

## Harc a sztatikus töltések ellen

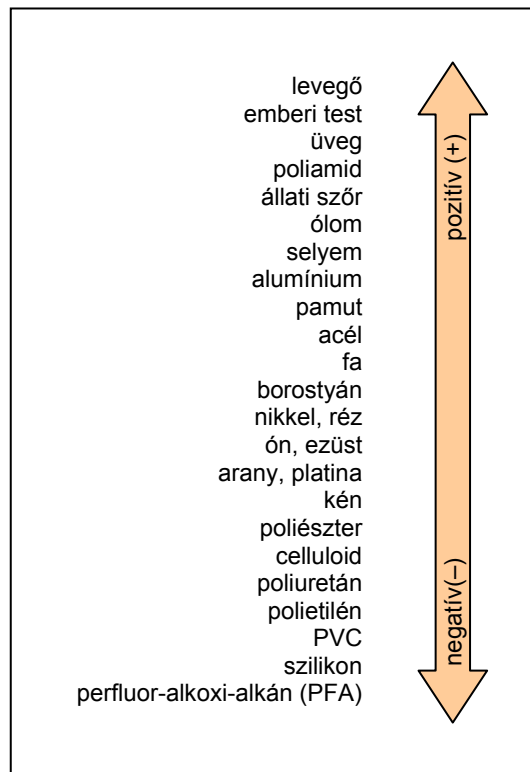
A szigetelő tulajdonságú anyagok, így a műanyagok sztatikus feltöltődése a mindennapokban is kellemetlen, de az iparban komoly veszélyeket rejt magában. A cikkben az egyes anyagok feltöltődési hajlamát és az ellene való védekezés módszereit ismertetik.

*Tárgyszavak: sztatikus feltöltődés; antisztatikumok; migrálás; koronakisülés; piaci adatok.*

### Sztatikus töltések kialakulása és eltávolítása

A hétköznapi életben a sztatikus töltések létéről többnyire akkor szerzünk tudomást, amikor kisülnek, például amikor megfogjuk a kilincset és apró szúrásokat érzünk a kezünkön. A műanyagok előállításakor és feldolgozásakor vagy például a csomagolóanyag-iparban azonban a sztatikus töltések igen kellemetlenné válhatnak. A feltöltött anyagok egymáshoz tapadhatnak, magukhoz vonzzák és ott is tartják a környezetükben levő port, akadályozhatják a laminálást, nyomtatást, lakkozást stb. A sztatikus töltések kialakulásának két leggyakoribb oka két anyag egymáshoz dörzsölődése (dörzselektromosság) vagy két, egymással érintkező anyag egymástól való elválasztása. Ha két, egymástól eltérő felületi energiájú anyag érintkezik, mindig fennáll annak a lehetősége, hogy atomokat ill. elektronokat adnak át egymásnak. Ha töltések adódnak át az egyik testről a másikra, akkor az eredetileg semleges testek egyike pozitívan, a másik negatívan töltötté válik. Ez a folyamat egyszerűen abból származik, hogy a két test Fermi-szintje (és az elektronok kilépési munkája, ami szilárd testek esetében az atomok ionizációs energiájával analóg mennyiség) eltér egymástól. Az úgynevezett *triboelektromos sor* (1. ábra) azt mutatja, hogy két egymással érintkező anyagból melyik fog pozitívan és melyik negatívan feltöltődni. Tekintettel arra, hogy a Fermi-szintet a felületi nedvesség és a szennyezések is befolyásolhatják, két névleg azonos anyag érintkezésekor is keletkezhetnek sztatikus töltések. Az egymáshoz tapadó anyagok elválasztásakor is (hasonló okokból) sztatikus töltések keletkeznek, minél erősebben tapadnak egymáshoz az anyagok, annál nagyobb a feltöltődés. Jól ismert pl., hogy amikor egy ragasztószalagot lehúzunk egy felületről, akár szikrák is képződhetnek. A sztatikus töltések nagysága ilyenkor attól is függ, hogy milyen sebességgel választjuk szét az egymáshoz tapadó felületeket: minél lassabb a szétválasztás, annál kisebb a töltés, mert a részakisülésekben a töltések egy része semlegesítődni tud. A problémák elkerülésére gyakran használnak olyan berendezéseket, amelyek ionokat képeznek, annak reményében, hogy azok semlegesítik a sztatikus töltéseket. Ezek a berendezések azonban adott mennyiségű ion előállítására képesek, ezért előfordulhat, hogy ha nem a

megfelelő mennyiségű iont alkalmaznak, akkor még nőhet is az egyensúlytól való távolság ahelyett, hogy csökkenne.



