

## 3.3 | Térhálósított műszaki műanyagok

1.1

*Tárgyszavak: villamosipar; elektronika; műszaki műanyag; térhálósítás; besugárzás; poliamid, poli(butilén-tereftalát); galvanizálás; MID; SMD.*

### **A magasabb hőállóság iránti igény megjelenése az elektronikai iparban**

Az elektronikai termékek miniatürizálása iránti igény azt is jelenti, hogy a tervezőknek és gyártóknak egyre bonyolultabb egységeket kell elhelyezniük egyre szűkebb térben. A felületmontírozási technológia (surface mounted devices, SMD) vagy a háromdimenziós kapcsolóelemek (3D-moulded inter-connected devices, MID) technológiája elősegíti a nagyfokú miniatürizálást. Az SMD technológia lehetővé teszi az érintkezők szorosabb elhelyezését, és a nyomtatott áramkör mindkét oldala egymástól függetlenül használhatóvá válik. Ehhez azonban az alkalmazott anyagoknak rövid ideig el kell viselniük a 400 °C-os forrasztási hőmérsékletet. Jelenleg ennek a követelménynek olyan speciális műszaki műanyagok tesznek eleget, mint a folyadékkristályos polimerek (LCP), a poli(éter-imid) (PEI), a poli(éter-éter-keton) (PEEK) vagy a poli(fenilén-szulfid) (PPS). Az ilyen alapanyagok jóval drágábbak, mint a villamosiparban gyakrabban használt poli(butilén-tereftalát) (PBT) vagy a poliamidok (PA). A hőálló műszaki műanyagok zsugorodása és vetemedése is eltér a közönséges műszaki műanyagokétól, ezért nem lehet őket ugyanabban a szerszámban feldolgozni. A speciális műszaki műanyagok feldolgozásának nagyobb energiaigénye (magasabb ömledék-hőmérséklet) is növeli a feldolgozás költségeit. A drága alapanyagok helyett alternatív megoldást jelent, ha megpróbálják a közepes teljesítményű műszaki műanyagok hőállóságát térhálósítással javítani.

### **A térhálósítás előnyei**

A poliolefinek elektronsugaras térhálósítási technológiáját már az 1970-es évek óta rutinszerűen alkalmazzák halogénmentes vagy hőálló kábelek készítésére, forróvízes csövek kezelésére, zsugorcsonkok, fóliák és habok gyártására. Ez a módszer a kémiai térhálósítás mellett világszerte elismert, gazdaságos és környezetkímélő eljárás.

