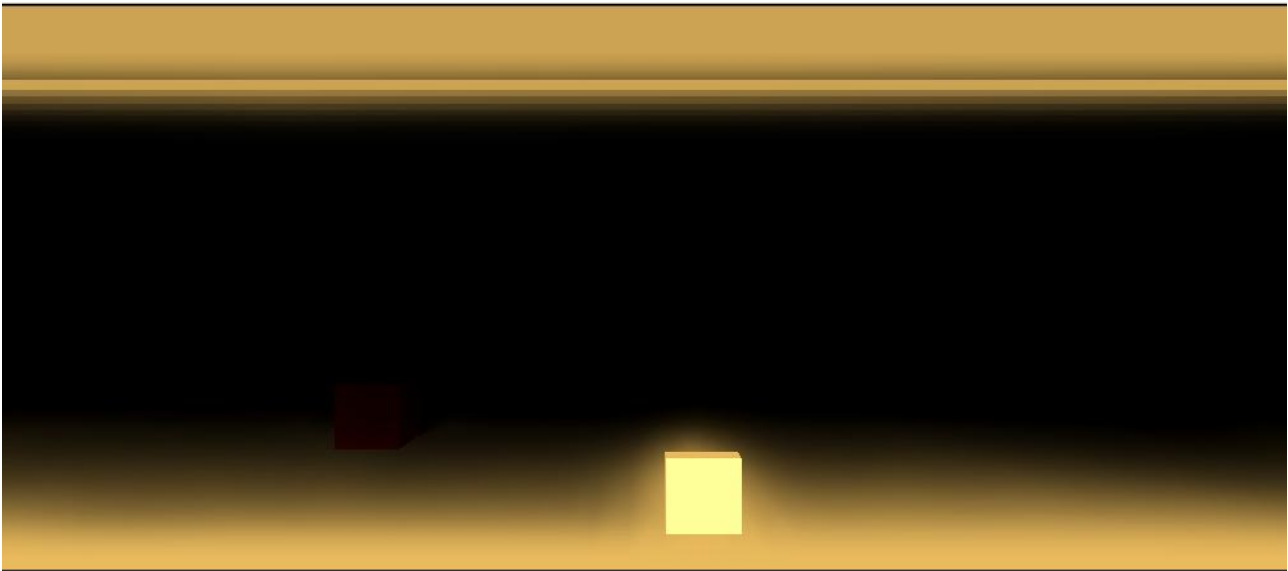


Frame: 240

Time: 240.0

9. ábra gépi szellőzés esetén a füst a 240s-ban



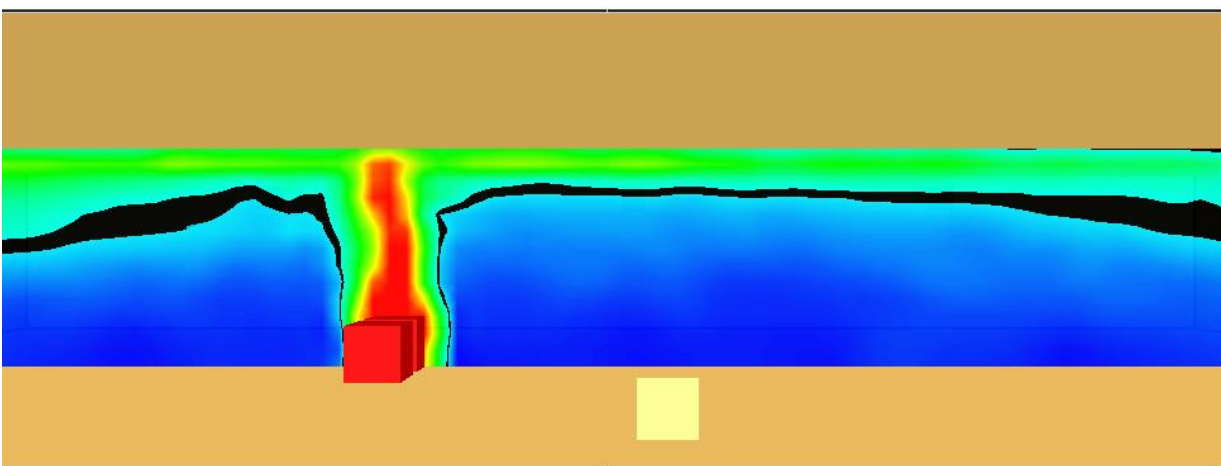


mesh: 1

Frame: 540

Time: 540.0

10. ábra gépi szellőzés esetén a füst az 540s-ban



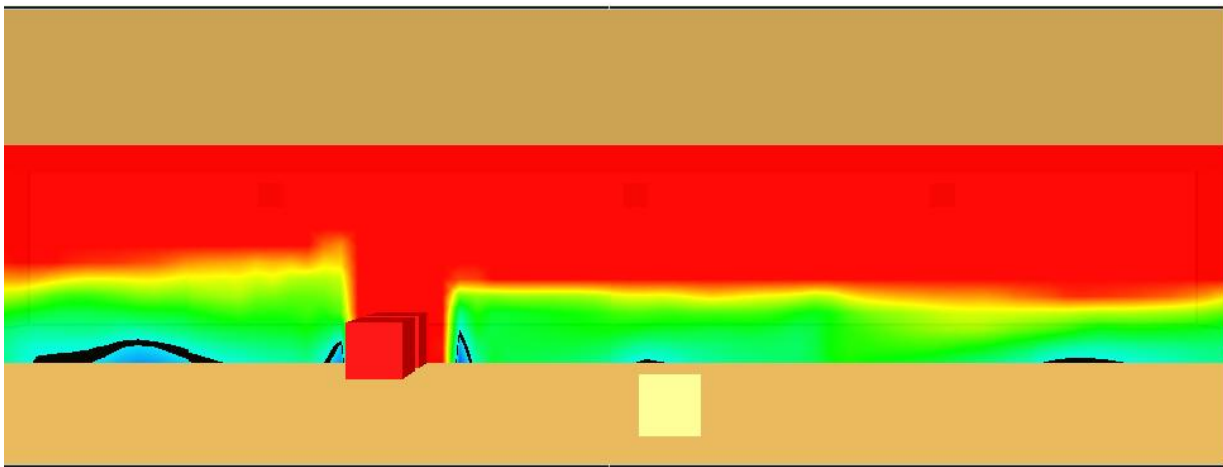
