

MŰANYAGFAJTÁK, KOMPOZITOK, BIOMŰANYAGOK

Természetes szálakkal a fenntarthatóságért

A természetes szálakat már évek óta alkalmazzák a műanyag kompozitokban, nem csak előnyös tulajdonságaik, hanem a fenntarthatóságra való törekvés miatt is. Az alábbiakban a cellulózsálak, a lignin és a bazaltszálak alkalmazásáról olvashatnak.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; természetes szálak; cellulózsálak; lignin; bazaltszál; biokompozitok.

A szálerősítésű műanyagok fejlesztésénél is a fenntarthatóság az egyik, ha nem a legfontosabb szempont. A fejlesztők fő törekvése az olajalapú és a nagy energiatartalmú nyersanyagok kiváltása megújuló és/vagy természetes eredetű anyagokkal. Ennek egyik kézenfekvő megoldása, hogy erősítésre a természetben megtalálható növényi szálasanyagokat használnak az üvegszálak helyett. A természetes szálak előállításához szükséges energia mennyiség 9,7 MJ/kg, ami 77%-kal kisebb az üvegszálakhoz felhasznált 54,8MJ/kg-nál. További előny a természetes szálak alacsonyabb sűrűsége (1,4–1,5 g/cm³ a 2,5–2,6 g/cm³-mal szemben), amely súlymegtakarítást tesz lehetővé.

Fejlesztések a cellulózsálak erősítőként való használatára

A cellulózszálakkal kapcsolatos fejlesztésekben nem véletlenül az északi országok kutatói járnak élen, részint a finn és norvég, részint az észak-amerikai cégeknél. A norvég RISE PFI biomassza kutatóintézet *FiberComp* projektje nagy teljesítményű WPC (fa-műanyag kompozit) fejlesztését célozza. A norvég cégnek finn, német és dél-amerikai partnerekkel közös *ValBio-3D* projektje a melléktermékként rendelkezésre álló lignocellulóz tartalmú anyagok hasznosítását tűzte ki célul biokompozitok előállítására. A projekt keretében lignocellulóz szálakkal biopolimereket, PLA-t és PHA-t erősítenek. Két másik norvég cég, a papírgyártó Norske Skog Saugbrugs és a Borregaard biotechnológiai cég a gyártás során kinyerhető lucfenyőrostot felhasználva fejlesztenek biokompozit granulátumot különböző ipari felhasználási területekre. A fejlesztéssel kapcsolatos vizsgálatok azt is kimutatták, hogy a rostok a mátrixul használt biopolimer lebomlását is segítik a talajban.

Az erdőkön kívül az agrárgazdasági hulladékok is komoly lehetőséget kínálnak erősítő szálak kinyerésére. Brazíliában, például a cukornádból történő cukorgyártás mellékterékeként kapott biomassza harmadát kitevő szál felhasználhatóságát vizsgálják. A kezdeti eredmények biztatóak.

A finn VTT kutatóintézetben a természetes szálakkal készült kompaundok technológiáját fejlesztik. Speciális tömörítő berendezést fejlesztek a szálak előkészítésére. A

kompaundáló berendezést pedig úgy módosították, hogy hosszabb természetes szálak bevezetésére is alkalmasak legyenek.

A kanadai Performance BioFilaments (PBI) cég nanofibrillált cellulóz (NFC) és eredeti cellulóz pulp keverékéből állított elő száraz granulátumot, amely jól diszpergálható a különböző polimer mátrixokban. Az elvégzett kísérletek szerint 10-30%-ban adagolva ezt a cellulózsál keveréket a mechanikai tulajdonságok jelentős javulását érték el, amint az 1. táblázatból látható.

1. táblázat

Cellulózsál keverék hatása a mechanikai tulajdonságokra különböző mátrixokban

Mátrix	Javulás %			
	Húzószilárdság	Húzó modulus	Hajlító szilárdság	HDT
PP	9–14	5–76	26–64	60
PA	3–14	45–116	3–11	37
PLA	19–31	41–97	40–45	134

Pozitív eredményeket mutattak a reciklási kísérletek is. A PA és PLA biokompozitok legalább öt reciklási cikluson keresztül megőrzik szilárdságukat és nyúlásukat. PP-nél még ennél is jobb eredmény adódott: hét újraolvasztási ciklus után is alig tapasztalták a tulajdonságok romlását.

