

## **A T ZESETEK SORÁN KÉPZŐDŐ FÜST VESZÉLYEI**

### **Absztrakt**

A tűz elleni védekezés hatékonyságának növelése érdekében a tűzoltók számára is folyamatosan szükség van az égési folyamatok és a keletkezett tüzek tulajdonságainak tanulmányozására. Napjainkban a zárttéri tüzek sajátossága - többek között a jól szigetelt nyílászáróknak, használati és berendezési tárgyaink szintetikus alapanyagának köszönhetően - hogy a tűz során fellépő oxigénhiányos állapot intenzív füstképződést okoz. A tűz helyszínén beavatkozók, vagy a bennrekedt személyek élettani funkcióira a tűz károsító tényezői közül a magas hőmérséklet és a keletkezett égéstermékek toxikussága jelenti a legnagyobb veszélyt. Az általunk választott téma különösen aktuális, ugyanis a fire safety időszakban szinte minden héten hallunk a híradásokból a különféle tüzesetek során keletkező füst emberi szervezetekre gyakorolt káros hatásairól. Az égés folyamatának mind tökéletesebb megismerése, a keletkező égéstermékek vizsgálata napjainkban is fontos kérdés, ezért írásunkban saját szempontrendszer szerint rendszerezve bemutatjuk a különféle anyagok égése során keletkező füstök jellemzőit, külön kitérve az egyes összetevők élettani hatásaira. Kutatásainkkal kívánjuk felhívni a figyelmet a beavatkozások veszélyeire és tapasztalatainkkal segítséget nyújtani a mentési feladatokat végrehajtó szakembereknek.

**Kulcsszavak:** Égés, tűz, füst, égéstermékek, tűzoltói beavatkozások

# THE DANGER OF SMOKES FORMED DURING FIRES

## Abstract

In order to increase the effectiveness of protection against fire, continuous study is required for the firefighters about combustion processes and the properties of the resulting fire. Nowadays, the specificity of closed place fires- due to the good insulating windows and the use of synthetic materials and fixtures- intense smoke formations are caused during the fire. The primer risk for the fire scene responders or trapped persons physiological functions are the high temperature and the resulting toxicity of combustion products. Our chosen subject is particularly relevant, because of the reports of the news about harmful effects arising from the impact of the various fires. Various materials and fumes characteristics generated during combustion including its specific physiological effects of the individual components are systematically introduced in this article, for improved understanding of the combustion process, analysis of the resulting combustion products. We wish to draw attention to the dangers of interventions and to assist in executing backup jobs for professionals.