Slice  
1/m

mesh: 1

Frame: 240

Time: 240.0

11. ábra gépi szellőzés esetén az extinkció a raktár hossz tengelyében a 240s-ban



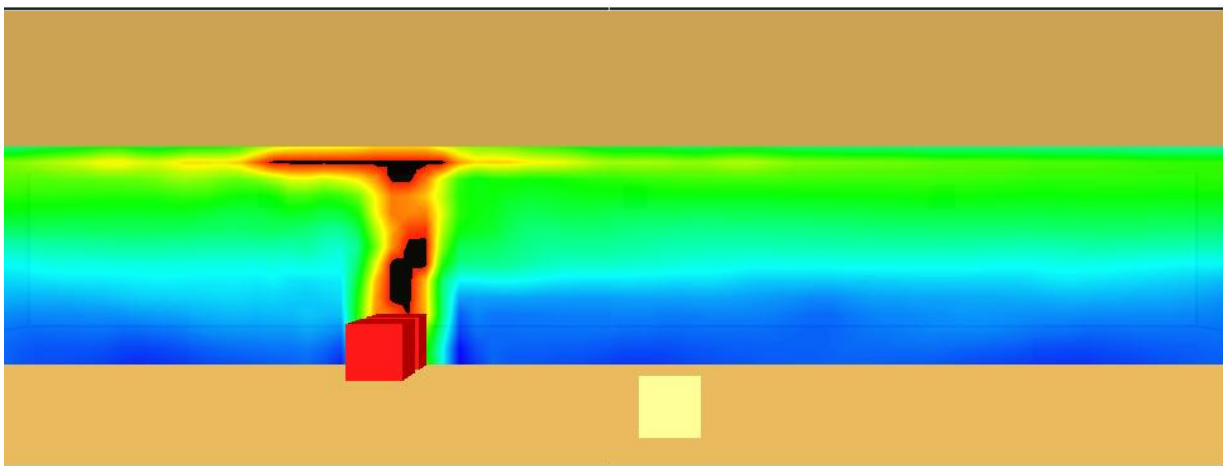
mesh: 1

Frame: 540

Time: 540.0



12. ábra gépi szellőzés esetén az extinkció a raktár hossztengegyében az 540s-ban



