

A BAZALTSZÁL ÉS A MONTMORILLONIT JELENLÉTÉNEK HATÁSA A POLITEJSAV TERMOMECHANIKAI TULAJDONSÁGAIRA

GONDA BENCE¹
MÉSZÁROS LÁSZLÓ^{2*}

Jelen kutatásban bazaltszállal (BF) és montmorillonittal (MMT) erősített, politejsav (PLA) mátrixú hibridkompozitokat vizsgáltunk, amelynek célja a szál hatásának, valamint a szál és a nanorészecske együttes hatásainak tanulmányozása volt a kompozit anyagok termomechanikai tulajdonságaira. A differenciális pásztázó kalorimetria (DSC) vizsgálat alapján elmondható, hogy a bazaltszálnak göcképző hatása van, továbbá a bazaltszál és a montmorillonit szinergiában működve tovább növelték a PLA kristályos részarányát. A dinamikus mechanikai termikus analízis (DMTA) vizsgálat eredményei azt mutatják, hogy a politejsavhoz képest jelentősen megnőtt a kompozitok csillapítóképesége, és nőtt az anyagok tárolási modulusa. A pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) felvételek alapján elmondható, hogy a töretfelületeken csekély helyen fordult elő aggregátum, valamint a bazaltszál és a mátrix között kiváló adhéziós kapcsolat jött létre.

1. BEVEZETÉS

A kifogyóban lévő kőolaj tartalékok és a mára már nagy méreteket öltő környezetszennyezés miatt egyre jobban előtérbe kerülnek a környezetbarát, fenntartható anyagok és feldolgozási technológiák. Így egyre több kutató foglalkozik biokompozitok fejlesztésével, megújuló erőforrásból előállított anyagok használatával. Mivel a deponálásra váró, életciklusuk végét elérő műanyag termékek egyre nagyobb tömegben vannak jelen a világban, ezért a különböző nemzetközi szervezetek jogi lépéseket tettek afelé, hogy elkezdjék kiszorítani a petróleum-alapú műanyagokat a mindennapokból, és egyre több ország kezdi bátorítani, támogatni a cégeket, hogy megújuló erőforrásból előállított polimert használjanak, hiszen a természetben fellelhető, illetve természetes anyagból előállított polimerek és erősítőanyagok is kiváló tulajdonságokkal rendelkeznek [1, 2].

Manapság a leggyakrabban kutatott és használt biopolimer a politejsav, ami egy hőre lágyuló alifás poliészter, amelyet többnyire a kukoricakeményítőben, cukornádban megtalálható glükózból szintetizált L-tejsav monomerek polikondenzációjával, vagy laktid gyűrűfelnyitásos polimerizációjával állítanak elő. Habár egy kristályosodásra hajlamos polimerről van szó, hagyományos ömledékállapotú feldolgozással szinte teljesen átlátszó, amorf terméket kapunk a kifejezetten lassú kristályosodási tulajdonsága miatt. Mechanikai jellemzői hasonlítanak néhány szintetikus hőre lágyuló tömegműanyagéhoz (pl. PET, PS). Húzószilárdsága 60-65 MPa, húzó rugalmassági modulusa pedig 3 GPa. Mindezek mellett kis deformáció tűréssel

THE EFFECT OF THE PRESENCE OF BASALT FIBER AND MONTMORILLONITE ON THE THERMOMECHANICAL PROPERTIES OF POLY(LACTIC ACID)

In the present study basalt fiber (BF) and montmorillonite (MMT) reinforced poly(lactic acid) (PLA) hybrid-composites were examined, which aim was to study the effects of fiber and the co-effects of fiber and nanoparticle on the composite materials' thermomechanical properties. Based on the differential scanning calorimetry (DSC) test, the basalt fiber has a nucleating effect, and the basalt fiber and montmorillonite have further increased the crystallinity of PLA in synergy. The results of the dynamic mechanical thermal analysis (DMTA) show that the damping capacity of the composite materials has significantly increased compared to the neat poly(lactic acid) and the storage modulus of the materials was increased as well. Based on the scanning electron microscopy (SEM) pictures, aggregation of the nanoparticles was found only on a few spots of the fracture surface, and an excellent adhesion bond was created between the basalt fiber and the matrix.

rendelkezik (szakadási nyúlása csupán 2-5%), ezért a polimerek között rideg anyagnak számít, amit különböző lágyítószerrel hozzáadásával lehet szívósabbá tenni. Lassú kristályosodása szintén hátrányként mutatkozik meg: ömledékállapotból nagy kristályos részarány csak lassú hűtéssel (<1°C/perc) és/vagy göcképzők hozzáadásával érhető el. Ez azért fontos, mert a kristályos részarány növelésével a termék hőaktartása jelentősen fokozható az amorf, 50-60°C-os PLA termékekéhez képest. A feldolgozás utáni zsugorodás csekély, ezért fröccsöntésnél kis utónyomásnál sem változik számottevően a termék formája. Ez utóbbi tulajdonsága miatt a PLA-t előszeretettel alkalmazzák az ömledék alapú prototípusgyártásban is [3-6].

