

## Villamosan vezető műanyagok fejlesztése és alkalmazása

Néhány különleges fajtától eltekintve a polimerek alaptulajdonsága, hogy villamosan szigetelő tulajdonságúak. Adalékokkal azonban a szigetelő polimereket vezetőképesé lehet tenni. Ennek új módszereit mutatjuk be az alábbiakban.

*Tárgyszavak: vezető műanyagok; kompaundok; adalékolás; fémszál; fémötvözet; piaci adatok.*

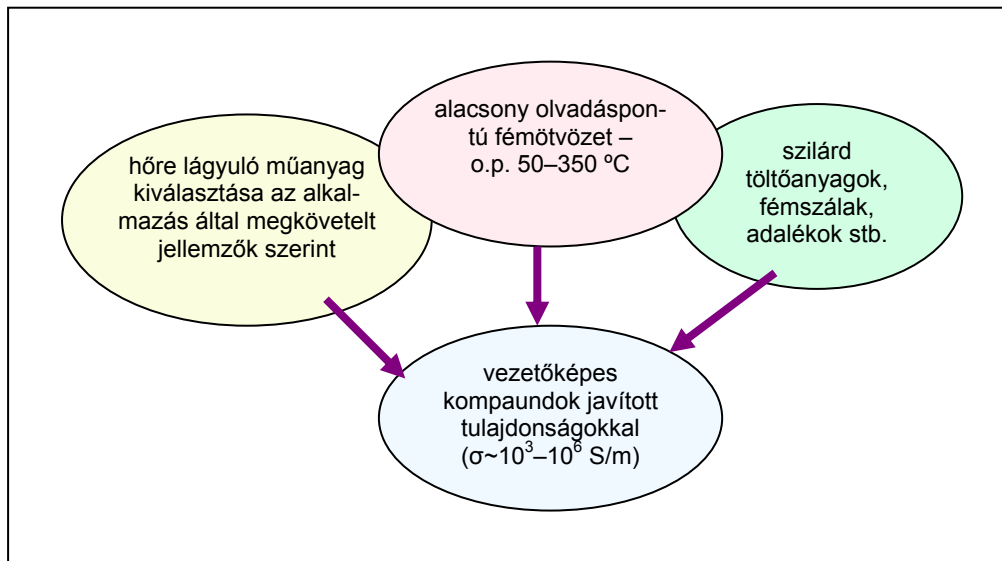
### Hogyan lehet a műanyagokat vezetővé tenni?

A műanyagok alapanyagai, a polimerek – néhány speciális szerkezetű anyagtól eltekintve – többnyire elektromosan szigetelők. Ha mégis vezető, de hagyományos műanyag-feldolgozó módszerekkel (fröccsöntéssel, extrúzióval stb.) feldolgozható anyagra van szükség, ezt leggyakrabban úgy állítják elő, hogy a szigetelő polimerhez vezető töltőanyagot (fémszálat, kormot, szénnanocsövet stb.) adagolnak. *A fémek vezetőképeségét elérő szintet azonban csak rendkívül speciális, kétkomponensű töltőanyagrendszerekkel lehet elérni, mint amilyeneket az aacheni műanyag-feldolgozó intézet, az IKV fejlesztett ki a Siemens céggel együttműködve. Az egyik egy rövid fémszál, a másik pedig egy viszonylag alacsony hőmérsékleten olvadó fémötvözet, amely a feldolgozás hőmérsékletén folyadékállapotban van (1. ábra).*

