

## A műanyag hulladék újrahasznosítása nem csak kötelező, de gazdaságos is

A világ egyre több országában egyre szigorúbb törvényekkel próbálják elérni, hogy az ipari termelés és az ezzel járó hulladékképződés a lehető legkisebb mértékben károsítsa a környezetet. Ma már maguk a vállalatok is törekszenek erre, és számos új ötlettel segítik elő a környezetkímélő gyártást és a hulladék hasznosítását.

*Tárgyszavak: műanyag hulladék; E/E hulladék; újrahasznosítás; EU direktívák; új technológiák; hulladék válogatás.*

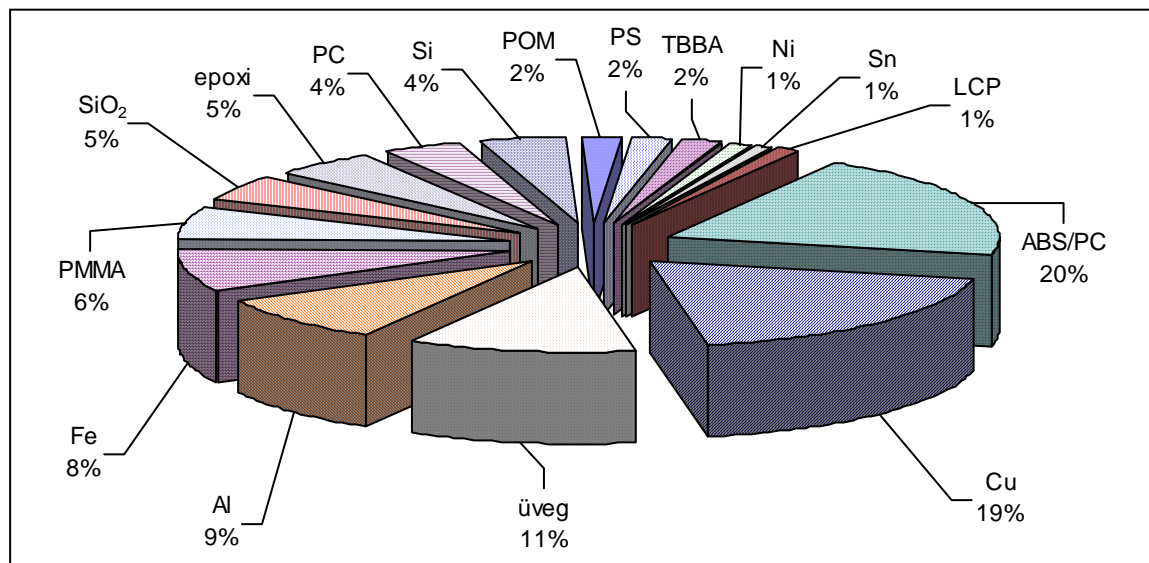
Alig néhány évtizede, hogy a környezetvédők azzal kezdték vádolni az ipart, hogy elszennyezi a vizeket és a levegőt, a hatóságoktól pedig azt követelték, hogy hozzon törvényeket a természeti források védelmére. Az ipar eleinte hangosan tiltakozott, nem akart a természetvédelemre és a hulladékkezelésre pénz áldozni. Az olaj, az energia, az alapanyagok árának hol gyors, hol lassú emelkedése azonban rádöbbsentette az ipari szakembereket arra, hogy a gyártás közben képződő szélhulladék, a selejt, a beömlőcsontok, de még az elhasználdott termékekben lévő műanyag is értékes alapanyag, amellyel drága friss műanyagot lehet megtakarítani. *Ma már természetes a gyártási hulladék visszadolgozása, és törvények kötelezik a gyártókat, hogy az általuk előállított termékeket azok elhasználódása után visszavegyék, és a bennük lévő anyagokat újra hasznosítsák. Kiderült, hogy ez a tevékenység gazdaságos.* Egy főliagyártó az USA-ban tetemes mennyiségű hulladékot „termelt”, amelyet egy hulladékfeldolgozónak adott el. Miután beszerzett egy regranulálót, és saját maga dolgozta vissza a selejtet, havonta 9500 USD energiaköltséget és 4000 USD anyagköltséget takarított meg, azaz 1 év alatt 167 ezer USD-t. A beruházás másfél év alatt megtérült.

