

## Műanyagok kiválasztásának szempontjai

A műanyagok típusválasztéka ma már olyan széles, hogy az adott alkalmazás követelményeit gazdaságosan teljesítő alapanyag kiválasztása komoly szaktudást és tervezőmunkát igényel. A különböző műanyagfajták legfontosabb tulajdonságai jellemzően eltérnek egymástól, amelyek ismerete jó kiindulópontot ad az anyagkiválasztás optimalizálásához.

*Tárgyszavak: szerkezet; tulajdonságok; hőállóság; műszaki műanyagok; anyagkiválasztás; vizsgálati módszerek.*

### A műanyagokról általában

A műanyagokat, mint szerkezeti anyagokat az utóbbi évszázadban gyakorlatilag minden területen sikerrel alkalmazták. A világtermelés 2004-ben 225 millió tonnát tett ki, a növekedési ütem ma is 5% évente. A kilencvenes évek óta a műanyagok világtermelése térfogatra számítva már nagyobb, mint az acélé. Ennek az imponáló növekedésnek két fő oka van: egyrészt a különböző műanyagok változatos tulajdonságeggyüttesének köszönhetően rendkívül széles alkalmazástechnikai területek igényeit tudják kielégíteni, másrészt segítségükkel a feldolgozás során a költségeket lényegesen csökkentő integráltság érhető el.

Ismert, hogy a műanyagokat három csoportba sorolják a feldolgozás, az alakadás során lejátszódó folyamatok szerint. A legnagyobb mennyiséget a hőre lágyulók (termoplasztok) képviselik, amelyeknél a feldolgozás során csak fizikai folyamat – halmazállapot-változás – játszódik le. A gumyszerű elasztikus tulajdonságokkal rendelkező elasztomerek és a hőre keményedő duroplasztok feldolgozása során kémiai reakció – térhálósodás – megy végbe.

*A termoplasztok szerkezetük szerint vagy részben kristályosak, vagy teljesen amorfak.* A legismertebb kristályos polimerek a polietilén (PE), a polipropilén (PP), a poli(oxi-metilén) vagy poliacetál (POM), a poliamid (PA) és a poliészter (PET). Ezeknél a polimereknél párhuzamos molekulaláncokból felépülő rendezett kristályos és rendezetlen amorf tartományok alkotják a szerkezetet. A nem kristályosodó, amorf polimereknél oldalcsoportok akadályozzák a kristályos szerkezet kialakulását. Ilyenek a sztiroltartalmú polimerek (PS, ABS, SMA), a PVC és a polikarbonát (PC). A kristályos tartományok határozzák meg a szilárdsági, a merevségi tulajdonságokat, ezért a részben kristályos polimerek ezen tulajdonságai jobbak. Az amorf tartományok biztosítják a műanyagok szívósságát és nyúlását.

*A műanyagok tulajdonságai sokkal inkább függenek a hőmérséklettől, mint a fémeké, mivel az előbbiek olvadási hőmérséklete sokkal alacsonyabb. A polimer szerkezete meghatározza a hőmérséklet hatására bekövetkező fázisátalakulás menetét is. Kristályos szerkezetnél a szilárd halmazállapotból az olvadékba történő átmenet (ill. a fordított folyamat) egy nagyon szűk intervallumban, jól meghatározható olvadási hőmérsékleten megy végbe, míg az amorf polimereknél 20–40 °C-os üvegesedési hőmérséklet-tartományban alakul ki a „megmerevedett folyadék” szerkezet, amely az üvegre is jellemző. Üvegesedési átmenet van a kristályos polimereknél is: a szilárd halmazállapoton belül az ún. üvegesedési hőmérséklet, a  $T_g$  alatt a műanyag rideggé válik. Ennek megfelelően a részben kristályos műanyagok felhasználási hőmérséklet-tartománya a  $T_g$  felett van.*

*Az eltérő szerkezetű polimerek optikai és a felületi tulajdonságai is különböznek. Az amorf polimerek általában átlátszóbbak, felületük keményebb, mint a számos mikrokristályból álló és ezért mikroméretű határfelületekkel rendelkező kristályos polimerek. Ez utóbbiak általában fehérek és felületük matt.*

