

## Szálerősítésű műanyagok alkalmazása a tömegcsökkentés kulcsa

A szálerősítésű műanyag kompozitok számos tulajdonsága felülmúlja az alappolimerékét. A jobb tulajdonságok mellett gyakran kevesebb anyagfelhasználással gyárthatók a megfelelő termékek. A tömegcsökkentés előnyei elsősorban a légi járművekben, az autópárhban és a szélerőművek rotorjaiban jelentkeznek. A legelterjedtebben alkalmazott üvegszálal erősítéssel összehasonlítva a szénszálal kisebb tömeget és nagyobb merevséget, míg a természetes szálal kisebb tömeget és környezetbarát anyagösszetételt biztosítanak. A repülőgép-alkatrészekhez és a szélerőművek forgó lapátjaihoz elsősorban duroplaszt kompozitokat alkalmaznak, és ezek a kis- és közepes szériában gyártott gépkocsi-alkatrészeknél is gyakran gazdaságosan feldolgozhatók.

*Tárgyszavak: kompaundok; bioműanyagok; műanyag-feldolgozás; kompozitok; autópárh; repülőgépipárh; szélerőművek; PP; PA; PUR; epoxigyanták; környezetvédelem.*

A műanyag alapanyagok számos tulajdonsága, mint például a mechanikai szilárdság, merevség, gazdaságosság, javítható szálal bekeverésével. Az erősítőszálal feljavítják a mechanikai jellemzőket, ezért a falvastagság olyan mértékben csökkenthető, hogy az kompenzálja a kompozit nagyobb sűrűségének, illetve a kompaundálás költségeinek hatását. Így kisebb tömege és anyagköltsége lesz a terméknek.

A leggyakrabban használt üvegszálal mellett a természetes eredetű szálal is egyre nagyobb szerepet játszanak, elsősorban kisebb sűrűségük és környezetbarát természetük révén. Közülük legelterjedtebben a cellulózalapú szálalakat alkalmazzák, melyek számos válfaja ismert (1. táblázat). A száltípus kiválasztásánál további szempont, hogy a fröccsöntés során a kompaundnak jó legyen a folyóképessége. Ez ugyanis jelentősen befolyásolja az alkalmazható fröccsnyomás és ciklusidő révén a gyártás gazdaságosságát, sőt a rossz folyóképesség (túl nagy viszkozitás) megakadályozhatja a szerszám teljes kitöltését is.

*A szálal erősítő hatását és a kompaund folyóképességét egyaránt jelentősen befolyásolja a szálal hossza, illetve a hossz/átmérő (L/D) arány. A vágott üvegszálal rendelkeznek a legnagyobb átlagos L/D viszonyal és a legszélesebb hosszúság-eloszlással, a regenerált cellulózsálal L/D viszonya és hosszeloszlása közepes mértékű, míg a tisztított cellulózsálal L/D aránya a legkisebb. Mint ismeretes, minél hosszabb egy szál, annál inkább növeli a kompaund ömledékviszkozitását, és (a szál/mátrixanyag megfelelő tapadása esetén) minél nagyobb az L/D viszonya, annál*

*nagyobb az erősítő hatása.* A cellulózsálak mellett található természetes kísérő anyagok (pl. lignin) jelentősen rontják a szálak erősítő hatását, ezért érdemben csak a tisztított és a regenerált cellulózsálakat használják erősítő adalékként.