Mások Kína szinte kielégíthetetlen műanyagéhségét elégítik ki hulladékból készített másodlagos alapanyaggal. Egy vállalat havonta 10 tonna ilyen műanyagot szállít Kínába, amivel megtakarítja a hulladéklerakóba szállítás 200 USD költségét, ezenkívül 6600 USD-t fizetnek neki az anyagért.

### Gátat vetnek az „elektronikus szemét” felhalmozódásának

A **Nokia** cég 2006-ban 348 millió mobiltelefont gyártott, két versenytársa, a **Motorola** és a **Samsung** összesen 335,5 milliót. Ez a termék – számos más elektronikai termékhez [számítógép, DVD-lejátszó, televízió; globális helymeghatározó rend-

szer (GPS)] hasonlóan divatcikk, a műszaki fejlődés és az új formák megjelenése miatt gazdáik hamar újabbat vásárolnak, a régit pedig eldobják. Ezáltal a gyártásukhoz felhasznált és az 1. ábrán látható anyagok is a szemétként kerülnek.



1. ábra Egy átlagos mobiltelefonba beépített anyagok és azok részaránya

Azaz kerülnének, ha ma már világszerte nem törekednének a természeti források védelmére, a szennyezés és a hulladékmennyiség csökkentésére, a levegő és a vizek tisztaságának megőrzésére. Az Európa és Ázsia országaiban, továbbá az USA-ban hozott környezetvédelmi törvények hatására változnak a tervezésnél követett szempontok, változik a gyártástechnika, a használat és az elhasznált termékek kezelése. A tervezők tudomásul veszik, hogy bizonyos anyagokat tilos beépíteni, helyettük másokat írnak elő; a gyártáskor igyekeznek elkerülni a drága és környezetszennyező eljárásokat, pl. a festést; és arra is gondolnak, hogy a termék elhasználódás után könnyen elemeire bontható legyen.

## Törvényi előírások

*A környezet védelmére és a hulladék kötelező hasznosítására hozott törvények alkotásában az Európai Unió és Japán áll az élen, de az USA-ban és Kínában is szigorítják az előírásokat. Mivel az elektromos és elektronikus (E/E) termékeknek globális piaca van, az ezekben az országokban hozott törvényekhez más országok gyártóinak is igazodniuk kell. A műanyagok sokfélesége, a legkülönbözőbb iparágakban való felhasználásuk és a belőlük készített termékek beláthatatlan változatai miatt nagyon sokféle előírás vonatkozik rájuk. Négy terület szabályozása azonban különösen fontos; amelyet a műanyag-feldolgozóknak szem előtt kell tartaniuk: a levegő tisztasága, az*

*elhasznált termékekből származó hulladék kezelése, a mérgező anyagok kiiktatása és a tűzbiztonság.*

*Európában, az USA-ban és Japánban számos törvény foglalkozik a levegő tisztaságával, az oda kerülő anyagokkal. Az EU 2001/81/EC számú direktívája valamennyi tagország számára előír egy határértéket, amelyet 2010 után négy gáz (kén-dioxid, nitrogén-oxidok; illékony szerves vegyületek és ammónia) együttes emissziója nem haladhat meg. Az USA-ban 1990-ben hozott „*levegőtisztasági törvény*” (*Clean Air Act*) szerint a környezetvédelmi hivatal (EPA) által szennyező anyagokra megadott határértékeket sehol az országban nem szabad túllépni. Japánban az ózonpajzs védelmére tiltották meg, ill. korlátozták a klór-fluor-karbon vegyületek használatát. Ezek a törvények érintik a műanyag-feldolgozókat, mert számos helyen el kell hagyniuk vagy korlátozniuk kell az erős emisszióval járó festékszórást vagy a telítetlen poliésztergyanták nagy sztirolkibocsátással járó üvegszálás kézi laminálását.*