**Key words:** Burnings, fire, smoke, fumes, fire fighting

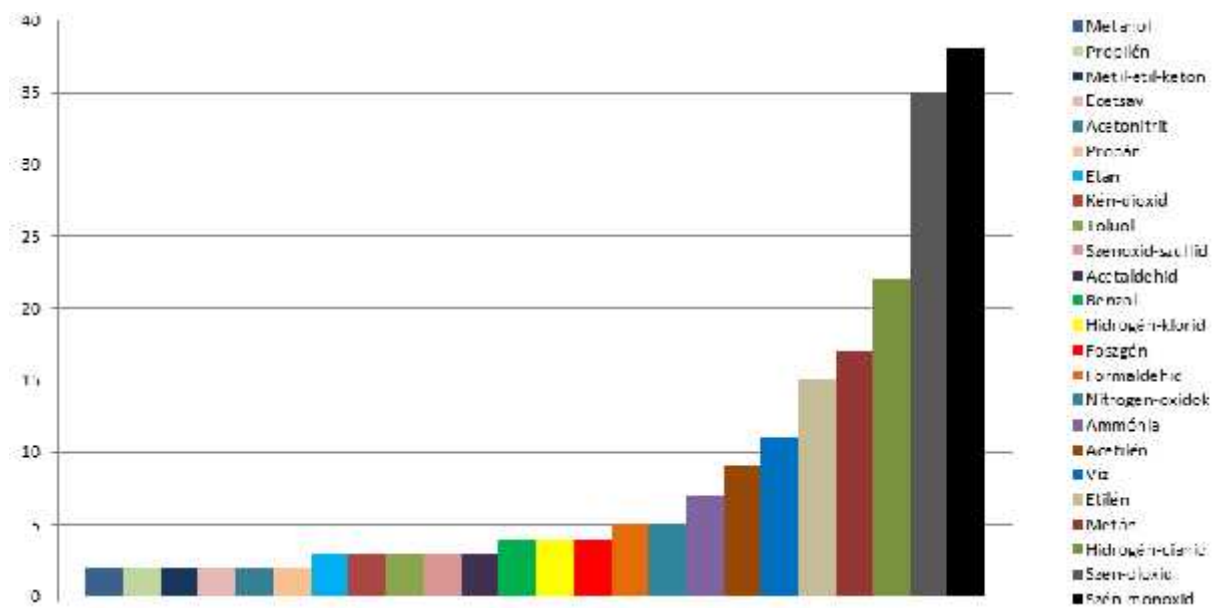
## 1. BEVEZETÉS

Nem telik el úgy egyetlen nap sem, hogy ne kapnánk tájékoztatást valamely médiából különféle t zetek okozta károkról. A tüzeket legtöbb esetben intenzív égéstermék képz és kíséri, amely a humán és épített, valamint a természeti környezetre is káros hatást fejt ki. Az ég anyag fajtája, min sége, valamint az égés helyszíni feltételei nagyban befolyásolják az égési folyamatot, ezáltal az égéstermékek képz ését is. Sajnos jelen cikk terjedelmi korlátai nem teszik lehetővé, hogy a különféle tüzek során keletkez összes égésterméket, azok élettani és környezeti hatásait részletesen vizsgáljuk, ezért csak az egyik égéstermék, a füst jellemz it, az általa okozott veszélyeket elemezzük. Témaválasztásunk aktuális, ugyanis a technikai fejl ésnek köszönhetően folyamatosan új összetétel anyagok vesznek körül minket, így azok égési jellemz inek megismerése fontos feladat. Írásunkban a témával kapcsolatos kutatási tapasztalatainkat osztjuk meg, fel kívánjuk hívni a figyelmet a káros

égéstermékek, különösen a füst által jelentett veszélyekre, a t z által érintett személyek és a t zoltók egészségének megóvásának fontosságára.

## 2. A FÜST FIZIKAI, KÉMIAI JELLEMZŐI, VESZÉLYEI

Az éghető anyag égése során keletkező szilárd, cseppfolyós és gáznemű anyagokat égéstermékeknek nevezzük, amelynek összetétele a kiinduló anyag kémiai összetételétől, az égéshez rendelkezésre állt oxigén mennyiségétől és az égés körülményeitől függ. A gáznemű oxidok képezik az égési gázok (füst) fő alkotórészeit. A füst a gáznemű közegben lévő nagyon kicsi szilárd részecskék eloszlása. Ezen szilárd részecskék mérete  $10^{-5}$  m és  $10^{-8}$  m között mozog. A szilárd részecskék koncentrációja  $\text{kg/m}^3$ -ben, vagy az adott egységnyi füst részecskeszámával jellemezhető. A széles határok között mozgó súlykoncentráció, amely a tízedrészről (0,1  $\text{kg/m}^3$ ) a  $(6-7) \times 10^{-3}$   $\text{kg/m}^3$  (0,006  $\text{kg/m}^3$ ) határig terjed, ami  $1 \times 10^{-6}$   $\text{m}^3$  (1  $\text{cm}^3$ ) füstben néhány milliárdnyi szilárd részecskét jelent. A nagyobb átmérőjű részecskék korom, hamu és pernye formájában kiválnak a füstgázokból. A füstfelhő helyzetváltoztatását alapvetően a légmozgás szabályozza, ennek hiányában pedig kizárólag a helyszínen kialakuló hőáramok befolyásolják. [1] Az éghető anyagok fajtájától függően egy esetleges tüzés során különféle égéstermékek keletkeznek. Az 1. sz. ábrán látható diagram a különböző tüzek vizsgálatakor keletkezett égéstermékek gyakoriságának eloszlását mutatja.