1. ábra Az ún. triboelektromos sor, amely megmutatja, hogy két egymáshoz dörzsölődő anyagból melyik fog pozitívan és melyik fog negatívan feltöltődni

## Védekezés a sztatikus feltöltődés ellen

Vannak olyan berendezések, amelyek a levegőt ionizálják abból a célból, hogy a keletkező ionok semlegesítsék a sztatikus töltéseket. Egy ilyen berendezés környezetében a porszemek nem töltődnek fel. Ez akkor is működik, amikor más, ugyancsak ismert megoldások (pl. a levegő páratartalmának emelése, földelés) nem alkalmazhatók (pl. villamos szigetelőknél). Ezeket *a berendezéseket önkisülő vagy feszültség hatására kisülő típusokba lehet sorolni*. Az önkisülő ionizátorok felépítése nagyon egyszerű: szén, fém vagy egyéb anyagból álló vezető szálabból áll, amelyek egy kefévé állnak össze és le vannak földelve. Az ilyen eszközök egyszerűek, olcsók, könnyen üzembe helyezhetők és működésükhöz nincs szükség áramforrásra. Minél jobban feltöltődik az anyag, annál nagyobb a térerősség – de ha nincs túl nagy feltöltődés, adott esetben a térerősség nem elég a koronakisülés megindításához. Ebből következően egy ilyen ionizátor segítségével nem lehet teljesen eltávolítani a sztatikus töltést a tárgyakról, ezért olyan alkalmazásokban nem használható, ahol nagy megbízhatósággal és nagy pontossággal kell eltávolítani a töltéseket.

A saját villamos feszültséget alkalmazó berendezések saját feszültségforrással rendelkeznek, és annak segítségével hoznak létre *koronakisülést*. A berendezésben

több tüelektród található, amelyre nagyfeszültséget kapcsolnak. Ilyen esetben a keletkezett ionok száma nem függ attól, hogy a semlegesítendő test felületén mennyi töltés van. Mihelyt a berendezés rá van kapcsolva a hálózatra, stabilan és folyamatosan biztosítja a sztatikus töltések semlegesítéséhez szükséges ionokat. Ez a megoldás akkor jó, ha a semlegesítendő töltésmennyiség időben nagyjából állandó, de nem jelent végleges megoldást, ha időben erősen változik.