A PLA mechanikai és termikus tulajdonságait nagyban lehet befolyásolni különböző erősítőanyagokkal és adalékanyagokkal.

¹ MSc hallgató, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék

² egyetemi docens, MTA-BME Kompozittechnológia Kutatócsoport
* meszaros@pt.bme.hu

Ilyen természetes alapú erősítőszál a bazaltszál, amit a bazalt kőzet – ami egy természetben megtalálható vulkanikus kőzet, széleskörűen és olcsón elérhető – olvadékból állítanak elő gyorsított eljárással. A bazalt 1350 és 1700°C közötti hőmérsékleten olvad meg és a szálhúzás során hirtelen hűtés hatására amorf, üvegszerű szálak jönnek létre. Színe szürke vagy fekete, kémiai összetétele pedig hasonló az üvegszáléhoz, tulajdonságai és az ára az E-üveg és S-üveg közé tehető. Manapság egyre nagyobb figyelmet kap köszönhetően a jó mechanikai tulajdonságainak, mint például a szakadási nyúlás, szilárdság, rugalmassági modulusz. Mindezekon felül jó a termikus és kémiai ellenállása, jó hő- és hangszigetelő, erősítőanyagként jó csillapítóképeséggel rendelkezik, kiváló villamos szigetelő, valamint ellenálló a különböző időjárási viszonyokkal szemben. Termikus stabilitása jó feldolgozhatóságot biztosít széles hőmérséklet-tartományban (-200-tól 600-800°C-ig) jelentős degradáció nélkül. Jó tulajdonságainak és alacsony árának köszönhetően a szénszálnak is potenciális alternatívája lehet azoknál a termékeknél, ahol fontos az alacsony ár, vagy a szénszál túlságosan merevnek, ridegnek bizonyul. A bazaltszál, kísérletekkel alátámasztva, ártalmatlan az egészségre, nem toxikus anyag. A fent említett tulajdonságai miatt egy remek erősítőanyag, amit lebontható alifás poliészterekhez (pl. PLA) hozzáadva jó tulajdonságokkal rendelkező, zöld kompozit anyagot gyártható [7, 8].

Mivel a PLA-nál lassú hűtéssel, illetve göcképzők hozzáadásával érhető el nagy kristályos részarány, így amennyiben egy környezetbarát kompozit anyag készítése a cél, göcképzőként mindenképp természetben megtalálható anyagot kell választani. Erre kiváló példa a természetben előforduló montmorillonit agyagásvány. Az ásványi anyagok jótékony hatása a polimerre már évek óta ismert. A réteges szilikáttal, mint nanoméretű erősítőanyagokkal végzett kutatások száma folyamatosan bővül. Az eddigi eredmények alapján belátható, hogy csupán 1-5 m/m% montmorillonit hozzáadásával jelentős mértékben javulnak a polimerek mechanikai tulajdonságai. A szilárdsági tulajdonságokon kívül a nanorészecskéknek köszönhetően javul az anyag égésgátló tulajdonsága, a kopással szembeni ellenállóképessége, valamint a csillapítóképesége is. Nagy hátrányuk a nanoszemcséknek, hogy aggregálódásra erősen hajlamosak, és a feldolgozás során megmaradó aggregátumok feszültséggyűjtő helyekként funkcionálnak, lokálisan gyengítve ezzel a terméket. Ezeknek az aggregátumoknak a bontásában segítséget nyújtanak a hozzáadott hagyományos szálak, mivel ilyenkor nagyobb nyíróerő keletkezik az anyagok kompaundálása során és hatékonyabb keveredés érhető el [9].

Mindezek alapján tehát érdemes a hagyományos szálak és nanorészecskék egyaránt tartalmazó kompozitok létrehozásával foglalkozni. A jelen kutatás célja egy politejsav mátrixú, környezetbarát kompozit fejlesztése, amivel a politejsav termodinamikus tulajdonságainak javítását kívánjuk elérni – mivel mindkét anyag külön-külön is javítja a mátrix anyag csillapítóképeségét, ezért hibridizálva ezeket szinergikus hatásokat várunk –, valamint vizsgáljuk, hogy a mikroszálak által keletkező nyíróerő milyen mértékben választotta szét és oszlatta el a nanorészecskéket. Az alapanyaggyártás, illetve a feldolgozás során a nanoszemcsék, a minél környezetbarátabb anyag előállítása érdekében, felületkezelési eljárásokon nem mentek keresztül.