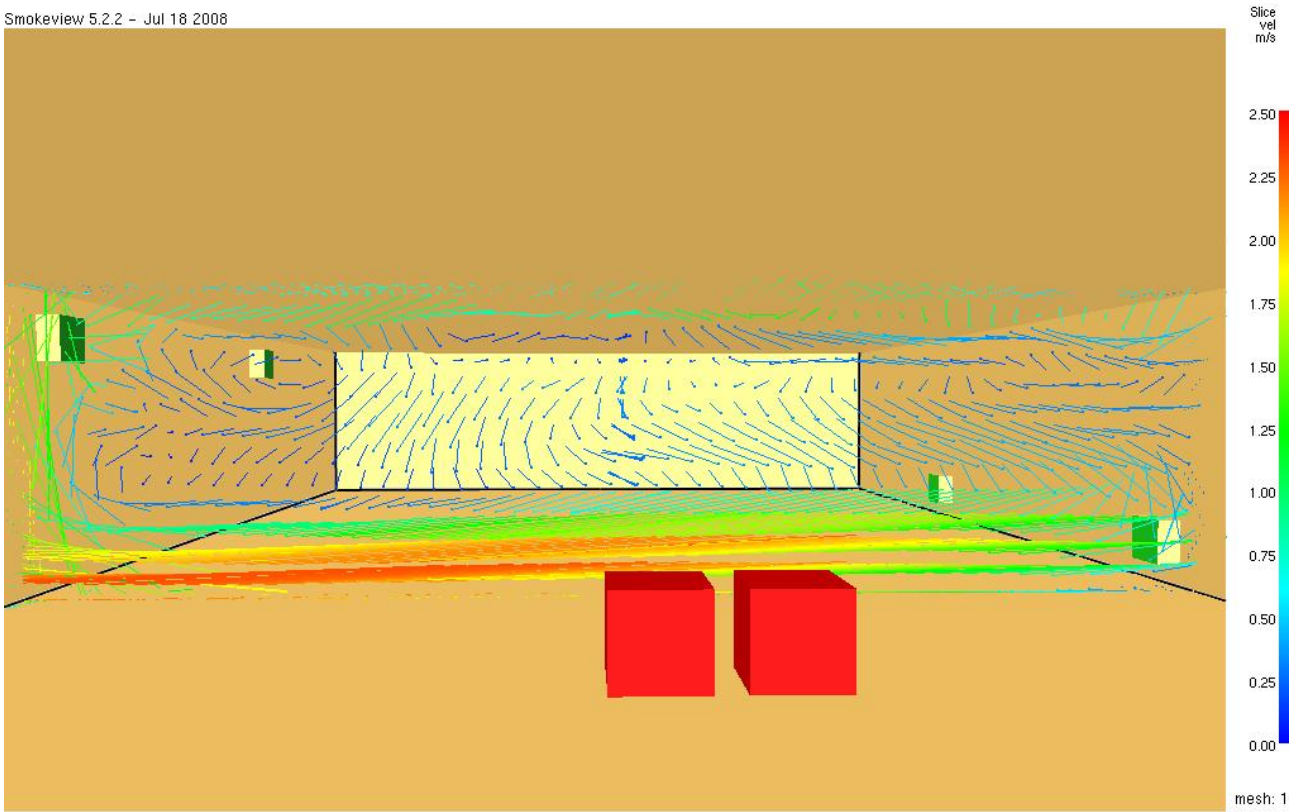
mesh: 1

Frame: 540

Time: 540.0



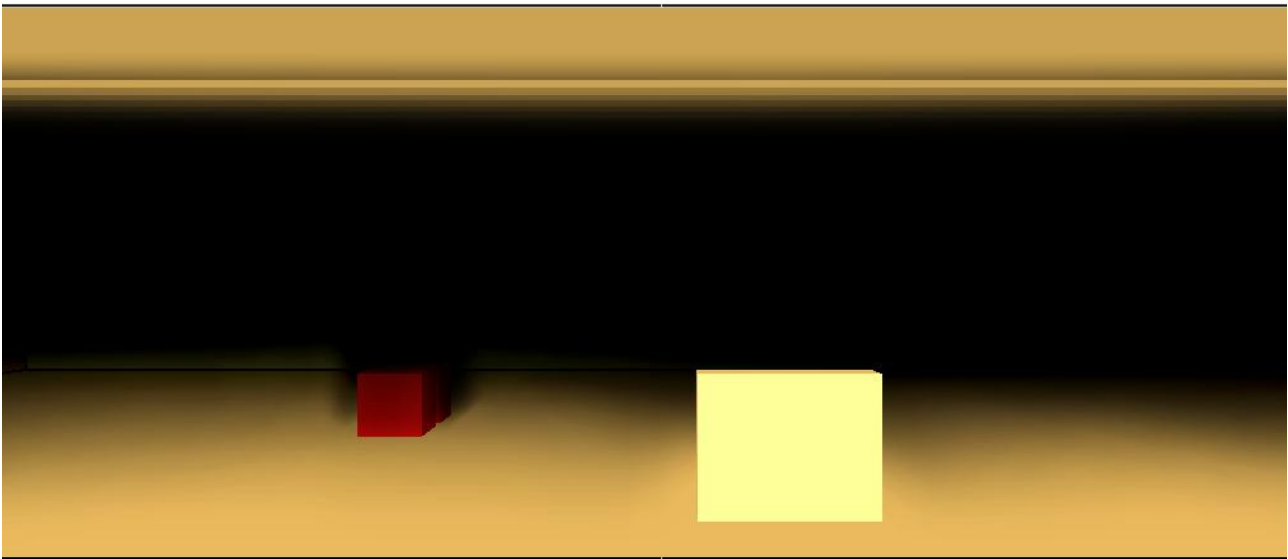
13. ábra gépi szellőzés esetén a hőmérséklet a raktár hossztengegyében az 540s-ban



Frame: 200

Time: 200.0

14. ábra gépi szellőzés esetén a sebesség vektorok a raktár keresztmetszetében a 200s-ban

