

## Jó hővezető képességű műanyagok

A műanyagok jó hőszigetelők, de bizonyos alkalmazásoknál nagyobb hővezető képességre van szükség. Speciális adalékok bekeverésével nagyságrendileg meg lehet növelni a hővezető képességet anélkül, hogy a többi előnyös tulajdonság számottevő mértékben romlana. Ezáltal a hagyományos, fém hűtőelemeket is tartalmazó megoldásokhoz képest nagyobb termelékenység, tömeg- és költségcsökkenés érhető el.

*Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; fröccsöntés; adalékanyagok; PA; PC; PP; PET; hővezető képesség.*

A műanyagok jó villamos és hőszigetelő anyagok, ami számos alkalmazási területen előny, a mai elektromos és elektronikus ipar szinte elképzelhetetlen lenne nélkülük. Bizonyos alkalmazásoknál (pl. LED világítás, autógyártás, kamerák, informatikai termékek) azonban jobb hővezető képességre ( $\lambda$ ) lenne szükség, megőrizve a villamos szigetelőképeséget, a kis sűrűséget és a jó mechanikai jellemzők mellett a formaszabad, termelékeny alakíthatóságot. A mai fejlesztéseknél ugyanis egyre több elektronikus alkatrészt zsúfolnak össze egyre kisebb helyre, és az ezáltal fejlődő hulladékhő biztonságosan el kell vezetni. Ezt korábban fémből készült hűtőbordák beépítésével oldották meg, de itt hátrányként jelentkezik a fémek nagyobb sűrűsége miatti nagyobb tömeg, a fém alkatrészek legyártásának és beszerelésének magas költsége, illetve az, hogy a műanyagalapú nyomtatott áramköröket és a hűtőbordákat vezetőképes ragasztókkal (pl. ezüsttartalmú epoxigyanta) erősítik össze, amelyek viszonylag gyenge (1,5–5 W/mK) hővezető képessége jelentősen rontja a hűtés hatásosságát. Természetesen a fém hűtőelemek ( $\lambda_{\text{alumínium}} = 236 \text{ W/mK}$ ) helyettesítése a termék alakjának áttervezésével is jár. A fém alkatrészek elhagyása, illetve helyettesítése a több funkció integrálása révén elhagyható alkatrészgyártás és beszerelési költség elmaradása révén jelentős költségcsökkenést eredményezhet, emellett a tömeg- és méretcsökkenés is jelentkezik, ami a járműveknél és a hordozható berendezéseknél további előnyöket jelent. A terméktervezést szimulációs programok is támogatják.

E probléma megoldásaként egyre inkább speciális, nagy hővezető képességű adalékanyagokat kevernek a műanyagmátrixba, amelyek közül sok nem rontja a villamos szigetelőképeséget, de nagyságrendileg megnöveli a kompaund hővezető képességét, miközben csak kis mértékben rontja a termék szilárdságát és ütésállóságát, megőrizve a hőre lágyuló műanyagok formaszabad és termelékeny feldolgozhatóságát. *A hővezető képességet az alkalmazott polimer tulajdonságai és a bekevert töltőanyag típusa, alakja és mennyisége határozza meg.* Az adalékanyagok, különösen a szálak és

lemezkek a műanyagömladék áramlásának hatására a feldolgozás (ált. fröccsöntés) során orientálódnak, és ezáltal a termék hővezető képessége irány- és falvastagságfüggő lesz. *Villamosan szigetelő anyagokkal, mint a hexagonális bór-nitrid, folyásirányban mintegy 7 W/mK, villamosan is vezető adalékokkal, mint a grafit, 21 W/mK érték is elérhető.*