Vannak olyan tulajdonságok, amelyek döntően a kémiai szerkezettől függenek. *A vegyszerekkel szembeni ellenállásnál a „hasonlót a hasonlót támadja” elv érvényesül, vagyis a poláros makromolekulák ellenállóbbak az apoláros oldószerekkel (benzin, olaj) szemben, míg az apoláros polimerek vegyszerállósága az apoláros anyagokat kivéve kiváló. A termoplasztok általában jól ellenállnak a különböző savaknak és lúgoknak, de ebből a szempontból az erősebben poláros műanyagok, pl. a PA, érzékenyebbek. A makromolekula polárosságával függenek össze a dielektromos tulajdonságok is. Az elektromos szigetelőképességben nincsenek jelentős különbségek: valamennyi műanyag elektromosan szigetelő: az átmeneti ellenállásuk  $10^{13}$ , felületi ellenállásuk  $10^{10}$  ohm cm.*

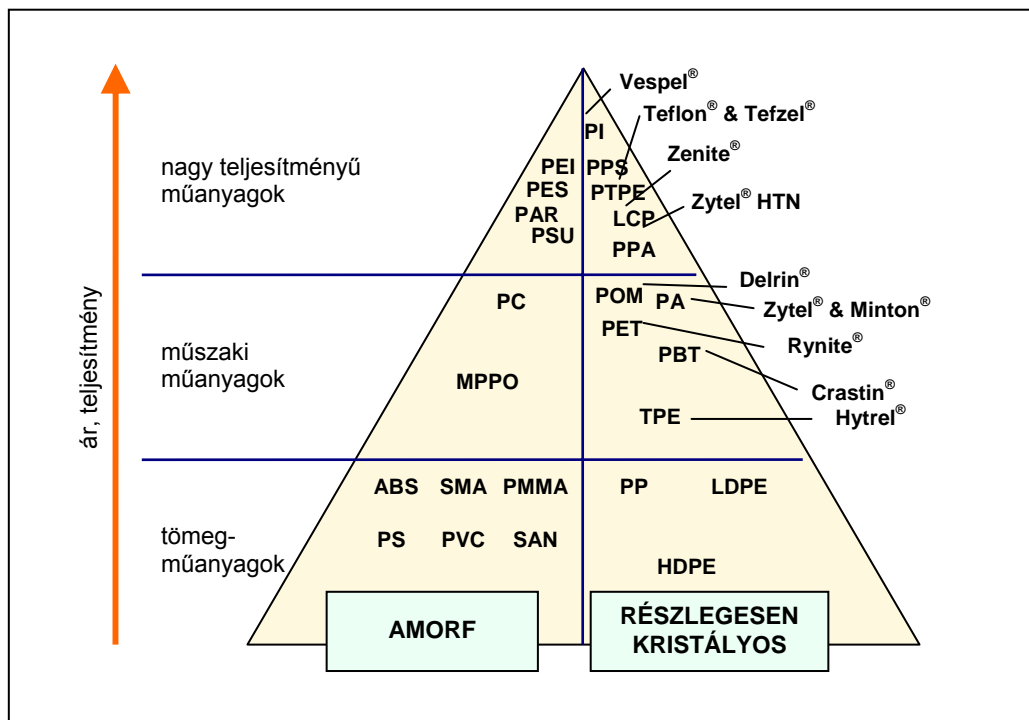
Az egyéb anyagcsoportokhoz hasonlóan a műanyagoknál is felállítható a piramisszerkezet a teljesítmény és az ár szerint. A piramis alapját a tömegműanyagok adják, a középső tartományt a műszaki műanyagok jelentik, a csúcson a ma még kisebb mennyiségben használt különböző speciális vagy a magas hőmérsékleten is kiemelkedő tulajdonságokkal rendelkező nagy teljesítményű műanyagok találhatók (1. ábra).

A rendkívül széles tulajdonságspektrum tovább szélesíthető a műanyagok keverésével, blendék és ötvözetek előállításával, valamint számos adalékanyaggal, köztük a leggyakrabban használt üvegszállal, elasztomerekkel és égésgátlókkal. A különböző felhasználási területeken az optimális alapanyag meghatározásához számos követelményt kell figyelembe venni. *Az anyag kiválasztásánál rendszerint megcélzott szilárdsági és merevségi értékből indulnak ki, majd a többi követelményt (beleértve az árat) is figyelembe véve lehet a kívánt megoldáshoz eljutni.*

## **Nagy szilárdság- és modulusértékek – műszaki műanyagok**

Az erősítetlen műanyagok szilárdsági értékei 15 MPa-tól (pl. PE-LD) a 100 MPa-ig [pl. poli(éter-imid) – PEI] terjedhetnek. A rugalmassági modulus értékhatárai: 300 MPa (PE-LD) és 3600 MPa (PEEK). Üvegszál-erősítéssel a modulus 20 000 MPa-

ra is növelhető. A fenti értékeknek megfelelően széles skálán mozognak a szakadási nyúlás értékei is. Az amorf polisztirolnál ez 3%, a részben kristályos polietilénnél az 1000%-ot is elérheti.