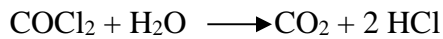


1.sz. ábra. A tüzek során keletkezett égéstermékek gyakoriságának eloszlása.

(Forrás: [2] adatainak kiegészítésével a szerző saját ábrája)

Amennyiben az éghető anyag szént (C), nitrogént (N) és oxigént (O<sub>2</sub>) tartalmaz, úgy többségében szénhidrogének, alkoholok, aldehidek, ketonok és szerves savak képződnek a hő bomlásos oxidáció eredményeként. Ha azonban az éghető anyag a felsoroltakon kívül klórt (Cl) vagy nitrogént (N), vagy ezek vegyületeit is tartalmazza, akkor a füstben kimutatható lesz többek között a hidrogén-klorid (HCl), vagy a hidrogén cianid (HCN), az ammónia (NH<sub>3</sub>), amelyek a légző szervekre igen káros anyagok [3]. A humán és a természeti környezetre az egyik legnagyobb terhelést a műanyagok égése jelenti, amennyiben az nem szabályozott formában történik. Sajnos Magyarországon a fűtési szezonban egyre több háztartásban a hulladékokat is elégetik, nem mérve fel annak káros hatásait. Amennyiben a műanyagok a tüzelőberendezésekbe kerülnek, maradandó károsodást okoznak a tüzelőberendezésekben, az égéstermék elvezető rendszerekben. A keletkező, majd környezetbe jutó égéstermékek súlyos egészségkárosító hatásúak. [4] A műanyagok égése összetett kémiai folyamat. Szerkezetüktől függően lehetnek kis és nagy, azaz makro-molekulájú vegyületek. A műanyagok égésekor az égés különböző fázisai, felmelegedés, hő bomlás, belobbanás, égés egyidejűleg vannak jelen a műanyag különböző rétegeiben. A kismolekulájú vegyületek fajtától függően elpárologva a levegővel közvetlenül alkotnak gyulladó-képes elegyet, vagy szilárd formában oxidálódnak. A műanyagok makro-molekuláinak ezzel szemben első lépésben fel kell bomlaniuk kismolekulájú vegyületekké, hogy az égési folyamat megindulhasson. Az égést kokszképzés kíséri, a kokszosodás mértéke nagyban függ az égés körülményeitől. A műanyagok többségének égésekor két zóna keletkezik. Első a gázfejlés zónája (pirolíziszóna), második pedig a kokszos zóna (a felület és a pirolíziszóna között). [5] A műanyagok leggyakrabban kőolajszármazékokból szintetikus úton előállított szerves óriásmolekulákból álló vegyületek. A felhasználói igényeknek megfelelő tulajdonságaikat (hajlékonyság, ütésállóság, tartósság, különleges színek, stb.) az alapanyagba juttatott különféle adalékokkal érik el. Számos különféle műanyag ismert, bármelyik elégetése során több, súlyos egészségkárosító hatású és a környezeti elemekre veszélyt jelentő vegyület keletkezik, de az összes közül a PVC elégetése jelenti a legnagyobb kockázatot, ezért ezt a folyamatot részletesen elemezzük. A PVC, poli(vinil-klorid) használatát az Európai Unió számos országában erősen korlátozták, vagy betiltották. Magyarországon azonban napjainkban is széles körben használják a PVC-t, vízvezeték- és szennyvíz elvezető csövek formájában, elektromos kábelek szigetelő anyagaiként, padlóburkolatok, bútorburkolatok előállítására, továbbá háztartási eszközök készülnek belőle. A PVC elégetése során az anyagból grammonként akár 2 milligramm foszgén (COCl<sub>2</sub>) is keletkezik, mely az egyik legveszélyesebb gáz, súlyos egészségkárosító hatású. [5] A foszgén (COCl<sub>2</sub>) szintelen, dohos szénára emlékeztető szagú,

fojtó hatású gáz, erős mérgező. Az I. világháború során használták fojtó hatású vegyi harcanyagként. Vízzel könnyen hidrolizál, apoláris oldószerekben jól oldódik. [6] Égetés során a levegőből kicsapódó párával is reakcióba lép, melynek során sósav keletkezik, amely szintén mérgező vegyület. A kémiai reakció lejátszódását a következő egyenlet tartalmazza:



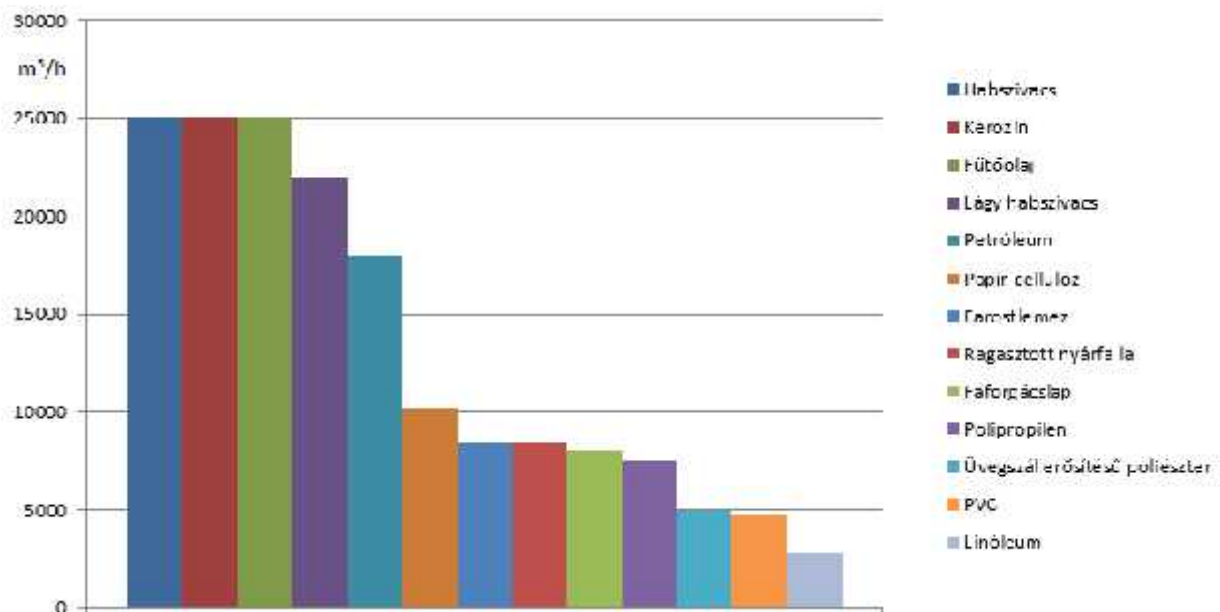
Mennyiségek tekintetében elmondható, hogy az elégetett PVC származék minden 5 grammja olyan mértékben szennyez egy köbméter levegőt, hogy az biztosan károsítja az emberi szervezetet. Szerves anyagok égésekor, legfőképpen amikor nem áll rendelkezésre az égéshez elegendő oxigén, a szén veszélyes égéstermék, szén-monoxid (CO) keletkezik. A 0,4 tömeg%-os szén-monoxid tartalmú levegő 5 percen keresztül történő belégzése halálos.<sup>1</sup> Esméletvesztést és halált okoz a szén-dioxid<sup>2</sup> (CO<sub>2</sub>) túlzott jelenléte is, mivel az oxigén koncentrációját 10 tömeg% alá csökkentheti.

Az előbbieken bemutattuk a különféle anyagok égése során keletkező füst jellemzőit. Az alábbiakban az égés során keletkező füst mennyiségét, összetételét vizsgáljuk. A következő ábrán (2. sz. ábra) az azonos mennyiségű, de különböző fajtájú éghető anyagok égése során keletkező füst mennyisége látható. A füstfejlés mennyiségileg és minőségileg is új veszélyt hozott a szintetikus anyagok elterjedésével.