## Szabályozás vezérlés helyett

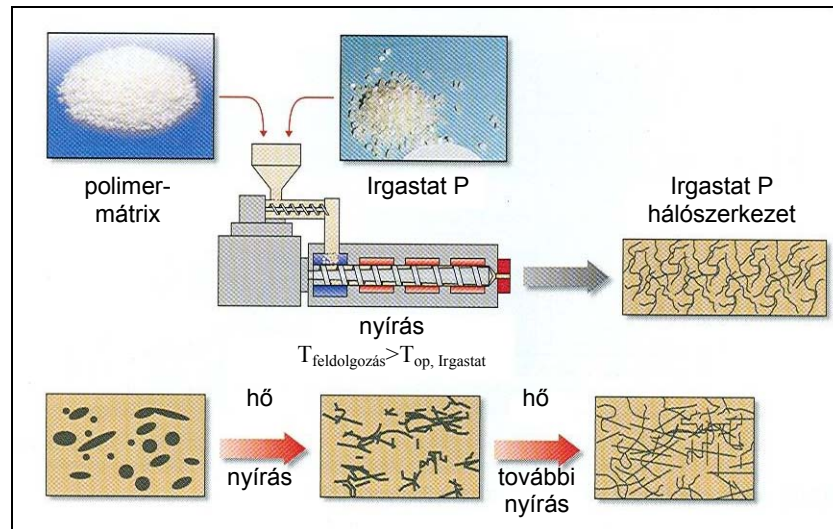
A legújabb fejlesztések eredményeként ma már olyan berendezések is rendelkezésre állnak, amelyek *szabályzó elektronika segítségével a szükségleteknek megfelelő mennyiségű iont állítanak elő*. Ilyeneket gyárt többek között a **Keyence Deutschland GmbH**, például az *SJ-R* sorozatot, amelynek hatótávolsága 2100 mm. A levegőáramlás úgy van megoldva, hogy ne zavarja a lamináris áramlást. 0,3 m/s áramlási sebesség mellett 1,5 m-en belül az ionkoncentráció bőven elég a semlegesítéshez. A fűvókák egyes kialakításának eredményeként a levegőfelhasználás a hagyományos berendezésekhez képest 20%-kal csökken, a kilépési sebesség viszont megduplázódik. Az *SJ-G* típust tisztatéri körülményekre tervezték, amelynek kisütési sebessége 1,4-szer nagyobb, mint a korábbiaké és teljesítménye ötszöröse azokénak. A leírt berendezések váltóáramú impulzus üzemmódban működnek, ami gyors eredményeket biztosít, 60 mm-n belül akár fél másodpercen belül semlegesíti a sztatikus töltéseket. Ez háromszor olyan gyors, mint a hagyományos váltóáramú antisztatizáló berendezések. A lemez vagy fóliaszerű termékek antisztatizálására használt lineáris kialakítás mellett léteznek pontszerű források is, pl. miniatűr termékek semlegesítésére. A LED-es kijelzőkkel a töltések nagysága folyamatosan követhető, és leolvasható a maradéktöltés nagysága is. A kijelzők a berendezés saját állapotát is folyamatosan mutatják és jelzik, ha probléma lép fel a töltésgenerálásban. Ilyenkor az elektródokat tisztítani kell. A berendezések távoli beállítására és ellenőrzésére is lehetőség van.

## Tartós (permanens) antisztatikumok

A hagyományosan alkalmazott antisztatikumok egy része úgy működik, hogy a műanyaghoz kis mennyiségben, azzal termodinamikai értelemben inkompatibilis, kis-molekulás, hidrofil anyagokat kevernek, amelyek lassan a felületre migrálnak, majd a légnedvességet megkötve vízfilmet képeznek, így növelve a felület vezetőképességét. Az adalék a felületről oxidáció, kopás és kioldódás révén folyamatosan távozik – ezért nem lehet „permanens” antisztatikumokról beszélni – hiszen idővel az adalékanyag elfogy. Erre kínálnak megoldást a vezető adalékot, pl. vezetőképes kormot tartalmazó kompaundok, de ezek természetesen feketék.

Vannak olyan *permanens antisztatikumok*, amelyekben ionokat tartalmazó adalékokat oszlatnak el a műanyag teljes térfogatában, ezért ott nemcsak felületi, hanem térfogati vezetésről lehet beszélni (2. ábra). Az így kialakított vezetőképes hálózat nem a migrációval fejt ki hatását, ezért nem is fogy el. Az így létrehozott antisztatikus ha-

tás nem függ a levegő nedvességtartalmától, és nem akadályozza a tetszés szerinti szín kialakítását. Mindezen előnyök ellenére a permanens antisztatikumok felhasználása tíz évvel bevezetésük után is sokkal kisebb, mint a hagyományos típusoké. Ennek egyik oka lényegesen magasabb árak, másik az, hogy nagyobb mennyiségben kell bekeverni őket, mint a migráló antisztatikumokat. A hatásmechanizmusuk sem teljesen tisztázott, és sok felhasználó nincs pontosan tisztában azzal, hogy adott felhasználáshoz milyen vezetőképességi szint és milyen adalékok szükségesek.



