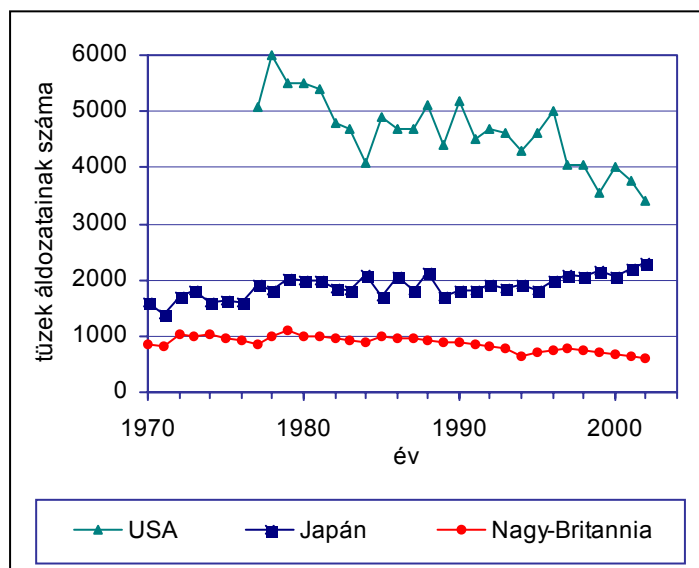


Hogyan mérsékelhető a műanyagok éghetősége?

A környezetünkben lévő műanyagok tűzveszélyességét általában vegyi anyagok hozzákeverésével, ún. égésgátlókkal mérséklük. Az olcsó és hatásos halogéntartalmú égésgátlókat környezetvédelmi megfontolások miatt egyre szélesebb körben igyekeznek halogénmentes készítményekkel helyettesíteni, és ilyenek kifejlesztésére, pl. jó hatásfokú foszfortartalmú égésgátlók előállítására nagy erőfeszítéseket tesznek. A tervezők azonban a késztermékekbe szánt alkatrészek méretével, formájával, beépítésének módjával is hozzájárulhatnak a tűzveszély csökkentéséhez.

Tárgyszavak: műanyagok; éghetőség; égésgátlás; égésgátlók; követelmények; vizsgálati módszerek; tervezés.

A tüzek áldozatainak száma az egyes országokban általában annál nagyobb, minél fejlettebb az az ország. Az emberek ugyanis annál jobban felszerelt lakásokban és annál zártabb terekben élnek, rengeteg műszaki berendezés veszi körül őket, nagyobb a rövidzárlat esélye. Ugyanezekben az országokban viszont igyekeznek olyan lépéseket tenni és olyan intézkedéseket hozni, amelyekkel csökkentik a tüzesetek és az áldozatok számát. Az 1. ábrából látható, hogy az USA-ban és Nagy-Britanniában ezek az erőfeszítések sikerrel járnak, Japánban viszont egyelőre folyamatosan emelkedik a tűz következtében meghaltak száma.



1. ábra

A tüzek évenkénti áldozatainak száma Japánban és Nagy-Britanniában 1970–2002, az USA-ban 1977–2002 között

Az éghetőség mint tulajdonság vizsgálata és annak csökkentése, továbbá az erre vonatkozó szabványok és törvényi előírások kifejlesztése az 1960-as évek elején indult meg, amikor a hagyományos éghető anyagok (fa, szalma, textil stb.) mellett egyre növekvő mennyiségben és választékban megjelentek környezetünkben a műanyagok. Ezekből a korábban nem létező szerves (tehát éghető) anyagokból 2006-ban világszerte már 205 millió tonnát használtak fel, és 2010-re 255 millió tonnára becsülik az igényeket. Több iparágban (ilyen az építőipar, a villamos- és elektronikai ipar, a járműipar, a bútorigar stb.) azonban csak akkor használhatók fel meghatározott célokra, ha éghetőségük bizonyos követelményeket kielégít. A követelmények kielégítése érdekében a műanyagokhoz éghetőséget csökkentő vegyi anyagokat – égésgátlókat – kevernek. Gyártásuk ma a vegyipari tevékenység egyik jelentős részét képezi. Hatásuk bizonyos elemeken – bróm, klór, foszfor, nitrogén, bór – alapszik; az ásványi anyagoké – az alumínium- vagy a magnézium-hidroxidé – pedig a tűz hőmérsékletén felszabaduló vízgőzén. Az ún. felhabosodó égésgátlók az égés hőmérsékletén habszerkezetű, hőszigetelő, nehezen éghető védőréteget alkotnak a felületen, ezáltal elzárják azt a tüztől és az oxigéntől, másrészt nem engedik a tüztérbe az égést fokozó bomlástermékeket.