*Felmérések szerint a kiselejtezett E/E készülékekből évente képződő hulladék háromszorosa a lakossági szemétnek, és az előbbi egy része veszélyes hulladék. Az EU 2002/96/EC számú, ún. WEEE direktívájában rendelkezik ennek kezeléséről. Ebben mind a részegységek beszállítóit, mind pedig a végső összeszerelő céget felelőssé teszi a termékek összetételéért és gyártásáért, továbbá előírja számukra használat utáni visszavételüket és kezelésüket. Ehhez meg kell szervezniük az összegyűjtést, az anyagok visszanyerését. A visszavett készülék tömegének (típustól függően) 50–75%-át kell újrahasznosítani. Ki kell szerelniük valamennyi nyomtatott áramkört, elemet, katód-sugárcsővet, külső kábelt. El kell különíteniük a brómtartalmú égésgátlót tartalmazó műanyagokat, és ezeket külön kell kezelni. A tevékenység anyagi terheit is ők viselik. A törvény ezen rendelkezésével a gyártókat ösztönözni akarják a környezetbarát és könnyen újrahasznosítható anyagok és megoldások alkalmazására. A törvényt az Európai Parlamentben 2003 januárjában fogadták el, a tagországoknak 2004 augusztusáig kellett nemzeti törvénné tenni. 2005 augusztusában lépett hatályba a visszavételi kötelezettség, 2007. januárjában a hasznosításra vonatkozó kötelezettség. 2008 decemberéig új hasznosítási részarányt szándékoznak előírni.*

*Az EU korábban kiadott, csomagolóanyagokra vonatkozó direktívájával (92/62/EC; 2004/12/EC) a csomagolóanyagok hulladéktömegét akarta mérsékelni.*

*Az EU 2000/53/EC számú direktívája foglalkozik az előregedett járművekkel. Ez arra ösztönzi a gyártókat, hogy csökkentsék a gépkocsikban a veszélyes anyagok mennyiségét. Tervezéskor gondoljanak az egyszerű szétszerelésre, a beépített anyagok újrahasznosítására. 2003. július 1. óta a járművekbe nem szabad higanyt, kadmiumot, hatértékű krómot, ólmot tartalmazó egységet beépíteni. A járművekből az anyagok 85%-át kell visszanyerni (a jármű tömegére vonatkoztatva), ebből 80%-ot kell hasznosítani. 2015-ig ezt az arányt 95%-ra, ill. 85%-ra kívánják felemelni.*

*Japánban a háztartási eszközökre vonatkozó törvény szerint a gyártóknak 2001 óta vissza kell venniük a tv-készülékeket, a légkondicionálókat, a mosógépeket és a hűtőgépeket.*

*Veszélyes anyagok beépítését gépkocsikba az ún. RoHS direktíva (ELV Directive for Automobiles and Restriction of Hazardous Substances) szabályozza, és hasonló*

elven készült az *E/E készülékekre* vonatkozó 2002/95/EC számú direktíva. Eszerint 2006. július 1. óta kerüendő az ólom, a higany, a kadmium, a hatértékű króm, a polibrómozott bifenilek (PBB) és egyes polibrómozott difenil-éterek (PBDE) alkalmazása. Kadmiumból legfeljebb 0,01%, a többiből 0,1% lehet egy „homogén anyagban”. Hasonló törvényt fogadtak el Kínában azzal a kiegészítéssel, hogy a beépített veszélyes anyagok nevét és mennyiségét fel kell tüntetni a terméken. Ezek közül *a műanyagipart legjobban az ólom, a kadmium és a PBDE-k tilalma érinti*. Az utóbbiak közül a 8, ill. 5 brómatomot tartalmazó oktabróm- és pentabróm-difenil-éter teljes tilalom alatt áll, a 10 brómatomot tartalmazó dekabróm-difenil-éter tilalmát 2005-ben megszüntették.

