

Szilágyi Csaba

## Tűzvizsgálat számítástechnikai támogatással

A matematikai tűzmodellek egyik felhasználási lehetősége a tüzesetek elemzése. A hagyományos eljárásokban az áramlások, a különböző gázok koncentrációjának vizsgálata, a kialakult hőmérséklet meghatározása okozhat nehézségeket. A modell lehetőséget ad hogy az eddig meg nem vizsgált szempontokat is figyelembe vegyük.

### Fire Dynamics Simulator

Szeretném leszögezni, hogy a számítógép csak a bevitt adatokkal képes dolgozni, így az eredmény a felhasználó felelőssége.

Az elemzéshez a NIST által kifejlesztett Fire Dynamics Simulator (FDS) szoftvert használtam. Ebben az esetben igen egyszerű, -modellezési szempontból- azonban tanulságos tüzesetet vizsgáltam meg. Nyilván a tűzmodell nélkül is megállapítható lett volna a tűz keletkezési oka, és helye, de a példa jól szemlélteti a működést.

### A tüzeset leírása

A tüzeset egy lakó konténerben keletkezett. A konténer külső borítása acéllemez, míg a belső burkolata fából készült. Az alaprajzot, valamint a belső elrendezést az 1.ábra szemlélteti. A meghallgatások alapján tényként volt kezelhető, hogy a lakó a sparhelt begyújtása után a konténert elhagyta. Amikor később kb.  $\frac{3}{4}$  óra múlva visszaérkezett már láng és füst csapott ki a konténer nyílásain. A konténer berendezési tárgyai nem egyenletesen égtek el. A legmélyebb szenesedés a sparhelt melletti sarokban lévő fa szerkezeteken volt tapasztalható. Így a belső fa szerkezeten és a konténer oldalán látható égésnyomok alapján [1.;2. kép] a tűz keletkezési helyét könnyű volt a sparhelt környezetére szűkíteni. A további vizsgálatnak már csak arra kellett választ adnia, hogy a tűz ezen a területen belül hol és hogyan keletkezhetett.



**1. kép** A konténer bejárati oldalán látható égésnyomok. A kép jobb oldalán a sparhelt füstcső nyílása látható.



**2. kép** A két függőleges irányú fa szerkezet a szoba és az előtér helyiségek között húzódó válaszfal tartó szerkezete. A baloldalon a bejárati ajtó felé látható a nagyobb fokú szenesedés.

### A modell

#### 1. A modell alapjai

A tűzmodell melyet felhasználtam egy CFD (Computational Fluid Dynamics) elvű tűz modell, a NIST Fire Dynamics Simulator (FDS) szoftvere és az ehhez a programhoz készült szintén a NIST Smokeview megjelenítő szoftver. A modell matematikai eredményei alapján a Smokeview egy háromdimenziós ábrát hoz létre, mely az előre meghatározott időlépcsőnek megfelelően kép kockákon 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.

A CFD modell lényege, hogy a modellezett tér, épület derékszögű kis méretű számítási egységekre, cellákra bontható legyen. A számítások során a modell az egyes cellák fizikai jellemzőit külön-külön számítja ki, a cellák geometriai középpontjára. Az áramlásokat a cellák falán keresztül vizsgálja, úgy hogy figyelembe veszi a cella belsejében jelen levő forrást, vagy nyelőt. Az ismételt számításokat akár több tízezerszer végzi el, mire a végeredmény megszületik. A rendkívül sok számítás, igen jelentős számítástechnikai erőforrásokat igényel. A számítógép egy-egy modellel akár heteket is dolgozhat, függően annak paramétereitől. A modell a sűrűséggel, a sebességgel, a hőmérséklettel, a nyomással és a különböző anyagok koncentrációjával számol. A főbb matematikai egyenletek a tömeg áram egyenlet, Newton második törvénye és a termodinamika első főtétele.

A modell működését tekintve három részre bontható a hidrodinamikai, az égési, és a hősugárzási modellre. A hidrodinamikai modell a Navier-Stokes egyenletre alapul. Az anyagok égésének kevert, illetve direkt égési szimulációjához szükség van az anyagok hőfelszabadulási sebességére, vagy párolgáshőjére, a gyulladási hőmérsékletükre, sűrűségükre, és az égéshőjükre. A hősugárzási modellben a teljes hullámhossz tartomány 6 sávban kerül számításra, majd a sávok eredményeit összegezve kapjuk meg a beeső sugárzás mennyiségét. A cellába érkező teljes hőmennyiséget pedig, a hővezetéssel és hősugárzással szállított hőmennyiség összege adja.