2. ábra Az *Irgastat P* permanens antisztatikum bedolgozása a polimerbe: a nyíróerők biztosítják a vezető hálózat kialakulását

## Alkalmazási területek és piacok

A különféle antisztatikumokból 2004-ben kb. 41 000 tonnát használtak fel 186 millió USD értékben. Ennek mintegy 23%-a esett Európára (9800 t), értékben pedig mintegy 19%-a (36 millió USD). Világszerte mennyiségileg kb. 10%-ot tesznek ki a permanens antisztatikumok, értékben azonban 25%-ot. Európában kb. 200 t permanens antisztatikumot használnak fel, ami mintegy 0,5%-a világszerte felhasznált összes antisztatikumnak. A permanens antisztatikumok mennyiségének kb. 80%-át (értékének 75%-át) Ázsiában használják fel. Európában a mennyiség 5,5%-áról, árban 6,6%-ról beszélhetünk. Ennek az az oka, hogy *Ázsiában állítják elő az elektronikus berendezések többségét*, és ott gondoskodni kell a szállítás során fellépő antisztatikus töltések semlegesítéséről, hogy az alkatrészek a kisülés során ne károsodjanak. Európában 2007-ben volt az első áttörés a felhasználásban – az autóiipari belső terek felületein kezdték el alkalmazni őket. Kérdés azonban, hogy ezt mennyire követi további növekedés és milyen hatással lesz az árakra.

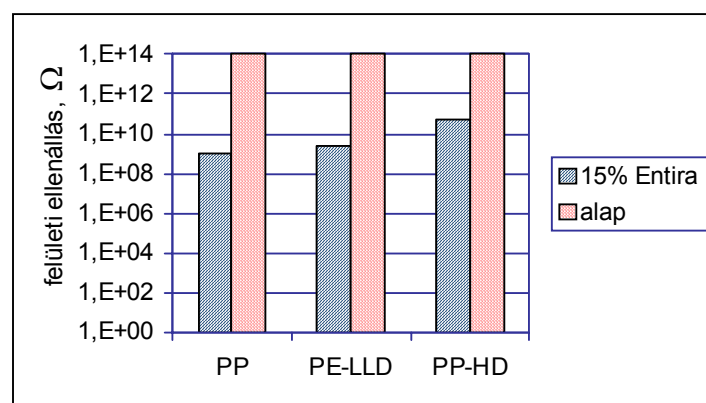
Az elektronikai iparban, amely ugyan költségérzékeny, de igényt tart a nagyfokú biztonságra is, megérte a magasabb ár ellenére is a permanens antisztatikumokat hasz-

nálni, hiszen azok tartósabb felhasználást és tetszőleges színezést tesznek lehetővé. Hasonló érvek szólnak az autóipari alkalmazás mellett is. Vannak azonban további területek is, ahol a permanens antisztatikumok alkalmazása műszaki és/vagy gazdasági okokból indokolt. Ilyen például a kozmetikai ipar, a gyógyászat és az élelmiszeripar, ahol a tisztasági követelmények igen magas fokúak. A biztonságra vonatkozó európai *Atex irányelv* valószínűleg hozzá fog járulni a termékcsoporthoz elterjedéséhez minden olyan területen, ahol a kisülések robbanásokat vagy tüzet okozhatnak. A REACH és egyéb biztonsági engedélyezési előírások rá fogják kényszeríteni az antisztatikumok gyártóit, hogy termékeiket széles körű (és költséges) biztonsági-egészségügyi vizsgálatoknak vessék alá, ami bizonyára szűkíteni fogja a kínálatot, hiszen a termelők egy része nem lesz képes vállalni az ezzel járó költségeket.

A permanens antisztatikumok elterjedésének két fő akadálya van: az egyik a magasabb egységár, a másik a szükséges nagyobb koncentráció. A migráló antisztatikumokból 0,025–0,3% is elegendő, permanens antisztatikumokból viszont 10–20%-ra is szükség lehet.