A WEEE és a RoHS direktíva független egymástól, de az anyagok kiválasztására és alkalmazására gyakorolt hatásuk hasonló.

Az anyagok *éghetőségét* vizsgáló módszerek és ezt a tulajdonságot jellemző paraméterek a világ különböző országaiban és térségeiben erősen eltérnek egymástól. A **Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottság (IEC)** próbálja meg harmonizálni ezeket más szabványügyi szervezetek (UL, ISO stb.) bevonásával és törekszik egy egységes, világszerte elfogadott szabvány kidolgozására. A villamos készülékekre vonatkozó korábbi szabványok gyakran szikrát vagy rövidzárlatot alkalmaztak gyújtóforrásként. Az IEC úgy véli, hogy a vizsgálatnak külső gyújtóforrást, pl. lángot kell alkalmazni.

A műanyagok éghetőségét hosszú ideig halogéntartalmú adalékokkal csökkentették. Nagyon hatásosnak bizonyultak a már említett brómozott difenil-éterek, amelyek közül a leghatásosabbat, a dekabróm-difenil-étert még ma sem sikerült teljesen pótolni, de a kisebb brómtartalmúak alkalmazását egészségügyi hatásuk miatt betiltották. A villamos- és elektronikai iparban nagyon keresettek az ún. halogénmentes égésgátlók, amelyek egyre szélesebb választékát fejlesztik ki, és amelyek egyre jobb hatásúak, de még nem érik el a brómozott égésgátlókét. Vannak olyan műanyagok is, amelyek kémiai felépítésüknél fogva adalék nélkül is kevésbé égnek, de ezek általában jóval drágábbak a kommersz műanyagoknál.

## **A műanyaggyártók és műanyag-feldolgozók erőfeszítései a törvények betartására**

A **Nokia** cég a vállalaton belül összeállított egy listát, amelyben megnevezte az egyáltalán nem vagy csak korlátozottan használható anyagokat és azokat, amelyeknek a mennyiségét csökkenteni kell. Ezáltal a mobiltelefonjaiba beépített anyagok 65–80%-a elméletileg újrahasznosítható lett. A vállalat emellett tudatosan törekszik a megújuló forrásból előállított műanyagok alkalmazására; ezeket fröccsöntött alkatrészekhez és csomagolóanyagként is kipróbálja.

A **Sony** cég beszállítói között ún. „*zöld partnerek*” vannak. Ilyen a **Solvay Advanced Polymers (SAP)**, amely hozzájárult, hogy a japán cég negyedévenként ellenőrizze nála a környezetvédelmi szempontok betartását. Ilyen a **General Electric**

(GE) is, amely részt vesz az elhasznált termékek visszavételi rendszerének kiépítésében.

A **Ford** autógyár máris megszervezte *Vehicle Recycling Partnership* nevű hálózatát, amelynek tagjai között beszállítók és hulladékfeldolgozók is vannak, és akik azon dolgoznak, hogy a gépkocsik feldarabolása után könnyen el tudják különíteni a habokat, a műanyagokat, a vas és nemvas fémeket. A Ford reciklátumot is használ néhány autóalkatrészhez, pl. a rácsnyitó erősítéséhez (grill-opening reinforcement), a csomagtartó béléséhez, az akkumulátortálcához, műanyagházakhoz, a légkondicionáló vezetékéhez. A tető béleléséhez *szójaalapú habot* próbál ki.

A gyártók terméktervezői – az autógyáraktól a háztartási gépeket és az elektromos/elektronikus berendezéseket készítő üzemekig – új elvek szerint dolgoznak.

