

Műanyagok – versenyben a fémekkel

A műanyagok előtt még nagy jövő áll a fémek helyettesítése terén, hiszen egy friss felmérés szerint a lehetőségeknek eddig csak kb. 15%-át használták ki. A helyettesítés hajtóereje legtöbbször a tömegcsökkentés, amely az űrtechnikában, a repülőgépiparban, az autópárhban különösen fontos. A műanyagok közül a műszaki és a nagy teljesítményű műanyagok mellett a polipropilén is egyre nagyobb szerephez jut, különösen a fémekkel kombinált hibrid szerkezetekben.

Tárgyszavak: anyaghelyettesítés; hibrid szerkezetek; műszaki műanyagok; nagy teljesítményű műanyagok; polipropilén; tömegcsökkentés; szálerősítés; szénnanocsövek.

Az anyaghelyettesítés szempontjai

A fémek műanyagokkal való helyettesíthetősége sokkal szélesebb körű, mint gondolnánk: *egy friss felmérés szerint a lehetőségeknek eddig csak kb. 15%-át használták ki.* A potenciális alkalmazási területek felölelik az orvosi ipart, az űrtechnikát, a repülést, az alternatív energiafejlesztést, a gépgyártást, a mezőgazdaságot, a vegyipart, az élelmiszeripart és még más iparágakat is.

A fémeknek nagy a sűrűségük, és végtermékekké történő feldolgozásukhoz sok energia szükséges. Általában minél nagyobb egy tárgy tömege, annál több energiát használ fel élettartama során. Ha a fémeket műanyaggal váltják fel és így könnyebb termékeket gyártanak, az energetikai szempontból előnyös mind a gyártás, mind a felhasználás során. Tekintettel arra, hogy a műanyagok általában kevésbé érzékenyek a korrózióra, mint a fémek, általában hosszabb idő után kell kicserélni a műanyag alkatrészeket, és ezzel további (hosszú távú) energiamegtakarítás érhető el.

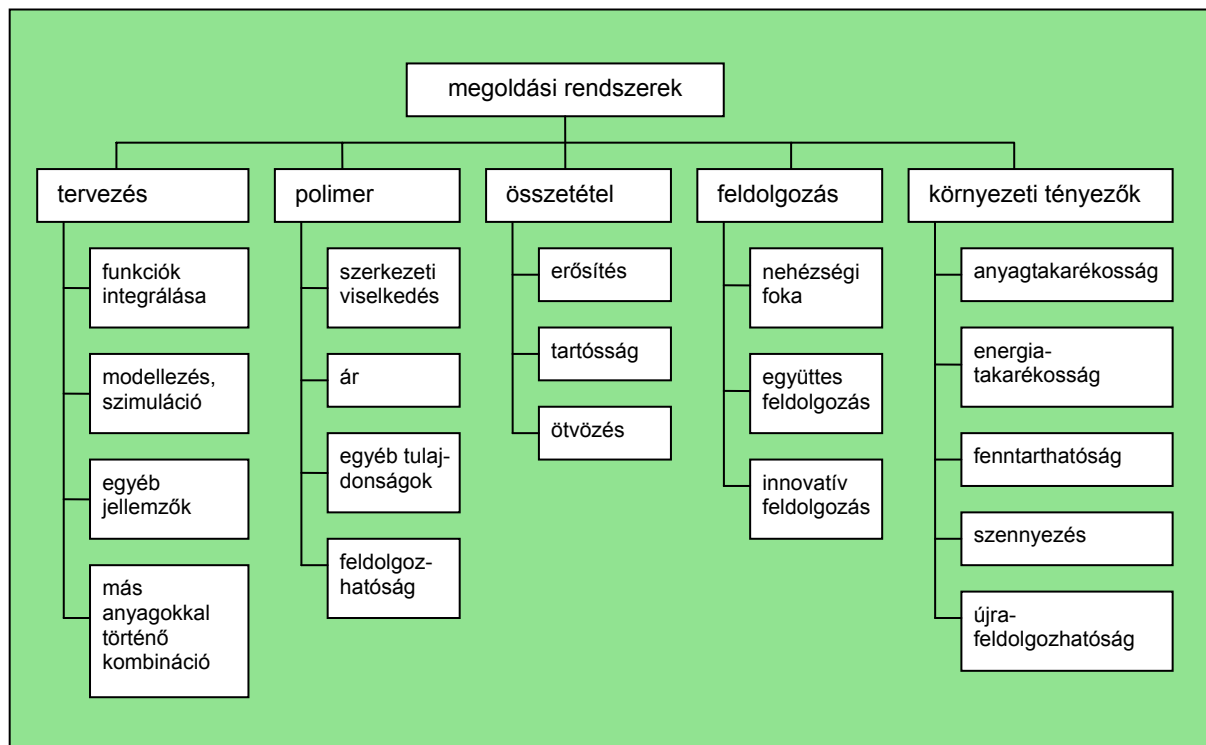
Pusztán mechanikai szempontból a műanyagok (általában) nem érik el a fémek teljesítményét, de ezt a hátrányt kompenzálja vagy túl is szárnyalja a tervezés szabadságának előnye. A szabad tervezés a célnak jobban megfelelő, a helyi adottságokhoz jobban alkalmazkodó geometriát eredményezhet, vagyis *javul a funkcionalitás és a helykihasználás.* Különösen fontos ez az autópárhban és a közlekedésben általában, ahol az energiafelhasználás, a fogyasztás és a széndioxid-kibocsátás egyenesen arányos a tömeggel. Az építőiparban is kedvelik a könnyű, de szilárd, könnyen mozgatható szerkezeteket, a villamos és elektronikai iparban pedig a legfőbb szempont a miniatürizálás a szigetelőtulajdonságok megtartása mellett.