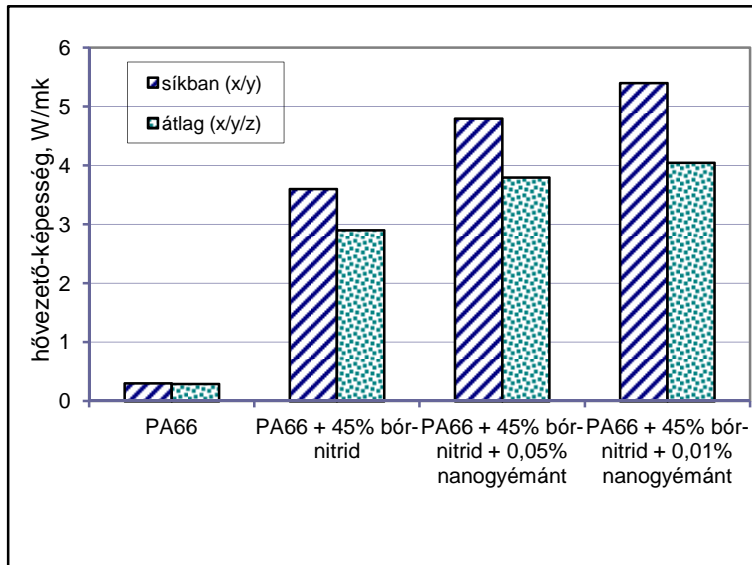
A növelt hővezető képességű műanyagok vizsgálatakor azonban nehézséget okoz, hogy a hővezető képesség mérésére szolgáló különböző szabványok alkalmazása jelentős eltéréseket okoz az eredményekben, amit tovább fokoz az a tényező, hogy a próbatest készítése sincs megfelelően szabályozva. E problémák eredményeképpen akár hétszeres különbségek is adódhatnak, ami megnehezíti a csak a termékismertető adatai alapján végzett anyagkiválasztást és terméktervezést.

## **Szénalapú hővezető adalékok**

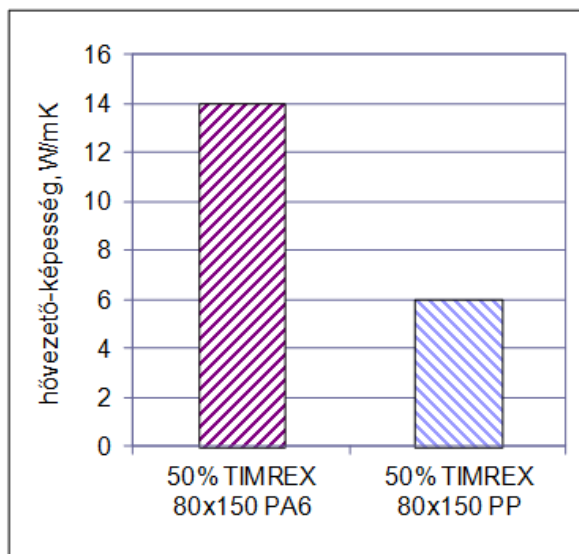
Az ilyen nagy hővezető képességű adalékanyag ma már számos hagyományos adalékgyártó termékpalettáján szerepel, és néhány új, erre szakosodott piaci szereplő is megjelent. Ezek egyike a finn Carbodeon cég, amely *nanoméretű gyémántok* bekeverésével javítja fel a hagyományos hővezető adalékok tulajdonságait. Maguk a nanogyémántok rendkívül nagy, akár  $\lambda = 2000 \text{ W/(mK)}$  hővezető képességgel is rendelkeznek. A nanogyémántokat szénttartalmú anyag irányított robbantásával állítják elő. Alakjuk gömbszerű, mérettartományuk szűk, átmérőjük 10 nm-nél kisebb. A Carbodeon három felületkezelt típusukat gyártja, a pozitív töltésű amin-, illetve hidrogéntartalmút és a negatív töltést hordozó karboxilált verziót, amelyek közül mindig az adott polimerhez és töltőanyaghoz legjobban megfelelőt kell kiválasztani. Bekeverésüket a kompaundáló cég végzi, a nanogyémántok mellé ingyenes technológiai leírást is adnak. A nanogyémántok alkalmazása mintegy 5 EUR/kg-mal növeli az anyagköltséget. A gyémántokat a hagyományos adalékok (pl. bór-nitrid) felületére viszik fel, vagy a polimermátrixba keverik bele abból a célból, hogy jelentősen megnöveljék a hőátadást az adalék és a polimer határfelületén. Ugyanis a polimer és a hagyományos töltőanyagok határfelületén a foton-szóródás következtében jelentősen csökken a hőátadás, vagyis egy termikus impedanciagát alakul ki, míg a nanorészecskék felületi kémiai-juk következtében sokkal jobb nedvesítést létesítenek a két fázis között. Alkalmazásukkal 25–100%-kal javul a hővezető képesség a hagyományos töltőanyagokéhoz képest (1. ábra).