## **2. A modell kiindulási adatai**

Az FDS számításaihoz szükség van a számítási tér, a bútorok, berendezések geometriájára, a falak, a berendezések, bútorok termodinamikai tulajdonságaira, illetve a szellőzés paramétereire a nyílászárók nyitására, csukódására idejére.

### **2.1. Felbontás**

A tüzeset szimulációjához egy 6,6mX3,6mX3,2m-es teret használtam, amelyet 10X10X10 cm-es egységekre bontottam. Ezek az egységek képezik a számítási cellákat, amelyeknek középpontjaira a számítógép elvégzi a szükséges számításokat.

### **2.2. Szellőzés**

A szellőzés rendkívül fontos tényező a tűz lefolyása során. Az ajtók, ablakok bezáródásának, nyitásának, az üveg törésének időpontja, sarkalatos kérdés. Éppen ezért a tűz modellezésnél is e tényezők kiemelt figyelmet kapnak. A meghallgatások, valamint a konténer ajtaján látható égésnyomok [1.kép] alapján megállapítható volt, hogy a konténer ajtaja valamint az ablakok a tűz fejlődési szakaszában zárva voltak. Az ablakok nyilván a tűz hatására kitörték, de ehhez

már megfelelő hőmérséklet emelkedés és hősugárzás volt szükséges. Az feltételezhető, hogy a legsúlyosabb károsodást szenvedett szerkezeteknek már a tűz első perceiben meg kellett gyulladniuk, ezért a vizsgálat során csak a tűz korai szakaszát elemeztem. Korai szakasznak tekintetem a még zárt, sértetlen nyílászárók melletti tűzfejlődést. Az ablaküvegek törésének időpontjára, így csak a későbbi szakasz elemzése során lett volna szükség.

### 2.3. Anyagok

A modellben szereplő anyagok tulajdonságai:

Fenyő[3]:

- Gyulladási hőmérséklet 320.0 (C)
- Párolgás hő 500. (kJ/kg)
- Sűrűség 450. (kg/m<sup>3</sup>)

Acél [3]:

- C\_DELTA\_RHO: 20. (kJ/m<sup>2</sup>/K)

A padlón lévő szőnyeg [3]:

- Gyulladási hőmérséklet: 290.0 (C)
- Párolgás hő 2000. (kJ/kg)
- Sűrűség 750. (kg/m<sup>3</sup>)

Kárpitozott bútor: [3]:

- Gyulladási hőmérséklet: 280.0 (C)
- Párolgás hő 1500. (kJ/kg)
- Sűrűség 40. (kg/m<sup>3</sup>)

### A berendezések méretei:

Megnevezés	Anyag	Méret
Gáztűzhely	Acél	1m hosszú 60 cm mély 110 cm magas
Konyhaszekrény ajtóval szemben	Fenyő	2m széles 60 cm mély 110 cm magas
Konyhaszekrény válaszfal mentén	Fenyő	1 m széles 30 cm mély 0 cm magas
Sparhelt	Acél	110 cm széles 60 cm mély 110 cm magas
Asztal	Fenyő	120 cm széles 1 m mély 110 cm magas
TV állvány	Fenyő	50 széles 26 cm mély 40 cm magas
Ágy	Kárpitozott bútor	180 cm széles 120 cm mély 30 m magas
Szekrény	Fenyő	120 cm széles 40 cm mély 260 cm magas

[1.számú táblázat]

## VIZSGÁLAT

### Az első eset

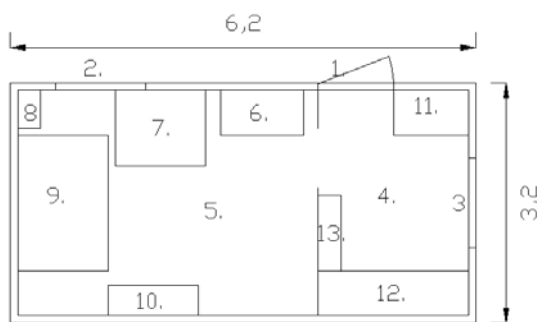
A tűz a legsúlyosabb károkat a sparhelt melletti sarokban, valamint a válaszfalban okozta. A sparheltet éppen a távozás előtt gyújtották be, így a legkézenfekvőbb keletkezési ok a nyílással ellátott, vagy nyitva hagyott hamutér ajtón keresztül kipattanó parázs volt. A parázs az éghető anyagú padlóburkolatra hullva meggyújthatta azt, majd a tűz a szőnyegen tovább terjedhetett a sparhelt felé és a sparhelt melletti falakra.