1. táblázat

Megújuló nyersanyagokból előállított szálak választéka

	<b>Faliszt/farost</b>	<b>Tisztított cellulózsálak</b>	<b>Növényi rostok</b>	<b>Regenerált cellulózsálak</b>
<b>Kémiai összetétel</b>	szálak, rostok természetes kísérőanyagokkal (lignin, hemicellulóz)	feltárt cellulózsálak, kevés kísérőanyag	feltárt és mechanikusan tilolt, de kémiailag nem kezelt rostok természetes kísérőanyagokkal (lignin, hemicellulóz)	lebontott és újrapolimerizált cellulózsálak
<b>Nyersanyagforrás</b>	fa, fűrészpor	fa, gyapot stb.	rostban gazdag növények (pl. len, kender, gyapot, juta)	fa- és gyapotcellulóz
<b>Morfológia</b>	nagyon rövid szálak agglomerátumai, kis L/D arány	2–3 mm hosszú szálak L/D<100	max. 1 cm-es szálkötegek és egyedi szálak	technológiával beállítható a szálhosszúság
<b>Előállítás módja</b>	fa őrlése	termomechanikus és kémiai feltárás a kísérőanyagok eltávolítására	főleg mechanikus feltárás, esetenként mikrobiológiai folyamattal	speciális oldószerben lebontott és újra polimerizált cellulózsál képzése

## **Fröccsönthető polipropilén és biopoliamid kompaundok vizsgálata**

Német kutatók a fröccsöntéshez alkalmas, magas MFI értékű polipropilénbe és biopoliamidba (PA10,10) keverték be 20–20% vágott üvegszálat (GF), tisztított cellulózsálakat (dCF) és regenerált cellulózsálakat (CRF). Az alkalmazott szálak jellemzőit a 2. táblázat tartalmazza. A jobb tapadás érdekében maleinsavanhidriddel ojtott polipropilént használtak tapadásközvetítő anyagként a poláris cellulózsálakhoz. A kompaundokat kécsigás extruderrel állították elő. A cellulózsálakat nem szárították ki előzetesen. A szálakat gravimetrikus csigás adagolóval juttatták be az extruderbe, annak ömlesztő zónája és egy atmoszferikus gáztalanító zóna után. A szálakat eloszlató keverőzónát egy atmoszferikus gáztalanító, majd egy utókeverő és egy vákuumos gáztalanító zóna követte. A tízfuratú zsinórszerszámból kilépő műanyagömlédek vízfürdőben lehűtve granuláltak, majd a granulátumot kiszárították. A PP esetében a zónahőmérsékletek 220 °C-ról fokozatosan csökkentek a kilöközóna 170 °C-os hőmérsékletéig, míg a PA-t végig 235 °C-on tartották.

Az így előállított kompaundok sűrűségét a 3. táblázat szemlélteti. Látható, hogy a cellulózsálakat tartalmazó kompaundok sűrűsége lényegesen kisebb, mint az üveg-

szálasoké, ezért jó eséllyel alkalmazhatók az autóiparban, ahol a tömegcsökkentésnek nagy jelentősége van, elsősorban az üzemanyag-fogyasztás és ezen keresztül az EU direktívában előírt CO<sub>2</sub> kibocsátási szint (max. 130 g/km 2015-ig) alacsonyan tartása miatt.

2. táblázat

A különböző erősítőszálak tulajdonságai

Tulajdonság	Üvegszál (GF)	Regenerált cellulózsál (CRF)	Tisztított cellulózsál (dCF)
Sűrűség, g/cm <sup>3</sup>	2,54	1,5	1,45
Ár, EUR/kg	3,50	4,50	1,50
Szakítószilárdság, MPa	2400	200–1400	400–1500
E-modulus, GPa	70–90	3–36	10–80
Hulladék semlegesítése	speciális	égetés	égetés
Eredet	ásványi	megújuló	megújuló

3. táblázat

Az előállított PP és PA kompaundok sűrűsége

Kompaund	Sűrűség g/cm <sup>3</sup>
PP	0,897
PP-GF	1,028
PP-CRF	0,976
PP-dCF	0,975
Bio-PA	1,045
Bio-PA-GF	1,181
Bio-PA-dCF	1,157