A gyémántok mellett grafit bekeverésével is lehet növelni a hővezető képességet (2. ábra). A kanadai Imerys Graphite & Carbon cég hővezető képességet növelő grafitalapú adalékai jelentős piacbővüléséről számolt be, különösen a fém alkatrészeket helyettesítő autóiipari alkalmazásokban. Ezeket elsősorban a hőre lágyuló polimerekben alkalmazzák, de az elasztomerek is növekvő piacot képeznek. A LED világítások mellett más hőelvezetést igénylő alkalmazások is megjelentek. Fontos például az ún. hideg tapintás, vagyis a fémekéhez hasonló érzékelés bizonyos kapcsolóelemeknél. A legjobb eredményeket (síkbeli  $\lambda=14 \text{ W/mK}$ ) a jól folyó PA 6 polimerrel érték el, mely polimert egyébként is elterjedten használják az autóalkatrészek előállításához.

Az Avanzare cég újabban grafén/grafit nanolemezeket dobott piacra *av-PLAT-70* típusjelzéssel. Míg ezeknek a lemezeknek két dimenziója 70–100  $\mu\text{m}$ , addig vastagságuk csak kb. 10 nm, ezért már néhány százalékos bekeverésük is jelentős mértékben növeli a hővezető képességet (3. ábra). Az alacsony adalékarány szinte változatlanul hagyja az anyag reológiai és mechanikai jellemzőit. Várható alkalmazási területei lehetnek pl. az elektronikus készülékházak, hőcserélő csövek napenergia- és geotermikus energiarendszerekben stb.



1. ábra Különböző hővezető képességet növelő adalékok hatása a PA 66 hővezető képességére

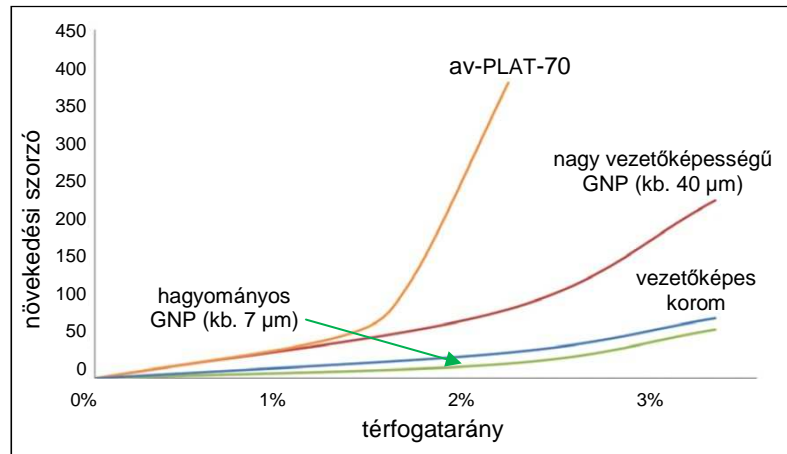


2. ábra 50 % (m/m) 80x150 szitaméretű természetes grafitporral adalékolt PA 6 és PP hővezető képessége 2 mm vastagságú fröccsöntött próbatesteken mérve