A vizsgálat kérdése: A szőnyegen a sparhelt előtt keletkezett tűz vajon okozhatta-e a terjedési nyomokat?

## 1. Gyújtóforrás

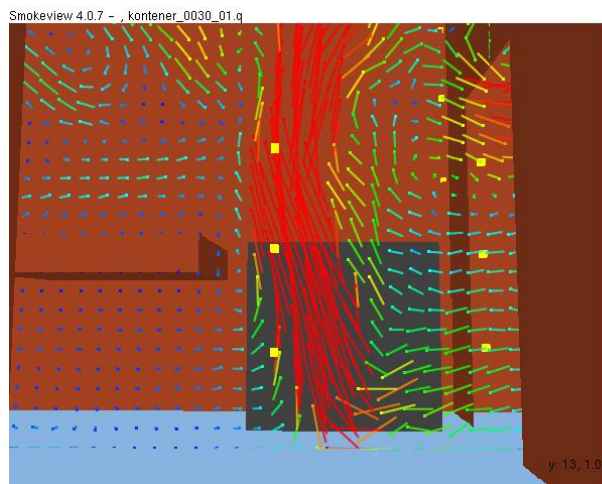
Az FDS-ben gyújtóforrásként több féle megoldás használható. Lehet egy adott hőfelszabadulási sebességgel égő gázláng, és lehet egy adott hőmérsékletű felület, ami hővezetéssel, hőáramlással, hőszugárzással gyulladást eredményez a környezetében. A tűz az első esetben a sparhelt előtt a szőnyegen a kipattanó parázstól keletkezett. A gyújtóforrás egy 30cm X 30cm-es 1000KW/m<sup>2</sup> –es hőfelszabadulási sebességgel égő gázláng, a szőnyegen a sparhelt előtt. Ez nyilván nem a kezdeti állapotot, de a kialakult tűznek egy viszonylag kis területű korai szakaszát tükrözi.

## 2. A tűz terjedése

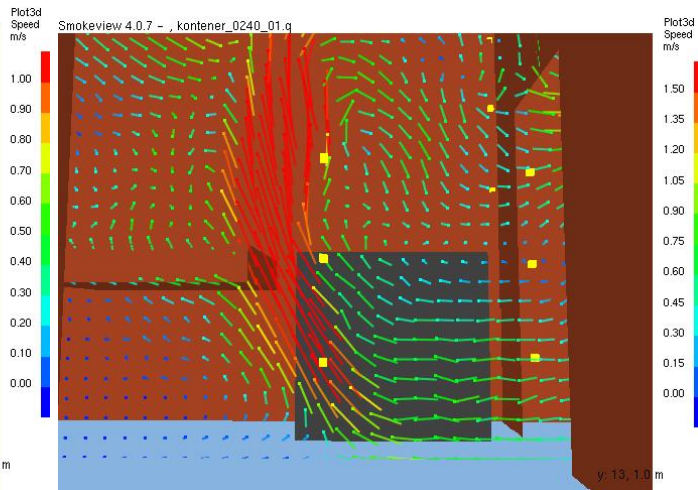


### 1. ábra Alaprajz

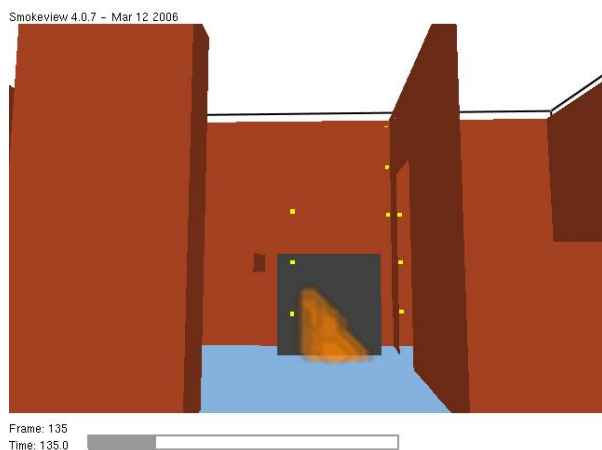
1. Bejárati ajtó
2. Ablak
3. Ablak
4. Előtér
5. Szoba
6. Sparhelt
7. Asztal
8. Tv állvány
9. Ágy
10. Szekrény
11. Gáztűzhely
12. Konyha szekrény
13. Konyha szekrény