Ahhoz, hogy versenyezzenek a fémekkel, a műanyagoknak a következő tulajdonságokkal kell rendelkezniük: méretstabilitás, nagy (pontosabban a célnak megfele-

lő) modulus és szilárdság, hőállóság. Fontos még a tartósság, a csökkentett éghetőség és gépkocsik esetében a kis áteresztőképesség (elsősorban üzemanyagokkal szemben). Az utóbbi időben fontos szemponttá vált, hogy az adott anyag előállítható-e megújuló nyersanyagforrásokból.

A közeljövő fejlesztéseiben kulcsszerepet játszik a polipropilén, amely tulajdonképpen egy olcsó tömegműanyag, de átmenetet képez az olyan műszaki műanyagok felé, mint a poliamidok (PA6, PA66, PPA), a poliacetál (POM), a poliészterek (PBT) vagy az olyan drágább, nagy műszaki teljesítőképességű műszaki műanyagok, mint a PPS vagy a PEEK. A szálerősítést (elsősorban az üvegszálat) széles körben használják a tulajdonságok javítására, ahol a mátrix és a szál közti kémiai kapcsolat kialakításával és a nedvesítőképesség javításával érhetőek el jó eredmények. Új fejleménynek számítanak a viszonylag olcsó szénnanocsöves erősítések (pl. *Nanocyl*) vagy a szénnanocsövekkel kombinált írező anyagot tartalmazó üvegszálak. Különleges esetekben nem random orientációjú rövid szálat, hanem hosszú, orientált szálat tartalmazó hőre lágyuló kompozitokat is használnak, de ezek előállítása és feldolgozása is nehezebb, speciális ismereteket igényel. Néha azonban még olyan könnyített szerkezetek is felhasználhatók fémhelyettesítésre, mint a habosított polipropilén (EPP).

A fémek műanyagokkal való helyettesítésekor nem pusztán anyagváltásról van szó, figyelembe kell venni az adalékokat, a megváltozott mechanikai viselkedést, az egyéb tulajdonságok változását, a tervezés és a feldolgozási módszert is (1. ábra).