Az új-zélandi Scion Research kutatóközpont *Woodforce* néven farostot tartalmazó kocka alakú granulátumot fejlesztett ki, amelyet poliolefin kompaundokhoz ajánl erősítőként. Az új granulátum kísérleti tételei iránt nagy az igény Európában, ezért a *Woodforce* granulátumot jelenleg szerződés alapján már gyártja is a farostlemezeket gyártó Sonae Arauco cég Németországban. Van érdeklődés Ázsiából is. A *Woodforce* előnye a szintén kutatott nanocellulóz szállal szemben a költséghatékonyság és a hozzáférhetőség. Mindezek alapján több autógyártó cég is tervez nagyobb kísérletet.

Dél-Afrikában a papíriparban aktív Sappi csoport, az autóiipari műanyag alkatrészeket gyártó SAPA csoport, valamint két olasz cég *Life Biobcompo* nevű közös projektjének célja új biokompozit fejlesztése, amelynek az autóiipari igényeknek megfelelően jó termomechanikai, dimenzióstabilitási és esztétikai tulajdonságokkal kell rendelkeznie. Az üvegszál helyett a Sappi cég *Symbio* nevű cellulózalapú erősítő szálát alkalmazva a gépkocsiknál 8% széndioxid emissziócsökkenést akarnak elérni.

Fejlesztések a lignin felhasználásával

Az amerikai Attis Innovations cég speciális olvasztással folyékonyra tehető lignint fejlesztett ki, amely bioadalékként használható a különböző műanyagokban. Extrakcióval a lignin gyakorlatilag minden biomasszából kinyerhető. Nagyon jól összeférhető a poliolefinekkel, így akár 15-25%-ban bekeverhető a mechanikai tulajdonságok lényeges romlása nélkül. A húzómodulus és az ütészilárdság megőrizte értékét, csak a húzószilárdságban észleltek 10% csökkenést. A lignin adagolása a költségcsökkentés mellett fényes egyenletes felületet ered-

ményez, és javítja a fröccsöntést a hosszú és bonyolult geometriájú alkatrészeknél. A lignin tapadásfokozó kapcsoló hatása egy sor polimernél megjelenik. Biopolimerekhez (PLA, PBAT, PHA, PBS) adagolva 100% bioalapú kompozitok előállítását teszi lehetővé, de nagyon jól használható PMMA-nál és más akrilalapú polimereknél is.

Az Attis ligninből kiindulva 100% természetes alapú szénszál kifejlesztésén is dolgozik. Technológiájukat már egy szokásos olvadékból dolgozó szálképző berendezésen is kipróbálták, és az így kapott lignin szálból sikerült a jelenleg ismert szénszálakéval azonos, vagy jobb tulajdonságokkal bíró szénszálat előállítaniuk a szokásosnál alacsonyabb költséggel.

A norvég RISE PFI szintén foglalkozik a ligninalapú biokompozitokkal. Más norvég és európai cégekkel közösen dolgoznak a lignin 3D nyomtatásban való felhasználásán. Különösen nagy jelentősége lehet a ligno-cellulóz szálaknak és a bioműanyagoknak az egészségügyi transzplantátumok 3D nyomtatással történő gyártásánál.

Biokompaund, illetve biokompozit granulátumok a műanyagpiacon

A német piackutató és tanácsadó Nova-Institut rendszeresen vizsgálja a bioalapú gazdaság piaci viszonyait. Adatai szerint legalább 35 gyártó kínál biokompozit granulátumot. Mennyisége 2018-ban elérte a 140 000 tonnát. Még a járvány előtt készített elemzésében a Nova-Institut éves szinten kétszámjegyű növekedést prognosztizált a következő évekre.

A biokompozitok egyik gyártója a finn UPM, amelynek *Formi EcoAce* biokompozit terméke fából származó szállal erősített bio-PP, amelyet a Sabc gyárt az UPM erdőgazdaságból származó biomasszából gyártott bioolajából. Az UPM bioalapú olajának gyártásánál tonnáként három tonnával kevesebb üvegházhatású gáz keletkezik, mint a kőolajnál. A sikeres kísérletek után a cég jelenleg kezdi forgalmazni a *Formi EcoAce-t* jellemzően élelmiszerrel érintkező termékekhez, higiéniai és más fogyasztási termékek csomagolására. A termék fröccsöntéssel és extrudálással is feldolgozható, tetszőleges színre színezhető.