2. ALAPANYAGOK, ELŐÁLLÍTÁSI ÉS VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

A kísérlet során a következő anyagokat használtuk. A polimer mátrix egy, a kereskedelemben is kapható politejsav, amelyet a NatureWorks LLC. cég gyárt, a termék típusa Ingeo™ 8052D. Folyási mutatószáma (MFI) 14 g/10 perc (210°C-on, 2,26 kg terhelés mellett), sűrűsége 1,24 g/cm³, valamint kristályolvadási (T_m) és üvegesedési hőmérséklete (T_g) rendre 145-160°C és 55-60°C. A bazaltszálat a Kamenny Vek cég szolgáltatta, típusa KV02. A szálak átmérője 9-17 µm, hossza 3-6 mm, szakítószilárdsága 630-750 GPa. A montmorillonitot, mint nanoméretű erősítőanyagot a BYK-Chemie GmbH. cégtől vásároltuk, típusa Cloisite 116. Nedvességtartalma 8-13%, sűrűsége 2,8 g/cm³, átlagos rétegvastagsága 1,25 nm. A kompaundálást egy Collin Teach-Line ZK25T ikercsigás extruderrel végeztük. Az extrudernek 5 fűtőzónája van, beleértve a berendezés végén található zsinórszerszámot is, ami szintén rendelkezik fűtőpaláttal. Az egyes zónák hőmérséklete a gyártás közben a garattól a szerzőszámig: 170-180-185-180-170°C. Legelső körben a tiszta PLA-ból hoztunk létre referencia anyagot, így hasonló hőhatásnak tettük ki, mint a többi kompozit anyagot, ezért az eredmények kiértékelésénél tisztább képet kapunk az anyag tulajdonságának változásairól.

Második alapanyagként bazaltszállal erősített politejsavat gyártottunk (PLA+BF). Az egyes anyagok aránya 70-30 m/m% a politejsav javára. A továbbiakban a politejsav és a bazaltszál mellé a nanoszemcsék hozzáadásával hibridkompozitot hoztunk létre, a PLA és a BF aránya ugyanaz maradt, de hozzáadtunk először 1, majd 2, illetve 3 m/m% rétegszilikátot. Így összesen 5 féle anyaggal dolgoztunk. A kompaundálás előtt a PLA-t 4 órán keresztül 90°C-on szárítottuk a gyártó ajánlásával összhangban. Az extrudercsiga fordulatszáma a tiszta PLA esetében 10 1/perc, a többi kompaund esetében 25 1/perc volt. A kompaundálás során keletkezett zsinórt egy granuláló géppel aprítottuk a későbbi feldolgozhatóság érdekében. Az előállított alapanyag megnevezése és összetétele a 1. táblázatban látható.

1. táblázat: Elkészült kompozitok megnevezése és összetétele

Minta	PLA [g]	BF [g]	MMT [g]
PLA	1000	0	0
PLA+BF	1050	450	0
PLA+BF+1MMT	700	300	10
PLA+BF+2MMT	700	300	20
PLA+BF+3MMT	700	300	30

A tesztekhez használt próbatesteket az EN ISO 527-es szabványban leírt, szakítóvizsgálathoz használt minták alapján fröccsöntéssel készítettük. A próbatest szabványos méretei 150x10x4 mm voltak. Az alkalmazott fröccsöntő gép típusa Demag IntElect 50/330-100, L/D aránya 20, csigaátmérője 25 mm. A próbatestek elkészítése előtt a kompaundált, majd legranulált anyagot szárítottuk 4 órán keresztül, 90°C-on. A fröccsöntés zónahőmérsékletei a garattól a fúvókáig: 40-170-180-190-200°C.

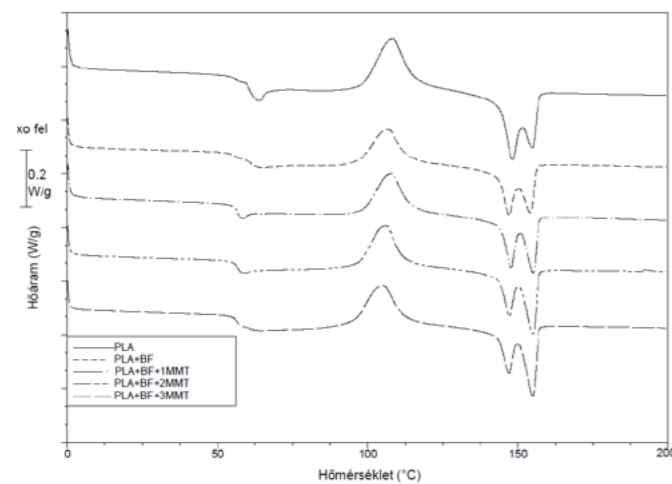
A szerszám 30°C-os volt. A fröccsöntés során a csigaforulat szám 300 1/perc, a plasztifikálási idő pedig 5,5 s volt.