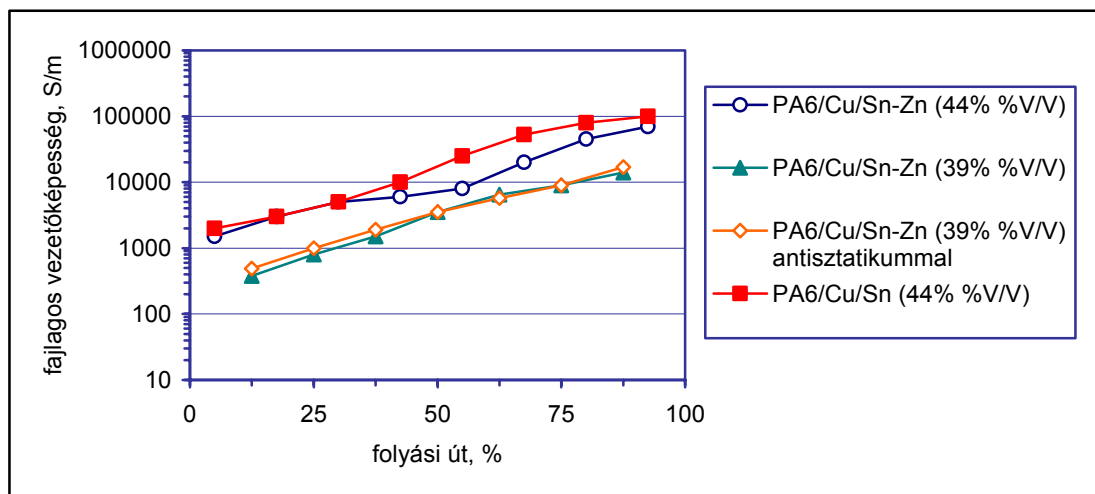
### Fröccsöntéssel feldolgozható vezető kompozitok

Annak ellenére, hogy az említett kompaundok töltöttsége meglehetősen nagy [akár 44 (%V/V) is lehet], a fémolvadékok kis viszkozitása miatt az anyag jól feldolgozható fröccsöntéssel. Mivel a fémolvadék könnyen alkalmazkodik az adott térbeli feltételekhez, *egymáshoz sűrűn kapcsolódó vezetőképes hálózat alakul ki a szigetelő polimermátrixban.* A komponensek minőségének és mennyiségének helyes megválasztásával szinte bármilyen alkalmazáshoz található megfelelő összetétel, előállíthatók a megkívánt vezetőképeségű, árnyékolóképeségű és nagyobb áramok hordozására is alkalmas anyagok. Ahhoz azonban, hogy valóban optimális terméket kapjanak, igen jól kell érteni mind az anyagtulajdonságokhoz, mind a feldolgozáshoz. A vezető műanyagkompozitok szerkezete ugyanis – szemben a tiszta műanyagokéval vagy a fémekével – heterogén. A töltőanyag nagyrészt egyenletesen oszlik el a késztermékben, de a folyási úttól és a falvastagságtól függően jelentős eltérések alakulhatnak ki, amint az a 2. ábrán látható. A tárgyak felületéhez közel a fokozott nyírás következté-

ben csökken a töltőanyag-tartalom és orientáció lép fel a folyás irányában. A folyás mentén a száltartalom hajlamos csökkenni. Ha ezekkel a folyamatokkal tisztában vannak a fejlesztők, akkor már a tervezéskor számolni lehet velük.



1. ábra A vezetőképes műanyag/fém hibridek felépítésének koncepciója



2. ábra Különböző anyagösszetételek villamos vezetőképessége a folyási út mentén

## A mátrixanyag kiválasztási szempontjai

A mátrixpolimer szinte bármelyik ismert hőre lágyuló műanyag lehet, amelyet az alkalmazás legkritikusabb szempontjai (szilárdság, hőállóság, nedvességfelvétel stb.) alapján választanak ki. Tekintettel arra, hogy a töltőanyagok hozzáadása jelentősen

rontja az anyag szívósságát, *célszerű olyan polimerből kiindulni, amelynek töltetlen állapotban nagy a szakadási nyúlása.* Éppen ezért az amorf műanyagok kevésbé alkalmasak erre a célra, mint a részben kristályosak. A töltőanyag eloszlását és a villamos jellemzőket is befolyásolja, hogy miként viszonyul egymáshoz a fémötvözet és a polimer olvadáspontja, valamint viszkozitása. A polietilén (PE, **Borealis**), a poli(fenilén-szulfid) (PPS, **Ticona**) és a poliamid 6 (PA6, **A. Schulman**) alapú rendszerekben pl. a polimer olvadáspontja jelentősen eltér, viszkozitása kevésbé, ezért bevezettek egy másik, nagyobb viszkozitású PA6 típust is a **BASF**-től. Egyszerű vizuális megfigyeléssel is különbséget lehet tenni a különböző mátrixokkal készült kompozitok között. A PE mátrixban először a fémötvözet szilárdul meg a még folyékony műanyagmátrixban, ezért viszonylag finom és egyenletes fémeloszlás alakul ki. A PPS esetében viszont a polimer szilárdul meg először, ezért a fém egy része hajlamos a szerszámfelület felé nyomódni. A fröccsöntött darab belsejében nagyobb fémrészecskék maradnak. A szerszámfal és az ömledék közti hőmérséklet-különbség következtében a szabad folyási keresztmetszet gyorsan csökken, erősen orientált töltőanyag-részecskéket kapnak a peremeken. Még erősebb orientáció és nyírási igénybevétel tapasztalható a nagy viszkozitású PA6 mátrixban.