1. ábra A DuPont választékának bemutatása a műanyagok piramisán

Ha a készterméknek nagy szilárdságúnak és merevnek kell lennie, a tömegműanyagok rendszerint nem felelnek meg a követelményeknek, és ekkor a megoldást a műszaki műanyagok között kell keresni.

A műszaki műanyagok közül legnagyobb mennyiségben a poliamidokat használják, mivel a szálgyártásban is használt hatalmas mennyiségnek köszönhetően az alappolimerek, a PA 6 és a PA 66 is könnyen hozzáférhetők és viszonylag olcsók. Hasonló okok miatt nőhet a jövőben a hőre lágyuló poliészterek felhasználása is.

A *poliamidoknak* több fajtája és ezeken belül számos típusa áll rendelkezésre. Poláros kémiai szerkezetük révén jól adalékolhatók mind ásványi, mind szerves anyagokkal. Széles körű alkalmazásuk alapja a tulajdonságaik között meglévő kiegyensúlyozottság: az egyidejűleg tapasztalható jó szilárdság és szívósság, jó csillapító képesség, kopásállóság, kedvező súrlódási tulajdonságok. Agresszív környezeti hatásoknak ellenállnak. Jó folyóképességüknek köszönhetően gazdaságos és problémamentes a feldolgozásuk.

A *hőre lágyuló poliészterek* [poli(etilén-tereftalát) – PTFE] és [poli(butilén-tereftalát) – PBT] – a poliamidokhoz hasonlóan – jó mechanikai tulajdonságai jó kopási és elektromos tulajdonságokkal (szigetelőképeség, ívállóság) párosulnak.

A *poliacetál* [poli(oxi-metilén) – POM] mutat leginkább a fémekéhez hasonló tulajdonságokat nagy kristályosságából következően. A nagy szilárdság és a merevség mellett nagy a felületi keménysége, és ebből adódóan jók a súrlódási és kopási tulajdonságai is. Nem vesz fel nedvességet a környezetből, ezért a belőle gyártott termékeknek jó a méretállandósága.

Míg a fenti három műszaki műanyag részlegesen kristályos, a *polikarbonát* teljesen amorf, ennek megfelelően víztiszta, átlátszó. Az amorf szerkezetnek megfelelően jó a szívóssága, de jó a keménysége is, mivel az üveges állapot egészen 130 °C-ig megmarad. Ennek köszönhetően a polikarbonát jól alkalmazható mind extrém alacsony (–150 °C), mind magas (+135 °C-ig) hőmérsékleteken. A polikarbonát mechanikailag jól megmunkálható, felülete polírozható.

Az 1. táblázatban néhány tömegműanyag és műszaki műanyag szakítószilárdságának, húzó E-modulusának és max. rövid idejű alkalmazási hőmérsékletének jellemző értékei vannak feltüntetve.

1. táblázat

Néhány műszaki műanyag és tömegműanyag mechanikai tulajdonságainak és rövid idejű hőállóságának összehasonlítása

Műanyagfajta	Szakítószilárdság N/mm <sup>2</sup>	Szakító E-modulus N/mm <sup>2</sup>	Max. alkalmazási hőmérséklet <sup>x</sup> , °C
PE-HD	18–37	600–1300	90–120
PP	20–39	110–1400	140
POM	61–70	2000–3200	110–140
PBT	40	2000	160–165
PET	45–48	3100–3300	200
PA	70–87	2900–3300	130–200
PC	58–68	2100–2500	160

<sup>x</sup>: Rövid idejű.

## Szívósság, ütésállóság

A szívósság fogalomköre a műanyagoknál sokkal komplexebb, mint a szilárdság. *Szívós az a műanyag, amely erő hatására irreverzibilis deformációt szenved el, mielőtt eltörik.* Ezzel szemben rideg az az anyag, amely deformáció nélkül törik. A fogalomkörön belül a gyakorlat szempontjából legfontosabb mutató az ütésállóság, amellyel a műanyagoknak az ütésszerű mechanikai igénybevétel hatására bekövetkező viselkedését jellemzik. A deformációsebesség ezeknél a vizsgálatoknál nagyobb, mint 500 mm/s.