A DSC vizsgálatot a TA Instruments által gyártott Q2000 típusú berendezésen végeztük. A vizsgálatok során fűt/hűt/fűt ciklust alkalmaztunk 0-200°C között, ahol a fűtési és hűtési sebesség egyaránt 5°C/perc volt. A mérések N₂ atmoszférában történtek 50 ml/perc-es áramlási sebesség mellett. A DMTA vizsgálatokat a TA Instruments által gyártott Q800 típusú berendezésen végeztük el. A mérés módja három ponton rögzített próbatest hajlítás volt („dual cantilever”, vagyis a próbatest 3 pontban volt befogva és a középső befogás fel-le oszcillált), az oszcilláció amplitúdója 15 μm, a frekvencia pedig 1 Hz volt. A hőmérséklet 0-150°C tartományban mozgott 3°C/perc hőmérsékletnöveléssel. A nanorészecskék eloszlottságának, illetve a kialakuló mátrix-erősítőanyag kapcsolat tanulmányozásához húzóvizsgálattal töretfelületeket hoztunk létre (Zwick Z005 univerzális terhelőgép, szakítási sebesség tiszta PLA esetében 5 mm/perc, míg a kompozitoknál 2 mm/perc volt). A minták töretfelületét JEOL JSM 6380LA (JEOL Ltd.) típusú elektronmikroszkóp segítségével elemeztük.

3. EREDMÉNYEK

A vizsgálatokat a próbatestek DSC vizsgálatával kezdtük, hiszen az anyagoknál elért kristályos részarány nagyban befolyásolja a felhasználási tartományt, amit összevetve a DMTA vizsgálat eredményeivel átfogóbb képet kaphatunk az egyes anyagok termikus viselkedéséről.

A görbéken jól látható, hogy a politejsav két kristálymódosulata is jelen van. Az első kristályolvadási hőmérséklet (α') a bazaltszál hozzáadása után 1°C-ot csökkent a próbatestek esetében, viszont a második kristályolvadási hőmérséklet (α) nem változott. A görbéről továbbá megállapítható, hogy a feldolgozás elősegítette a kristálymódosulatok átrendeződését ($\alpha' \rightarrow \alpha$), az erősítőanyagok hozzáadásával egyre csökken a kevésbé stabil α' módosulathoz tartozó endoterm csúcs és nő a stabilabb α -hoz tartozó endoterm csúcs nagysága. Kimutatható tehát, hogy az MMT elősegíti a stabilabb α kristálymódosulat létrejöttét. Ez a hatás jól látható a mért görbéken is (1. ábra).



1. ábra. A PLA és kompozitjainak DSC görbéi

A bazaltszál hatására megnőtt az üvegesedési átmeneti hőmérséklet, míg az MMT fokozatos növelésével az üvegesedési hőmérséklet és a hidegkristályosodási hőmérséklet is lecsökken.

Számszerűen az MMT hozzáadása 5,5°C-os üvegesedési hőmérséklet csökkenést jelent a PLA-hoz képest. A kristályos részarány 24%-kal megnőtt a bazaltszál és a nanorészecskék hozzáadása után a referencia anyaghoz viszonyítva. Megjegyzendő, hogy a kristályos részarány jelentős növekedése az MMT jelenlétének hatására következett be. Az is fontos információval bír, hogy a kristályolvadási entalpia és a hidegkristályosodási entalpia különbsége a 3 m%-os MMT tartalmú kompozitnál a legnagyobb, a kristályos részarány növekedésén túl ez egy másik jele a göcképző hatásnak, annak ellenére is, hogy alacsonyabb részecsketartalomnál a hatás ezzel ellenkező volt. A különbség a kristálymódosulatokkal kapcsolatos, a nanorészecske erősebb göcképző hatással rendelkezik a stabilabb α módosulatra, mint a bazaltszál. A kapott eredmények a 2. táblázatban láthatók. A táblázatban szereplő jelölések: T_g – üvegesedési hőmérséklet, T_c – hidegkristályosodási hőmérséklet, T_{m1} – a kevésbé stabil kristálymódosulathoz tartozó kristályolvadási hőmérséklet, T_{m2} – a stabilabb kristálymódosulathoz tartozó kristályolvadási hőmérséklet, ΔH_{cc} – hidegkristályosodási entalpia, ΔH_m – kristályolvadási entalpia, X – kristályos részarány. Az entalpia értékek az erősítőanyagok tömegarányával korrigálva, a mátrixra vonatkoztatva szerepelnek a táblázatban.