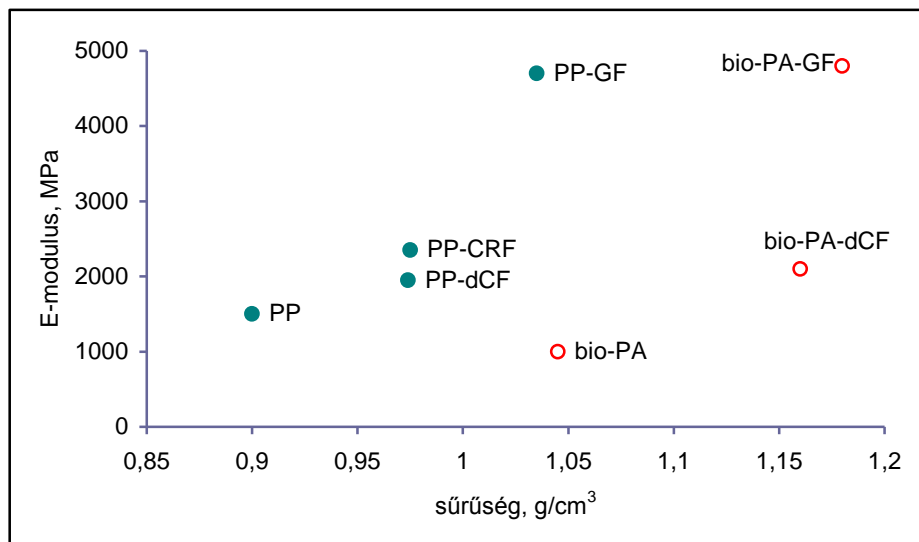
Az erősítőszálaknak a merevségre és a sűrűsége gyakorolt hatását az 1. ábra szemlélteti.

Természetesen a tömegcsökkentés mellett az anyagköltség is nagyon fontos szempont. A szálerősítés merevségnövelő hatása miatt kisebb falvastagság alkalmazható. *E két hatás arányát az ún. ESM érték, vagyis a modulusra normált anyagár mutatja be:*

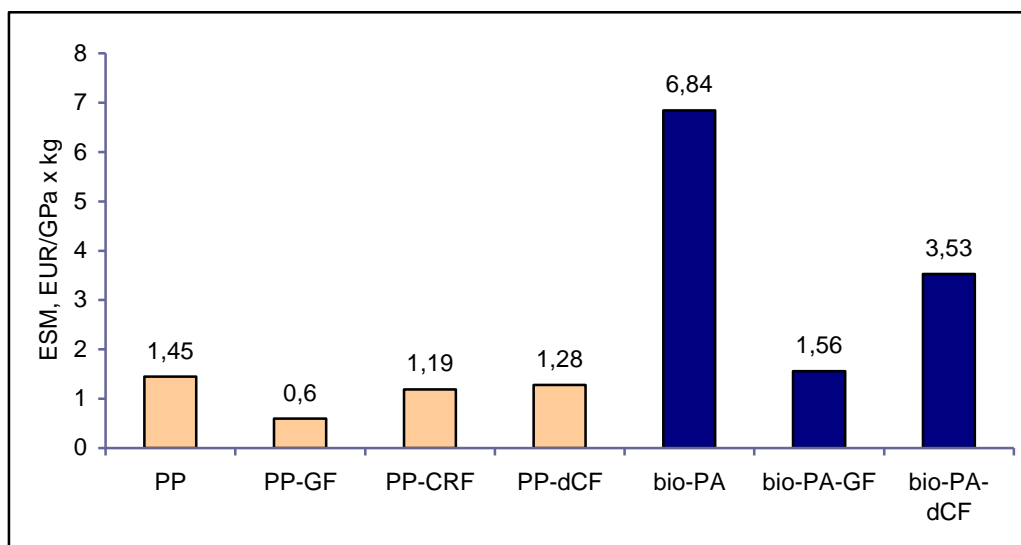
$$ESM = \text{Anyagár (EUR/kg)/E-modulus (GPa)}$$

Az egyes kompaundok ESM értékeit a 2. ábra mutatja be.

Jól látható, hogy az erősítőszálak hozzáadása minden esetben csökkenti az ESM értéket. A legnagyobb hatása az üvegszálaknak van, ez még a drága bio-PA esetében is iparilag alkalmazható anyagot (ESM=1,56 (EUR/kg·GPa)) eredményez. A tisztított cellulózsálak hatása a legkisebb.