Egyre szigorodó tűzvédelmi követelmények a különböző iparágakban

A legkorábban az európai *építőipar* próbált meg vizsgálati eljárásokat kifejleszteni, és követelményeket támasztani általában az épületszerkezetekbe beépíthető anyagok, és közöttük a műanyagokkal szemben. Az egyes országokban egymástól elvükben és a próbatestek méretében is nagyon eltérő vizsgálati eljárások alakultak ki, és az előírások is ezekre támaszkodtak. Emiatt – a nem kis erőfeszítések ellenére – *mindmáig nem sikerült az Európai Unión belül egységesíteni az építőipari minősítő vizsgálatokat*. Elvben létezik ugyan az építőanyagok európai osztályozása, a gyakorlatban a legtöbb tagországban a hatóságok megkövetelik a nemzeti szabványok szerinti minősítést is. Az építőipari éghetőségi követelményeket kiterjesztették az EU-ban az energia-takarékosság érdekében szorgalmazott hőszigetelő rendszerekre. Németországban már törvénybe foglalták ezt, és Kínában ugyancsak van előírás az épületek külső szigetelésére. Ez jó hír az égésgátlókat gyártók számára, mert a hőszigetelő anyagokba (ha azok műanyagok) is kell majd ilyen adalékokat keverni, ami számukra piacbővülést jelent.

A *villamosipari és elektronikai készülékek* anyagaival szemben szigorítják a külső gyújtóforrással szembeni ellenállást. Kiderült ugyanis, hogy a villamos készülékek által okozott tüzek 20%-a nem a készülék meghibásodása, hanem valamilyen külső hőhatás miatt következett be. Némelyik háztartási gép, pl. egy kávéfőző háza már olyan gyenge forrással, mint egy gyertya vagy egy gyufa lángja, felgyújtható. Ezért a külső burkolatnak minimálisan el kell érnie az **Underwriter's Laboratories (USA) UL 94-es** szabványában meghatározott *V-1 éghetőségi fokozat* követelményeit, ill. legalább 3 percig ellen kell állnia egy kisméretű láng hatásának.

Szigorítják a követelményeket a *járműgyártásban* is. A **PSA**, a **Toyota** és a **Hyundai** cég a gépkocsik motorházába épített elektronika tűzveszélyességének csökkentésére törekszik. Svédországban és Norvégiában a hatóságok a városi autóbuszok

tűzbiztonságát az egyik legnagyobb európai tűzbiztonsági vizsgálóállomással, az **SP Schweden**-nel (Boras) ellenőriztetik. A járműgyártásban évtizedek óta alkalmazott *FMVSS 302*-es vizsgálati módszert nem találták elég szigorúnak, ezért korszerűbb eljárásokat, pl. az *ISO 5660 szabvány szerinti kónuszos kalorimétert*, az *ISO 5658 szabvány szerinti lángterjedési vizsgálatot* és az *ISO 5659 szabvány szerinti füstfejlesztési vizsgálatot* akarják előírni a minősítéshez. Ugyanezeket a vizsgálatokat akarják rendszeresíteni az európai nagy sebességű sínjárművekre vonatkozó és 2008-tól érvényes *CEN/TS 45545-2*-es „Technikai specifikáció”-ban, amely 2010-től kezdve válik szabvánnyá.

Az égésgátlóipar statisztikai adatai

A **Fredonia Group** új *World Flame Retardants* című tanulmányában áttekintést ad a világ égésgátlógyártásáról és az igényekről. A világ különböző térségeiben 2001-ben és 2006-ben felhasznált és 2011-ben várhatóan igényelt égésgátló mennyiségét és az évenkénti százalékos igénynövekedést az *1. táblázat* tartalmazza.

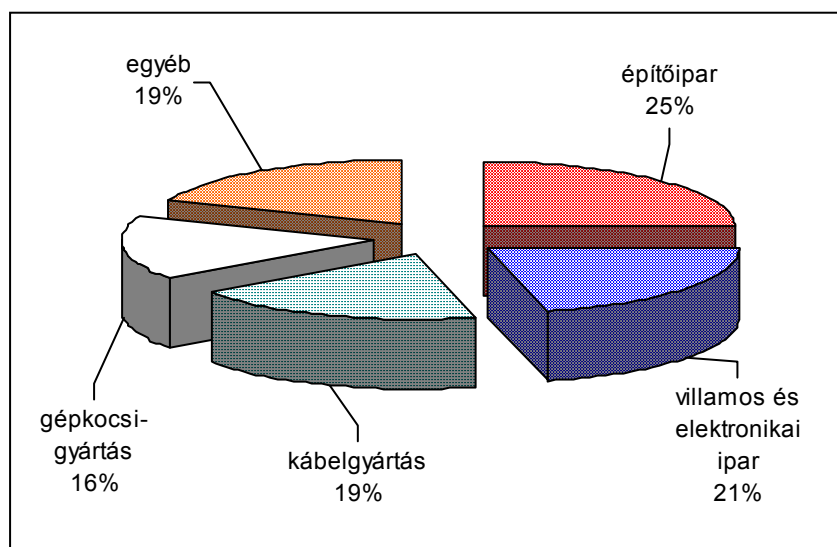
Az égésgátlók iránti igény 2006 és 2011 között 1,75 millió tonnáról 2011-ig 2,21 millió tonnára nő, évente átlagosan 4,7%-kal, a 2001–2006 közötti időszak 4,1%-os éves növekedésével szemben. *A növekedés legnagyobb részét a fejlődő országok adják, amelyek egyre inkább átveszik a fejlett országok szigorodó szabályozását.* Az égésgátlók felhasználása legnagyobb mértékben az ázsiai térségben, mindenekelőtt Kínában, de Tajvanban és Dél-Koreában is az átlagnál jobban emelkedik. Észak-Amerikában és Nyugat-Európában a piac telített, a növekedés jóval kisebb lesz az átlagnál.