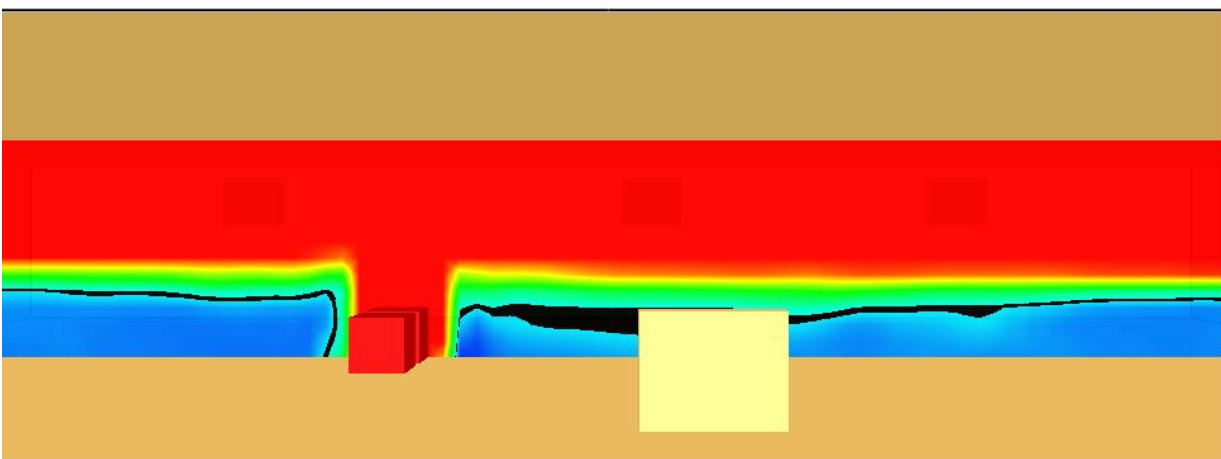


mesh: 1

Frame: 540

Time: 540.0

15. ábra kis sebességű gépi szellőzés esetén a füst terjedés az 540s-ban



Slice  
1m



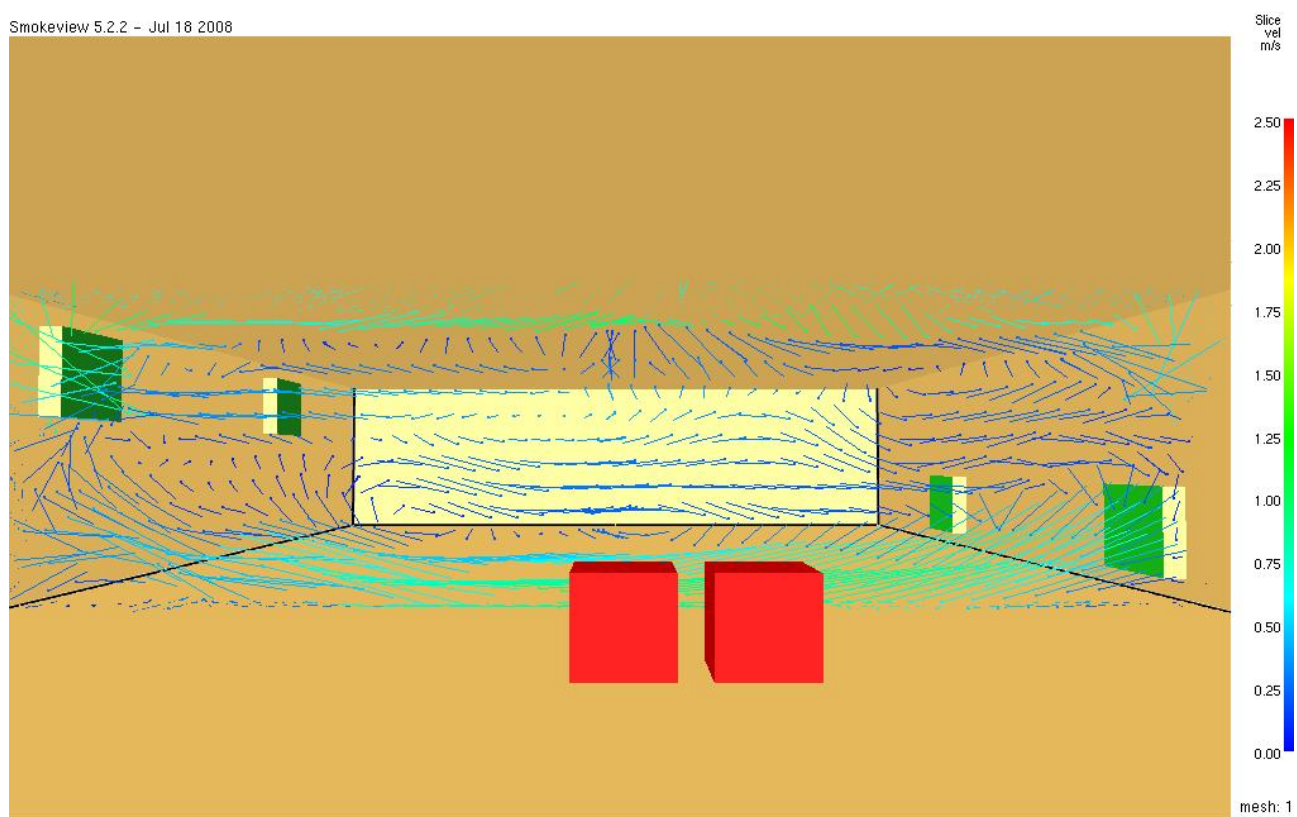
mesh: 1

Frame: 540

Time: 540.1

16. ábra kis sebességű gépi szellőzés esetén az extinkció a raktár hossz tengelyében az 540s-ban

Smokeyview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 200

Time: 200.0

17. ábra kis sebességű gépi szellőzés esetén a sebesség vektorok a raktár keresztmetszetében a 200s-ban