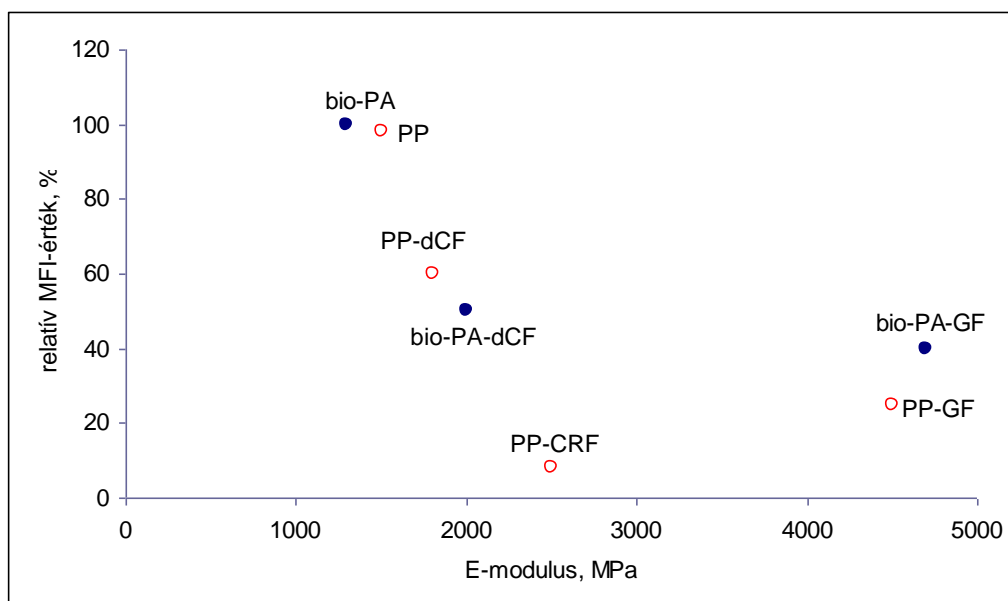


1. ábra PP és PA kompaundok E-modulusa a sűrűség függvényében (GF: üvegszál, CRF: regenerált cellulózsál, dCF: tisztított cellulózsál)



2. ábra Az egyes PP és bio-PA kompaundok EMS értékei (GF: üvegszál, CRF: regenerált cellulózsál, dCF: tisztított cellulózsál)

Fröccsöntéskor a kompaundok reológiai jellemzői is nagyon fontosak. A mátrixanyagok MFI értékét 100%-nak véve és ehhez a kompaundokét arányítva, a szálerősítés viszkozitásra gyakorolt hatása összehasonlíthatóvá válik (ún. relatív MFI). Ez az összefüggés látható a 3. ábrán. A szálerősítés mind a PP, mind a PA esetében jelentősen csökkenti az MFI értékeket. A regenerált cellulózsálakat tartalmazó PP kompaund (PP-CRF) meglepően alacsony MFI értéke azonban további vizsgálatokat igényel.



3. ábra Különböző kompaundok relatív MFI értékei az E-modulus függvényében (GF: üvegszál, RCF: regenerált cellulózszál, dCF: tisztított cellulózszál)

Az autóiparban fontos anyagjellemző a CO<sub>2</sub> ekvivalens érték (CO<sub>2</sub> ekvivalens/kg alapanyag). A kompaundálási eljárás hatását a CO<sub>2</sub> ekvivalens értékére a 4. táblázat adatai mutatják.