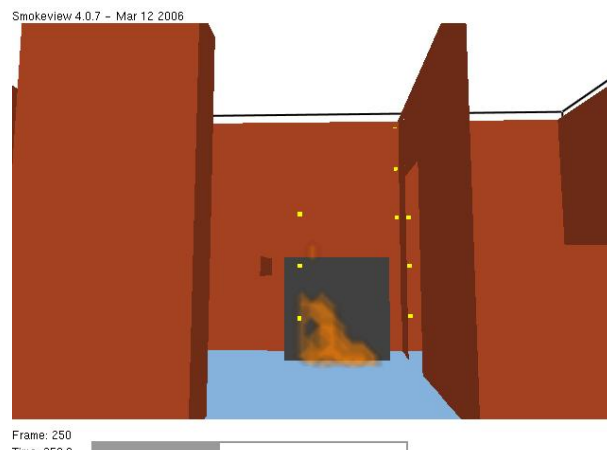
2. ábra A levegő áramlás sebesség vektorai a 30s-ban a sparhelt előtt az ajtónyílás középvonalaiban



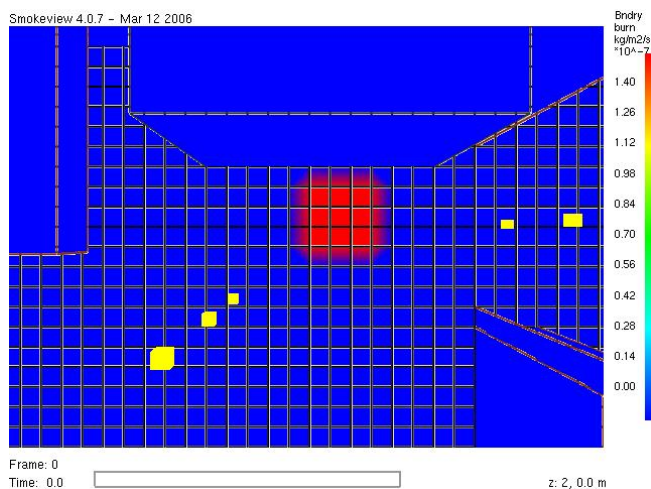
3. ábra A levegő áramlás sebesség vektorai a 240s-ban a sparhelt előtt az ajtónyílás középvonalaiban



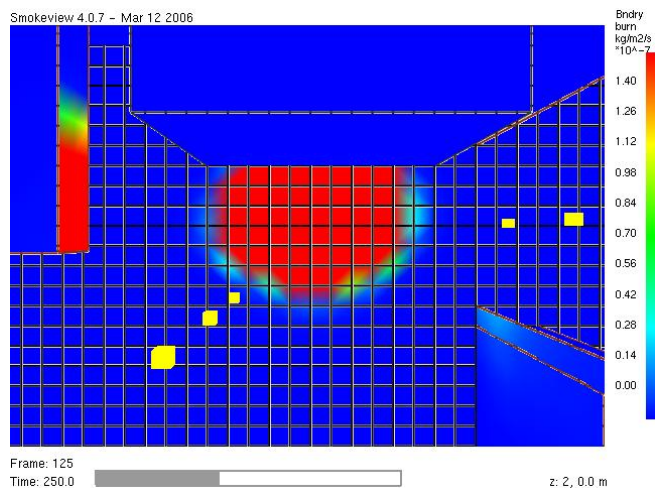
4. ábra A tűz képe az 135s-ban a sparhelt előtt az ajtónyílás középvonalaiban