Az égésgátlók közül a legnagyobb mennyiséget (az összes mennyiség egyharmadát) 2006-ban az alumínium-trihidrát (alumínium-hidroxid) tette ki. A leggyorsabban a foszfortartalmú égésgátlók felhasználása nőtt, de gyorsan emelkedett a magnézium-hidroxid iránti igény is, amit elsősorban a környezetvédelmi szempontok indokoltak. A halogéntartalmú, elsősorban a brómtartalmú égésgátlókat környezetre károsnak tartott hatásuk miatt próbálják visszaszorítani, és számos termékgyártó önként mondott le alkalmazásukról. A felhasznált mennyiség a világon ennek ellenére lassú mértékben emelkedik, mert kedvező árú és jó hatásfokú miatt eddig nem sikerült egyenértékű helyettesítőjüket megtalálni. Kínában még alkalmazzák a környezetre ugyancsak káros klórtartalmú égésgátlókat, de ez az ország nagy erőfeszítéseket tesz a korszerűbb típusok bevezetésére.

A 2006-ban felhasznált égésgátlók iparágak közötti megoszlása a *2. ábrán* látható. Az iparágak közül 2011-ig változatlanul az építőipar céljaira használják fel a legtöbb égésgátlót, a teljes mennyiség kb. 25%-át. Világszerte szigorodnak az építményekre, mindenekelőtt a nem lakás céljára épített létesítményekre vonatkozó tűzvédelmi előírások. A villamos- és elektronikai ipar 2006-ban az égésgátlók 21%-ára tartott igényt. Ebben az iparágban a leggyorsabb az igénynövekedés, nem kis mértékben azért, mert itt tartják a legfontosabbnak a nem csak mérgező, de korrozív égésgázokat fejlesztő halogéntartalmú égésgátlók helyettesítését halogénmentes adalékokkal, amelyekből általában nagyobb mennyiség szükséges a megfelelő hatás eléréséhez.

A világ különböző térségeiben felhasznált égésgátlók mennyisége
2001-ben és 2006-ban, a várható igény 2011-ben, továbbá az évenkénti növekedés
ugyanezekben az időszakokban

Térség	Felhasznált, ill. várható mennyiség, ezer tonna			Évenkénti növekedés, %	
	2001	2006	2011	2001-2006	2006-2011
Észak-Amerika	498,5	529,2	618,0	1,2	3,2
Nyugat-Európa	428,0	461,0	515,0	1,5	2,2
Ázsia/Óceánia	420,0	633,4	900,0	8,6	7,3
Többi térség	91,3	130,7	177,0	7,4	6,3
Világ összesen	1437,8	1754,3	2210,0	4,1	4,7



2. ábra
A világon felhasznált égésgátlók megoszlása az iparágak között 2006-ban

Az **Acon AG** egy piaci tanulmánya szerint 2005-ben a világon 1,62 milliárd USD értékű halogénmentes égésgátlót használtak fel, és ez az összeg 2010-ben 2,72 milliárd USD-re fog növekedni, évente átlagosan kb. 10%-kal. A nyugat-európai, észak-amerikai és japán előírások is ilyen adalékok felhasználását támogatják, ezekben a térségekben évente 9–13%-os igénynövekedéssel számolnak. Kína és a gyorsan fejlődő ázsiai országok igyekeznek behozni ezen a területen meglévő hátrányukat, itt évi 13%-os igénybővülést jósolnak.

Újdonságok az égésgátlók választékában

Az égésgátlók gyártásában csak kevés újdonság született a közelmúltban, az a kevés is elsősorban a foszfortartalmú égésgátlókat érintette. Ezt érzékelni lehetett a

legutóbbi düsseldorfi műanyag-kiállításon, a K'2007-en, ahol az égésgátlás és az égésgátolt műanyagok alig-alig jelentek meg.

A gyártás koncentrációja, amely a utóbbi években az égésgátlóipart sem kerülte el, lecsillapodott. A nagy gyártók a kisebbek felvásárlásával bővítették tevékenységüket és választékukat. Különösen jellemző ez a brómtartalmú égésgátlók három legnagyobb előállítójára. Az **Albemarle** 2001-ben magába olvasztotta a szervesetlen égésgátlókat gyártó **Martinswerke**-t, 2003-ban a foszfortartalmú termékeket gyártó **Rhodia**-t. A **Chemtura** (2005-ig **Great Lakes**) 2001-ben a foszfortartalmú készítményeket gyártó **FMC**-t kebelezte be. Az **ICL-IP** (2004-ig **Dead Sea Bromine Group**) 2007-ben a foszforvegyületeket előállító **Supresta** céget (régebbi neve **Akzo Nobel Phosphor**) vásárolta meg. Ezáltal ezek a cégek saját korábbi választékukat ki tudják egészíteni halogénmentes égésgátlókkal.

A kínai gyártók valamennyi égésgátlótípust elő tudják állítani, mégpedig olcsón és egyre jobb minőségben. Néhány közülük a K'2007-en is megjelent termékeivel. Számosan közülük felbukkannak, majd eltűnnek. A szabadalmi jogokkal keveset törődnek, és szállításaikban is sok a bizonytalanság.