4. táblázat

A vizsgált PP kompaundok CO<sub>2</sub> ekvivalens értékei a kompaundálás hatásával korrigálva

Kompaund	CO <sub>2</sub> ekvivalens/kg anyag	Kompaundálás CO <sub>2</sub> ekvivalens értéke	Összesen (kg CO <sub>2</sub> /kg alapanyag)
PP	2,04	–	2,04
PP-GF	3,12	0,26	3,38
PP-dCF	1,27	0,26	1,53
PP-CRF (ázsiai CRF forrás)	2,59	0,26	2,85
PP-CRF (európai CRF forrás)	1,15	0,26	1,41

Mint látható, az üvegszálás kompozit CO<sub>2</sub> ekvivalens értéke kiugróan magas, míg a dCF és az európai CRF kompaundoké lényegesen kisebb, mint az originál PP-é. Fontos szempont továbbá, hogy a *cellulózszálás kompozit hulladékká válása esetén teljes egészében elégethető*, azaz hőenergiává alakítható, míg az üvegszálás anyag speciális módszereket igényel.

## Kisebb tömegű közlekedési eszközök a klímavédelem érdekében

A járműiparban és különösen a repülőgépgyártásban, illetve a szélerőművek rotorlapátjainál rendkívül fontos a tömegcsökkentés, illetve a minél nagyobb merevség biztosítása. A repülőgépek 1 kg-os tömegcsökkentése mintegy 40–50-szer nagyobb költségnövekedést is ellensúlyoz. A szélerőművek gyakran 40 m hosszú rotorlapátjaiban a lapátok tövénél 6000 kNm hajlítónyomaték is felléphet. *Az üvegszál-as változathoz képest a szénszál-as kompozit alkalmazása 10% anyagköltség-növekedés mellett 25% tömegcsökkenést eredményez.*

A duroplasztok nagyobb hőállósága, jobb időjárás-állósága és a fárasztó igény-bevételekkel, illetve a sérülésekkel szembeni jobb ellenállása rohamosan növeli rész-arányukat e területen, amely ma már eléri a 90%-ot. Az üvegszál-asokhoz képest magasabb árak ellenére is növekednek az igények az 50% feletti szálarányú szénszál-as kompozitok iránt. A szénszál-as kompozitok felhasználása a 2009-ben tapasztalható visszaesést (~40 et) követően fokozatosan nőtt a világon és 2015-ben várhatóan eléri a 100 ezer tonnát.

Az autóiiparban közepes (30–100 ezer jármű/év) szériaméretűk esetén *a nagy-nyomású (~80 bar) gyanta transzferöntést (angol nevének rövidítése: RTM)* alkalmaz-zák, melynek során a fűtött (100–120 °C) kétrészes szerszám-ba behelyezik az előfor-mázott szénszál-as vagy üvegszál-as szövetdarabot, majd a szerszám összezárása után beinjektálják az általában 80–100 °C-os epoxi-, újabban, esetenként poliuretángyantát és a vele összekevert térhálósító szert. A hő hatására a gyanta néhány perc alatt kike-ményedik (térhálósodik). A terméknek a szerszám-ból történő biztonságos kiemelését, illetve a ciklusidő (2–5 perc) csökkentését 1–3% belső (a gyantába bekevert) formale-választó adagolásával biztosítják. Egyes esetekben a szerszám-ból kiemelt darabokat alagútkemencében még utótérhálósítják. A ciklusidő az ún. rés transzfer-gyantaöntéssel csökkenthető. Ennek során a kétrészes, fűtött szerszám-ba behelyezik az előformázott szövetet, de a szerszámot nem zárják teljesen össze a gyanta beinjektálá-sa előtt, hanem csak ezt követően. A gyanta így sokkal könnyebben kerül el a szer-szám-ba, amelynek összezárása biztosítja a megfelelően nagy nyomást, amely a kívánt alakra sajtolja a darabot. A térhálósított gyanta üvegesedési hőmérsékletével szembeni autóiipari követelmény, alkalmazási területtől függően 120–150 °C. Az RTM technoló-giához használt anyagok (különösen a formaleválasztó) kiválasztásánál és az alkalma-zott eljárások során figyelembe kell venni, hogy az így legyártott alkatrészeket szinte mindig további műveleteknek (pl. festés, lakkozás, ragasztás) vetik alá.