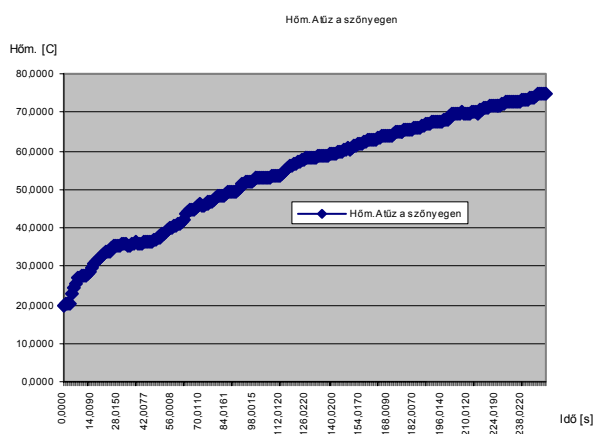
5. ábra A tűz képe a 250s-ban a sparhelt előtt az ajtónyílás középvonalaiban



6. ábra Égési sebesség a szőnyeg felületén a 0s-ban a sparhelt előtt.



7. ábra Égési sebesség a szőnyeg felületén a 250s-ban a sparhelt előtt.



8. ábra A sparhelt melletti sarokban mért falhőmérséklet.

A vizsgálat során megfigyelhető, hogy a tűzre ható légáramlatok eltérő sebességűek [2.;3. ábrák]. Az előtér és a szoba közötti ajtónyílás felől a 30s-ban 0.5 m/s, a 240s-ban 0.75 m/s, a szoba közepe felől jóval kisebb a 30s-ban 0.1 m/s, a 240s-ban 0.15 m/s sebességgel áramlik a levegő a tűz irányába. A közeg mozgásának sebesség vektorai 120s-ig nem mutatnak jelentős változást, azonban a 240s-ban az irányváltoztatás mértéke már számottevő. A láng dőlése a 135s-ban és a 250s-ban is azonos [4.;5. ábrák]. A légáramlatok hatására a 135s-től a tűz, a szoba belső részei felé kezd terjedni. Az égés során, a szőnyeg felületén az égés sebessége a szoba közepe felé kétszer gyorsabban növekszik, mint az ajtó irányába. A kezdeti tűz állapothoz képest az ajtó irányába a 135s-ban 10cm-es a 250s-ban 20cm-es távolságban, a szoba közepe felé a 135s-ban 20cm-es a 250s-ban 40cm-es távolságban az égési sebesség  $1.40 \times 10^{-7} \text{ kg/m}^2\text{s}$  [6.;7. ábrák]. A sparhelt melletti sarokban a 250s-ban a fal hőmérséklete, az eltelt időhöz képest még csak 80 C fok [8. ábra].

Figyelembe véve a terjedési irányt, valamint a rögzített nyomokat megállapítható, hogy ha a tűz a sparhelt előtt a szőnyegen keletkezik, akkor a legnagyobb károsodásokat valószínűleg nem a sparhelt melletti sarokban okozza.

**A tűznek más irányba kellene terjednie????!!!!**

## A második eset

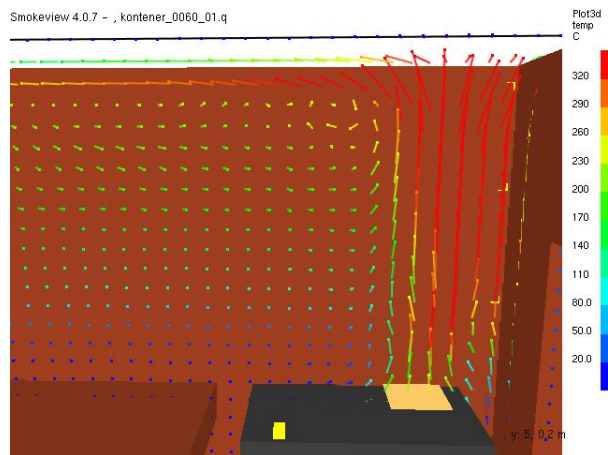
A vizsgálat során rögzítésre került, hogy a konténer előtt a kimentett sparhelt tetején egy edény volt. A meghallgatás nem támasztotta alá, hogy az edény a sparhelten lehetett a tűz idején, de nem volt kizárható sem. Így a következő vizsgálat tárgya a sparhelt tetején az edényben keletkező tüzeset volt.

A vizsgálat kérdése: A sparhelt tetején keletkezett tűz vajon okozhatta-e a terjedési nyomokat?