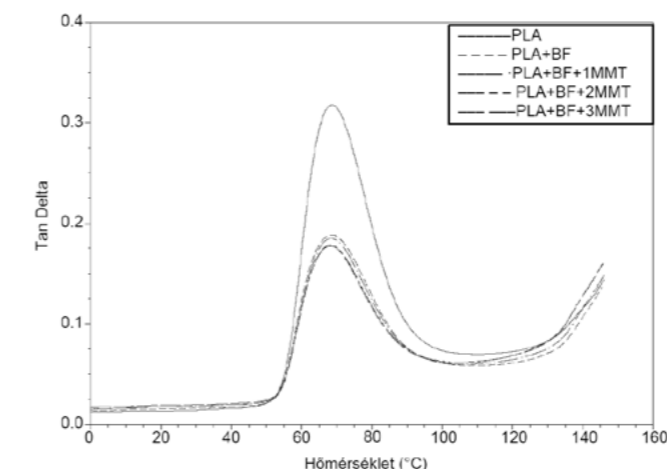
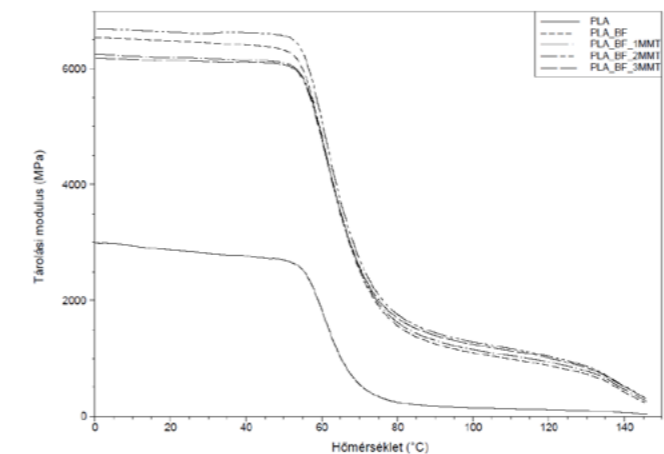
2. táblázat. Próbatestek DSC görbéiről kapott adatok

Anyag	T_g [°C]	T_c [°C]	T_{m1} [°C]	T_{m2} [°C]	ΔH_{cc} [J/g]	ΔH_m [J/g]	X [%]
PLA	63,2	108,4	148,3	154,9	27,2	30,5	32,8
PLA+BF	64,0	106,7	147,2	154,3	28,1	31,2	33,5
PLA+BF+1MMT	58,0	107,9	147,7	155,1	31,5	31,6	33,9
PLA+BF+2MMT	58,6	106,0	147,2	155,0	33,1	34,2	36,8
PLA+BF+3MMT	57,7	105,0	147,0	154,9	34,9	37,9	40,7

A próbatesteken végzett DMTA vizsgálat célja, hogy megismerjük az anyagok viselkedését dinamikus (periodikus) terhelés esetén, információt kapjunk a készített anyagok viskoelasztikus tulajdonságairól a hőmérséklet függvényében. A DMTA görbékéből meg tudjuk állapítani a periodikus terhelés következtében deformált testben rugalmasan tárolt energiát (tárolási modulusz), valamint a deformált testben disszipáló energiát (veszteségi modulusz) [10].

A $\tan \delta$ csúcs maximumánál leolvasott hőmérsékletet értelmeztük az anyag üvegesedési hőmérsékleteként. A PLA tulajdonságait T_g alatt és fölött is célszerű vizsgálni. Észrevehető, hogy ez az érték az erősítőanyagok hatására nem változik, ami némileg ellentmond a DSC görbékéből kapott értékekkel, hiszen ott pár fokos hőmérsékletkülönbség volt jelen. Ez annak is köszönhető, hogy a szál és a mátrix között kialakult érintkezési kapcsolat korlátozza a molekulaláncok mozgási tulajdonságait, ami azt is eredményezi, hogy a dinamikus mechanikai tulajdonságok érzékenyebbek a lokális mozgásokra, mint a DSC-nél mért termikus tulajdonságok, tehát a dinamikus igénybevételből fakadó mechanikai üvegesedés jelenségének tudhatjuk be. A $\tan \delta$ csúcs magassága összefüggésben van az anyag szívósságával, vagyis a csillapító képességével. Habár azt tapasztaltuk, hogy az erősítőanyag jelenléte lecsökkentette a csúcs magasságát (T_g -nél) a referencia anyagéhoz képest, de az erősítőanyag