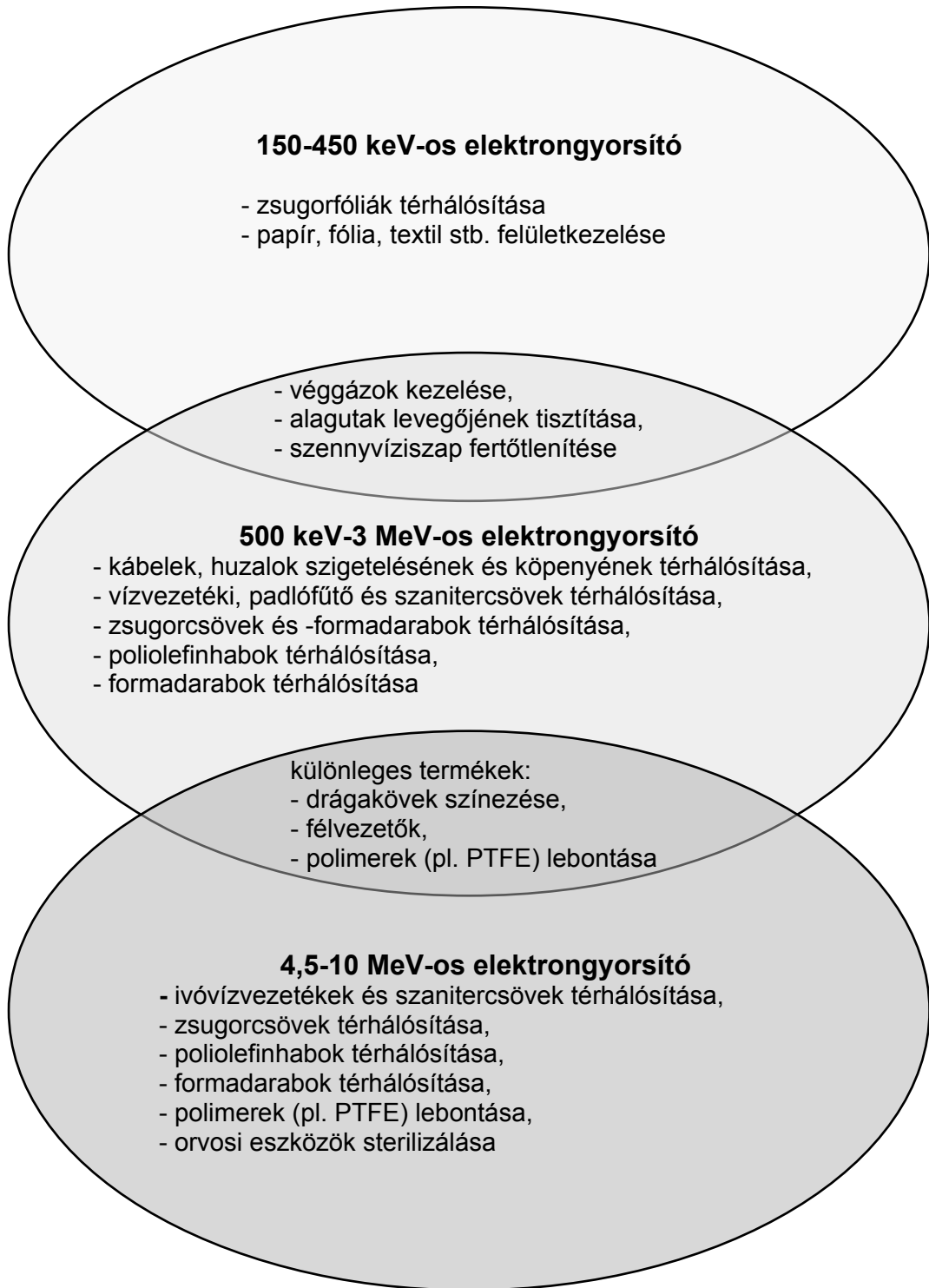
Ugyanezt a technológiát alkalmazni lehet műszaki műanyagok, pl. PA 6, PA 66 vagy PBT térhálósítására is. A részlegesen kristályos műanyagoknak kitűnő mechanikai és villamos tulajdonságai vannak, ezért az elektronikai és a villamosipar szívesen használja őket. Másrészt viszont magas hőmérsékleten mérettartásuk nem kielégítő, ezért pl. rövidzárlat kialakulása esetén vagy forrasztáskor tönkremehetnek. Ha nagy hőstabilitásra van szükség, a különleges, hőálló hőre lágyuló műanyagokat alkalmazzák, de ezek nem csak drágák, hanem különleges feldolgozó berendezéseket és szerszámokat is igényelnek. Ha a szokásos PA 6-ból, PA 66-ból vagy PBT-ből készülő tárgyakat utólag, elektronsugárással térhálósítják, azok már nem tudnak megolvadni, nem áll fenn a cseppenés veszélye. Ez új alkalmazási lehetőségeket kínál a közepes árfekvésű műszaki műanyagok számára az elektronikában és a villamosiparban.