A brómos égésgátlókat gyártó cégek nem terveznek kapacitásbővítést, ehelyett felhabosodó, szervesetlen vagy foszfortartalmú égésgátlókkal próbálnak bejutni olyan alkalmazási területekre, ahol eddig halogéntartalmú vegyületeket használtak.

Az **Adeka Palmarole** (Saint Louis, Franciaország, az európai **Palmarole** csoport és a japán **Adeka Corporation** közös vállalata) *ADK Stab FP-2100 és 2200* jelű halogénmentes, felhabosodó égésgátlója foszfort és nitrogén tartalmaz. PP homo- és kopolimerek, továbbá PE égésének gátlására ajánlják. Mindkettővel elérhető 1,6 mm-es vastagságban az UL 94 szabvány szerinti V0 éghetőségi fokozat.

Az **Albemarle Corporation** (Baton Rouge, USA) 20%-kal növeli *Saytex 8010* nevű brómos égésgátlójának termelését, amely elsősorban a dekabróm-difenil-éter helyettesítésére szolgál.

A **Martinswerk GmbH** (Bergheim, Németország) *Martinal LEO* jelű alumínium-hidroxidját kábelgyártáshoz fejlesztette ki. Ennek a terméknek magasabb a hőstabilitása, jobbak a villamos tulajdonságai és nem növeli annyira a polimer ömledékviszkozitását, mint a korábbi típusok.

A **Chemische Fabrik Budenheim** (Budenheim, Németország és a **La Zaida**, Spanyolország) *Budit 3167* jelzésű új felhabosodó égésgátlója hőállóbb és kevesebbet kell belőle a poliolefinekhez adni, mint a cég korábbi termékéből. A PP 1,6 mm vastagságban már 20% adalékkal eléri a V0 fokozatot; PE-hez 35%-ot adva az már 0,8 mm-es vastagságban kielégíti az UL 94 V0 éghetőségi fokozat követelményeit.

A **Chemtura Corporation** (Middlebury, USA) a járművek és bútorok kárpitozásához használt poliuretánhabokba szánt *Firemaster 600 és 602* jelű égésgátlóinak 10%-kal jobb a hatásfoka, mint elődeinek, a *Firemaster 550 és 502*-nek.

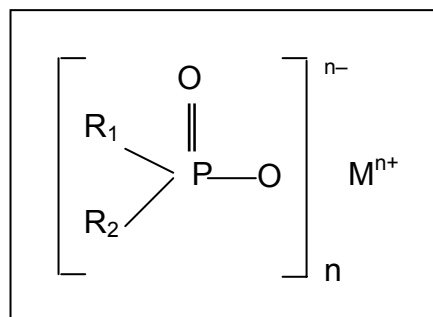
Az **ICL-IP** (Beer Sheva, Izrael) ütészálló polisztirolhoz a dekabróm-difenil-éter helyett *FR 245* jelzésű trisz(tribróm-fenil)-triazin-ját ajánlja. *F-3100* jelű brómozott epoxipolimerjét egyre szívesebben alkalmazzák PA 6/66, ill. PBT éghetőségének csökkentésére. A cég *FR-20* jelzésű magnézium-hidroxidját már szilánbevonatos vál-

tozatban is kínálja poliamidhoz, ill. vinil-szilános felületkezeléssel vezeték- és kábelbevonatokhoz. A céghez csatlakozott **Supresta** új szilárd aromás bifoszfátja, az *AF098* (olvadáspontja 110 °C, foszfortartalma 10,7%) PC+ABS keverékekhez alkalmazható. Egy másik szerves foszforvegyületből, az *AE094-ből* (olvadáspontja 295 °C, foszfortartalma 16,5%) 15% bekeverésével az üvegszálal PA 6/66 1,6 mm-es vastagságban eléri az UL 94 V0 éghetőségi fokozatot. A *Fyrol PMP* 17,5% foszfort tartalmazó reaktív égésgátló, amely alumínium-hidroxiddal együtt adagolva epoxigyantához térhálósítóként hat, és V0 éghetőségi fokozatú áramköri lapok (FR4-laminátumok) készíthetők vele.

A **Penoles, Chimica del Rey** (Torreon, Mexikó) a magnézium-hidroxid jelentős gyártója, kapacitása 20 ezer tonna/év. *Hydromag Q* márkanévű égésgátlója mellett *Fire PL* márkanéven 50 nm részecskeméretű szuszpenziót is gyárt, amely sokféle műanyaggal (PP, PE-LD, HIPS, ABS, PET, PBT) kompatibilis.

A **Songwon Industrial Co. Ltd** (Ulsan, Dél-Korea) új foszfin-oxid-alapú reaktív szerves foszforvegyületeket gyárt. A *Songflame YA 010* és *YA 020* jelzésű termékkel V0 éghetőségi fokozatú epoxigyantákat (FR4-laminátumokat) lehet készíteni.

A **Clariant International Ltd** (Muttens, Svájc) fém-foszfinátjai (3. ábra) közül az *Exolit OP 1312* az üvegszálal PA 6/66-nak már 0,4 mm-es vastagságban V0 éghetőségi fokozatot ad, emellett az ilyen égésgátlót tartalmazó keverék kúszóáramszilárdsága (CTI indexe) 600 V, és kiállja a 960 °C-os izzóhuzalos próbát. A különösen stabil *Exolit OP 1230* nagy hőállóságú poliamidokban is alkalmazható. Hőre lágyuló poliészterekhez (PET, PBT) fejlesztették ki az *Exolit OP 1240*-et, amely fröccsöntött elektronikus alkatrészekben brómos égésgátlók helyett alkalmazható. A fém-foszfinátok magas hőállósága lehetővé teszi, hogy pl. az *Exolit OP 935*-öt koégésgátlóként olyan halogénmentes áramköri lapok anyagába keverjék, amelyeket később ólommentes hegesztőfürdőben dolgoznak fel.