A polgári célú repülőgépgyártás során a nagyméretű, szénszállal erősített szerke-zeti elemeknél a szérianagyságok sokkal kisebbek: évente néhány-szor tíz vagy néhány száz típusonként. Itt elsősorban prepregből (azaz a gyantával és térhálósítóval hidegen előimpregnált szénszál-as szövetből) formázzák ki az adott alkatrészt, majd autokláv-ban magas hőmérsékleten több óra alatt térhálósítják a gyantát. A nem hő hatására (pl. elektronbesugárzással) térhálósodó rendszerek fejlesztése folyamatban van, hiszen az autokláv-os kezelés költségei igen magasak. Az ilyen célra használt gyanták üvegesi-

dési hőmérséklete legalább 180 °C, és rendkívül fontos a kompozit dinamikus igénybevételekkel (fárasztással) szembeni nagy ellenálló képessége.

A szélérőmű rotorlapátjainak nagy méretei (a tengeri, azaz offshore erőműveknél a horizontálisan elhelyezett lapátok hossza elérheti a 80 m-t) és a termék költségérzékenysége miatt az autóklávos technológia nem gazdaságos. A nagyobb cégek évente néhány száz lapátot állítanak elő. Erre a célra az *ún. infúziós technológiát* alkalmazzák. Ennek során a méretre szabott üveg- vagy szénszálas szövetet behelyezik a lapát negatívját alkotó formába, amelyet zárófóliával takarnak le. A rendszert vákuum alá helyezve, 40–50 °C-on injektálják be a gyanta és térhálósító keverékét. Ezen a hőmérsékleten 4–10 óra alatt a gyanta térhálósodik. Esetenként a hőmérsékletet 70–80 °C-ra emelik a ciklusidő csökkentése, illetve a darab kiemelése után a ragasztási fugák kiemelésére céljából. Használják a *prepreg technológiát* is, melynek során a negatív szerszámba helyezett előformázott prepregre a hőkezelés előtt szintén vákuummal szorítják rá a takarófóliát.

Mátrixanyagként hagyományosan epoxigyantákat alkalmaznak, mivel ezeknek (az olcsóbb) poliésztergyantákhoz képest nagyobb a fárasztó idénybevételekkel szembeni ellenállása, nagyobb a mechanikai szilárdsága és kisebb a zsugorodása. A nagy folyásutak miatt nagyon kis viszkozitású anyagra (néhányszor tíz mPas) van szükség. Újabban epoxi helyett poliuretángyantákkal is kísérleteznek, mivel ezeknek lényegesen (két nagyságrenddel) nagyobb a dinamikus erőhatásokkal szembeni ellenállása. Rosszabb folyóképességük több beinjektálási ponttal és a technológiai paraméterek megfelelő megválasztásával kompenzálható.

Összeállította: Dr. Füzes László

Habermann Ch. et al.: Umweltfreundlich und wirtschaftlich = Kunststoffe, 102. k. 12. sz. 2012. p. 40–44.

Neumeyer T. et al.: Leichter in der Luft, im Wind und auf der Straße = Kunststoffe, 102. k. 11. sz. 2012. p. 72–76.

## **Új kutatási központ Németországban szénszállal erősített termékek fejlesztésére**

A Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt – DLR (német légi- és űrközlekedési centrum) 2013 májusában a könnyűszerkezetekben alkalmazott anyagokat és technológiákat fejlesztő új intézményt (Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie – ZLP) nyitott meg Augsburgban, amelynek fő célja a szénszál-erősítésű műanyag alkatrészek és elemek gyártásának fejlesztése. A ZLP-t ipari méretű berendezésekkel szerelték fel. Egy 30 m hosszú, 15 m széles és 7 m magas, öt rugalmasan mozgatható robotkarral felszerelt többfunkciójú robot automata pl. különböző termelési folyamatok vizsgálatát és jóváhagyását képes vezérelni.

A ZLP a jövőben kutatóintézetekkel, egyetemekkel és ipari partnerekkel kíván együttműködni.

P. M.

Neues Leichtbau – Forschungszentrum für CFK = K-Zeitung, 12. sz. 2013. p. 10.

[www.quattroplast.hu](http://www.quattroplast.hu)