Mivel az ütésállóságra a vizsgált test geometriája is nagy hatással van, az ütésállóságra megadott értékek csak a vizsgálati módszer ismeretében értékelhetők. Az alapanyag kiválasztásánál ezért az anyagokat azonos módszerrel kell összehasonlítani. Az

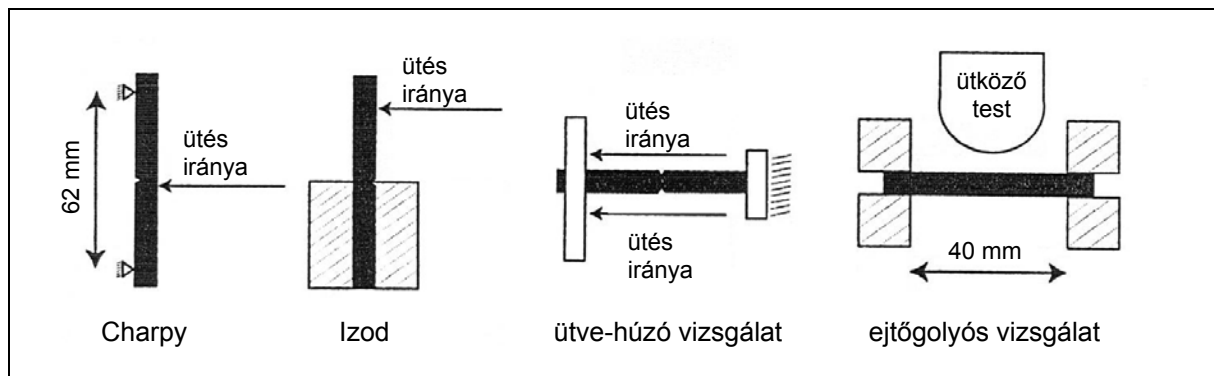
ütésállóság vizsgálatára elfogadott két különböző módszert két nemzetközi szabvány írja le: az ISO 179 és az ISO 180.

Az ISO 179 az ún. *Charpy vizsgálatot* tartalmazza, amely szerint 80 mm hosszú, 4x10 mm keresztmetszetű próbatestet vizsgálnak 62 mm befogással. A próbatestet lengő kalapáccsal ütik meg, és a test által felvett energiát a becsapódási energia és az átütés utáni energia különbségéből számítják ki. Az ütésállóság jellemzésére a vizsgálati felületre vonatkoztatott ütőmunkát használják ( $\text{kJ/m}^2$ ). A hornyolt próbatesten végzett ütésállóság-vizsgálatkor 2 mm mély, 0,25 mm-es hornyot vágnak a próbatestbe. Az ütést a nem hornyolt oldalra mérik. Az ún. Izod vizsgálatnál (ISO 180) a próbatestet csak egyik végén rögzítik. A horony a befogástól indul az ütés oldalán. Ennél a vizsgálatnál is a törést előidéző munka adja az ütésállóságot.

A gyakorlathoz közeli vizsgálat az ún. *ejtőgolyós ütésállósági vizsgálat*, amelyet az ISO 6603-2 ír le. Az erőt itt egy félgömb formájú polírozott ütközőtest fejtí ki, amely nagy sebességgel ütközik a 2 mm vastag 60 mm átmérőjű próbalemezre. Ezt a próbatestet 40 mm átmérőjű kör alakú befogóval rögzítik. A legegyszerűbb vizsgálati eljárás szerint több próbatest vizsgálatával megállapítják azt az ütőmunkát, amelynél a próbatestek 50%-a törik vagy reped az ütközés következtében. A vizsgálatokból számítással további jellemzők, a károsodás nélkül elviselt legnagyobb erő, az ehhez tartozó deformáció és az átlukasztási energia is meghatározhatók.

Azokra az anyagokra, amelyek nem törnek a vizsgálat során, az *ütve-húzó szilárdság vizsgálata* ad felvilágosítást. Ennek szabványa az ISO 8256. Ennél a vizsgálatnál a mindkét oldalán hornyolt próbatestet egy oldalon fogják be. A másik végén egy keresztfej van. Erre üt egy osztott lengő kalapács, előidézve ezzel egy nagy sebességű húzást. Itt is a keresztmetszetre vonatkoztatott ütőmunka adja az ütésállóságot.

Az ütésállósági vizsgálati módszerek sematikusán a 2. ábrán láthatók.