1. ábra: A fémek műanyagokkal történő helyettesítésénél figyelembe vett alapelvek

Tömegcsökkentés: elmélet és gyakorlat

Az 1. táblázatban láthatunk néhány számértéket, amely azt mutatja, hogy pusztán a szilárdságot figyelembe véve milyen tömegű műanyag alkatrészekkel helyettesíthető egy kis és egy nagy szilárdságú acél, ill. alumínium alkatrész. (Az 1-nél kisebb értékek jelzik a számba jöhető változatokat). A két szélső helyzet nyilvánvaló: az egyirányú folyamatos szálerősítéssel igen nagy tömegcsökkentés érhető el, a polietilén pedig egyáltalán nem alkalmas fémhelyettesítésre. *A tiszta polimerekkel és a rövid üvegszállal erősített rendszerekkel kis és közepes szilárdságú fémötvözetek helyettesítésére nyílik reális lehetőség.* A nagy szilárdságú ötvözeteknél az egyszerű számítás arra az eredményre vezet, hogy a helyettesítő műanyag tömege nagyobb lenne, mint a fémé, de helyi erősítéseket (vastagításokat, bordákat stb.) alkalmazva viszonylag könnyen kialakítható szilárdsági szempontból egyenértékű, a fémnél mégis könnyebb műanyag helyettesítő szerkezet. Ezek teljesen teoretikus számítások, és más, a szilárdságtól eltérő jellemzőt véve más eredményekhez lehetne jutni. A műanyagtervezés jellegzetességeit kihasználva sok esetben érhető el kedvező helyettesítés.

Valóságos fémkiváltási alkalmazásokból szerkesztett gyakorisági diagramon vizsgálták, hogy az egyes esetekben mekkora tömegcsökkentést lehetett elérni. Az eredményekből kitűnik, hogy a megtakarítás 0 és 100% között változik, a legvalószínűbb érték 50 és 60% közötti. Azt, hogy mekkora az aktuális megtakarítás, az is befolyásolja, hogy az adott iparág mennyit hajlandó áldozni a tömegcsökkentésért. A repülőgépgyártásban és az űrtechnikában sokat. Az autóiiparban már csak akkor hajlandók a fémhelyettesítésre, ha a költség legfeljebb kicsit emelkedik, vagy még inkább, ha csökken.

Sok esetben nem is a teljes helyettesítés adja a legjobb megoldást, hanem *a kis mennyiségű fém és műanyagok kombinációjával kapható hibrid szerkezetek.* Mindig teljes konstrukcióban kell gondolkozni, tekintetbe véve a funkcionális integráció lehetőségeit, ami a műanyagok erőssége. Természetesen a döntésnél figyelembe kell venni a gyártás gazdaságosságát és a környezetvédelmi szempontokat is a konstrukciós szempontok mellett. Ennek alapján kell megválasztani a műanyagmátrix fajtáját (pl. hőre keményedő vagy hőre lágyuló), a feldolgozás módját, és a gazdaságossági számításnál figyelembe kell venni az élettartamot, a karbantartási igényt is.

A műanyagok fémekkel szembeni előnyei a következőkben foglalhatók össze:

- a tervezés szabadsága: olyan alakok, méretek és termékek valósíthatók meg, amelyek fémekkel nem,
- funkciók integrálása olyan egyéb tulajdonságok felhasználásával, mint a csillapítás, ütközési energia és hang elnyelése, hő- és villamos szigetelés, áttetsző vagy átlátszó jelleg,
- zajcsökkentés: a műanyaggal érintkező fémtárgyak általában jóval kevésbé zajosak, mintha két fém érintkezne egymással,
- a tulajdonságok könnyen alakíthatók az összetétel megváltoztatásával,
- tervezési csomagok (modellezés és szimuláció) a geometria optimalizálására minden lehetséges helyzetben, a feldolgozási módszer függvényében,

- két vagy több polimer kombinációja speciális feladatok ellátására,
- esztétikai előnyök (színezhetőség, szerszámon belüli dekoráció – fém-, fa- vagy kőszzerű jelleg, felületi utókezelés kiváltása),
- tartósság: nincs rozsdásodás és korrózió (de figyelni kell az öregedésre),
- nincs szükség karbantartásra, vagy az könnyen elvégezhető,
- a műanyagok önkenő tulajdonsága gyakran elhagyhatóvá teszi a kenőanyagok használatát,
- alkalmazkodni lehet kis helyigényű alkalmazásokhoz is,
- a termelés rugalmassága (prototípustól a tömeggyártásig),
- könnyebb termékváltás (gyártószerszámok olcsóbban cserélhetők, mint fémek esetében),
- nincs szükség ismételt festésre, mint a fémeknél (kisebb környezeti terhelés).