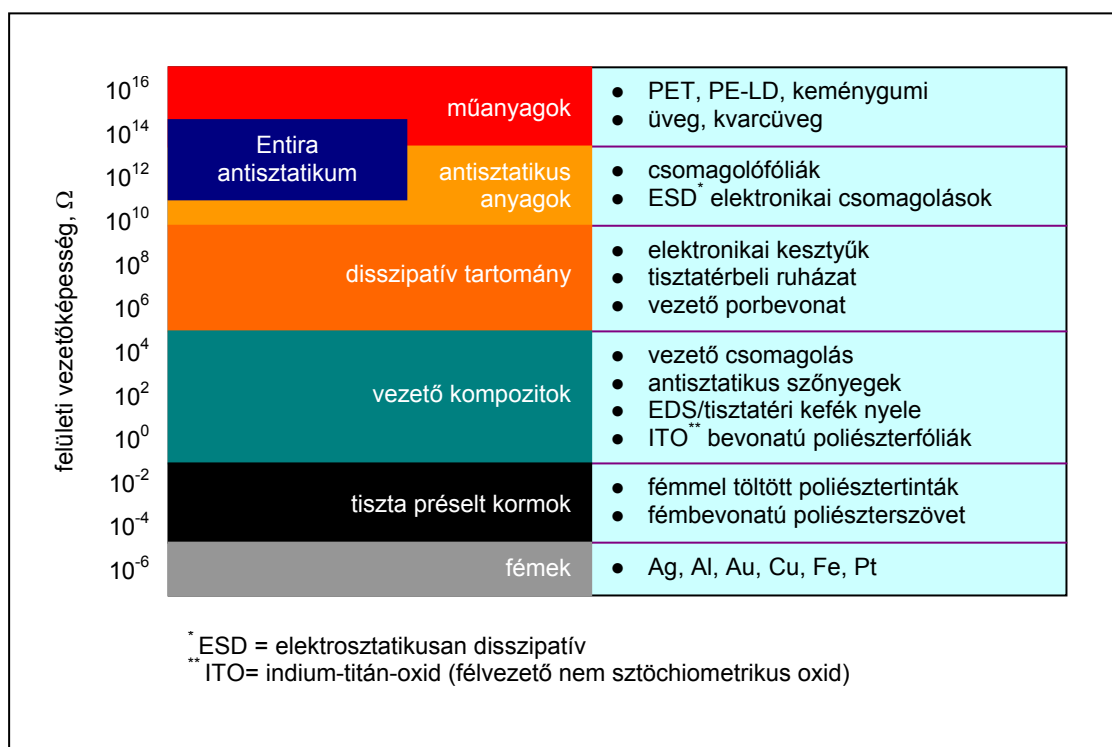
### A permanens antisztatikumok hatása

A permanens antisztatikumok csak akkor válnak hatékonyá, ha elegendő a koncentrációjuk ahhoz, hogy folyamatos vezető hálózatot alakítsanak ki a polimermátrixban és az ionok ezek mentén szabadon mozogni tudnak (ld. a 2. ábrát). Az antisztatikumoknak egyrészt inkompatibilisnek kell lenniük a mátrix polimerrel, hogy külön fázis alkossanak, másrészt viszont lehetőleg minél kevésbé negatív hatással kell lenniük a mechanikai jellemzőkre. Vezető koromból 20–30%-nyi mennyiségre van szükség az ún. perkolációs küszöb eléréséhez, ahol a vezetőképesség rohamosan nőni kezd, a permanens antisztatikumokból pedig már 15% is kielégítő eredményt hoz (3. ábra). A polimer alapú permanens antisztatikumok előnye a vezető korommal szemben a színezhetőség és akár átlátszó tárgyakat is antisztatikussá lehet tenni.