3. ábra A fém-foszfinátok általános képlete

A **Clariant** cég *Exolit OP* típusú új égésgátlóit az autógyártás és a villamosipar számára *Frianyl* márkanéven üvegszálal PA 6-ot és PA 66-ot előállító **Frisetta Polymer GmbH & Co. KG** (Schönau, Németország) próbálta ki. A 20–35% üvegszálal tartalmazó poliamid 66 típusok rugalmassági modulusa *Exolit OP* hatására kissé

megnőtt, húzószilárdsága csökkent. A kúszóáram-szilárdság minden esetben nagyobb volt 500 V-nál, az izzóhuzalos próbát (IEC 60695-2-12 szabvány szerint) pedig a háztartási gépek műanyag alkatrészeinél megkövetelt 775 °C-nál magasabb hőmérsékleten, 960 °C-on is kiállták. Az égésgátlót tartalmazó polimerek hőállósága elérte a 350 °C-t. Míg a halogének égésgátló hatásukat a gázfázisban (a lángban) lejátszó láncreakciók letörése révén fejtik ki, a foszfor a szilárd fázisban hat. A részben felhabosodó védőréteg csökkenti a füst és a korrozív gázok fejlődését és a hőleadást a környezetbe. A legtöbb minta már 0,75 mm-es vastagságban kielégítette a V0 éghetőségi fokozat követelményeit. A foszfinálat alapú égésgátlók migrációja nagyon csekély, és mutagén, mérgező, irritáló vagy környezetre káros hatást, bioakkumulációt nem tudtak kimutatni. Az *Exolit OP*-t tartalmazó polimerkeverékek hatszori ismételt extrudálás után is megőrizték V0 éghetőségi fokozatukat, és mechanikai tulajdonságaik is jók maradtak.

A **Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Szerves Kémia és Technológia tanszékén** is foglalkoznak foszfortartalmú égésgátlókkal. 2007-ben is született egy doktori disszertáció ebben a tárgykörben. A doktori munka egy részében epoxigyantába beépülő foszfortartalmú égésgátlókat szintetizáltak, a munka második részében ezek hatását vizsgálták. A $P(O)(NHCH_2CH_2NH_2)_3$ összetételű, rövid nevén TEDAP égésgátlót, ill. annak oligomerjét montmorillonit nanoagyaggal együtt is alkalmazták. 4,5% TEDAP-pal az epoxigyanta eredetileg 21%-os oxigénindexét 39%-ra tudták növelni, amivel a legszigorúbb villamosipari éghetőségi előírások is kielégíthetők.

Újdonságok a csökkentett éghetőségű műanyagok választékában

A műanyagok választéka elsősorban néhány olyan csökkentett éghetőségű típusal gazdagodott, amelyeket a háztartási gépekhez használnak, kielégítik az izzóhuzalos próba követelményeit, de sem vörös foszfort, sem halogént nem tartalmaznak.

A **DSM Engineering Plastics** (Sittard, Hollandia) egyik új terméke, az *Arnite XG* vörös foszfor és halogén nélküli poli(butilén-tereftalát) (PBT), amelyet felügyelet nélkül működő háztartási gépek villamos csatlakozójának gyártására ajánlanak. A polimerből készített próbatest izzóhuzalos ellenállása (GWIT* értéke) 750 °C, a felszerelt csatlakozó GWFI* értéke 850 °C, a kúszóáram-szilárdság (CTI) 600 V, és a túlán-gos vizsgálat szerinti éghetőségi fokozata V2. (*A *GWIT*, *glow wire ignitability test vizsgálatát az IEC-DIN/EN 60695-2-13*, a *GWFI*, *glow wire flammability index vizsgálatát az IEC DIN/EN 60695-2-12 szabvány írja elő. Mindkettőt az ún. izzóhuzalos berendezéssel méri; az előzőben legfeljebb 5 s-ig éghet a vizsgált minta, az utóbbiban 30 s-nál nem hosszabb ideig. A tömörítő megjegyzése.) Az anyag könnyen feldolgozható, és a poliamiddal ellentétben nem vesz fel nedvességet. A cég másik újdonsága a *Xantar C CE 407* jelzésű (PC+ABS) keverék, amelyet vasúti kocsik belső burkolására fejlesztettek ki. A lemezek felületére koextrudálással vékony poli(vinil-fluorid) réteget visznek fel. A burkolóelemeket hőformázással alakítják ki. A felületi védőréteg megkönnyíti az elemek tisztán tartását. A keverék kielégíti a *DIN 5510-2* szabvány szerinti szigorú gyúlékonysági, füstképzési és toxicitási követelményeket, és*

a francia *NF F 16-101 szabvány* szerint égésgázai toxicitása alapján az *F2* osztályba sorolható.

