

## Természetes szálakkal erősített hőre lágyuló kompozitok feldolgozása és tulajdonságai

A nanokompozitok mellett a másik „slágertéma” a természetes szálakkal erősített kompozitok feldolgozása és alkalmazása. A gépgyártók új berendezéseivel a kompozitokat kevesebb energiával lehet feldolgozni. Egy kutatócsoport polimátrixként poliamid 6 és 66 típusokat vizsgált.

*Tárgyszavak: hőre lágyuló kompozitok; természetes szálak; poliamid; mechanikai tulajdonságok; energiacsökkentés.*

A növekvő környezeti tudatosság és a fosszilis nyersanyagok áremelkedése miatt a fejlesztők új, lehetőség szerint megújuló forrásból származó anyagokat keresnek. Az utóbbi évtizedben került a kutatások fókuszába a természetes szállal erősített kompozitok ipari alkalmazása. A természetes szálak alkalmazása a környezet szempontjából lényegesen előnyösebb az eddig legnagyobb mértékben használt üvegszálnál, hiszen *megújuló nyersanyagról van szó*, amelyhez a kevesebb energiaigény miatt kisebb CO<sub>2</sub>-kibocsátás járul. *A természetes szálak mechanikai tulajdonságai összevethetők az üvegszállal, de annál olcsóbbak, kisebb sűrűségűek.* Ez utóbbinak szintén van környezetvédelmi hatása, mivel a szállításukhoz kevesebb energia szükséges. Mindazonáltal vannak hátrányos tulajdonságaik: a természetes szálak minősége kevésbé stabil és kisebb a hőállóságuk is, mint a mesterségeseké. A jelenlegi kutatások, fejlesztések a természetes szállal erősített műanyagok minőségének javítására, a mátrix megválasztására, a mátrix és a szál közötti tapadás fokozására és a feldolgozási technológiák optimalizálására irányulnak.

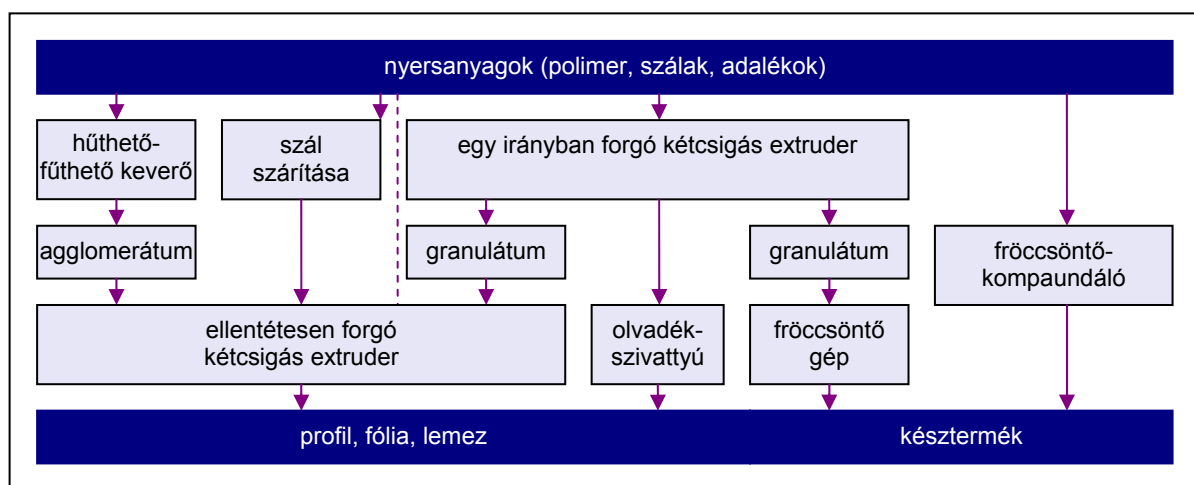
### A természetes szálakkal erősített műanyagok energiahatékony feldolgozása

A nagy mennyiségű hőenergiát igénylő műanyag-feldolgozási eljárásokra nagyobb figyelem jut az utóbbi időben, mert azoknál jelentős energiamegtakarítást és emissziócsökkentést lehet elérni az eljárások optimalizálásával. A **Krauss Maffei Technologies GmbH** a természetes szálerősítésű műanyagtermékek előállítására a direkt, azaz egylépéses eljárást javasolja, és ehhez berendezést is ajánl.