---

<sup>1</sup> A szén-monoxid belélegezve a tüdőn keresztül gyorsan a vérkeringésbe kerül, és körülbelül százszor erősebben kötődik a vörösvértest oxigént szállító részéhez, a hemoglobinhoz, mint az oxigén. Így a szén-monoxid az oxigénmolekulák helyébe lép a vörösvértestekben, és a sejtek oxigénhiányos állapotát okozza.

<sup>2</sup> A szén-dioxid is káros az egészségre, ha koncentrációja levegőben a szokásos 0,039%-ról 4-5%-ra emelkedik, szaporább és mélyebb légzés alakul ki, 20% felett légzésbénulás következik be. Mivel a szén-dioxid nehezebb az oxigénnél, ezért lentől tölti ki a gázteret felhígítva a levegőt, ezáltal csökkentve az oxigén térfogatszázalékát.

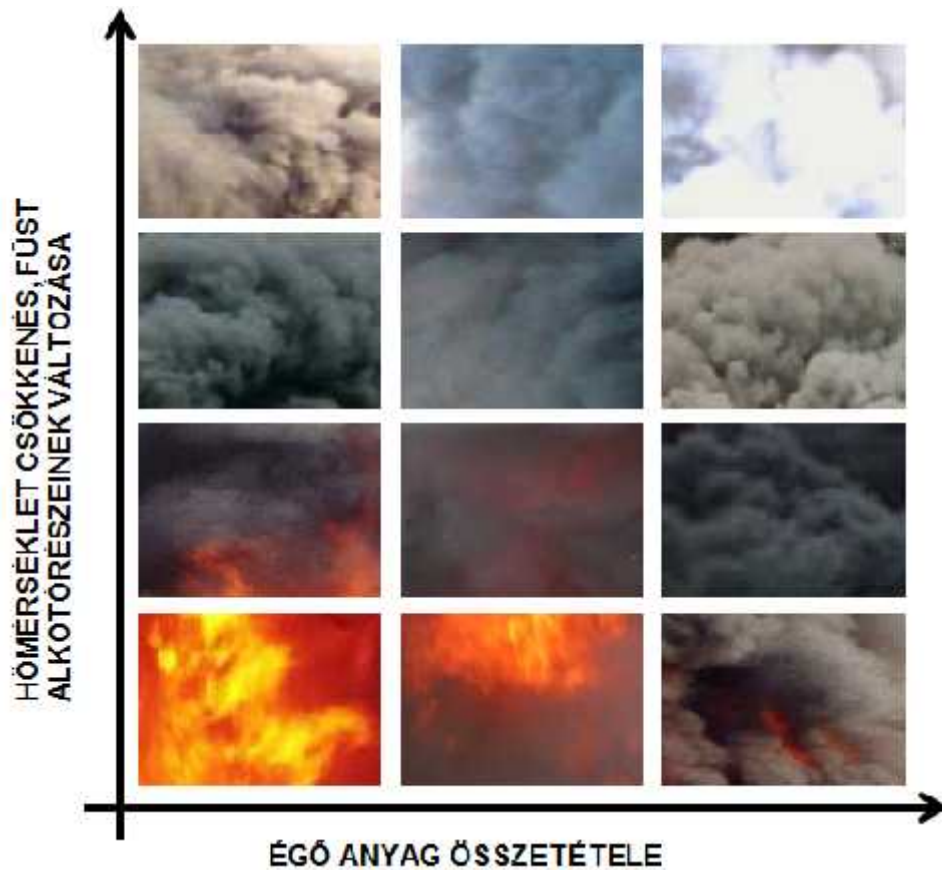


2. sz. ábra. Keletkezett füst mennyisége, (Forrás: [2] adatainak kiegészítésével a szerző saját ábrája)