növelésével ez elkezdett nőni, vagyis több MMT-vel töltött kompozit jobb csillapítóképességgel rendelkezik. 25°C-on vizsgálva a $\tan \delta$, ha nem is nagy mértékben, de fokozatosan nőtt az erősítőanyag mennyiségének növelésével, ami azt jelenti, hogy szobahőmérsékleten a kompozit anyagok jobban csillapítanak, mint a referencia PLA. A kompozitok tárolási moduluszát figyelve a T_g alatt (25 °C-on) – amikor az amorf részek üvegszerű fizikai állapotban vannak – a bazaltszál jelenléte több mint kétszerezte növelte a tárolási moduluszt a sima politejsavéhoz képest, ami a montmorillonit hozzáadásával és növelésével fokozatosan csökkent. T_g felett (80 °C-on), amikor az amorf részek nagy rugalmas fizikai állapotban vannak, jóval nagyobb tulajdonságjavulást tapasztaltunk: a bazaltszál önmagában több mint hatszorosára növelte a kompozit anyag tárolási moduluszát, amit a nanoszemcsék hozzáadása tovább javított. Úgy néz ki, hogy ezen a hőmérsékleten az erősítőanyag dominál a mátrix felett, és az erősítés hatására fokozatosan nő az anyag tárolási modulusza. A tárolási modulusz, valamint a veszteségi tényező görbék a 2. ábrán láthatóak. Észrevehető kapcsolat áll fent a DSC és a DMTA vizsgálatokból kapott eredményeknél: nagyobb kristályos részarány esetén nagyobb tárolási moduluszsal rendelkezik az anyag, tehát a referencia anyag tárolási moduluszához képest a növekedést az erősítőanyag jelenléte és a megnövelt kristályos részarány okozza.



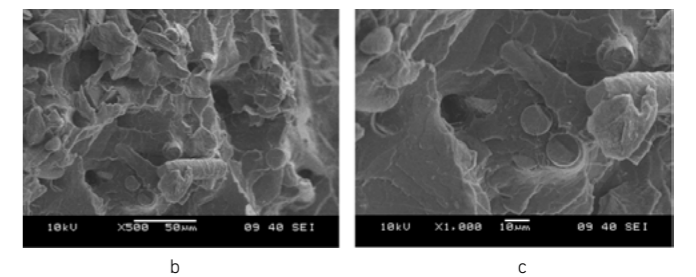
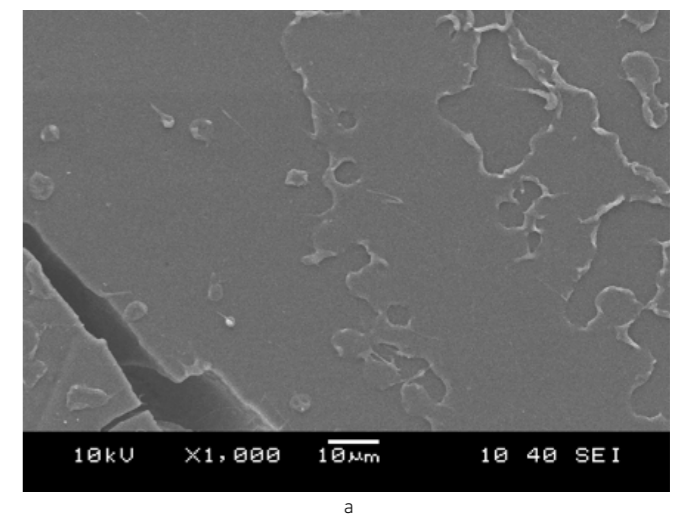
2. ábra. Vizsgált anyagok DMTA görbéi, felül: tárolási modulusz, alul: $\tan \delta$

A kapott értékek a 3. táblázatban láthatók: E'_{25} – a 25°C-on mért tárolási modulusz, E'_{80} – a 80°C-on mért tárolási modulusz, $T_{g,\tan \delta}$ – a $\tan \delta$ csúcsnál mért üvegesedési hőmérséklet, $\tan \delta_{25}$ – a 25°C-on mért $\tan \delta$ érték, $\tan \delta_{T_g}$ – a T_g -nél mért $\tan \delta$ érték.

3. táblázat. DMTA vizsgálatból kapott eredmények

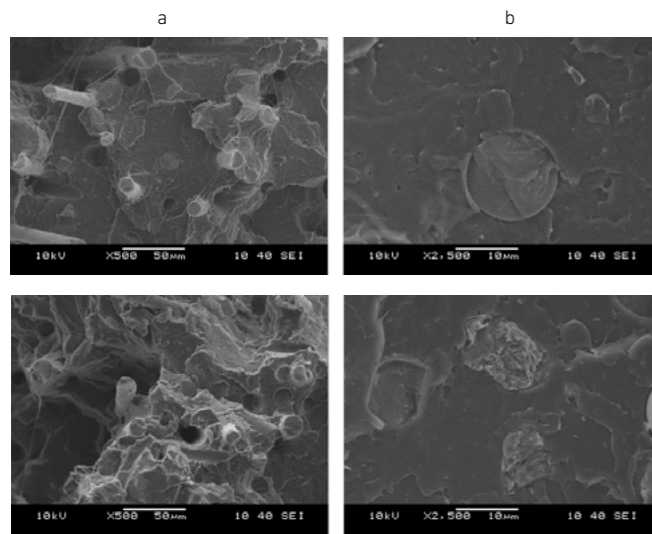
Anyag	E'_{25} [MPa]	E'_{80} [MPa]	$T_{g,\tan \delta}$ [°C]	$\tan \delta_{25}$	$\tan \delta_{T_g}$
PLA	2845	244,3	68,49	0,01343	0,3178
PLA+BF	6470	1573	68,37	0,01563	0,1885
PLA+BF+1MMT	6191	1624	67,92	0,01778	0,1849
PLA+BF+2MMT	6617	1761	68,28	0,01756	0,1783
PLA+BF+3MMT	6135	1697	68,39	0,01918	0,1774