A folyásirányú vezetőképesség minden esetben nagy ( $>4 \times 10^5$  S/m), a keresztmetszeti irányban mért vezetőképesség erősen változik a folyáshossz függvényében (2. ábra). Látható, hogy keresztirányban is elég nagy a vezetőképesség:  $4-7 \times 10^4$  S/m, de a nagyobb értéket csak a beömlőcsonttól távolabb éri el az anyag. Ha a polimer a fémmel egy időben, vagy később szilárdul meg, és ha kisebb a viszkozitása, akkor ebben az irányban homogénebb és nagyobb vezetőképességet kapnak.

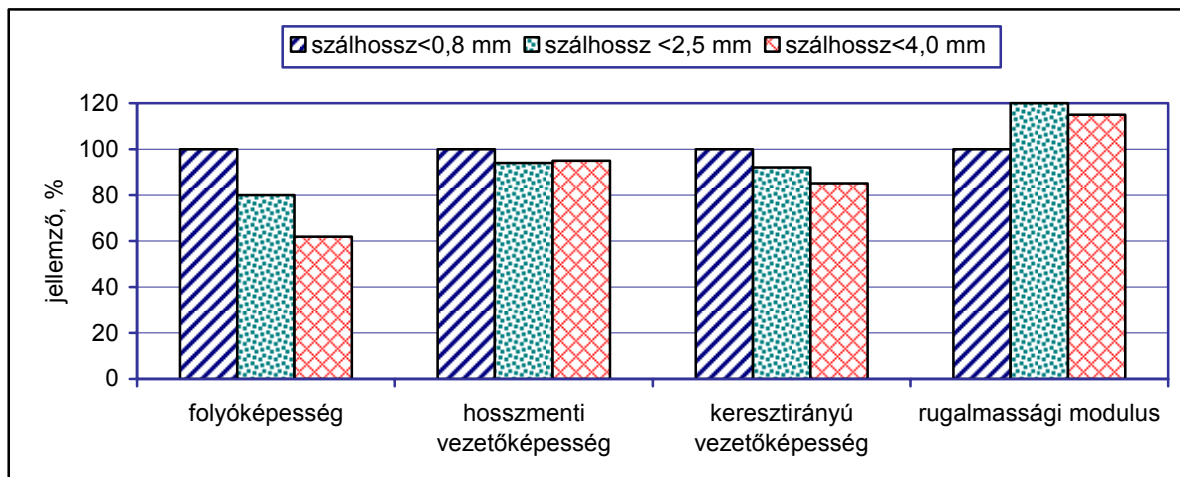
## A vezető komponensek kiválasztásának szempontjai

Természetesen a fémötvözet és a vezető szál megválasztása is befolyásolja a késztermék villamos jellemzőit. Arra ügyelni kell, hogy a fémötvözet ne túlságosan hamar szilárduljon meg, mert az a viszkozitás hirtelen növekedését vonja maga után. A vezető szál megválasztásakor figyelembe kell venni többek között a szálak átlaghosszát (3. ábra). *Minél hosszabb a szál, annál nagyobb a viszkozitás, de annál nagyobb a modulus és a szilárdság is.* A nagyobb viszkozitás nagyobb nyíró igénybevételt jelent és nőni fog a fal mentén az átlagostól eltérő zóna vastagsága is, és ez a felületi vezetőképesség csökkenését eredményezi. Figyelni kell a műanyagömledék és a fémolvadék felületi feszültségének különbségére is (ez általában nagy), ami szétváláshoz vezet, ha a fémolvadék nem nedvesíti jól a szilárd fémszálkomponenst. Ez a feltétel a rézszálak és az ón- vagy ónalapú ötvözetek esetében jól teljesül, de használni lehet pl. nikkelbevonatos szénszálakat is.