### **Az elektronsugaras térhálósítás technológiája**

Ha felgyorsított, nagy energiájú elektronok kölcsönhatásba lépnek a műanyagokkal, hőfejlődés mellett ionok, elektronok és gyökök képződnek, amelyek egymással és a levegő oxigénjével, nitrogénjével reagálhatnak. Ennek eredményeként a polimer típusától függően térhálósítási, degradációs vagy ojtási reakciók lépnek fel. A felgyorsított elektronsugarakat pásztázó berendezés (szkenner) segítségével egy légrésen át a térhálósítandó anyagba lövik. A besugárzandó anyag méretétől, tömegétől stb. függően különféle gyorsítók léteznek (1. ábra). Ma már világszerte több mint 1000-féle gyorsító áll rendelkezésre, amellyel értékes termékeket lehet előállítani.

A műanyagiparban használt gyorsítók többsége a 0,5–5 MeV tartományban van. Az ezzel gyorsított elektronok  $1 \text{ g/cm}^3$  sűrűség és egyoldalú besugárzás esetén 0,2–2 mm vastag műanyagok besugárzására alkalmasak. Ez a legtöbb termék esetében elegendő. Ha nem sikerül egyenletesen besugározni a mintákat, az a későbbiekben feszültségeket, repedéseket okozhat, szerencsétlen esetben a termék tönkremenetelét válthatja ki. Az utóbbi időben szokásossá vált a 10 MeV-os gyorsítók használata a vastagabb falú műanyagtermékekhez, és ezekkel kétoldalú besugárzás esetében akár 80 mm-es falvastagságig is elérhető a térhálósítás. Ilyen gyorsítókkal kisebb munkadarabok akár csomagolt állapotban (pl. kartondobozban) is térhálósíthatók, ami egyszerűsíti és gazdaságosabbá teszi az eljárást.

A gyorsítók beruházási és fenntartási költségei magasak, de igen nagy mennyiségű termék kezelésére alkalmasak. A gazdaságos működtetés érdekében több szolgáltató arra rendezkedett be, hogy többféle típusú sugárzót tart a különböző vevők igényeinek kielégítésére.



1. ábra Különböző elektrongyorsítók és alkalmazásai

## Poliamidok térhálósítása

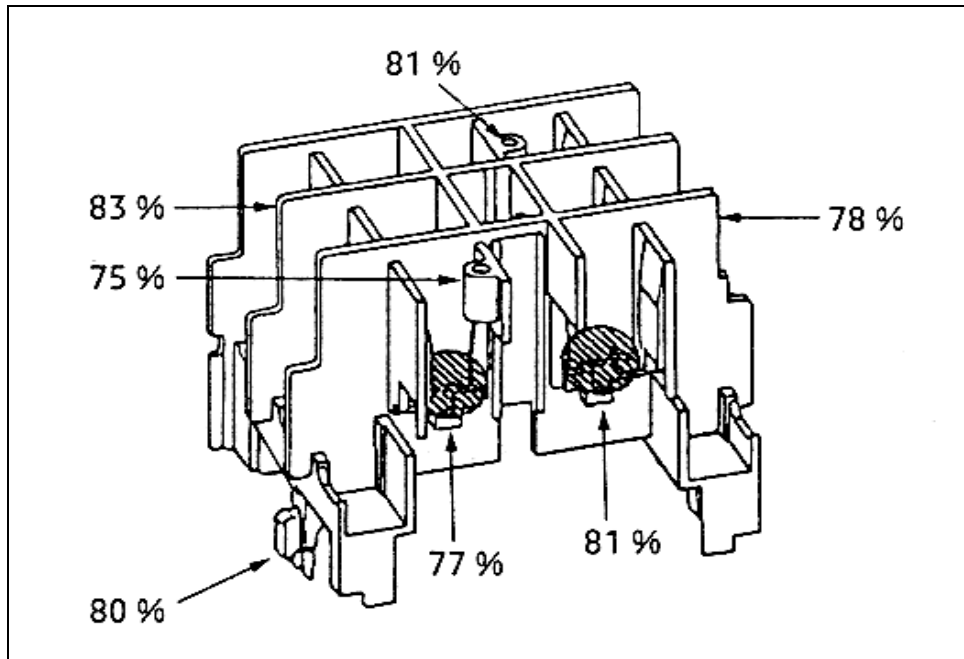
A poliamid 6, 66, 11 és 12 elektronsugárzással térhálósítható. Fellépnek azonban olyan degradációs reakciók is, amelyek a termékek minőségét rontják. Ahhoz, hogy elsősorban térhálósodás következzen be, és ne degradáció, a műanyagot érzékenyíteni kell a sugárzással szemben. Ezt általában térhálósítók hozzáadásával érik el, amit hozzákeverhetnek mesterkeverék formájában a feldolgozás során, de benne lehet az alapanyagban is kompaundált formában. A 2. ábrán látható a térhálósági fok (géltartalom) eloszlása egy bonyolult alakú, üvegszálas PA 6-ból készült termékben, amelyet 100 kGy teljesítményű elektronsugárzóval térhálósítottak. Az egész test géltartalma 75 és 80% között változik, meglehetősen homogén eloszlásban.