A mintákon pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) vizsgálatot is végeztünk, ennek a célja a szál és mátrix kapcsolatának, valamint az eloszlottság minőségének vizsgálata volt. A PLA töretfelülete tulajdonképpen simának mondható, ami a politejsavra jellemző rideg viselkedésre utal. A bazaltszállal erősített kompozitnál jól látható, hogy kiváló adhéziós kapcsolat jött létre a szál és a mátrix között (3. ábra).



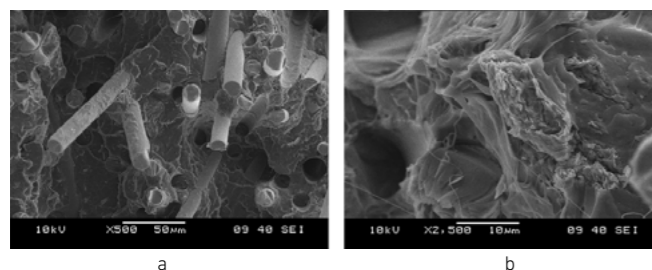
3. ábra. a) PLA próbatest töretfelülete (x1000 (a) nagyításban), PLA+BF próbatest töretfelülete (x500 (b) és x1000 (c) nagyításban)

A kiváló adhéziós kapcsolat a hibridkompozitokra is igaz. Az 1 és 2 m/m% MMT-t tartalmazó kompozitok felvételein (4. ábra) jól látható, hogy csupán csekély mértékben húzódtak ki a szálak a szakítás során, valamint a kihúzódtak felületére feltapadt a mátrixanyag, amiből arra lehet következtetni, hogy az erősítőanyag jól eloszlott, a szál a kritikus szálhossz fölött maradt és jó az adhéziós kapcsolat. Az 1 m/m% nanorészecskét tartalmazó kompozitok esetében a szemcsék aggregációja nem lényeges, mivel a töretfelületen nem volt aggregátum.



4. ábra. PLA+BF+1MMT próbatétel töretfelülete (x500 (a) és x1000 (b) nagyításban), PLA+BF+2MMT próbatétel töretfelülete (x500 (c) és x2500 (d) nagyításban)

PLA+BF+2MMT kompozit töretfelületén már kis mértékben megjelentek a szemcse aggregátumok, de a helyek száma, illetve az aggregátumok nagysága még mindig nem számottevő. Ezzel szemben a PLA+BF+3MMT kompozitnál (5. ábra) már nagyobb aggregátumok keletkeztek. Látható, hogy az aggregátum részben átnedvesedett, de ennek ellenére a mátrixhoz képesti nagy tulajdonság különbség miatt feszültséggyűjtő helyként funkcionál, ami a gyakorlati alkalmazásnál a tönkremenetel kiindulópontja lehet, de az a DMTA mérés eredményeire nincs hatással.



5. ábra. PLA+BF+3MMT próbatétel töretfelülete (x500 (a) és x2500 (b) nagyításban)

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen kutatás során politejsav alapú bazaltszál, valamint montmorillonit tartalmú kompozitokat és hibridkompozitokat állítottunk elő. Vizsgáltuk az erősítőanyag tartalom hatását az anyagok kristályos részarányára, tárolási moduluszára és veszteségi tényezőjére, amiből az anyag csillapítóképeségére lehet következtetni. Elmondható, hogy a bazaltszál hozzáadásával nőtt a kristályos részarány, amit a montmorillonit hozzáadása tovább növelt. Hasonló tendencia figyelhető meg a tárolási modulusznál is: T_g alatt több mint kétszeres, T_g felett több mint hatszoros növekedés észlelhető a referencia PLA-hoz képest. Az elektronmikroszkópi vizsgálatok alapján bemutattuk, hogy az erősítőanyagok és a mátrix között kiváló adhézió jött létre, csupán a legnagyobb MMT-t tartalmazó kompozitnál fordul elő számottevő részecske aggregáció.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