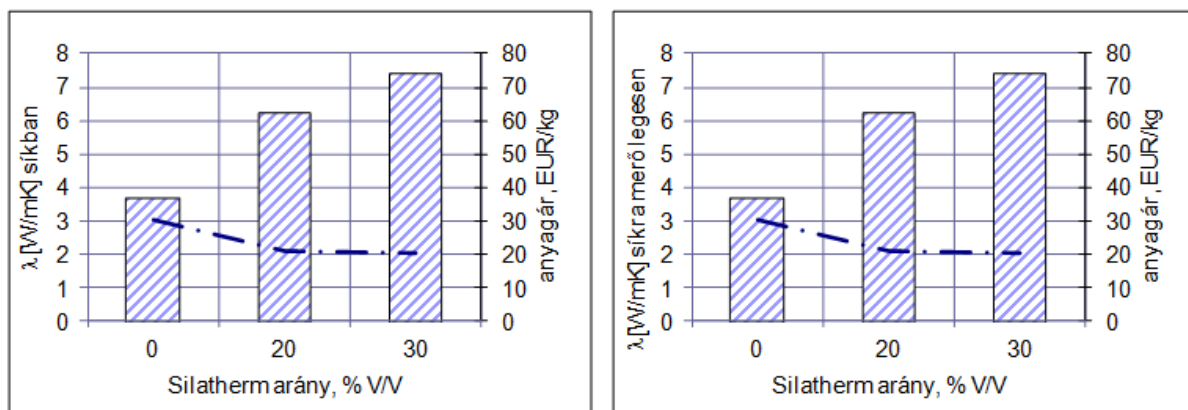
## Nem szénalapú hővezető adalékok

A német Quarzwerke HPF divíziója, amelyik a *Silatherm* alumínium-szilikát ásványi töltőanyagokat is forgalmazza, ezeket bór-nitrid-kerámiaalapú adalékanyagokkal

kombinálva is javasolja használatra. A bór-nitrid jól ismert, nagy hővezető képességű adalék, de magas ára mellett további hátránya az anizotróp (síkban jó, arra merőlegesen jóval gyengébb) hővezető képesség. A cég adatai szerint, ha PA 6 polimerhez a bór-nitrid mellett még 20, illetve 3% *Silatherm*-et is bekevernek, a hővezető képesség javul és anizotrópiája csökken (4. ábra). A részecskeméret is hatással van az anyag tulajdonságaira; azonos arányok esetén a nagyobb részecskeméret növeli a hővezető képességet, de az anyag mechanikai jellemzői romlanak (5. ábra).



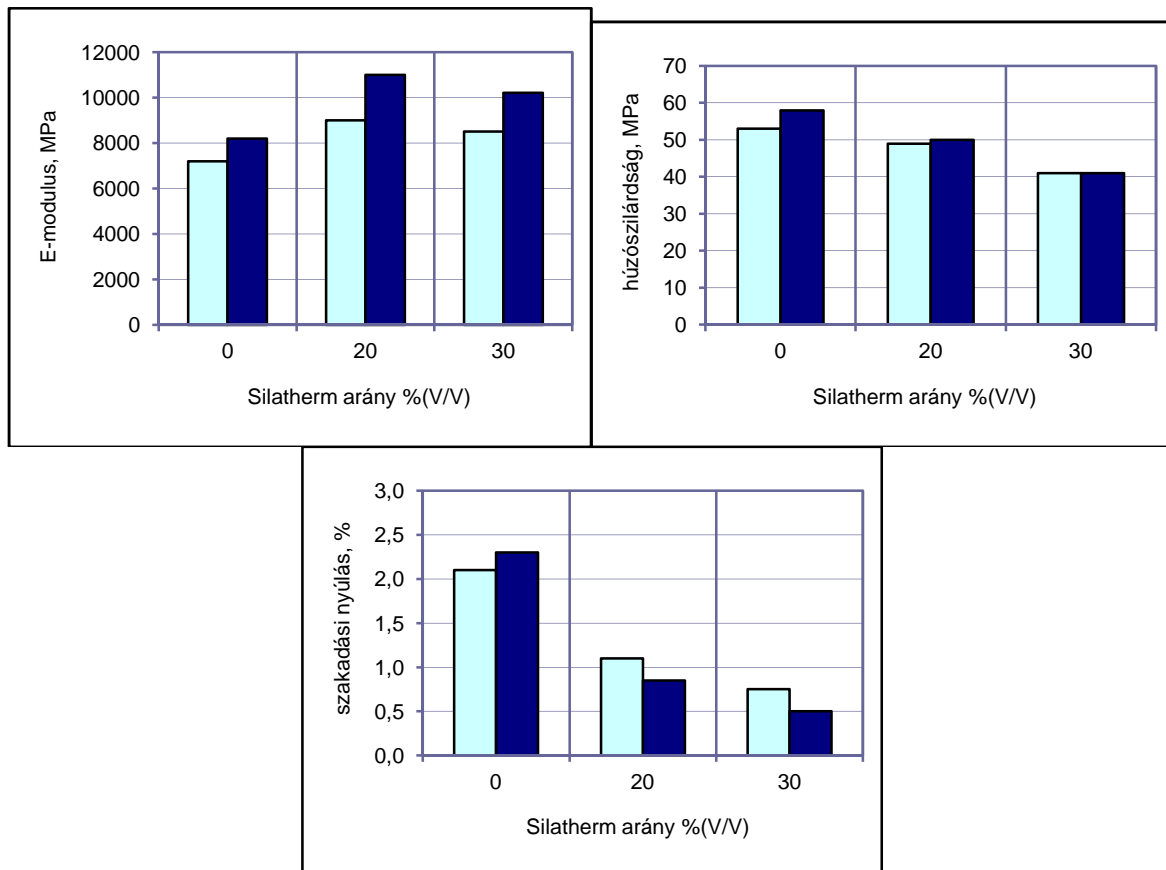
3. ábra Különböző grafit nanorészecske (GNP) adalékanyagok hatása a hővezető képesség növekedésére PA 6 polimerben. 5 % (V/V) *av-PLAT-70* bekeverésével már 1,5 W/mK vezetőképesség volt elérhető