1. táblázat

Adott fém alkatrészt szilárdság szempontjából helyettesíteni képes műanyagszerkezetek relatív tömege

Anyag szilárdsága	Sűrűség	Műanyag tömege/ acél tömege		Műanyag tömege/ alumínium tömege	
		kis szilárdság	nagy szilárdság	kis szilárdság	nagy szilárdság
tömegműanyag					
PE	0,9	2,3	4,6	2,7	5
műszaki műanyag					
Poliamid	1,1	0,7	2,8	0,8	3,1
PEEK	1,3	0,4	2,7	0,5	2,9
Epoxigyanta	1,2	0,4	3	0,4	3,3
üvegszállal erősített műanyagok					
EP ¹ GF ² és ásványi anyag	1,9	0,9	4,3	1	4,7
EP hosszú GF	1,8	0,4	4,6	0,5	5
SMC ³ GF	1,8	0,8	1,4	1	1,5
PEEK 30% GF	1,5	0,2	1,8	0,2	2
szénszállal erősített műanyagok					
PEEK 30% CF ⁴	1,4	0,2	1,5	0,2	1,7
SMC CF	1,5	0,1	1	0,1	1,1
egy irányban orientált erősítő szálakat tartalmazó kompozitok					
Egyirányú GF	1,9	0,05	0,5	0,1	0,6
Egyirányú ArF ⁵	1,4	0,02?	0,2	0,02	0,2
Egyirányú CF	1,6	0,02	0,1	0,02	0,1

¹ EP = epoxigyanta, ² GF = üvegszál, ³ SMC = préselhető lemez alakú poliészter kompaund hosszú erősítőszálakkal, ⁴ CF = szénszál, ⁵ ArF = aramid (Kevlar) szál.

Az anyagválasztásnál figyelembe kell venni, hogy a szilárdsági vagy pl. a kopási jellemzők a fontosabbak. Ha a húzó- és nyomószilárdság a fontos, akkor jó választás a poliamid, a PEEK, az acetál homopolimer, a PPS (csapágy és kopóalkatrész) vagy a PEI (szerkezeti anyagként), rossz választás a PTFE, a PE-UHMW (ultranagy molekulatömegű polietilén) és a poliolefinnek általában. Hőállóság szempontjából jó választás a PTFE, a PEEK, a PAI (csapágy és kopóalkatrész), a PPS (szerkezeti), rossz választás a PE-UHMW, a poliamid (csapágy és kopóalkatrész), az akrilátok, a polikarbonát és a PVC (szerkezeti). Ha a kopási pv-szorzat (a nyomás és a sebesség szorzata) a limitáló tényező, akkor jó választás a poliamid, a PEEK, a PPS és a PAI, rossz választás a PE-UHMW, a poliamid és az acetál. *Fontos tudni, hogy a körülményektől és töltőanyagtól függően a poliamid jó és rossz választás is lehet.* A szívósság/ütésállóság szempontjából jó választás a poliamid, az PE-UHMW, a polikarbonát és a PEEK, rossz választás a PET, az akrilát és a PPSU. Vegyszerállóság szempontjából jó választás a PTFE, a PE-UHMW és a PEEK, rossz választás az akrilát, az ABS és a PPSU. A mérettartás szempontjából jó választás a PET, a PEEK és a PEI, rossz választás a PE-UHMW, a poliamid, a PE-HD és a PE-LD.

A tervezés szempontjai

A fémhelyettesítés tervezésének első lépéseként a következő kérdéseket kell megválaszolni, illetve a következő dolgokra kell odafigyelni:

- elsősorban kopó vagy szerkezeti alkatrész gyártása-e a cél,
- az alkatrészt úgy kell megtervezni, hogy minimálisra csökkenjen a szerelési idő és a másodlagos műveletek időtartama,
- tisztázni kell, hogy melyek az elengedhetetlen és melyek a „csak” kívánatos jellemzők; el kell kerülni a szükségtelen „túltervezést” – legyen szó méretpontosságról vagy felületminőségről, mert az növeli a költségeket,
- meg kell nézni, hogy a szilárdsági és kopási jellemzőkön kívül milyen kulcsjellemzőket kíván meg az adott alkalmazás (pl. fáradás, feszültség, minimális és maximális hőmérséklet, merevség, kúszás, környezeti hatások, korrózió, vegyszerállóság, ultraibolya sugárzás stb.).