A természetes szálakkal történő erősítés esetén mátrixként főleg a poliolefinnek és a PVC szerepel, mivel ezek olvadáspontja viszonylag alacsony. Így a feldolgozás során kiküszöbölhető a hőérzékeny természetes szálak – a kender, juta, kenaf, szizal, kókuszrost és a farost – károsodása. A kész kompozitok optimalizálására adhéziót fo-

kozó anyagokat és UV-stabilizátorokat, esetenként ütésálló modifikátorokat, valamint színezék-mesterkeveréket is adagolnak.

A természetes szállal erősített műanyagok feldolgozására egy- vagy kétlépcsős eljárás jöhet szóba, ahogy ezt az 1. ábra szemlélteti. A kétlépcsős eljárásnál a szál bekeverésére két különböző technológia jön szóba. Az első szerint egy fűtött keverőtartályban agglomerátumot állítanak elő, amelyet egy hűtött keverőben hűtenek le. A másik megoldásban egyirányú kétcsigás extruderben granulátumot készítenek úgy, hogy a szálakat és más adalékokat gravimetriásan adagolják. A szálakat ilyenkor nem kell szárítani, mert az extruder a nyíró-keverő zónákon kívül intenzív gáztalanítással is rendelkezik. Ez utóbbi extruderes eljárásban a nagyobb nyírási energia következtében jobb a diszpergálás, de éppen a nagy nyírási energia miatt ez az eljárás PVC-re nem használható. A két eljárás termékei, mind a granulátum mind az agglomerátum a szokásos feldolgozási eljárásokkal késztermékké alakítható.



1. ábra Természetes szálakkal erősített műanyagtermékek előállítása egylépcsős (direkt) és kétlépcsős – granulátumon keresztül – eljárással

Az egylépcsős eljárást is többféle módon lehet megvalósítani. Extruderrel előállítható termékek közvetlen előállításához biztosítani kell a szálak megfelelő diszpergálását az extruderben. Ehhez vagy gáztalanítással rendelkező, egyirányban forgó kétcsigás extrudert, vagy a szál előzetes szárítása után ellenkező irányú kétcsigás extrudert használnak az alakadó szerszám előtt olvadékszivattyúval.

Az utóbbi eljárásához fejlesztette ki a Krauss Maffei a ZE-R típusú kétcsigás extruderét, amely kialakítása révén különösen alkalmas a természetes szálak bekeveréséhez. L/D aránya 1,74. Nagy menetmélységű extrudercsigája megkönnyíti a szállal bevitt nedvesség eltávolítását, amely először az atmoszférikus légtelenítő zónában, majd a vákuumos gáztalanító zónában megy végbe olyan hatékonyan, hogy a szálak akár 12% neveléstartalommal is beadagolhatók.

A direkt eljárásban a legfontosabb a fröccsöntő-kompaundáló berendezés kialakítása, ahol a Krauss Maffei két fő elvet követett. Az új fröccsöntő-kompaundáló berendezésben, az IMC-ben (Injection Molding Compound) a fröccsöntés egy közbeiktatott olvadátkarólóból történik. A kompaundálás és a fröccsöntés kombinálása a természetes szálak keverékeknél különösen előnyös, hiszen ezek a szálak hőre érzékenyek. Az eljárás ezenkívül jelentős energiamegtakarítást is lehetővé tesz azért, hogy a plasztikálást a fröccsöntő gép helyett az energetikailag hatékonyabb kétszigás extruder végzi.

A közvetlen eljárás energetikai előnyét egy farosttal erősített profilnál vizsgálták. 60% farostot tartalmazó polipropilénkompozitot dolgoztak fel; a farost nedvességtartalma 12%, a gyártás sebessége 200 kg/óra, a feldolgozási hőmérséklet 200 °C volt. A számítás azt mutatja, hogy a kétlépcsős eljárás – ahol kétszer történik olvasztás – 61,7 kW energiát, a direkt eljárás bármelyik módszer szerint csak 36,7 kW energiát igényel. A különbség több mint 40%.