A **SAP** tervezői pl. növelték a halogénmentes égésgátlók és a nehézfémmentes anyagok részarányát. Bevezették az ólommentes forrasztást; a forrasz magasabb olvadáspontja miatt hőállóbb anyagot kellett választani. Saját termékeik közül az *Amodel poliftálimid (PPA)* és a *Xydar folyadékkristályos polimer (LCP)* mellett döntöttek, amelyek két percig elviselik a 250–270 °C-os hőmérsékletet. Az erősen környezet-szennyező utólagos festés helyett fokozott mértékben alkalmazzák a szerszámban díszítést. Ragasztók, csavarok helyett inkább lézeres hegesztést írnak elő. A cég úgy véli, hogy az új megoldások közül némelyik drágább elődjénél, de hosszú távon ezek a költségek megtérülnek.

A **GE** saját háza táján is sokat tesz a környezetkímélő ipari gyártás érdekében. iQ programja keretében kifejlesztett egy eljárást, amelyben a PET-hulladékot kémiaiag lebontja és a belőle előállított alapanyagból „szűz” *Valox PBT poli(butilén-tereftalát)*-ot és *Xenoy PC/PBT* keveréket állít elő. Az eljárás licencét eddig összesen hat, közülük öt elektronikai cég vásárolta meg, és további érdeklődők is vannak. A GE sokat tesz azért, hogy a műanyag alkatrészeket ne kelljen utólag festeni. *Visualfx* márkanévű polimerjeit széles színválasztékban gyártja, vannak gyöngyházfényű, csillámló és fémes hatású változatok is. Támogatja a GE a *szerszámban díszítést* is; ehhez *Lexan* polikarbonátból készített fóliát kínál a feldolgozóknak. Ezek a fóliák előre nyomtathatók vagy koextrudálással színezhetőek. Fröccsöntéskor a megfelelő méretre vágott fóliadarabot belefektetik a nyitott szerszámba, majd szerszámzárás után ráfröccsöntik a polimert, amely széttephetetlenül összeépül a fóliával. Ezáltal utómegmunkálást nem igénylő, megfelelő színű, megfelelő feliratokat vagy díszítést hordozó készterméket kapnak illékony anyagokat emittáló festés nélkül. Ha mégis utólag kell festékréteget felvinni, illékony anyagoktól mentes *porbevonással* is kímélni lehet a környezetet. Bár ezt az eljárást inkább fémek lakkozására alkalmazzák, a GE *Noryl GTX* nevű *poliamid/poli(fenilén-oxid)* keverékéből készített formadarabok felületkezelésére is használható. Ez a polimer ugyanis elviseli a ráolvasztó kemence hőmérsékletét. A hőálló polimernek van villamosan vezető változata is, amelyre nem kell előzetesen vezető alapozót felvinni, saját vezetőképessége következtében a porlakk elektrosztatikus szórással közvetlenül felvihető. A cég számos *csökkentett éghetőségű halogénmentes polimert* is kínál vásárlóinak. Ilyen típusok vannak a *Cycloy PC/ABS*, a *Lexan PC*, az *Ultem poli(éter-imid)*, a *Noryl PPO* és az *LNP* család tagjai között. A GE 2007 június

végén vezette be új *LNP Verton Xtreme* termékcsaládját, amely kiküszöböli a hosszú üvegszállal erősített kompaundokban használt és szárazon bekeverendő színezékek, égésgátlók és adalékok hátrányait, mert egy granulátumban kínálja a jobb színminőséget, a lángállóságot és az időjárás-állóságot. A család tagjai közül az *XC* jelzésűeket extrém színek, az *FR* jelzésűeket fokozott lángállóság, az *XW* jelzésűeket hosszú időtartamú időjárás-állóság igényekor célszerű választani.