Az anyagválasztásnál arra is ügyelni kell, hogy a műanyag lehetőleg forgácsolható is legyen, és tekintetbe kell venni, hogy a műanyagok hőtágulása egy nagyságrenddel nagyobb, mint a fémeké. A környezeti hőmérséklet és a környezet vegyi összetétele jelentősen befolyásolhatja a műanyag alkatrész hosszú távú viselkedését és élettartamát. A nagyobb modulusú, nagy teljesítményű műanyagok méretpontossága és toleranciája általában jobb, mint a műszaki műanyagoké és az jobb, mint a tömegműanyagoké. Mindez persze a tárgy méretétől és alakjának bonyolultságától is függ. Általában célszerű a lehető legegyszerűbb megoldást alkalmazni. *Ököl szabályként azt lehet venni, hogy 1 cm mérethez kb. 10 µm pontosság tartozik.* A tervezéskor lehetőleg szimmetrikus megoldásokat alkalmaznak, mert azok stabilabbak is. Fémhelyettesítéskor a bonyolult fémalkatrészek általában műanyagból egyszerűbben állíthatók elő. Kerülni kell az éles belső és külső sarkokat, mert a belső sarkok feszültségkoncentráció-

hoz, a külső sarkok pedig lepattogzáshoz vezethetnek. A műanyagok súrlódása általában kisebb a fémekénél, ezért a kenés sokszor elhagyható, de 400 fordulat/min sebesség fölött célszerű kenést is használni.

Konkrét példák a mai gyakorlatból

A legegyszerűbb fémhelyettesítéseken túl ma már az igényesebb alkatrészeknél is szóba jöhet a műanyagból való gyártás. Ezt az is segíti, hogy hatékonyan fejlesztetik a megfelelő adalékokat, erősítőanyagokat, hőstabilizátorokat stb.

Az egyik első anyagosztály, amelyet széles körben használtak fémhelyettesítésre, az *SMC* (sheet molding compound = lemezzé préselhető poliészter kompaund hosszú erősítőszálakkal) volt, amelyet ütközők, ajtók, hátlemezek stb. gyártásánál használtak az autógyártásban.

A *hibrid szerkezetek* fémet tartalmaznak a szilárdság és/vagy az anyagzáró (diffúziógátló) tulajdonságok biztosítására, míg a szerkezet többi részét a műanyagok adják, amelyekkel egyéb előnyös tulajdonságokhoz lehet jutni. Lássunk néhány példát:

- fém/poliamid hibrideket már több mint 10 éve használnak gépkocsik erősen integrált, könnyített elülső borítóelemeinek (frontend) gyártására; sorozatgyártásba kerültek tetőkeretek és az utóbbi időben fékpedálok is; egy poliamid 6 alapú fékpedál esetében pl. 40%-os tömegcsökkentést lehetett elérni a tisztán fémből készült változathoz képest,
- megfelelő tapadóréteg alkalmazásával SMC/fém hibridek állíthatók elő, amelyeket ajtók, hátlemezek és ütközők gyártásához lehet használni,
- az *Audi TT*-ben az ugyancsak poliamid/Al ötvözet alapú frontend 15%-kal könnyebb, mint a megfelelő acél alkatrész,
- a **McClarín Plastics** cég olyan hibrideket fejleszt, amelyekben csak a legszükségesebb fémmennyiséget használják fel, és a kompozit alkatrészek tömege akár 80%-kal is kisebb lehet, mint a megfelelő acél alkatrészé.

A *polipropilén* a fejlesztők kedvence, mert nemcsak olcsó, de viszonylag könnyen és széles körben módosítható is:

- a megfelelő erősítő és módosító anyagokat tartalmazó PP (pl. a PP-GF, ahol a GF az üvegszálakat jelzi) alkalmas fémlémezek kiváltására olyan alkalmazásokban, mint pl. a motorháztető, vagy az orrlémez teherautókban,
- a **Comat** cég által kifejlesztett folytonos üvegszálrovinggal erősített, pultrudált *DExWin* hevederek 70%-kal könnyebbek, mint a korábbi fém-gumi kombináció, és nem áll fenn a korrózió veszélye,
- a **Mahle Filter Systems** újszerű légszűrő-elosztókat fejlesztett ki a **Volkswagen Mk VI Golf** autókhoz. A fröccsöntött alkatrészek kémiaiilag kapcsolt erősítő üvegszálakat és speciális stabilizátorokat tartalmazó PP-ből készülnek.