2. ábra Különböző igénybevételek az ütésállósági vizsgálatoknál

A fenti szabványok közül három magyar szabványként is funkcionál:  
MSz-EN-ISO 179 – 1: 2000/ Módosítva: A1:2005  
MSz-EN-ISO 6603 -2: 2001  
MSz-EN-ISO 8256:2004

A szívósság jellemzésére leggyakrabban használt hornyolt próbatesten mért ütésállósági érték a műanyagoknál 1–130 kJ/m<sup>2</sup> között lehet. Az értéket általában megadják normál szobahőmérsékletre és alacsony hőmérsékletre (–30 °C) is. Amennyiben a műanyag szerkezetében az amorf tartományok nem képesek elegendő energiát átvenni a merevebb kristallitoktól, adalékokkal lehet és gyakran kell is az energiaelnyelést növelni, hogy ne következzen be a rideg törés. Erre a célra leggyakrabban elasztomereket használnak. A módosítás hatására az ütésállóság a műanyag típusától és az egyéb adalékoktól függően többszörösére nő. Néhány műszaki műanyag Charpy ütésállósági értékei – bemetszett próbatesteken – a 2. táblázatban láthatók.

2. táblázat

Műszaki műanyagok ütésállósága (Charpy szerint bemetszett próbatesteken mérve)

Műanyagfajta	Ütésállóság, kJ/m <sup>2</sup>	
	+23 °C	–30 °C
Crastin PBT	4	4
Crastin PBT ütésálló	85	13
Delrin POM	8–15	6–10
Delrin POM ütésálló	max. 100	max. 20
Rynite PET	9–12	8–12
Rynite PET ütésálló	11	8
Zytel PA 6 száraz	4–5	2–3,5
Zytel PA 6 ütésálló száraz	14	9
Zytel PA 66 száraz	4–5	3–4
Zytel PA 66 ütésálló száraz	12–65	8–20
ABS	20	2
ASA	18	7
PC	30	–
Ütésálló PC	35–45	25–35

## Hőalaktartóság

A hő hatására fellépő tulajdonságváltozások ismerete különösen akkor fontos, amikor a műanyagterméket egyidejűleg mechanikai igénybevétel is éri. A műanyagok hőállóságának meghatározására kétféle vizsgálati módszer áll rendelkezésre: a *Vicat-féle lágyuláspont és a terhelés alatti lehajlás hőmérsékletének (HDT)* meghatározása. Mivel a két eljárásban az igénybevétel eltérő – a Vicat-nál nyomó, a HDT-nél hajlító – a kétféle vizsgálattal kapott eredmények közvetlenül nem vethetők össze. Általában a magasabb olvadáspontú műanyagok egyben hőállóbbak is, de például a *Delrin* márkájú POM viszonylag alacsony olvadáspontja (178 °C) ellenére 160 °C-os Vicat- és 100 °C-os HDT-értékkel rendelkezik. Az anyag nagy keménysége és merevsége nagyobb hőállóságot eredményez. A hőállóság növelésének ismert módja az üvegszállal

vagy krétával, talkummal való erősítés. Pl. a Rynite PET (hőre lágyuló poliészter) HDT-értéke (1,8 MPa, 120 °C/min) erősítés nélkül 60 °C, 55% üvegszál-erősítéssel pedig 225 °C. Néhány tömegműanyag és műszaki műanyag hőállósági értékeit a 3. táblázat foglalja össze.

3. táblázat

Néhány műanyagfajta hőállósági értékei

Műanyagfajta	HDT, °C (1,8 MPa, 120 °C)	Vicat hőmérséklet, °C (50 N, 50 °C/h)	Olvasási hőmérséklet, °C
PE-HD	50	75	130
POM	100	165	180
PBT	60	175	235
PBT+30% üvegszál	205	210	230
PET	80	180	250
PET+30% üvegszál	230	245	250
PA 6	60	200	230
PA 6+30% üvegszál	210	215	230
PA 66	75	235	255
PA 66+30% üvegszál	250	250	255
PC	130	130	240

Az autóipar egyre jobban igényli a hőálló műanyagokat. Napjainkban a műanyagfejlesztők számára a legnagyobb kihívást a motortérben való alkalmazás jelenti. Erre a célra az egyik legbiztosabb választás a DuPont Zytel HTN51G35 nagy teljesítményű poliamid típusa, amely 35%-os üvegszáltöltéssel 288 °C-os HDT-t eredményez. Az anyag külön előnye, hogy kis falvastagságokkal is képes biztosítani az alkatrész szükséges nagy merevségét. A Daimler-Chrysler új 3 literes dieselmotorjánál a turbófeltöltő magas hőmérséklete miatt hővédő pajzsot építettek be, amely ebből a típusból készült.