4. ábra *Silatherm* adalék hatása a 20 % (V/V) bór-nitridet tartalmazó PA 6 ( $\lambda$ ) hővezető képességére (oszlopok), illetve az anyag árára (pontozott vonal)

A Huber Engineered Materials cég nagy mennyiségű *Martoxid TM* márkanévű, jó hővezető képességű, de villamosan szigetelő, kalcinált alumínium-oxidja bekeveré-

sét ajánlja, mivel ezt az adalékot a szokásosnál jóval nagyobb arányban lehet alkalmazni a feldolgozhatóság lényeges romlása nélkül. Négyféle *Martoxid TM* töltőanyagot kínálnak, amelyek eltérő tapadásközvetítő réteggel és sűrűséggel, valamint feldolgozhatósággal (reológiai jellemzőkkel) rendelkeznek. Ezek közül a *Martoxid TM-4250* szolgál a poliamidkeverékekhez, amelyeknél a 70 % (m/m) arány is könnyen elérhető. Már 60 % (m/m)-nál is 1,5 W/mK izotróp hővezető képesség érhető el, miközben az anyag megtartja jó feldolgozhatóságát és mechanikai szilárdságát.



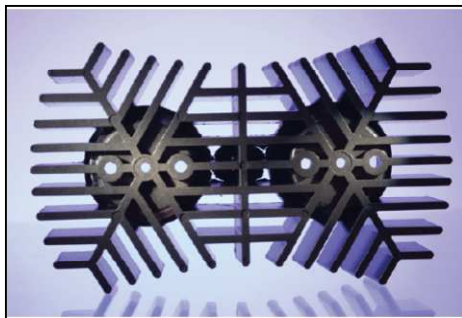
5. ábra *Silatherm* hatása két különböző típusú bór-nitridet tartalmazó PA 6 mechanikai tulajdonságaira

A műanyag alapanyaggyártók is részt vesznek a hővezető képesség növelésére irányuló fejlesztésekben. A Lanxess például kiterjesztette poliamidpalettáját LED világítótestekhez és elektromos eszközökhöz kínált típusokkal. E termékcsalád legújabb tagja a nagy ásványi töltőanyag-tartalmú *Durethan TP 723-620* PA 6, amelyben a töltőanyag-szemcsék elnyújtott alakja következtében a hővezető képesség irányfüggő, az áramlás irányában eléri a 2,5 W/mK értéket, ez mintegy tízszer jobb, mint a hagyományos, 30% üvegszál-tartalmazó típusoké. Az anyagnak emellett jó a fényvisszaverő képessége és erősen csökkentett az éghetősége. Kúszóáram-szilárdsága is kiváló, CTI A minősítése 600 V. Sűrűsége 1,7 g/cm<sup>3</sup>, amely még mindig elegendően alacsony ér-