## Egyéb adalékok

A kompaund tulajdonságait egyéb adalékokkal is befolyásolni lehet. Antiszztatikum hozzáadásával pl. javítani lehet a műanyag és a fémömladék összeférhetőségét,

vagyis kevésbé fognak koagulálni a fémcseppek. Ez a felületkezelés a villamos jellemzőket kevésbé befolyásolja, de a szakadási nyúlás majdnem kétszeresére, 8%-ra nő. Az adalékok alkalmazásakor azonban oda kell figyelni arra, hogy ezek többnyire nem vezető anyagok, ezért (különösen, ha felületaktív anyagokról van szó), gátolhatják a folyamatos vezetőképes hálózat kialakulását. A fémek érintkezésekor már egy tized nanométeres (gyakorlatilag monomolekuláris) réteg is erősen csökkenti az elektrontranszport valószínűségét, s így a vezető csatornák száma könnyen lecsökkenthet.



3. ábra A szálhossz hatása különböző jellemzőkre

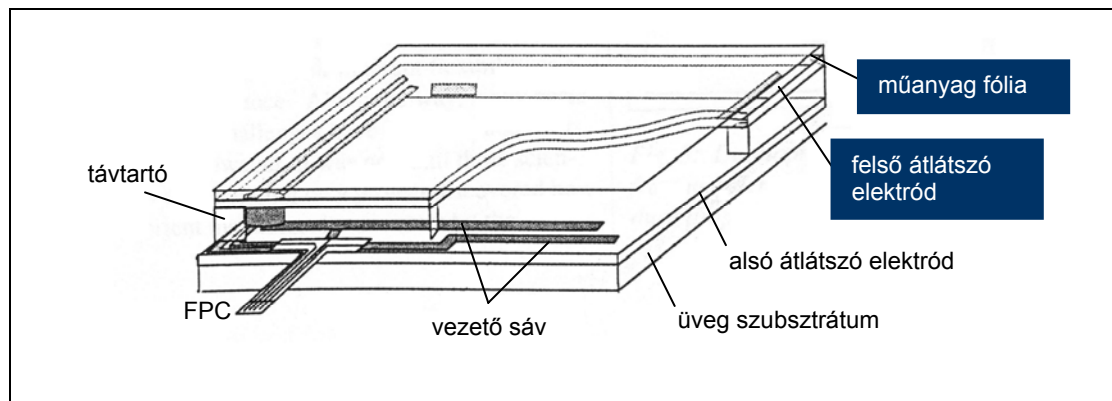
## A feldolgozás hatása

A hosszmenti vezetőképesség a feldolgozási paraméterek széles tartományában lényegében állandó marad, de a keresztirányú vezetőképesség érzékenyen függ a falvastagságtól és az olyan feldolgozási paramétereiktől, mint a befróccsöntés sebessége, az anyag és a szerszám hőmérséklete, hiszen ezek határozzák meg a kitöltési jellemzőket és az anyag folyását és megszilárdulását a szerszám belsejében.

## Inherensen vezető polimerek alkalmazása érintő képernyőkben

Az érintő képernyők manapság a legelterjedtebb kapcsolatot jelentik az ember és a számítógép között mind a kis személyi számítógépek (palmtop), mind az ipari vezérlések területén. A legolcsóbb és legelterjedtebb megoldás az *ellenállás változására épülő panel*, amely bármilyen érintés hatására működésbe lép (4. ábra). A technológia fejlődésével egyre igényesebb, ellenállóbb, de még mindig olcsó képernyőket sikerült készíteni. Az ellenállás változására épülő (rezisztív) panelek gyenge pontja az átlátszó,