Az UPM jelenleg a *Formi FibCo* mesterkeverék fejlesztésén dolgozik, amely 90% vagy annál is több szálat fog tartalmazni. Az új termék kereskedelmi bevezetését 2021-re tervezik. Az új mesterkeverékkel a felhasználók kifejleszthetik saját természetes szálaikon alapuló fenn tartható termékeiket.

Aktív ezen a területen a magyar Inno-Comp is. Három terméke is van. Az első egy cellulózporral töltött polimer. A cellulózpor, mint töltőanyag növeli a bioanyag tartalmat és csökkenti a sűrűséget. Ezt a terméket főleg extrudált burkolat elemekhez használják, de folytatnak vele fröccsöntési kísérleteket is. A második termék töltőanyaga a fából kinyert szál as anyag. Ennek már van erősítő hatása, javítja például a hajlítási szilárdságot és természetesen ez is csökkenti a sűrűséget. Ennél a terméküknél a száltartalom 10-40% között mozog. 40% felett már romlanak a mechanikai tulajdonságok. A cég szerint a termék népszerű az autóiparban, mivel tulajdonságai közel vannak az üvegszál as termékekéhez. A harmadik termék a cég saját fejlesztésű speciális terméke, amelyben a töltőanyag mezőgazdaság termék: dió, barackmag és mandula kemény héja megőrölve és a kompaundálásra előkészítve. Az így kapott töltőanyaggal akár 70% koncentrációt is el tudnak érni termoplasztokban. Vagyis a termék mesterkeverékként is használható. A terméket fröccsöntéshez fejlesztették. Polimermátrixként PLA is használható, így 100%-ban biokompozit állítható elő. Ennél a kombinációnál fontos, hogy a töltőanyaggal kompenzálható a PLA magas ára.

Az autóiipari alkatrészek gyártásánál folyamatosan nő az érdeklődés a természetes szállal erősített kompaundok iránt. Már legalább 13 modellben van természetes szállal erősített műanyag alkatrész, ami mintegy 3 millió gépkocsit jelent. A – még a koronavírus járvány előtt készített – prognózis szerint 2022-re ez a szám elérheti a 7 milliót is.

Az APM – az autóiipari Tier One beszállító, a Faurecia és egy mezőgazdasági szövetkezet, az Interval közös vállalata – *NAFILean* néven kenderszállal erősített PP kompaund családot fejlesztett ki autóiipari felhasználásra. A 20% kendent tartalmazó kompaund nagyon jó termomechanikai tulajdonságokkal rendelkezik. Nagy előnye, hogy az üvegszálas kompaundhoz képest akár 25% súlycsökkentést is lehetővé tesz. Az APM legújabb fejlesztése a *NAFILean Stiff*, amelynek a modulusa az üvegszállal erősített PP-vel azonos: 3,5 GPa.

A svéd Trifilon a múlt évben helyezett üzembe egy új üzemet Nyköpingben. Az üzem elsősorban kenderrel erősített kompaundokat gyárt. A cég az új üzemben gyártott *BioLite* kompaundokat „másodgenerációs” nevezi, mivel bennük a szálak egyértelműen javítják a kompaund teljesítményét a fenntarthatóságot segítő hatás mellett. Az új üzemben két sor van összesen 4000 tonna kapacitással. A cég nemrég indított közös projektet egy másik svéd céggel, a RenCom-mal, amely a lignin alkalmazásával ért el eredményeket. A közös projektben az ún. „harmadikgenerációs” biokompozit fejlesztését tűzték ki célul.