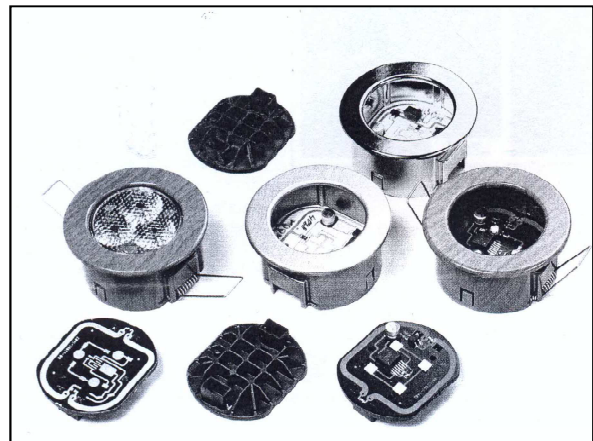
ték a költséghatékony, tömegcsökkentő tervezéshez. A cég két korábban kifejlesztett terméke a 65, illetve 75% ásványi töltőanyagot tartalmazó *Durethan BTC 65 H3.0* és a *BTC 75 H3.0 EF*, amelyek hővezető képessége 1,0 és 1,4 W/mK. Ez versenyképessé teszi őket a bór-nitridet és alumínium-oxidot tartalmazó más anyagokkal.

A DSM cég is kínál jó hővezető képességű műszaki műanyagokat *Stanyl PA46* és *Arnite PET* termékcsaládjainak tagjaként. Az *elsősorban világítástechnikai alkalmazásokhoz és villanymotorokhoz ajánlott anyagokkal* eléri a  $\lambda = 15 \text{ W/mK}$  értéket is. A jó hővezető képesség mellett mindkét területen fontos a polimerek nagy hőállósága, és a villanymotor-tekercek szigeteléséhez szükséges nagyon jó folyóképesség.

A Covestro is a LED világítástechnika terén lát nagy piacbővülési potenciált nagy hővezető képességű polikarbonátjai számára, amelyekhez új, hőleadást maximalizáló, hőpelygre emlékeztető formát is kifejlesztettek (6. ábra). Erősen töltött *Makrolon TC8030 PC* típusának hővezető képessége eléri a 20 W/mK értéket, ezzel nagyon hatékonyan képes elvonni és a környezetbe kisugározni a nyomtatott áramkörökre szerelt LED fényforrások (és más elektronikus alkatrészek) által termelt hőt.



6. ábra A Covestro és Vesuto cégek által kialakított bordázott hőleadó forma maximalizálja a hővezető műanyagok teljesítményét



7. ábra Jó hővezető képességű műanyagból fröccsöntött és melegen prégelt fémfólia vezetősávokkal kialakított moduláris felépítésű LED fényforrások család variációi

A kompaundáló cégek is kifejlesztették saját nagy hővezető képességű típusaikat. Így például a PolyOne cég töltött *Therma-Tech* rendszerét a piacvezető török Akboru Elektrik cég medencék, fürdők és kertek LED-es világítórendszereiben alkalmazta a korábban használt alumínium hűtőbordák kiváltására, aminek eredményeképpen a világítótestek élettartama megháromszorozódott, a termék tömege a felére csökkent és a teljesítmény 25%-kal nőtt. A hűtőbordák szerelési költségeinek elmaradása több mint 20%-os költségcsökkentést is eredményezett.

A Schulman vállalat kerámia töltőanyagokat használ nagy hővezető képességű PA 6-jaihoz (1. táblázat), amelyek mellett új típusok kifejlesztése is folyamatban van.