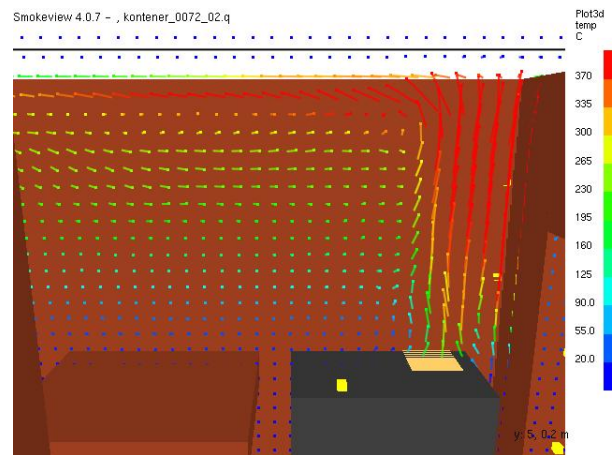
### 1. Gyújtóforrás

A gyújtóforrás az előző esethez hasonló módon, de most a sparhelt tetején volt. Egy 30cm X 30cm-es a  $1000\text{KW/m}^2$  –es hőfelszabadulási sebességgel égő gázláng.

### 2. A tűz terjedése



9. ábra A levegő áramlás sebesség vektorai a 60s-ban a sparhelt tetejének környezetében a válaszfalra merőleges síkban.



10. ábra A levegő áramlás sebesség vektorai a 72s-ban a sparhelt tetejének környezetében a válaszfalra merőleges síkban.

Smokeview 4.0.7 - Mar 12 2006



Frame: 50  
Time: 50.0

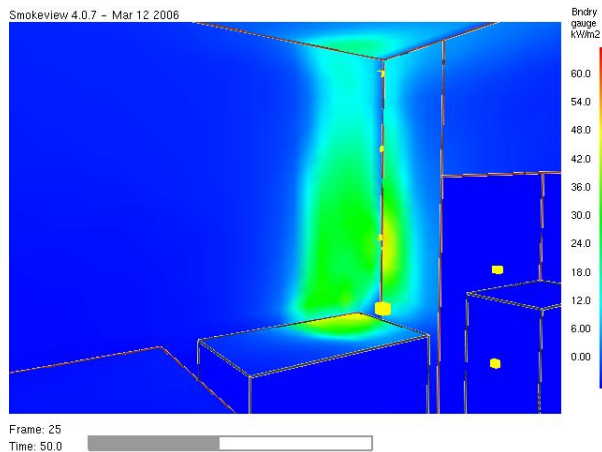
11. ábra A tűz képe az 50s-ban a sparhelt tetején.

Smokeview 4.0.7 - Mar 12 2006

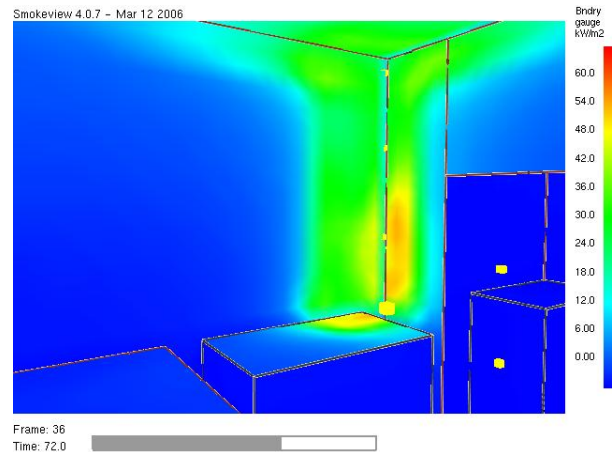


Frame: 72  
Time: 72.0

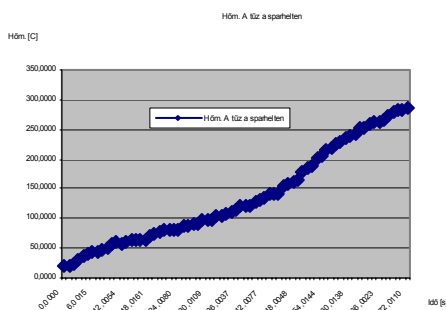
12. ábra A tűz képe az 72s-ban a sparhelt tetején.



13. ábra A sarokban a falfelületre beeső hősugárzás nagysága az 50s-ban



14. ábra A sarokban a falfelületre beeső hősugárzás nagysága az 72s-ban



15. ábra A sparhelt melletti sarokban mért falhőmérséklet.