## Természetes szálakkal erősített poliamidok

A természetes szállal erősített kompozitok másik fontos fejlesztési iránya, hogy a mátrix anyagának optimális megválasztásával javítsák a mechanikai tulajdonságokat. Az eddig leginkább használt poliolefinmátrix esetében a fő probléma a rossz összeférhetőség a teljesen apoláros polimer és a poláros szálak között. Bár ezt különböző adalékokkal, módosításokkal igyekeznek javítani, kézenfekvőnek látszik vizsgálni a kevésbé hidrofób poliamid alkalmazását mátrixként még akkor is, ha a természetes szálak hőérzékenysége problémát jelenthet, hiszen a magasabb olvadáspont miatt a poliamidok feldolgozási hőmérséklete magasabb.

Az Európai Unió 5. keretprogramjában szereplő kutatási téma résztvevőiként spanyol és olasz kutatók poliamidmátrixba keverték természetes szálakat és fából vagy más anyagból kinyert cellulózrostokat, amelyek tulajdonságait az 1. táblázat mutatja.

1. táblázat

Természetes szálak és rostok jellemzői

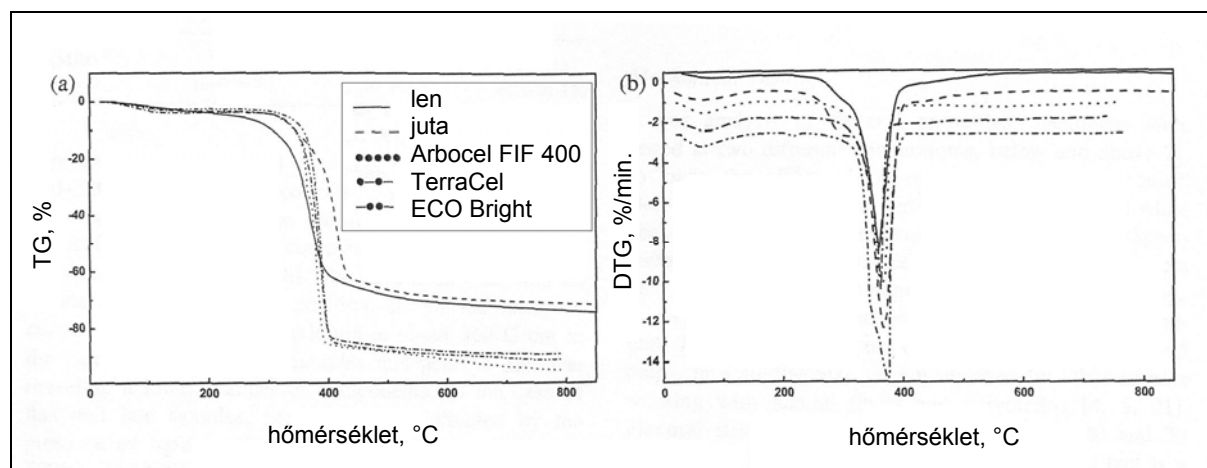
Száltípus	Cellulóz %	Szálhossz mm	Szálvastagság µm
Len	43 – 47	3,3	19
Juta	45 – 53	1,1	26
TerraCel <sup>TM</sup> – keményfa rostszál	97 – 100	–	–
ECOBright – puhafa rostszál	90 – 100	–	–
Arbocel FIF 400 – tiszta cellulózsál	Kb. 99,5	2	35

Poliamidmátrixként a **Rhodia** által gyártott *Technyl C302* (poliamid 6), *Technyl A302 V25* és *A502* (poliamid 66) típusokat próbálták ki. Az *A502* extrúziós típus, míg az *A302* fröccsöntéssel és extrúzióval is feldolgozható. A mátrixanyagok mechanikai tulajdonságait a 2. táblázat foglalja össze.

## Poliamid mátrixanyagok mechanikai tulajdonságai

Poliamid típus	Húzószilárdság, MPa	Hajlítószilárdság, MPa
Technyl A 302	85	120
Technyl A 502	80	140

A szálak hőállóságának megállapítására termogravimetriás vizsgálatokat végeztek. A 2/a és 2/b ábrákon a szálak hő hatására bekövetkező tömegváltozása (TG), illetve a tömegváltozás sebessége (DTG) látható 10 °C/perc felfűtési sebesség mellett. A 2/b ábrán, a DTG görbéjén az első csúc (20–120 °C) a nedvesség eltávozásához köthető. A természetes szálaknál, a lennél és a jutánál 250–320 °C-on is jelentkezik egy bomlási folyamat, amely a hemicellulóz és más kísérő vegyületek hő hatására bekövetkező depolimerizációjából adódik. A legnagyobb tömegvesztés 320–400 °C között jelentkezik, a cellulóz hőbomlása következtében.