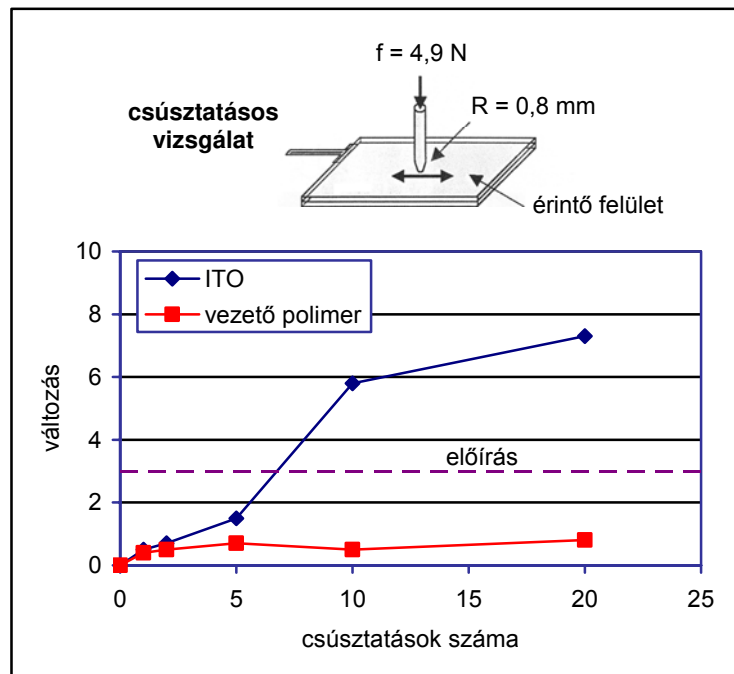
de kerámiaszerű ITO (indium-ón-oxid) réteg, amelyet poli(etilén-tereftalát) (PET) fóliára visznek fel az egyik oldalon és egy merev üveg szubsztrátumra a másik oldalon. A polimerfóliára felvitt ITO réteg azonban idővel töredezik, ami először helyi, később kiterjedtebb működési zavart okoz a képernyőn. Ahol elkezd kialakulni a repedezés, ott erősebb nyomást kell alkalmazni a működés fenntartásához – és ez nyilván olyan helyeken fog bekövetkezni, ahol amúgy is sokszor érünk hozzá a képernyőhöz. Ez pedig felgyorsítja a képernyő tönkremenetelét. Az ITO réteg felhordásához nagy vákuumba van szükség, ami bonyolult, nem környezetbarát és drága technológia.



4. ábra Az ellenállás változására épülő érintőképernyő szerkezete (FPC: flexibilis nyomtatott áramkör)

A vezető polimerek régóta kutatott lehetőséget kínálnak arra, hogy rugalmas, egyenletes és szabályozott vezetőképességű rétegeket alakítsanak ki belőlük. Az elméleti lehetőségből azonban lassan lett valóság. A vezető polimerek szintéziséért 2000-ban adtak Nobel díjat, és még további kutatásokra volt szükség olyan polimerfilmek kialakításához, amelyek tulajdonságai elég reprodukálhatók voltak ahhoz, hogy rezisztív panelek készüljenek belőlük. Eleinte a fajlagos felületi ellenállás is túl nagy volt ehhez az alkalmazáshoz, és optikailag is jóval kevésbé voltak átlátszók ezek a polimerfilmek, mint az ITO rétegek, ezért csökkenteni kellett a rétegvastagságot. Kiderült, hogy ha megfelelő merev, rúd alakú molekulákat kevernek a polimerhez, rendezettebbé válik a struktúra, és az orientáció irányában megnő a vezetőképesség is. Ezzel a megoldással vékonyabb, átlátszóbb rétegeket lehetett kialakítani. A következő megoldandó probléma a polimerréteg felhordása volt a PET fóliára. Tekintettel arra, hogy vizes oldatból elvégezhető a bevonás, olyan hagyományos technológiák is alkalmazhatók, mint a hengerlés. Az egyetlen problémás tényező az oldat erősen alkalikus jellege, amelyet figyelembe kell venni az eljárás és az eszközök tervezésnél. Mindenesetre ez a módszer jóval környezetkímélőbb, mint az ITO réteg felhordása. A cél olyan polimerbevonat kialakítása volt, amelynek fényáteresztő képessége a 400–700  $\mu\text{m}$  tartományban legalább olyan jó, mint a kereskedelmi ITO rétegeké és fajlagos felületi ellenállása 800  $\Omega$ . A japán **Fujitsu** cégnek sikerült olyan vezető polimerréteget alkot-