Ami a *szálerősítést* illeti, különböző rövid, hosszú vagy végtelen szálakat használnak, amelyek anyaga lehet üveg, szénszál, természetes szál, de használnak különböző szöveteket is. A szál anyaga mellett fontos a száltartalom, a hossz/átmérő arány,

a felületkezelés (tapadás, nedvesítés), a szálak orientációja, textilek esetén a szövés módja stb. Megfelelő felületkezeléssel komoly javulás érhető el.

Hosszú szálak alatt hőre lágyuló műanyagok esetében azt értik, hogy a feldolgozás kezdetén az erősítő szál hossza megegyezik a granulátum hosszával, amely nagyságrendileg 1–10 mm. Ilyen granulátumokat különféle pultrúziós vagy egyéb impregnálási eljárásokkal lehet előállítani. A normál, ömledékkompaundálással előállított szálerősített műanyagokban a szálhossz tipikusan a 0,1 mm (100 µm) tartományban van. Hőre keményedő műanyagok esetében (pl. SMC) hosszabb, 10–100 mm hosszúságú, random orientált vágott szálakat (is) alkalmaznak. A hosszú szálaktól meg kell különböztetni az (elvben) végtelen szálakat, amelyeket rendszerint sík vagy rúd alakú termékek gyártásához használnak. Ezek speciális gyártás- és feldolgozástechnikát követelnek. A szálaknál nagyon fontos a közvetlen felületkezelés mellett az *ún. írező anyag megválasztása*, ami egyrészt a száltöredekezést csökkenti a kompozit előállítása során, másrészt a megfelelően megválasztott írező anyag feloldódik a mátrixban és/vagy átmeneti réteget képez a szálfelület és a mátrix között.

A *szénszálak* kiváló mechanikai jellemzőket biztosítanak, de magasabb árak miatt csak különleges esetekben kerülnek alkalmazásra:

- az *Airbus 380* szerkezetének kb. negyedében használnak fejlett kompozitokat. A szerkezeti váz 22%-a szénszál as műanyag, beleértve azt a kulcsfontosságú alkatrészt, amely összeköti a szárnyat a törzzsel,
- a **Boeing** és a **NORDAM** cég kompozit ablakkeretek fejlesztésében működött együtt, amelyhez a *Hexcel HexMC* márkanevű szénszál/epoxi alapú SMC anyagát használták fel, amellyel kis sűrűség mellett nagy szilárdság érhető el; a Boeing 787 ablakkerete 50%-kal könnyebb a hagyományos alumíniumkeretnél; a kompozitkeret a sérüléseknek is jobban ellenáll, mint az eredeti,
- az egyedi és különleges autók gyártóinak a szénszál as műanyagok (CFRP) alkalmazása nem jelent újdonságot, de a CFRP/fém/hibrid kombináció azért nem mindennapi. A drezdai **ILK** és **LZS** intézet részvételével fejlesztett teljesen villamos hajtású gépkocsikban alumíniumvázat és CFRP elemeket használnak a karosszériához. A **Roding** autógyár *Roadster* nevű, 2011-ben piacra kerülő típusában CFRP héjszerkezetet alkalmaz a karosszériához, amelyet vákuumimpregnálásos transzferöntéssel (RTM) állítanak elő a viszonylag munkaigényesebb prepreg technológia helyett.

A *szendvicstechnológiák* is folyamatosan bővülnek:

- a **SABIC Innovative Plastics** és az **Azdel Inc.** új, hőre lágyuló kompozitot fejlesztett ki *IXIS* márkaneven, amely folyamatos üvegszál-erősítést tartalmazó szendvicsszerkezet karosszériaelemek gyártására, és amellyel 50% tömegcsökkentés érhető el az acélhoz képest,
- a **Bayer Materials Science** olyan új tetőmegoldásokon dolgozik, amely a szendvicstechnológiát kombinálja a poliuretán-kompozit technológiával, és 25%-os tömegcsökkentést tesz lehetővé a hagyományos acélszerkezetekhez képest.