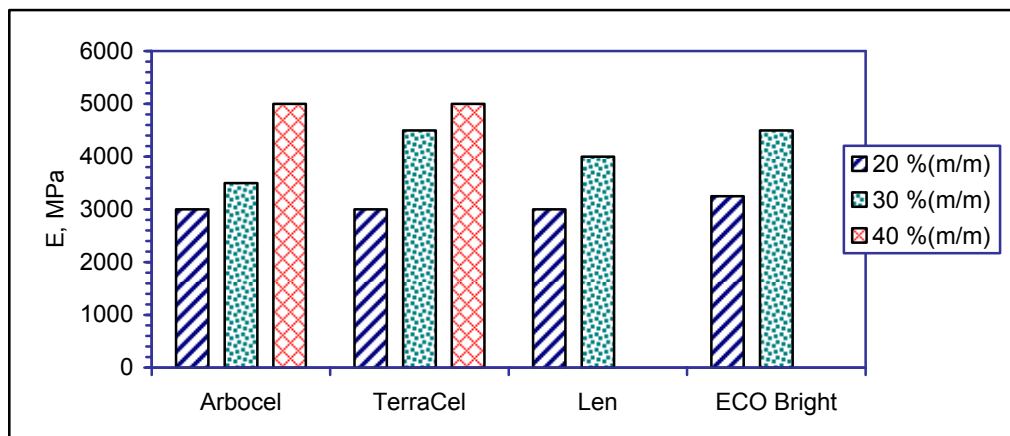
2 ábra Szálak termogravimetriás vizsgálata  
a) TG: tömegváltozás; b) DTG: tömegváltozás sebessége

Izometrikus termogravimetriás méréseket is végeztek, amikor a 10 °C/min sebességű felfűtés után a szálakat 250 °C-on, a poliamidok szempontjából releváns hőmérsékleten tartották. A legkisebb bomlást a 90%-nál nagyobb arányban cellulózból álló szálak mutatják, míg a sok kísérő vegyületet tartalmazó természetes szálak, a len és a juta – különösen az előbbi – tömegvesztése a hő hatására nagyobb, amely csak a nem-cellulóz vegyületek elbomlása után stabilizálódik.

A poliamidot 20–40% szállal *Rheomix 600/610* típusú belső keverőben összekeverték, majd a kompaundokat megőrölték. Az őrleményekből a mechanikai vizsgálatokhoz szabványos próbatesteket fröccsöntöttek.

A hajlító- és húzóvizsgálatok eredményei szerint a természetes szálak erősítő hatást fejtenek ki a poliamid 6 és 66 alapú kompaundokban. A szálakat tartalmazó kompaundok szilárdsága és modulusa 10–300%-kal haladják meg a mátrixpolimer értékeit. Az erősítő hatás, vagyis a tulajdonságok javulása az erősítetlen mátrixhoz képest a poliamid üvegesedési hőmérséklete felett, 80 °C-on általában nagyobb, mint szobahőmérsékleten, ami azért is fontos, mert *erősítés nélkül a poliamid mechanikai tulajdonságai az üvegesedési hőmérséklet felett az eredeti értékek negyedére csökkennek.*

Az erősítő hatás mértékét nem annyira a szálak fajtája, hanem a bekevert mennyiségük határozta meg. Ez a hatás látható a 3. ábrán poliamid 6 alapú (A 302) kompaundok 23 °C-on mért hajlítómodulusai alapján. Vizsgálták a keverési idő hatását is különböző száltartalomnál és mérték az így készített kompaundok mechanikai tulajdonságait. Az eredmények azt mutatják, hogy a keverési idő növelése a viszkozitás csökkenéséhez vezet, ami részben azzal magyarázható, hogy jobb a szálak eloszlása, de számolni kell a szálak rövidülésével is. A keverési idő növelésének hatását a mechanikai tulajdonságokra a TerraCel farosttal vizsgálták. Az eredmények (3. táblázat) szerint a hosszabb keverési idő kismértékben növeli a hajlítószilárdságot és a moduluszt.