A termikus tulajdonságoktól eltekintve a termék anyagának egyéb jellemzői csak kismértékben változnak. A magas hőmérsékleten mért mechanikai tulajdonságok azonban jelentősen javulnak (3. ábra). A térhálós poliamid egészen 280 °C-ig kielégítő stabilitást mutat, míg a nem térhálós 200 °C fölött megolvad. A térhálósítás eredményeként a következő tulajdonságváltozások lépnek fel:

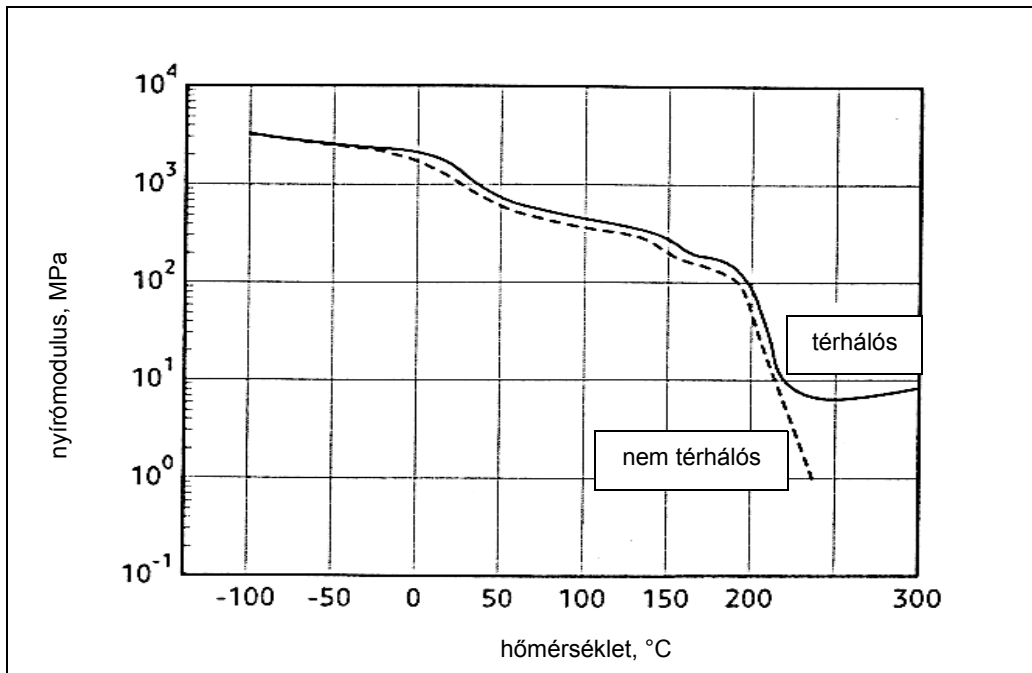
- csökken az olvadási hajlam és az elcseppenés veszélye. Ez javítja a tűzállóságot; a térhálósított termékek kibírják a 960 °C-os izzóhuzalos próbát (IEC 960, 3 mm), és égésgátló nélkül is megfelelnek az UL 94HB besorolásnak, míg vörös foszfor égésgátlóval eléri a V-0 fokozatot,
- megnő a rövid időtartamú igénybevétel határhőmérséklete; a térhálós próbatestek nem deformálódnak a 260 °C-os forrasztás során,
- a rövid idejű igénybevételnél mutatott hőstabilitás növekedése javítja a termékek kúszóáram-szilárdságát és átütési szilárdságát. Az elektronikában használt mikrobiztosítékok térhálósítás után magasabb kapcsolási áramot bírnak ki, és jobban miniatürizálhatók. Az előírások szerint pl. 35 mA/65 V értéket kell kibírniuk, a térhálós darabok pedig 100 mA/135 V értéket is elviselnek, ami azt jelenti, hogy lényegesen kisebbre is lehet tervezni őket,
- a villamos ellenőrző berendezések esetében nagyon fontosak a hosszú időtartamú igénybevétel során mutatott tulajdonságok, pl. több millió kapcsolást kell elviselniük 43 A áramerősség mellett. Az üvegszál-erősítésű, térhálós PA 66 berendezések a névleges áramerősség kétszeresével, 86 A-val is több mint 1000 kapcsolást kibírnak. Az ilyen anyag UL 746B szabvány szerinti hőmérsékletindexe 140 °C,
- nő a vegyszerállóság; a térhálós termékeket szerves oldószerekkel, pl. triklór-etilénnel lehet tisztítani.