A **Lanxess AG** (Leverkusen, Németország) *Pocan DP BFN 4230* jelzésű PBT-je az első olyan PBT, amely a háztartási gépekre vonatkozó *IEC/EN 60335-1* szabvány szerinti VDE-minősítést kapott. Ez a szabvány szigorú követelményt támaszt az alapanyagból készített próbatest meggyújthatóságra, de nem követeli meg a késztermék izzóhuzalos vizsgálatát. A halogénmentes keverék 0,75 mm-es vastagságban V0 éghetőségi fokozatú, CTI értéke 550 V. Csatlakozódugók, lámpafoglalatok, kis méretű elektronikus alkatrészek készülhetnek belőle őrizet nélkül dolgozó háztartási gépekhez, pl. mosó- és mosogatógépekhez, szárítógépekhez.

A **Rhodia-Polyamide** (Saint Fons, Franciaország) poliamid 66 termékeit bővítette a 30% üvegszálat tartalmazó *Technyl A 60G2 V30* márkanevű gyártmánnyal. Ez nem tartalmaz vörös foszfort vagy halogént, 0,8 mm vastagságban eléri a V0 éghetőségi fokozatot, GWFI értéke 960 °C, GWIT értéke 850 °C.

A **Sekisui Alveo AG** (Luzern, Svájc) *Alveloen NP(A) FRV* jelű, csökkentett éghetőségű, fizikai módszerrel térhálósított polietilénhabját gépkocsik motorjának burkolására, hangszigetelésére kínálja. A cégnek 1973 óta a japán **Sekisui Chemical Co. Ltd.** a 100%-os tulajdonosa. *Ez a cég állítja elő a világon forgalmazott polietilénhabok 50%-át, évente kb. 13 ezer tonnát.* A hab 140 °C-ig hőálló, kielégíti a *FMVSS 302*-es előírás szerint vízszintes próbatesten végzett vizsgálat és a Volkswagen cég sokkal szigorúbb, *PV 3357* jelű, függőleges próbatesten 10 perces lánghatással végzett vizsgálatának követelményeit. Az *Alvolen NP(A) FRV* hab láng hatására megolvad, de nem gyullad meg és olvadéka nem csepeg. Ez rendkívül nagy biztonságot ad az ilyen habbal burkolt motortérrel készített gépkocsi utasainak, mert más anyagok esetében, ha a motortér kigyullad, néhány percen belül 100 °C-nál magasabb lehet a hőmérséklet az utastérben, és a jármű 10 percen belül kiég.

A **Lehmann & Voss Co** (Hamburg, Németország) 1,0–1,8 mm átmérőjű mikrogranulátum formájában kínál égésgátló mesterkeverékeket, amelyek könnyen és jól diszpergálódnak a műanyagömlékben.

Az **A. Schulman** cég (Kerpen, Németország) az autógyártás figyelmébe ajánlja *Schulamid 66 GBF3020 FR4* jelű poliamid 66-ját. A polimer V0 éghetőségi fokozatú, és a gépkocsik elektronikus rendszerének házához fejlesztették ki. A poliamidháznaknál előforduló vetemedést üveggolyók és üvegszálak megfelelő arányával és elrendezésével előzik meg.

Az éghetőség függ a mérettől és az elhelyezéstől is

Az éghetőségi vizsgálatokat végzők tisztában vannak azzal, hogy egy próbatestet az élén könnyebb meggyújtani, mint a lap közepén, és hogy egy függőleges próbatest hevesebben ég, mint egy vízszintes. Nem közömbös a próbatest mérete sem. Ezeket a jelenségeket azonban eddig nem próbálták meg szisztematikusan vizsgálni. Egy japán kutatócsoport igyekezett a hiányt pótolni, mert arra gondolt, hogy nem csak a bekevert

adalékokkal, hanem az eszközök geometriai kialakításával is lehetne mérsékelni azok tűzveszélyességét.

A kutatók polipropilénből, ütésálló polisztirolból, ABS-ből és biszfenol-A típusú polikarbonátból készített lemezeket hasonlítottak össze. Valamennyi mintán *termogravimetriás analízist* végeztek, meghatározták a UL 94 szabvány szerinti *éghetőségi fokozatot* és *kónuszos kaloriméterben mérték* a próbatest égése alatt *a maximális hőfejlődést és a hőfejlődés sebességét* (a vizsgálati eljárást az *ASTM E1354*, az *ISO 5660* és a *NFPA 264A* szabvány írja le). Ezeknek a vizsgálatoknak az eredményét a *2. táblázat* foglalja össze. Különös fontosságot tulajdonítanak a bomlás kezdeti hőmérsékletének, mert ez alatt az anyagból nem keletkeznek éghető gázok, tehát gyulladás, azaz lánggal égés nem következhet be.

A gyulladási idő és a próbatest helyzetének az összefüggését a kutatók egy maguk által tervezett módszerrel tanulmányozták. Különböző vastagságú 50x50 mm-es vízszintes és függőleges lapokat gyújtottak Bunsen-égővel úgy, hogy a próbatest és a gyújtóláng közé egy hőszigetelő lapot helyeztek, amelyen 15 mm átmérőjű lyukat vág-tak. A hőszigetelő lap az égőtől 60 mm-re, a próbatesttől 3 mm-re volt (*4. ábra*). A vizsgálat során a próbatestek középpontjában mérték a hőáramot és a gyulladásig eltelt időt.