3. ábra A PA 6 alapú (A 302) kompozitok hajlítómodulusa 7 perc keverési idő mellett

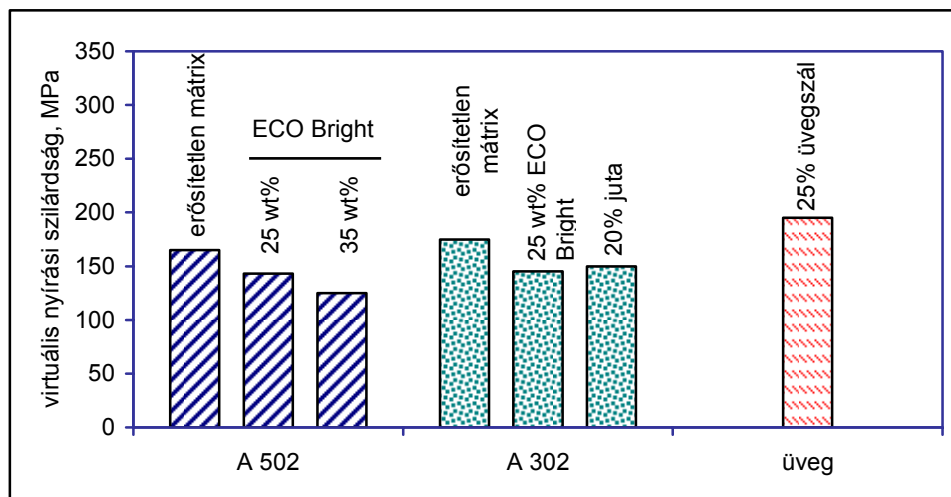
Nyírási vizsgálatokat is végeztek az ASTM 2240 szabvány szerint. Ez a módszer az *interlamináris nyírási szilárdságot jellemzi*, és a párhuzamos szálakkal erősített műanyagokra alkalmazzák elsősorban. A véletlenszerűen elhelyezkedő szálak esetén ún. virtuális nyírási szilárdság értékeket kapnak. Ez a nyírási szilárdság a mérvadó, ha a befogás rövid, mivel ilyenkor inkább nyírásra, mint hajlításra törik a minta. A 4. ábra a poliamid 6 (A 302) és a poliamid 66 (A 502) kompozitok szobahőmérsékleten meghatározott virtuális nyírási szilárdság értékeit mutatja. Itt megfigyelhető, hogy a

természetes szálak inkább csökkentik ezt az értéket, míg üvegszállal kissé növelhető a nyírási szilárdság. Ehhez hasonló eredményt a szobahőmérsékleten végzett húzóvizsgálatnál is kaptak. Ezeket az eredményeket azzal magyarázzák, hogy *a szálak a mátrixon belül agglomerátumokat alkothatnak.*

3. táblázat

A keverési idő hatása a *TerraCel* cellulózrosttal erősített kompozit mechanikai tulajdonságaira

Száltartalom % (m/m)	Keverési idő min.	Hajlító-szilárdság MPa	Hajlító-modulus MPa
20	7	100	3140
20	10	105	3540
20	20	104	3480
30	7	111	4620
30	10	117	4580
30	20	120	4710
40	7	107	5250
40	10	115	5390
40	20	118	5580



4. ábra Különböző szálakkal készített PA 6 (A 302) és 66 (A 502) alapú kompozitok virtuális nyírási szilárdsága

Az eredmények összességükben azt mutatják, hogy a természetes szálak és a cellulózrostok erősítő szálként a poliamidokban is használhatók. Erősítő hatásuk a vára-

kozásnak megfelelően jól érvényesül az üvegesedési átmenetnél magasabb hőmérsékleten is.

Összeállította: Máthé Csabáné dr.

Bürkle, E.; Scheel, G.; Darnedde, L.: Energieeffiziente Verarbeitung naturfaserverstärkter Kunststoffe. = Kunststoffe, 99. k. 2. sz. 2009. p. 39–44.

Arcaya, P. A.; Retegi, A. stb.: Mechanical properties of natural fibers/polyamides composites. = Polymer Composites, 30. k. 3. sz. 2009. p. 257–264.