## Új elv a sötét színű polimerek szétválogatásához

A műanyag hulladék bármilyen hasznosítása, de különösen műanyagként való ismételt feldolgozása csak akkor lehet eredményes, ha *a hulladékot fajta szerint szétválogatják*. A gyártási hulladék hasznosításakor többnyire nincs erre szükség, annál inkább az „eldobott” használati tárgyak szétszerelése utáni „szemét” kezelésekor. A színes hulladék szétválogatására ma már több automatikus felismerő és szétválasztó eljárást fejlesztettek ki. Ezek többsége a közeli infravörös fény elnyelésén és visszaverődésén alapul. *A sötét színű hulladék azonban elnyeli ezt a fényt, és emiatt a hulladékdarabok között nem lehet különbséget tenni*. Egy aacheni kutatócsoportnak sikerült ezt a feladatot *lézersugárral indukált fluoreszcencia* segítségével megoldani.

Ha az atomokat vagy a molekulákat nem termikus sugárázással gerjesztik, azok meghatározott hullámhosszú fotonokat bocsátanak ki. Ez a jelenség a *fotolumineszcencia*, amelyen belül különbséget tesznek a *foszforeszcencia* és a *fluoreszcencia* között. Míg a foszforeszcencia viszonylag tartós fénykibocsátás, a fluoreszcencia néhány nanoszekundum alatt lecseng.

*A természetes állapotukban nem fluoreszkáló anyagok pulzáló lézersugár hatására az UV-tartományban anyagukra jellemző fluoreszcens jelet adnak*. Az elektronok ugyanis elnyelik a lézersugár energiáját és egy magasabb, instabil energiaszintet érnek el. Amikor gerjesztett állapotukból stabil állapotukba térnek vissza, az elnyelt energiát fény formájában sugározzák ki. Fényérzékeny mérőeszközzel érzékelhető a fénykibocsátás időbeli lefutása és a fény hullámhossza.

A kutatócsoport E/E készülékek szétbontásából származó 40 sötét színű mintát (PS, PP/PE, PA, PVC stb.) vetett vizsgálat alá. A lézerforrás pulzáló Nd:YAG lézer volt, amely 266 nm hullámhosszú fényt bocsátott ki. Valamennyi minta rá jellemző, hullámhosszfüggő fluoreszcencialefutást mutatott, amelynek időtartama is egyedi volt. A kapott görbe csúcsának és a lecsengési időnek az aránya a későbbiekben alkalmas lehet a műanyag azonosítására. A lézersugár hosszabb alkalmazása nem célszerű, mert kémiai elváltozást okozhat a felületen, és megváltoztatja az eredeti fluoreszcens jelet.

A kutatócsoport elkészítette egy automatikus felismerő és válogató rendszer elvi felépítését. A felismerésben az „ujjlenyomat” elvét alkalmazzák, azaz számítógépbe táplálnák a valószínűsíthető anyagok fluoreszcenciajelét, és a berendezés a szállítószalagon mozgó hulladékdarabokon mért jelet ezekkel hasonlítani össze, majd egy levegőfúvókával juttatná a felismert anyagot a megfelelő gyűjtőbe.

A kutatócsoport a vizsgálati módszert színes hulladékon is ki akarja próbálni. Azt remélik, hogy azon is beválik, és akkor a módszer bármilyen hulladékáram szétválogatására alkalmassá válhat.

Összeállította: Pál Károlyné

Embley, T.: Pro-environment programs prove smart economics. = Modern Plastics Worldwide, 83. k. 9. sz. 2006. p. 16.

Murner, Ch.: Plastics, electronics & the environment. = Plastics Technology, 52. k. 10. sz. 2006. p. 56–61.

Deligio, T.: Start at the beginning. = Modern Plastics Worldwide, 84. k. 3. sz. 2007. p. 42–44.

A GE Plastics új LNP Verton Xtreme kompaundjai egyedülálló, egy granulátumú megoldást kínálnak a jobb hatás érdekében. = [www.pressreleasefinder.com](http://www.pressreleasefinder.com). 2007. aug. 25.

Standlöbes, S.; Vinzelberg, G. stb.: LIF ermöglicht automatische Identifizierung dunkler Kunststoffe. = Recycling Magazin, 61. k. 21. sz. 2006. nov. p. 20–21.