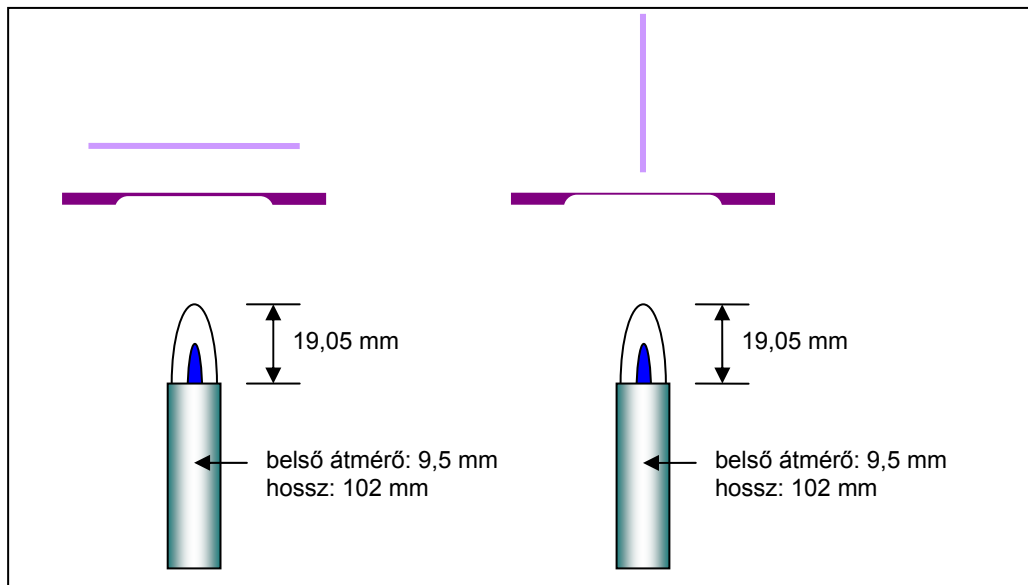
2. táblázat

Négyféle polimerrel végzett termogravimetriás és éghetőségi vizsgálatok eredményei

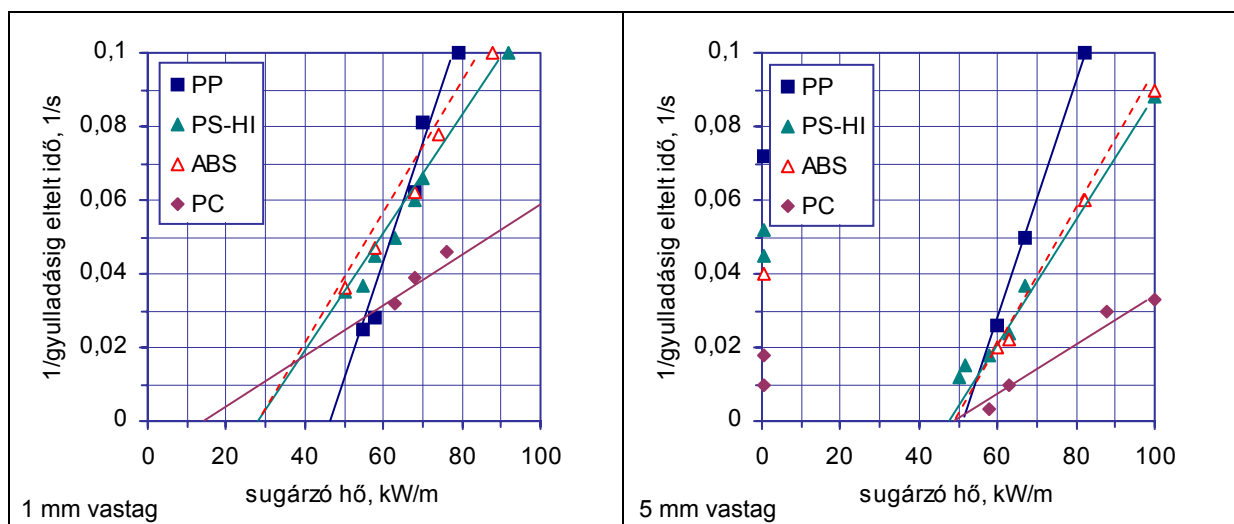
Jellemző	Egység	PP	PS-HI	ABS	PC
Termogravimetriás analízis					
Bomlás kezdeti hőmérséklete	°C	481	448	455	561
Hőmérséklet 50%-os tömegveszteségnél	°C	509	479	488	595
Hőmérséklet a bomlás végén	°C	540	512	524	613
Maradék 800 °C-nál	%	1	0	0	23
UL 94 szabvány szerinti vizsgálat függőleges pálcán					
Meggyulladáshoz szükséges idő	s	6,3	7,6	5,2	18,5
Láng elvétele utáni égési idő	s	163	341	285	27
Csepegés kezdetéig eltelt idő	s	5,7	40,3	60,3	-2,2
Kialudt (KA) vagy elégett (EÉ)	–	EÉ	EÉ	EÉ	KA
Vizsgálat kónuszos kaloriméterrel					
Meggyulladáshoz szükséges idő	s	32,5	40,6	41,2	98,2
Maximális hőfejlődés	kW/m ²	2651	1732	1680	1020
Összes felszabaduló hőmennyiség	MJ/m ²	104,7	102,6	102,5	77,9