3. ábra Különböző poliolefinnek felületi vezetőképességének változása 15% *Entira* antisztatikum hatására

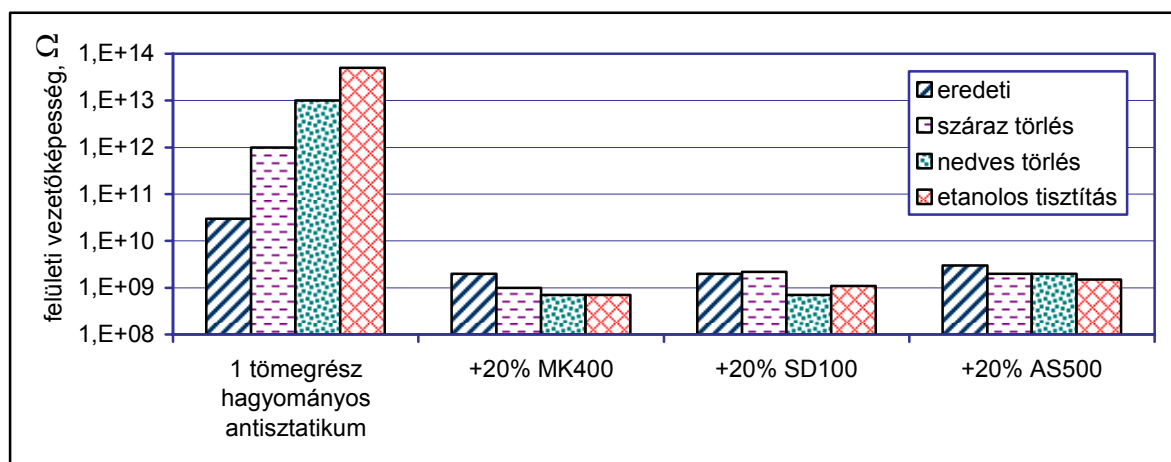
A felhasználók – a vezető kormokhoz szokva – általában  $10^6$  ohm fajlagos felületi vezetőképességet követelnek meg a permanensen antisztatizált termékektől. Mindig meg kell azonban nézni, hogy az adott alkalmazáshoz valóban szükség van-e ilyen szintű vezetőképességre. A 4. ábra foglalja össze a különböző alkalmazásokban megkívánt vezetőképességi szinteket. A porosodás elleni védelemhez általában elegendő a  $10^{12}$  ohm érték. Nézzünk meg egy konkrét esetet: egy kondicionáló vagy sportteremben sok szintetikus ruha és cipőtalp van, ezért pl. a járás, futás során nagy töltések halmozódhatnak fel, ha a padló szigetelő tulajdonságú műanyag. Ha egy felöltött ruházatú sportoló hozzáér egy kondicionáló gép fém alkatrészéhez, kívül, esetleg a gép elektronikája is megsérülhet, ha nincs kisülés ellen védve. Ha az elektronikát védő ház fémből készül, az elektronika maga védett lesz, de a sportoló érezni fogja a kellemetlen kisülést. Ha a vezetőképesség átmeneti, a kisülés is lassúbb lesz, és mind az elektronikát, mind a személyt védi.



4. ábra Anyagok/termékek osztályozása felületi vezetőképességük alapján

A robbanószerek csomagolására használt *big-bag csomagolások* vezetőképes szálat tartalmaznak és védelmet nyújtanak a sztatikus kisülésből származó robbanással szemben, ha földeltek. Ha azonban a földelés megszakad és a zsák szigetelő talajon áll, a szövet feltöltődhet. Ha vezető helyett permanens antisztatikumot tartalmazó szál használunk, kisebb a robbanás veszélye, mert az esetlegesen felgyűlt töltés elvezetése lassúbb. Mindkét példánál a *kisebb vezetőképesség előnyösebb*. Az antisztatikus alkalmazásokkal foglalkozó szabványok is elsősorban a sztatikus töltésből származó

feszültség leépülésének sebességét (időállandóját) írják elő, nem a felületi vezetőképességet.