## A poli(butilén-tereftalát) (PBT) térhálósítása

Az elektronika és a villamosipar szívesen alkalmazza a PBT-t kitűnő villamos és mechanikai jellemzői, valamint jó feldolgozhatósága miatt. Ilyen alkalmazásokban azonban sokszor lenne szükség rövid idejű, de magas hőmérsékleten mutatott hőállóságra. A szokásos üvegszál-erősítésű PBT csak rövid ideig legfeljebb 220 °C-ig terhelhető.



2. ábra Egy üvegszál-erősítésű, térhálósított PA 6 formadarab géltartalmának eloszlása



3. ábra A térhálós és nem térhálós üvegszál-erősítésű PA 6 nyírómodulusának hőmérsékletfüggése

Egy idő óta rendelkezésre áll olyan PBT változat (Vestodur X 9410, gyártója a Degussa AG), amelybe kopolimerizációval elektronsugárra érzékeny monomert vittek be. Ezért az adalék nem migrál, és a termék elektronsugárral könnyen térhálósítható. Az anyag  $\beta$ - és  $\gamma$ -sugárzással is térhálósítható. Az 1. táblázatban a dózis függvényében látható a géltartalom. Mintegy 300 kGy dózissal jó térhálósítási fok (60% fölötti géltartalom) érhető el.

1. táblázat

Térhálósított PBT (Vestodur RX 9410) géltartalma a sugárdózis függvényében

Dózis, kGy	Géltartalom <sup>1/</sup> , %
0	0
200	54
300	63
350	69

<sup>1/</sup> A géltartalmat (1:1) arányú fenol/ o-diklór-benzol oldószerkelegben mérték).