ni, amely az ITO-nál jóval kevésbé érzékeny az ismételt érintésre (5. ábra). A makroszkópos vizsgálatot alátámasztották a pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) felvételek is. Egyelőre az üvegre felhordott ITO réteg helyettesítésével nem foglalkoztak, mert az kellően stabilnak bizonyult, de a későbbiekben még erre is sor kerülhet.



5. ábra Egy nagy igénybevételt szimuláló ismételt csúsztatásos vizsgálat hatása a vezető réteg ellenállására

## A vezető műanyagok piaca

Az amerikai **BCC Research** piackutató cég becslése szerint *2008-ban a vezető műanyagok világpiaca 143 000 tonna volt.* Becslésük szerint *2013-ig évente átlagosan 5,4% növekedés várható,* tehát a kereslet addigra kb. 186 000 tonnára várható. A vezető polimerek alkalmazásának főbb területei az elektrosztatikus töltések elvezetése, az antisztatikus csomagolás, LED kijelzők, kondenzátorok, elektrosztatikus szórással felhordható festékek és bevonatok. A vezető műanyagok egyik osztálya a vezető kompaundok (eddig ez jelenti a felhasználás döntő többségét) és a szerkezetéből adódóan (inherensen) vezető polimerek. *A vezető műanyagkompaundokat főként elektronikai termékek kisülés elleni védelmében, ill. az elektromágneses árnyékolásban használják.* 2008-ban ennek a szegmensnek a becsült felhasználása 141 000 tonna volt (a teljes felhasználás közel 99%-a), de még 2013-ban is a felhasználás kb. 98%-át fogják kitenni. Az inherensen vezető polimerek (ICP) piaca jóval szerényebb: 2008-ban 1700 tonna, 2013-ban pedig a várt érték 3600 tonna. A tudományos és műszaki érdeklődés továbbra is nagy az ICP-k iránt, cikkek és szabadalmak százai jelennek meg velük

kapcsolatban. Jelenleg leginkább az elektrosztatikus bevonatok területén kerülnek alkalmazásra, de kondenzátorok, sztatikusan disszipatív rendszerek, textilek gyártására és korrózióvédelemre is használják őket.

Összeállította: Dr. Bánhegyi György  
www.polygon-consulting.ini.hu

Michaeli, W.; Pfefferkorn, T.: Die richtige Kombination macht's. = K-Berater, 53. k. 5. sz. 2008. p. 40–44.

Conductive polymers market set to grow. = European Plastics News, 35. k. 5. sz. 2008. p. 15.  
DeVisser, B.: Conductive polymer developments in resistive-touch-panel technology. = Information Display, 22. k. 12. sz. 2006. p. 32–35.

## Röviden...

### Új feldolgozástechnikai eljárás: a rotációs fúvás

A lengyel **Bianor** (Bialystok) vastag falú konkáv fúvott termékek előállítására fejlesztette ki rotációs fúvási technológiáját (*Bianor Rotary Blow Molding – BRBM*). A technológia kulcseleme, hogy a szerszámban éppen megszilárduló anyagot ellenőrzött körülmények még formázzák. A **Philips** már meg is rendelte „*LivingColors*” nevű lámpáinak gyártását egy speciális műanyagkeverékből. A keverék összetevőinek változtatásával különböző mértékben átlátszó, ill. különféle színű lámpaburát lehet előállítani, amelyeket dekorálni lehet festéssel, galvanizálással stb.