Hibrid biokompozitok: természetes szálak és bazaltszálak együtt

A természetes szálakkal erősített műanyagok mechanikai tulajdonságai általában kisebb-nagyobb mértékben elmaradnak az üvegszálas műanyagokétól. A mechanikai tulajdonságok javítására a bazalt szálak hozzáadása jelenthet fenntartható megoldást. A bazalt szál ugyanis, mint ásványi nyersanyag szintén természetes eredetű. Bár mint ásványi anyag nem megújuló, de mivel a földkéreg mintegy 15%-át alkotja, gyakorlatilag kimeríthetetlennek tekinthető. Előállítására az üvegszálakéhoz hasonló: a bazaltot megolvasztják és szálat képeznek belőle és feltekerceslik, majd a kívánt hosszúságra vágják. A bazalt olvasztásához szükséges energia kisebb, mint az üvegé. A szál előállításához semmilyen vegyi anyagra nincs szükség. Előállítási folyamatának CO₂ mérlege a természetes szálakéhoz közelít.

A bazaltszál sűrűsége kb. 5%-kal magasabb az üvegszálénál, mechanikai tulajdonságai – húzó- és nyomószilárdsága, valamint modulusa – azonban 15–20%-kal is felülmúlják az üvegszálakét. A bazalt szálak hőállósága 500 °C feletti, lángállósága is kiváló, nedvességet nem vesz fel. Természetes védelmet mutat az UV-sugárzással, korrózióval és mindenféle biológiai hatással szemben.

2018 márciusa óta fut egy projekt a Kaiserslautern Főiskola pirmasensi telephelyén, amelynek célja rostszálak és bazaltszálak keverékével erősített műanyag előállítása. A projektben mátrixként részint a termoplastikus PP-t, részint egy akrilalapú hőre keményedő rendszert vizsgáltak. A felhasznált természetes szál finomsága 80-140 dtex között mozog $\pm 30\%$ standard eltéréssel. A vele együtt adagolt bazalt szál lényegesen finomabb volt: 6 ± 1 dtex. A természetes rostszálak ugyanis 10-40 elemi szálból álló szálkötegek, míg a bazalt szál egyedi elemi szál. A bazalt szál húzószilárdsága 8 cN/dtex, kétszerese a természetes szálénak, ami 3–4 cN/dtex. A vizsgálatok első lépéseként 50% természetes szál felhasználásával állítottak elő kompozitot, majd bazalt szál hozzáadása után vizsgálták a mechanikai tulajdonságok változását.

A PP kompozit előállításához PP szálat és a megfelelő arányban hozzákevert szálat használtak. Az így kapott száلكeverékből álló vliest megolvasztották. A természetes szál –

jelen esetben kenaf – felének (25%) bazaltszállal történő kiváltásával a PP alapú kompozit E-modulusa 45%-kal, hajlítószilárdsága pedig 25%-kal nőtt. A húzószilárdság még ennél is nagyobb mértékben, 70%-kal javult. Az ütésállóság 45%-kal nőtt. Természetesen a csak bazalt szállal erősített PP még nagyobb értékeket mutat.

Az akrilalapú diszperzióval először len-kenaf keveréket impregnáltak, majd hőkezelték. Utána a len-kenaf szálát különböző arányban bazalt szállal helyettesítették úgy, hogy a szálkeverékben a bazalt szál 10, 30, 50% legyen. Megállapították, hogy a bazalt szál hozzáadásával egyenes arányban nő a rendszer hajlítási modulusa. Már 10% bazaltszál a szálkeverékben 16%-kal, 30% bazaltszál 28%-kal, 50% pedig 54%-kal emeli a modulust. Hasonlóan, de kisebb mértékben javul az ütésállóság is.

A hibrid rendszereket raszterelektronmikroszkóppal is megvizsgálták. Megállapították, hogy mind a növényi, mind a bazalt szálak eloszlása homogén, nem keletkeznek agglomerátumok egyik mátrixnál sem. A törési felületeket vizsgálva azonban már találtak különbséget: PP mátrix esetén megfigyelhető a bazalt szálak „kihúzódása”. A továbbiakban ezért a bazalt szálak és a PP közötti tapadás fokozásával, a szálak megfelelő felületi kezelésével tervezik tovább javítani a tulajdonságokat. A hőre keményedő mátrixnál a szálak kihúzódása nem jelentkezett.

Összeállította: Máthé Csabáné dr.

Mapleston, P.: Natural fibres stretch beyond sustainability = www.compoundingworld.com, 2020. május, p. 15–24.

Saleem, A., Medina, L.: Natürliches Tuning = Kunststoffe, 4. sz. 2019. p. 78–82.