2. táblázat

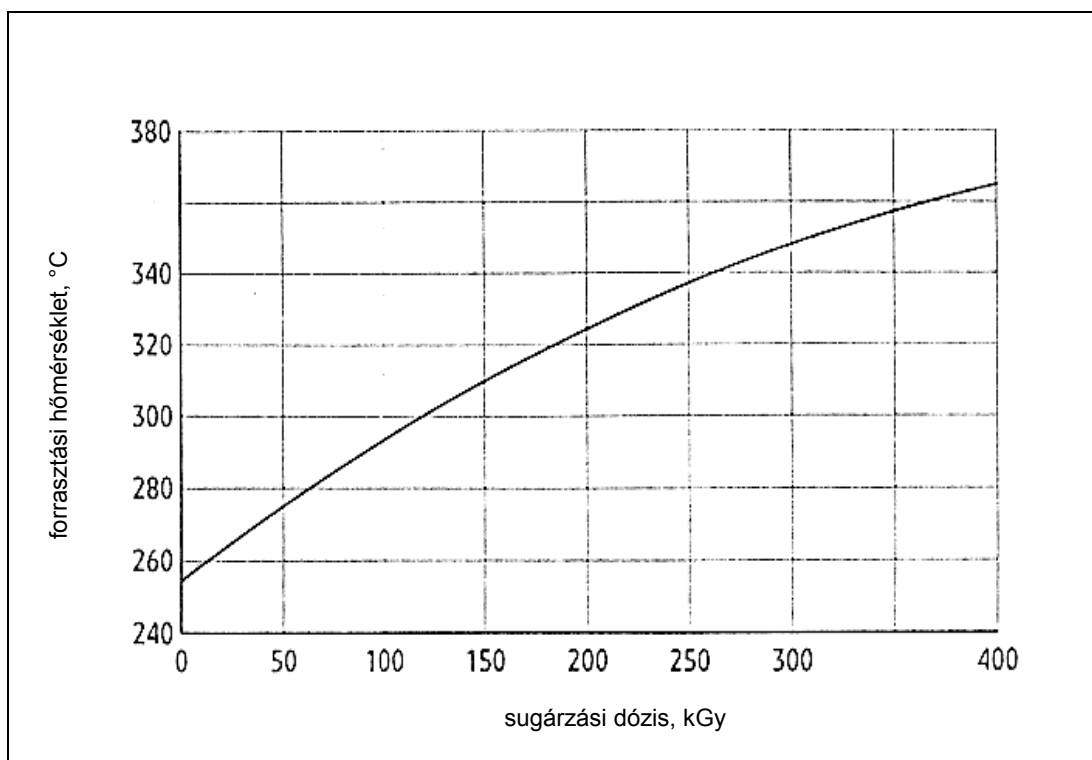
Forrasztóhegy behatolási hőmérséklete különböző sugárdózissal térhálósított PBT-be (Vestodur RX 9410)

Dózis, kGy	Behatolási hőmérséklet, °C
0	256
163	314
243	324
322	330
363	339

A térhálós PBT-t rövid ideig magasabb hőmérsékleten lehet terhelni. Az üvegszál-erősítésű, térhálós PBT 300 °C-on is forrasztható. A forraszthatóságot mennyiségileg is lehet jellemezni egy behatolási teszttel, amelyben azt mérik, hogy egy 1 mm átmérőjű forrasztóhegy 150 g terhelés mellett milyen hőmérsékleten hatol be 0,1 mm-re az anyagba. A PBT esetében elég alacsony dózis (160 kGy) után ez a hőmérséklet már 300 °C fölé emelkedik (2. táblázat). A 4. ábrán is látható a forrasztási hőmérséklet függése a sugárdózistól.

Besugárzással az eredetileg az SMD technológiánál használt eljárással nem forrasztható PBT-ből nagy értékű műszaki műanyagot helyettesítő alapanyag készíthető. A polimer egyéb tulajdonságai nem romlanak a térhálósítás hatására (3. táblázat).

A térhálós PBT alkalmazása gazdaságos, mert ára a térhálósítási költségekkel együtt is csak 20 DEM/kg, és nem követeli meg különleges feldolgozó berendezések és szerszámok alkalmazását. A térhálós PBT vízfelvétele elhanyagolható, ami növeli méretállandóságát. A beépített égésgátlók a térhálósítás következtében nem képesek diffúzióra és migrációra, ami különösen kapcsolóelemeknél nagyon fontos követelmény.