A tűz környezetéből a tűz felé a 60s-ban 0.5 m/s, a 72s-ban 0.8 m/s sebességgel áramlik a sarok irányába a levegő [9.;10. ábrák]. A 11. 12. ábrákon jól látható, hogy a tűz az 50s-ban a sarok, illetve a válaszfal felé terjed. A 72s-ban, pedig az a terület ég, ahol a legnagyobb károsodások keletkeztek. A sarokban találkozó falfelületeket érő hősugárzás mértéke egyenletes növekedést mutat. A válaszfal felületére érkező hősugárzás az 50s-ban 42KW/m<sup>2</sup>, a 60s-ban 48KW/m<sup>2</sup>, a 72s-ban 60KW/m<sup>2</sup> [13.;14. ábrák]. Megfigyelhető, hogy a sarokban a falaknak egymásra gyakorolt hatása miatt nagyobb a beeső hősugárzás értéke. Ezen a területen a fal hőmérséklete már a 70s-ban 300 C fokra emelkedik [15. ábra].

***A második esetben már röviddel a tűz kialakulása után az a terület ég, ahol a tűz a valóságban a legnagyobb károsodásokat okozta.***

## Összefoglalva

A vizsgálat eredményeképpen megfigyelhető, hogy a kialakuló légáramlatoknak jelentős szerepe lehet a tűz lefolyásában. Az első esetben a légáramlás a tüzet a szoba közepe felé terelte. A terjedés iránya ezáltal csökkentette annak a valószínűségét, hogy a tűz a kihulló parázstól keletkezhetett volna. Az első eset ezért indokoltá tette egy második keletkezési ok vizsgálatát. A második esetben a tűz a sparhelt tetején felejtett edény környezetében keletkezett. Ebben az esetben a tűz terjedését az áramlások számottevően nem befolyásolták. A sarokban találkozó falak egymásra gyakorolt hősugárzása viszont meggyorsította a felületek felmelegedését. A faszerkezet ennek hatására gyorsabban érte el a gyulladási hőmérsékletét, ezért a tűz határozottan a falak találkozásának irányába terjedt tovább.



A két modellt összehasonlítva a terjedési jellemzők valamint a legnagyobb károsodások helye alapján megállapítható hogy a tűz nagy valószínűséggel, a második esetben megfelelően a sparheltlen felejtett edény, illetve az edényben lévő étel túlmelegedésének következménye volt.

Ennek a tüzesetnek a vizsgálata nem használta ki az FDS-ben rejlő lehetőségeket, de az egyszerűsége révén jól áttekinthető a felhasználás néhány módja. Nyilván nem a hasonló súlyú tüzesetek vizsgálati eljárásában kell e programokat használni, de elképzelhető hogy egy-egy nagyobb tüzesetnél meglepő eredményekkel szolgálhatnak. A jelenlegi eljárási formában a tűzvizsgáló pontos adatokat gyűjthet be az anyagokról, tárgyokról, épületekről. A döntését azok elhelyezkedése, tulajdonsága, állapota, valamint a terjedési nyomok alapján hozza meg. Az áramlásokat, az oxigén, illetve a CO koncentrációját viszont nehéz elemezni, pedig ezek is fontos tényezők lehetnek. A szoftver nem oldja meg a feladatot, de segít hogy a vizsgáló olyan tényezőket is elemezhesen, amelyeket egyébként igen nehezen és költségesen vizsgálhatna meg.

Irodalom jegyzék:

- [1]: Kevin McGrattan, Editor. Fire Dynamics Simulator (Version 4) Technical Reference Guide. Nist Technology Administration U.S. Department Of Commerce 2006.
- [2]: Kevin McGrattan, Glenn Forney Editor. Fire Dynamics Simulator (Version 4) User Guide. Nist Technology Administration U.S. Department Of Commerce 2006.
- [3]: Database4.data file of NIST Fire Dynamics Simulator. U.S. Department Of Commerce 2006.
- [4]: Dr. Beda László. Tűzmodellezés, Tűzkockázat Elemzés. Szent István Egyetem Ybl Miklós Műszaki Főiskolai Kar. Budapest 1999.
- [5]: Dr. Beda László. Égés- És Oltás- Elmélet I.. Szent István Egyetem Ybl Miklós Műszaki Főiskolai Kar. Budapest 2001.

Szilágyi Csaba tűzvédelmi mérnök  
Szolnok MVJÖ Hivatásos Tűzoltóság

Lásd VÉDELEM 2007/6. száma