Az egyre jobb hőszigetelés nyílászárók alkalmazásával fellép oxigénhiány miatti tökéletlen égés tovább fokozza a füst mennyiségének keletkezését. Zárttéri körülmények között előforduló tökéletlen égés esetén azonban az égéstermék további éghető anyagokat tartalmaz mind szilárd (korom), mind pedig gáznemű halmazállapotban, melyeket az előzőekben ismertettünk. A diszperz rendszerben lévő szilárd részecskék milyensége és mérete határozza meg a füst átláthatóságát. A zárt helyiségekben keletkező tüzekre jellemzően a füstképzés jelentősen megnehezíti a tűzoltók munkáját, és csökkenti a bennrekedt személyek túlélési esélyeit. A forró füstgázok égési sérüléseket okozhatnak, diszperz rendszerük jelentősen rontja a látási viszonyokat, toxikus és maró hatású alkotóelemeik egészségkárosodást okozhatnak. Ilyen körülmények között komoly nehézséget jelent a mentésben és az oltásban résztvevőknek a bajbajutott személyek kimenekítése, a tüzterjedés irányának megállapítása, továbbá a tüzfészek pontos helyének meghatározása. [7]

Nagyobb térben vagy lassú égésnél (esetleg parázslásnál) a felső réteg relatíve hideg, esetleg a felső réteg nem is alakul ki (hiszen éppen a nagy hőmérsékletkülönbség az, ami a szerinti rétegződést eredményezi). Ilyen esetben az égéstermék toxikussága, és nem a magas hőmérséklet lesz az a tényező, amelyik a zárt tér elviselhetetlenségét okozza. A toxikus hatással egyébként számolni kell olyan zártterekben is, ahol bár égés nincs, de a füst oda terjedése lehetséges. [8]

A t zoltásnál nagy segítséget nyújthat az égéstermék ismerete. A felderítés alkalmával általában már a füst színéb l lehet következtetni arra, hogy milyen anyagok égnek, milyen fázisban van a t z, segítve ezzel a gyorsabb beavatkozást. Az ég anyagok összetételének és a füst színének összefüggéseit a következ ábra szemlélteti.



3. sz. ábra. Az ég anyagok és a füst színének összefüggései (Forrás: t zsetekr l készült fényképek felhasználásával a szerz k saját ábrája)

A szín alapján továbbá információt kapunk arról is, hogy a füstben milyen mérgező elemek találhatóak az alábbiakban felsoroltak szerint.

- Fekete színű füst: Kormot tartalmaz, az éghető folyadékok, gumi, valamint m anyagok tüzeinél keletkeznek. Veszélyes anyag összetételük nagyon komplex.
- Világos füstgázok: A víztartalmú anyagok égése során a víz g zzzé válik, így az ilyen füst nedves anyagra és rövid égési időre utal. Fő veszélyei: szén-monoxid (CO) és szén-dioxid (CO<sub>2</sub>) keletkezése.
- Fehér füstgázok: A s r fehér füst foszforra utal, amihez lúgszerű szag társul. Nagyon mérgező.

- Vörösesbarna füstgázok: Nitrózus gázokra utal. Pl. NO<sub>x</sub>. Rendkívül veszélyesek.
- Sárga füstgázok: Kén vagy kéntartalmú anyagok égésre utal! Ezek a gázok is veszélyesek.

A füstöket elemezve egyértelműen elmondható, hogy koncentrációtól függően minden t z füstje halálos lehet.[9] Gyakorlati tapasztalataink egyértelműen igazolják, hogy épülettüzek esetében az emberi életre legnagyobb veszéllyel a füstképződés jár. A füst terjedési sebessége zárt téri tüzek esetén gyorsan történik. Megfigyelések alapján elmondható, hogy középmagas és magas épületekben az alsó szinteken keletkezett tüzek esetében a keletkezés idejét l számítva 15-20 perc elteltével a lépcsőház teljes magasságban füsttel telítődött, melynek következtében az ott tartózkodás légzésvédelmi felszerelés nélkül lehetetlen. Amennyiben a füstképződéssel összefüggő káros tényezőket elemezzük, akkor azt tapasztaljuk, hogy a helyzet kissé eltér a magas hőmérséklet okozta veszélytől. A hőmérséklet behatárolt, ugyanis soha nem emelkedik egy bizonyos maximális érték fölé, de füst mindaddig képződik, amíg az égés tart. Az, hogy mekkora füstkoncentrációt képes az adott élő szervezet elviselni, az égési körülményektől és az égő anyag fajtájától függ.