4. ábra A térhálós PBT forrasztási hőmérsékletének függése a sugárzási dózistól

## Térhálósítható és galvanizálható PBT

Nemrég került piacra egy térhálósítható és fémmel bevonható PBT típus (Vestodur X1415), amely nem tartalmaz drága palládiumadalékot a galvanizálhatóság elősegítésére. A felvitt rézréteg tapadása kitűnő (0,9–1,4 N/mm lefejtési szilárdság, ami forrasztás után is megmarad). Ilyen jó tapadási szilárdságot nedves kémiai módszerekkel nem lehet elérni. Nem galvanizálható típussal kombinálva alkalmas kétkomponensű alkatrészek előállítására, ami különösen a 3D-MID technológiában hasznosítható. A kétkomponensű fröccsöntési technológia elsősorban ott jön számításba, ahol markánsabb elektródmintázatot kell nagy darabszámban előállítani. Ezzel a megoldással elérhető, hogy a fröccsöntött műanyag ház maga vegye át a nyomtatott áramköri lemez szerepét, ami csökkenti a feldolgozási lépések számát. A fémréteg leválasztását egy olyan vastartalmú katalizátor teszi lehetővé, amely maga nem vezet, tehát nem zavarja a szigetelő rész funkcióját. A katalizátort a két fröccsöntési lépés között kell aktiválni, majd a második fröccsöntés után következik a fémréteg kiválasztása, tehát így is elég sok feldolgozási lépés marad. A szükséges lépések száma kevesebb, ha palládiummal töltött PBT-t használnak, de



A térhálósítható PBT (Vestodur X9410) tulajdonságai  
térhálósítás előtt és után

Tulajdonság	Egység	Eredeti	β-sugárzás után			γ-sugárzás után				
			163	243	322	363	167	257	322	
Dózis	kGy	0	163	243	322	363	167	257	322	363
Oldatviszkozitás	ml/g	92	-	-	-	35	-	-	-	57
Oldhatatlan rész	%	46,3	-	-	-	80,3	-	-	-	84,9
Géltartalom	%	0	-	-	-	64	-	-	-	73
Hegesztési hőmérséklet, max.	°C	256	314	324	330	339	310	330	335	342
Üvegesedési hőmérséklet, T <sub>g</sub>	°C	49	51	51	54	55	54	54	55	56
Zsugorodás	%	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02
Hajlításierősség	MPa	214	199	198	201	196	199	201	200	197
Hajlítómódulus	GPa	13,4	13,4	13	13,1	13,2	13,4	13,6	13,3	13,4
Útésállóság, 23 °C	kJ/m <sup>2</sup>	60,0	60,8	59,9	60,5	60,3	59,0	60,6	59,0	57,6
Szakítószilárdság	MPa	130,2	132,2	133,2	135,5	133,4	133,4	133,8	134,6	130,8
Szakadási nyúlás	%	1,9	1,8	1,8	1,9	1,7	1,8	1,8	1,8	1,6
Húzómodulus	GPa	11,6	11,8	11,8	11,9	12,1	11,9	11,9	12,0	12,1

ennek határt szab az adalék magas ára. A kétkomponensű fröccsöntés mellett számításba jön a lézerablációs (leválasztásos) technológia is, amelynek segítségével a homogén fémréteggel bevont műanyag lemez felületéről lézer segítségével helyenként eltávolítják a fémréteget, és így két vezető sáv között a távolság akár 50 µm-re csökkenthető.

**(Bánhegyiné Dr. Tóth Ágnes)**

Duk Won Lee: Permanent vernetzt. = Kunststoffe, 91. k. 6. sz. 2001. p. 78–80.

Kannengießler, U.; Stober, S.: Lötbeständigstes PBT. = Kunststoffe, 91. k. 8. sz. 2001. p. 108-111.