5. ábra Hagyományos és permanens antisztatikumok hatásosságának összehasonlítása a felület tisztítása után

1. táblázat

Európában használt permanens antisztatikumok gyártói és jellemzői

Gyártó	Termék	Felhasználás	Élelmiszer engedély
Sanyo Chemicals, kereskedelem: Toyota Tsusho*	Pelestat 300 303 230 HC 250 NC 6321 NC 7530 6500 HC 6800	PP,PE PP PE, PP, PMMA PE, PP, PMMA ABS, HIPS, PA, PBT, PC+ ABS PS, HIPS ABS, HIPS, PA, PC+ABS ABS, HIPS, PA, PBT, PC+ABS	FDA, 200/72/EC  FDA, 200/72/EC
DuPont **	Entira Antistat SD100 500 MK400	Poliolefinek, egyebek Poliolefinek, egyebek	FDA, európai
Arkema ***	Pebax MV 1074  MH 1657	PE, PP, PS, HIPS, PVC, ABS+PC, PMMA, PBT, PETG, POM, PA PE, PS, HIPS, ABS, ABS+PC, PBT, PETG, PA	

\* [www.sanyo-chemical.co.jp/productline/plastics/eng/index.htm](http://www.sanyo-chemical.co.jp/productline/plastics/eng/index.htm)

\*\* [www2.dupont.com/Packaging\\_Resins/en\\_US/products/index.htm](http://www2.dupont.com/Packaging_Resins/en_US/products/index.htm)

\*\*\* [www.pebax.com](http://www.pebax.com)

A permanens antisztatikumok nagy előnye a migrálókkal szemben az, hogy hatásuk azonnali (nincs szükség diffúzióra) és független a levegő nedvességtartalmától. Ugyancsak különbséget jelent, hogy a permanens antisztatikumok nem moshatók/törölhetőek le a felszínről (5. ábra). A különböző termékekre vonatkozó teljesítményadatok azonban csak akkor hasonlíthatók össze, ha pontosan azonos feltételek mellett készültek. Fontos lenne, hogy a gyártók azt is megadják: a különböző mennyiségű permanens antisztatikum hozzáadásának hatására mennyit romlanak a mátrixpolimer mechanikai jellemzői, hogyan befolyásolja az antisztatikum jelenléte a fény- és a hőstabilizátorok működését, a színek állandóságát. Ezek természetesen már költségesebb vizsgálatokat igényelnek, amelyeket az antisztatikumgyártók a végfelhasználókkal együtt egy nagyobb megrendelés reményében végeznek el. Az 1. táblázat néhány Európában ismert gyártó és termék nevét foglalja össze a mátrixpolimerek megjelölésével együtt.

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

Ruthenberg, R.: Geregelte Entladung = Kunststoffe, 98. k. 4. sz. 2008. p. 48–50.  
Hund, M. C.: Von langer Dauer = Kunststoffe, 100. k. 2010. p. 50–54.

## Röviden...

### Nagy szilárdságú vezetőképes műszaki műanyagok

A szénszállal erősített műszaki műanyagok ma már a statikus és dinamikus terhelést is jól bírják. Fém alkatrészek helyettesítésére is alkalmasak, hiszen az alumíniuméhoz hasonló tulajdonságokat mutatnak: húzószilárdságuk a 365 MPa-t, E-modulusuk a 30 GPa-t is elérheti. Ilyen célokra mátrixpolimerként elsősorban a poli(fenilén-éter) PPE, a poli(fenilén-szulfid) PPS, a poli(éter-ke-ton) PEEK, a poli(éter-imid) PEI, a poli(éter-szulfon) PESU és a poli(fenilén-szulfon) PSU jöhet számításba.

Mind gyakoribb, hogy a fentebb felsorolt erősített műanyagokból gyártott termékeknek az alkalmazásuktól függően speciális követelményeknek is meg kell felelniük. Például, ha az üzemeltetés során hő képződik, az alkatrésznek a belső térben keletkezett hőmennyiséget vagy pl. a felületen összegyűlt elektrosztatikus töltéseket is el kell tudni vezetnie.

A hamburgi **Lehmann & Voss Co.** speciális adalékok kombinálásával készült keverékekkel – többek között nanoszerkezetekkel – oldja meg ezeket a nem mindennapi feladatokat. A keverékek fejlesztésével, gyártásával a cég *Luvocom* üzletága foglalkozik. A kompaundok fejlesztése során a különleges tulajdonság biztosítása mellett ügyelnek arra, hogy a mátrixpolimer tulajdonságai a lehető legkisebb mértékben változzanak.

P. M.

Kunststoffe, 99. k. 9. sz. 2009. p. 91.