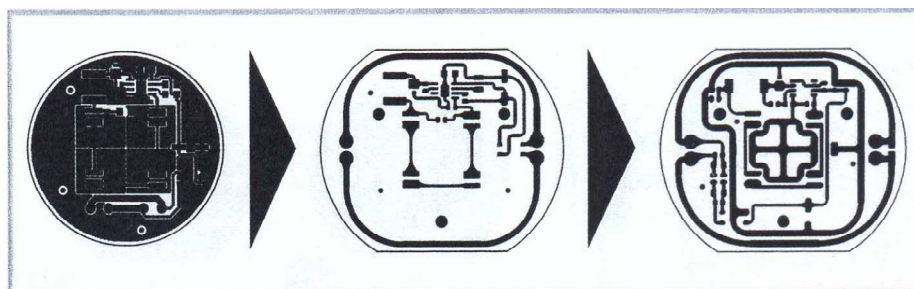
1. táblázat

A nagy hővezető képességű Schulman PA 6 típusok fő jellemzői

Tulajdonság	Mértékegység	Schultec PA 6 HC7150	Schultec PA 6 HC H2	Schultec PA 6 HC 7150 LED
		jó mechanikai jellemzők	jó mechanikai jellemzők, hőstabilizált	jó mechanikai jellemzők, fehér szín
Húzómodulus	MPa	12 500	11 600	11 300
Húzószilárdság	MPa	120	113	125
Sűrűség	kg/m <sup>3</sup>	1,8	1,8	1,9
Szakadási nyúlás	%	1,9	1,8	2,1
Charpy ütésállóság	kJ/m <sup>3</sup>	30	30	40
Hővezető képesség	W/mK	1,2	1,2	1,2
Kúszóáram-szilárdság	V	600	600	600

## Elektronikus műanyag alkatrészek kialakítása

A LED világítóberendezések és más elektronikus termékek műanyag alkatrészeit a hagyományos nyomtatott áramkörök helyett gyakran fröccsöntéssel készítik, amelyre a villamosan vezető fémhuzalokat helyettesítő fémcsíkokat meleg prégelessel viszik fel. Ezzel a technikával 2D-2,5D kialakítások, azaz csaknem háromdimenziós kialakítás érhető el (7. ábra). A prégeles során a műanyag felületére forró présszerszámmal fémfólia csíkokat sajtolnak, amelyek 100–150 µm mélységben behatolnak a felületbe. A nyomást, a hőmérsékletet és a sajtolási időt az adott műanyagtól függően állítják be. A prégelesi eljárás jól automatizálható, beruházási költségei alacsonyak.



8. ábra Meleg prégelessel kialakított vezetősávokból álló áramkör elrendezésének fejlődése az eredeti, nyomtatott áramkörnek megfelelő geometriától az egyenletes hő- és mechanikai terhelést biztosító megoldásig

A módszert egy nagy teljesítményű LED világítótest kialakításának példáján mutatjuk be. Ennél a világítástechnikai megfontolások miatt négy olyan LED fényforrást kellett beépíteni a termékbe, amelyek veszteségihő-teljesítménye 1-1 W. Ehhez járult hozzá az egyéb alkatrészek összesen szintén 1W hővesztesége, vagyis az elvezetendő hő összértéke 5W volt. A félvezető elemek tönkremenetelének elkerülése érdekében a LED-ek beforrasztási talppontján a legmagasabb megengedhető hőmérséklet 120 °C volt. A hagyományos nyomtatott áramkörök helyett a tervezők additív módszerként a meleg prézelést választották, ezen belül pedig 35 µm vastag rézfóliát (cink passziválással). A korábbi megoldásoknál alkalmazott nyomtatott áramköri elrendezéshez képest módosítani kellett a vezetősávok, illetve az általuk összekötött alkatrészek elrendezését (8. ábra), hogy a műanyag hordozó alaplapot egyenletes hő- és mechanikai terhelés érje.

2. táblázat

Meleg prézeléssel kialakított fém vezetősávok kialakítási követelményei

Fémfólia vastagsága µm	Vezetősáv szélessége mm	Minimális távolság a vezetősávok között mm	Szél távolság mm
12	0,3	0,4	0,2
18	0,5	0,5	0,3
35	0,8	1,0	0,5
70	1,2	1,2	0,7

3. táblázat

A bór-nitrid-tartalmú, jó hővezető képességű PA 66 szimulációs és mért adatainak összehasonlítása

Alapanyag	Szimulált hőmérséklet, °C	Mért hőmérséklet, °C
PA 66 + 30 % (V/V) bór-nitrid	108	112
PA 66 + 40 % (V/V) bór-nitrid	93	101