A különböző *poliamidok* a műszaki műanyagok között a fémhelyettesítés régóta ismert és szívesen alkalmazott képviselői, amelyet az alábbi alkalmazások is igazolnak:

- a fémhelyettesítésnél nagyon fontos szempont a lehető legtöbb erősítőanyag bevitele, de lehetőleg úgy, hogy a feldolgozhatóság (folyóképesség) megmaradjon. Az **EMS Chemie** *Grivory GVX* néven hozott forgalomba 70 % (m/m) üvegszálat tartalmazó poliamidokat, amelyek maximális modulusa 30 GPa, szilárdsága 300 MPa, de fröccsöntéssel kis nyomáson is jól feldolgozhatók; a nagy üvegszáltartalom csökkenti a vetemedést,
- a **Quadrant CMS** cég Volkswagen Golf platformra épített gépkocsikhoz (pl. VW Golf, Audi A3, Seat Leon, Skoda Fabia) fejlesztett ki 40% üvegszál tartalmú PA6-ból készülő légzsák házakat, amelyek tömege alig fele a hagyományos, fémből készült megoldásnak,
- az **Evonik** *Vestamid HT Plus* típusát kimondottan fémhelyettesítésre fejlesztették olyan hagyományos területekre, mint a szivattyú- és szűrőházak gyártása; az alapanyagul szolgáló poliftalamid (PPA) kombinálja a jó mérettartást, a hőállóságot, a vegyszerállóságot a kitűnő mechanikai jellemzőkkel és a sokféle feldolgozhatósággal (fröccsöntés, extrúzió, 2K fröccsöntés, szálhúzás). A tervezési szabadság kihasználásával akár 50%-os tömegcsökkentés is elérhető.

A poliamidok mellett a *poliésztereket* (*PET* és *PBT*) is gyakran használják mátrixanyagként a fémhelyettesítést célzó alkalmazásokban:

- az **Aluplast** jó hőszigetelő, költséghatékony ablakrendszereket fejlesztett ki a **BASF** *Ultradur High Speed PBT* anyagainak felhasználásával. Az üvegszál-erősítésű, hőre lágyuló műanyag az acélkeretek kiváltására szolgál és 60%-os tömegcsökkenést eredményez, lehetővé teszi időigényes feldolgozási lépések elhagyását, jobb a hőszigetelő tulajdonsága és mechanikai jellemzői sem maradnak el az acélétől,
- az alumínium szelepház *Arnite PET*-re való kicserélésével egy fojtószelepből 60%-os tömegcsökkentést és 75%-os költségcsökkentést lehetett elérni.

A **Bosch** *Ryton* poli(fenilén-szulfid) (PPS) felhasználásával aktív vákuumfékrésegítő rendszert tervezett. A végső megoldás elérésekor 78%-os tömegcsökkenést és 84%-os költségcsökkenést értek el.

Széles körben használják a különböző epoxigyantákat is, amelyek műszaki műanyagoknak minősülnek, de mivel hőre keményedő műanyagok, szükség van egy külön térhálósítási lépésre is. A feldolgozás történhet kézi laminálással, de RTM módszert is alkalmaznak.

A hőre lágyuló erősített kompozitok speciális alosztályát képezik az ún. GMT-k (Glass Mat Thermoplastics: hosszú üvegszálal paplanból és hőre lágyuló műanyagból készített rétegek). A **Mercedes Benz** például *S-osztályú* luxuskupéjának frontend szerkezetét készíti a svájci **Quadrant Plastic Composites GMTex** márkanevű anyagaiból, és 32% tömegcsökkenést érnek el vele. *A feldolgozási módszer neve flow molding, amely a sajtolás egy speciális formája.* Ugyanez a cég szállítja a **Peugeot 407** hátsó ütközőinek gyártásához.

A speciális erősítőszálak közé tartozik a PE-UHMW szál, amelyet karosszéria- és hajtóműelemek gyártására használnak különböző hőre keményedő mátrixokkal (vinilészter, fenol- és epoxigyanták) kombinálva.

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

Biron, M.: Metals will never do the job at such low weights! = Omnexus, Special Chem, 2010. május 11.

Bertsc, G.; Ogle, J.: Metal to plastic conversions and part design = The IAPD Magazine, 2011. február/március, p. 20–21.