A Bianor céget 1997-ben alapították lengyel-holland vegyesvállalatként. Ma 320 dolgozóval egyike Lengyelország vezető fröccsöntő üzemének. Fő termékei: háztartási gépek műanyag elemei pl. a **Bosch-Siemens** részére, fűrógépházak a **Makita** cégnek, csomagolások a **MeadWestvaco**-nak.

www.bianor.pl  
10.03.2009.KI (212996)

O. S.

### Új technológia folyadékok melegen tölthetőségére

Az amerikai központú **Plastipak Packaging Inc.** (Plymouth, Michigan) megszerezte a francia **Tecor HR** (Meyreuil) által kidolgozott technológia licencét, amelyvel jelentős anyagmegtakarítás érhető el. A technológia lehetővé teszi, hogy mind az extrúziós fúvásnál, mind a melegen töltésnél a futószalagok sebessége nagyobb legyen, mint eddig, valamint a palackok alakja is változatosabb lehet. Habár a Plastipak véleménye szerint a technológiát még tovább kell fejleszteni, a melegen tölthető italok (energiaitalok, gyümölcslevek, élelmiszerek és étrendkiegészítők) piacának gyors bővülése kifizetődővé teszi a licenc megvásárlását és fejlesztését.

A Plastipak Európában is jelen van, két üzeme Szlovákiában, egy-egy pedig Csehországban és Luxemburgban működik.

29.04.2009 KI (213331)

O. S.

[www.quattroplast.hu](http://www.quattroplast.hu)

## **Közép-Európa műanyag-feldolgozó ipara az Applied Marketing Information (AMI) bemutatásában**

Az ismert piackutató és tanácsadó cég, az angol AMI (Bristol) tanulmányt jelentetett meg Közép-Európa műanyagiparáról, amelyben *négy ország, Lengyelország, Magyarország, Csehország és Szlovákia műanyag-feldolgozó iparát, cégeit ismerteti.*

*A régióban 2008-ban 4,28 millió tonna műanyagot dolgoztak fel a műanyag-feldolgozó vállalatok, a legtöbbet, 2,326 millió tonnát Lengyelországban, ahol hozzávetőlegesen 1700 vállalat működik ebben a szektorban.*

Lengyelországban az EU-hoz való csatlakozás, azaz 2004 óta 7%-kal nőtt a műanyag-felhasználás, köszönhetően a csomagolástechnikában, az autóiparban, a háztartási gépek és fogyasztói elektronikai berendezések gyártása terén eszközölt jelentős beruházásoknak. Lengyelországban 2008-ban az egy főre jutó műanyag-felhasználás meghaladta a 60 kg-ot, ami a régió átlagát meghaladja, de még kevesebb, mint a nyugat-európai átlag (88 kg/fő).

A cseh piac évente 7%-kal nőtt, 2008-ra elérte a 800 ezer tonnát, ami egy főre vetítve 70 kg műanyag-felhasználást jelent. A fő alkalmazási területek: a csomagolástechnika, az autóipar és a háztartási készülékek gyártása. Az AMI 640 műanyag-feldolgozó vállalatot regisztrált az országban, döntő többségükben fröccsöntéssel foglalkozókat.

A szlovák műanyagipar fejlődése sokban hasonló a szomszéd országokéhoz. A műanyag-felhasználás az utóbbi években évente 9%-kal nőtt és 2008-ban közel 400 ezer tonnát ért el. Az AMI 130 műanyag-feldolgozó vállalatról rendelkezik adatokkal. A végfelhasználói iparok közül kiemelkedik az autóipar.

Magyarországon 2007 után a műanyagiparban is lassult a növekedés: 2008-ban – a régióban a legalacsonyabb – már csak 2% volt. Az AMI szerint ezt a magas adók és a bizonytalan üzleti környezet miatt a külföldi beruházások jelentős mértékű csökkenése okozták. 2008-ban az ország műanyag-feldolgozó vállalatai 745 ezer tonna műanyagot dolgoztak fel. Az AMI kb. 600 vállalatot tart nyilván, ezek közül 334-ről részletes információval rendelkezik. A legtöbb vállalat a fóliaszektorban tevékenykedik, a második a sorban 24%-os piaci részesedéssel a fröccsöntés. A fröccsöntött termékek a villamos ipar, a csomagolástechnika és a távközlés igényeit elégítik ki, míg az autóipari alkalmazások jelentősége kisebb, mint a szomszédos országokban.

O. S.

European Plastics News, 36. k. 2. sz. 2009. p. 14.