Az 5–6. ábrán a *gyulladásig eltelt idő reciproka* látható a hőáram függvényében. Valamennyi próbatestnél lineáris összefüggést kaptak, kivéve a függőleges helyzetű polipropilénnél, amit az olvadék elfolyásának tulajdonítanak. Az azonos anyagú de különböző vastagságú polimerek vízszintes próbatestjeire jellemző egyenesek dőlés-

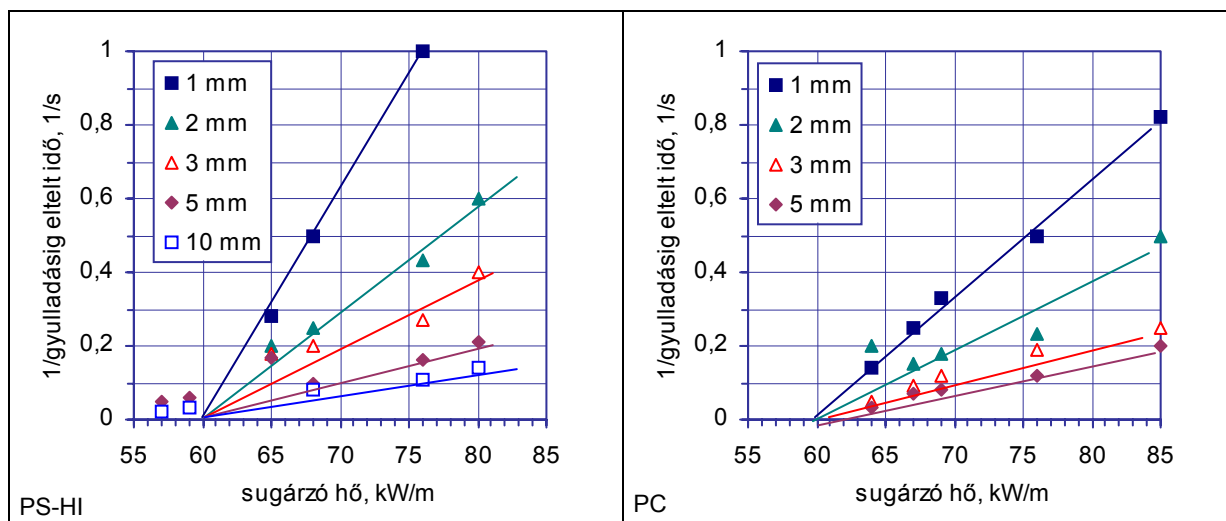
szöge gyakorlatilag azonos volt. Extrapolálással határozták meg a 0 gyújtási időhöz tartozó „kritikus hőáramot”, amely elvileg „végtelen idő” alatt gyújtaná meg a próbatestet. Minél vastagabb volt a vízszintes próbatestet, annál nagyobb volt a „kritikus hő”, azaz annál hosszabb idő alatt gyulladt meg a lap. A függőleges próbatestek egy nagyságrenddel rövidebb idő alatt gyulladtak meg (az 5. ábrán egy nagyságrenddel nagyobbak a reciprok értékek), és a különböző vastagságú lapok gyulladási időinek reciprok egyenesesei egyetlen pontban találkoznak az abszcisszán, mégpedig polimerfajtától függetlenül a 60 kW/m^2 körüli kritikus hőáramnál.



4. ábra A gyulladási idő és a próbatest helyzete közötti összefüggés vizsgálatához alkalmazott módszer elvi vázlatja



5. ábra Az 1 és 5 mm vastag vízszintes lapok gyulladásáig eltelt idő reciproka a sugárzó hőáram nagyságának függvényében



6. ábra Függőleges PS-HI és PC lapok gyulladásáig eltelt idő reciproka a vastagság és a sugárzó hőáram nagyságának függvényében

A kutatók úgy vélik, megfigyeléseiket a műanyagtermékek tervezői felhasználhatják munkájukban, mert az alkatrészek formájával, elhelyezésével is csökkenthetik a gyártmányok tűzveszélyességét.

Összeállította: Pál Károlyné

- Troitsch, J.: Wenig Neues, aber gute Geschäfte. = Kunststoffe, 98. k. 2. sz. 2008. p. 90–93.
 Regulation drives up flame retardants. = European Plastics News, 35. k. 2. sz. 2008. p. 14.
 Annual growth of 4,7% forecast for flame retardants. = Additives for Polymers, 2008. márc. p. 10.
 Walz, R.; Baqué, Th.: Metallphosphinate im Praxistest. = Kunststoffe, 97. k. 12. sz. 2007. p. 113–114.
 Toldy Andrea: Synthesis and application of reactive organophosphorous flame retardants. PHD Thesis. = Department of Organic Chemistry and Technology, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary, 2007.
 Kontrolliertes Schmelzen statt flammendes Inferno. Schwer entflammbarer Schaumstoff verringert Risiko. = Automotive Materials, 4. k. 5–7. sz. 2007. p. 56–57.
 Kotaroh Endoh; Kohshiroh Mizuno stb.: Contribution of shape on ignition of polymeric materials. = Journal of Applied Polymer Science, 105. k. 4. sz. 2007. aug. 15. p. 1930–1936.