### 3. ÖSSZEGLZÉS

A t z élő szervezetre gyakorolt károsító hatásai közül írásunkban az égéstermékek, különösen a keletkezett füst veszélyeivel foglalkoztunk. A füst veszély az épületben maradtak számára t z b l származó füst, amely a bennrekedt személyek menekülését, valamint a beavatkozó egységek tevékenységét jelentősen akadályozza. Az oxigén térfogatszázalékának csökkenésével a t z által érintett helyiségben a láthatóság is jelentősen csökken, a toxicitás és a hőmérséklet pedig jelentősen növekszik. Fontos feladat tehát az égés során keletkező égéstermékek, azon belül a füst fizikai, kémiai tulajdonságainak, káros hatásainak megismerése. Kutatásainkkal a t zoltói beavatkozásokat végző szakemberek tevékenységét kívánjuk segíteni.



## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Zólyomi Géza: Mobil ventilátorok alkalmazási lehetőségei zárttéri tüzek oltási folyamatában, doktori PhD értekezés, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2010
- [2] Bellus László: A tűzjelzés fizikája I., Védelem, Katasztrófa-és Tűzvédelmi Szemle, ISSN 1218-2958, IX. évf. 4. sz., 2002, 25-27. p.
- [3] Heizler György: A tüzesetekből származó füst és hatása az emberekre, Védelem, Katasztrófa-és Tűzvédelmi Szemle, ISSN: 1218-2958, XI. évfolyam 3. szám, 2004, 7-10. p.
- [4] Kuti Rajmund, Zólyomi Géza: Vegyes tüzelésű fűtőberendezések használatának kockázatai, VÉDELEM ONLINE: TŰZ- ÉS KATASZTRÓFAVÉDELMI SZAKKÖNYVTÁR, (2016) pp. 1-7. URL: <http://www.vedelem.hu/letoltes/anyagok/741-vegyes-tuzelesu-futoberendezesek-hasznalatanak-kockazatai.pdf>
- [5] Pál Károlyné: Műanyag hulladékok égetése, ISSN 0866-6091, Országos Műszaki Információs Központ és Könyvtár Budapest, 1998, 56. p.
- [6] Grósz Zoltán: Az ABV védelem alapjai, Tankönyv, Zrínyi Egyetemi Kiadó Budapest, 2003, 189. p.
- [7] Beda László - Bukovics István: A tűzben képződő füst veszélyességének jellemzése, Védelem, Katasztrófa-és Tűzvédelmi Szemle, ISSN: 1218-2958 XI. évfolyam 3. szám, 2004, 11-15. p.
- [8] . . . , . . . , . . . : . . . , 1984 .
- [9] . . . : . . . , 1983 .

**Dr. habil. Kuti Rajmund PhD** egyetemi docens, Széchenyi István Egyetem, Gépészmérnöki, Informatikai-és Villamosmérnöki Kar, 9026, Győr, Egyetem tér 1.; E-mail: [kuti.rajmund@sze.hu](mailto:kuti.rajmund@sze.hu)

**Rajmund Kuti PhD** Széchenyi István University, Faculty of Mechanical Engineering, Informatics, and Electrical Engineering, H-9026 Győr, University square 1.; E-mail: [kuti.rajmund@sze.hu](mailto:kuti.rajmund@sze.hu)

ORCID: 0000-0001-7715-0814

**Dr. Zólyomi Géza PhD** Kirendeltség-vezető, Heves Megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság, Gyöngyös Katasztrófavédelmi Kirendeltség, 3200 Gyöngyös, Kossuth L. u. 1.; E-mail: [zolyomi@t-online.hu](mailto:zolyomi@t-online.hu)

**Géza Zólyomi PhD** commander of disaster department, Directorate for Disaster Management of Heves County, Gyöngyös Disaster Department, H-3200 Gyöngyös, Kossuth Street 1.; E-mail: [zolyomi@t-online.hu](mailto:zolyomi@t-online.hu)

ORCID: 0000-0002-6006-8416