A műanyag alaplap anyagának kiválasztásakor figyelembe kellett venni, hogy az anyag elviselje a forrasztás hőmérsékletét (270 °C), éghetőségi fokozata elérje az UL94-V0 szintet, emellett pedig megfelelő villamos szigetelést nyújtson jó hővezetés mellett. Végül egy 40% bór-nitridet tartalmazó PA 66 (*Tecacomp PA 66*, gyártó: Einsinger GmbH) mellett döntöttek. Az alaplap szilárdságát és hőleadó képességét keresztbordák kialakításával növelték meg. A prézelés kivitelezéséhez fontos szempont, hogy a bordák ne okozzanak a túloldalon beszívódásokat és a prézelendő felület kellően sík legyen, továbbá hogy a prézelési nyomóerőnek (50-60 kN) és hőmérsék-



letnek a kísérleti úton meghatározandó technológiai ablakban jól ellenálljon. A vizsgálatok szerint 3,5 s sajtolási idő mellett 260 °C prészerszám-hőmérsékletnél a fémfólia 99 µm, 290 °C hőmérsékletnél pedig 157 µm mélységre nyomódott be a műanyag hordozó felületébe. A tervezést szimulációs program is segítette, amellyel a különböző változatokon megjeleníthető volt az anyag felmelegedése a hőfejlődés következtében. A villamossági követelmények miatt a vezetősávok között és az alaplap szélétől megfelelő minimális távolságokat kell tartani (2. táblázat). A szimulációs számítások eredményeit végül a kész terméken ellenőrizve jó egyezést kaptak (3. táblázat), ami a további fejlesztésekhez biztató eredmény.

Összeállította: Dr. Füzes László

Mapleston P.: Taking the heat off plastics = Componding World, 2017. február, p.45–56.  
Drummer, D., et.al: Wärmeleitender Kunststoff trifft LED = Kunststoffe, 107. k. 1. sz. 2017. p. 38–41.

## Röviden ...

### Szénszálas PP kompaund előnyei

Az Audi és a Wipac Süd GmbH kifejlesztett egy fröccsönthető szénszálas PP kompaundot, amelynek tulajdonságai felülmúlják az 50% üvegszálat tartalmazó PA 6 tulajdonságait. Ez utóbbit használták eddig a gépkocsi-benzintartály rögzítőkarjának anyagaként.

A 15-20% szénszálat tartalmazó PP merevebb, mint elődje, a kisebb mennyiségű szénszál és a PP kisebb fajsúlya miatt a kompaund sűrűsége 33%-kal kisebb. Ezen kívül a PP-nél a vízfelvétel nem játszik szerepet és a hosszirányú nyúlás is kedvezőbb.

O. S.

Kunststoffe, 107. k. 4. sz. 2017. p. 12.

### Új PP típusok a Borealistól

A Borealis (Bécs) új típusokkal egészítette ki *Fibremod* és *Daplen* (üvegszálas PP) termékcsaládját, elsősorban az autóiipar számára.

A *Fibremod GB416LF* 40% hosszú üvegszálat tartalmaz, amely a fémeket és a műszaki műanyagokat helyettesítheti kisebb fajsúllyal. Alkalmas pl. csomagtartó záróelemeinek gyártására. Az anyag jó folyóképessége miatt könnyen feldolgozható és a termékek mechanikai tulajdonságai megfelelnek az előírt feltételeknek. Kiváló felületi minősége feleslegessé teszi a lakkozást. Az új típusú PP kompaund különböző színekben kapható

A *Fibremod GD577SF* 50% rövid üvegszálat tartalmaz. A gépkocsi belső terében és külső részén, sőt a motortérben található alkatrészek gyártására is alkalmas. Ajánlják még lökésgátlók, kupplung- és gázpedálok, visszapillantó tükrök házainak alapanyagául.

Az új *Daplen EE001A1* típus minimális töltöttségű, jól feldolgozható, jó mechanikai tulajdonságokkal rendelkező típus. Hasonló zsugorodású, mint a nagyobb töltöttségű típu-

sok (pl. a *PP-T15*), ami megkönnyíti a szerszámtervezést. Az előállított termékek esztétikus felülete lehetővé teszi alkalmazásukat látható helyeken is.

O. S.

Kunststoffe, 107. k. 4. sz. 2017. p. 9.