## Példák az optimális anyagkiválasztásra

### *Szállítólánc és fogaskerekes hajtómű kenés nélkül*

Egy szállítólánc vagy hajtómű egyes elemeinek mindenekelőtt szilárdnak és ütésállóknak kell lenniük alacsony súrlódás és jó kopásállóság mellett. További követelmény a jó rugalmasság kis nyúlás mellett. Fontos a méretstabilitás változó hőmérséklet és nedvesség mellett is. Mindezen követelményeket a POM elégíti ki leginkább, amelynek a nagy felületi keménysége biztosítja az alacsony súrlódást, ráadásul ellenáll a kenőanyagoknak és a vegyszereknek is. Ezenfelül a fémekhez képest kevésbé zajos és kisebb tömegű. A szállítólánchoz hasonló követelményeket támaszt egy fogaskerék-hajtómű is. A POM (pl. a **DuPont Delrin** márkájú anyaga) alkalmazásával kis tömegű, csendes, kenést nem igénylő fogaskerekes hajtásokat lehet készíteni.

### *Csőbilincs a motortérben*

A funkciók integrációjának jó példája a motortérben található csövek rögzítésére szolgáló bilincs. Ehhez olyan alapanyagra van szükség, amely egyszerre szilárd és ugyanakkor rugalmas, hogy a többszöri nyitást is bírja. Erre a funkcióra a *poliamidot* találták optimálisnak, amely a fenti követelmények kielégítése mellett még formatartó a kívánt 120 °C-ig, és ellenáll az üzemanyagoknak, valamint a kenő- és tisztítószernek is.

### *Arc- és légzésvédő hegesztősisak*

A szükség szerint arc- és légzésvédő funkciót is ellátó védősisaknak nemcsak a mechanikai hatások ellen kell védelmet nyújtani, hanem a forróság és a fröccsenő fém ellen is. Az arcvédő egység zavartalan mozgatásához alacsony súrlódás szükséges. Mindezeket a követelményeket egyszerre elégíti ki *egy üvegszál-erősítésű, elasztomerrel ütésállóvá tett poliamid*, pl. a DuPont *Zytel SST* típusa (SST: stiff and super tough = merev és szuper szívós). Ez az anyag viszkoelasztikuságát alacsony hőmérsékleten, – 30 °C-ig is megőrzi, és merevsége elegendően nagy a fej ütés elleni védelméhez.

### *Síkötés*

A modern síkötésnek szélsőséges körülmények között is védeni kell a sérülések ellen. Ezt két nagy ütésálló polimer kombinációjával érik el. A cipőorr rögzítésére szolgáló egység *üvegszálal poliamidból*, a síkötés alaplapja és a többi alkatrész *POM-ból (poliacetálból)* készül. Ez a kombináció lehetővé teszi a különböző elemek súrlódás- és kopásmentes mozgatását. Mivel a műanyagfelületeken a jég alig tapad, a kötést kioldó erő a használat során max. 10%-kal nő.

### *Műszerház a gépkocsikban elektronika és érzékelők számára*

Az autógyártásban talán a legnyilvánvalóbb az ütésálló műanyagok szerepe, ahol a tömegcsökkentésnek óriási a jelentősége. Például az *ütésálló, üvegszálal poliamidból (Zytel SST)* készült műszerdoboz 40%-kal kisebb tömegű, mintha fémből készítették volna. Ezek a műanyag házak –40 – +85 °C tartományban 500 Hz frekvenciáig kielégítik a termékre előírt rezgésteszt követelményeit.

Összeállította: Máthé Csabáné dr.

Class, H.; Schmidt, H.; Winnemann, D.: Was können Kunststoffe? = *Plastverarbeiter*, 56. k. 11. sz. 2005. p. 74–76.

Class, H.; Schmidt, H.; Winnemann, D.: Hohe Steifigkeit und Festigkeit. = *Plastverarbeiter*, 56. k. 12. sz. 2005. p. 34–35.

Class, H.; Schmidt, H.; Winnemann, D.: Gefahr gebannt mit Sicherheitsreserven. = *Plastverarbeiter*, 57. k. 6. sz. 2006. p. 42–44.

Class, H.; Schmidt, H.; Winnemann, D.: Temperaturbeständig unter der Haube. = *Plastverarbeiter*, 57. k. 3. sz. 2006. p. 58–61.