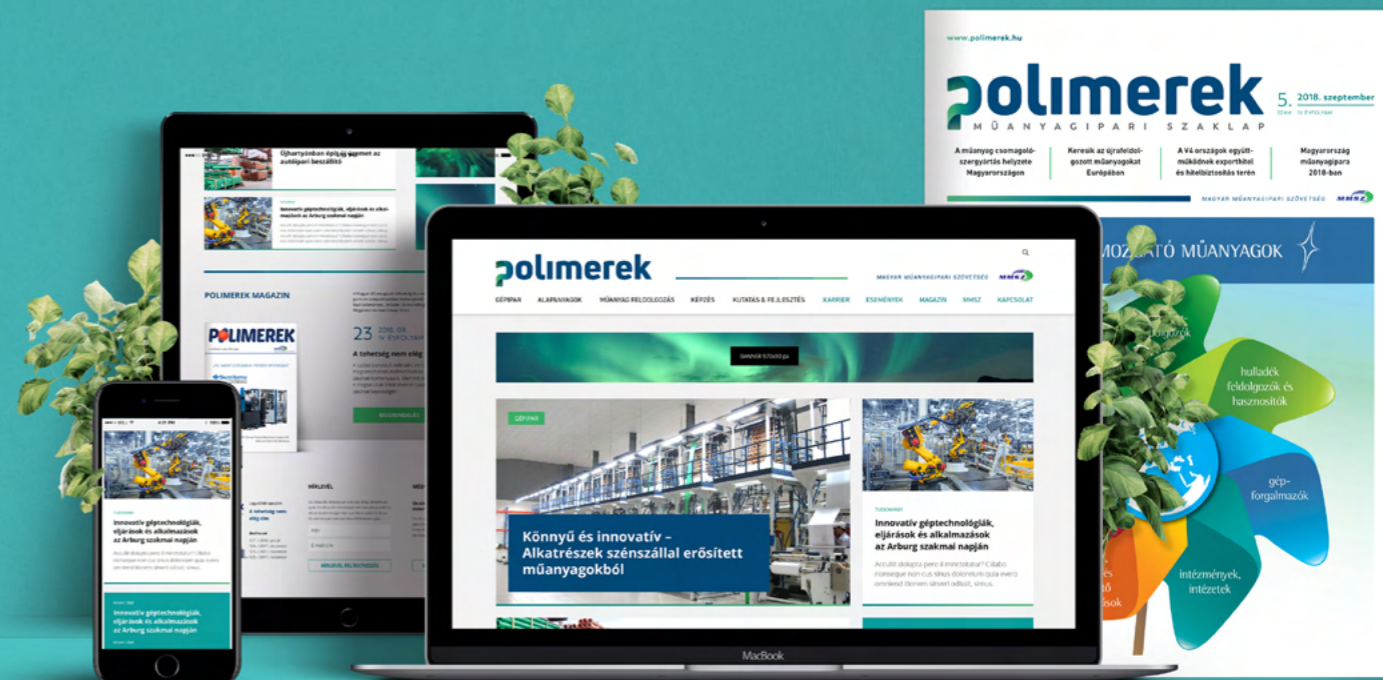
A publikáció létrejöttét a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatta. A kutatás az NVKP_16-1-2016-0012 Értéknövelt, multifunkcionális biopolimer csomagolási rendszer kifejlesztése és gyártástechnológiájának megtervezése című pályázat keretében valósult meg.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Castro-Aguirre, E.; Iñiguez-Franco, F.; Samsudin, H.; Fang, X.; Auras, R.: Poly(lactic acid) - Mass production, processing, industrial applications, and end of life, *Advanced Drug Delivery Reviews*, 107, 333–366 (2016).
- [2] Ma, J.; Xu, J.; Ren, J.-H.; Yu, Z.-Z.; Mai, Y.-W.: A new approach to polymer/montmorillonite nanocomposites, *Polymer*, 44, 4619–4624 (2003).
- [3] Shen, L.; Haufe, J.; Patel, M. K.: Product overview and market projection of emerging bio-based plastics. PRO-BIP; Final Report, Report No: NWS-E-2009-32; Utrecht University, Utrecht, The Netherlands (2009).
- [4] Nofar, M.; Park, C. B.: Poly(lactic acid) foaming, *Progress in Polymer Science*, 39, 1721–1741 (2014).
- [5] Tábi, T.; Égerházi, A. Z.; Tamás, P.; Czigány, T.; Kovács, J. G.: Investigation of injection moulded poly(lactic acid) reinforced with long basalt fibres, *Composites Part A*, 64, 99–106 (2014).
- [6] Tábi, T.; Bocz, K.; Sauceau, M.; Fages, J.: Politejsav alapú habok szuperkritikus széndioxiddal segített extrúziós előállítás és vizsgálata, *Polimerek*, 1, 80–85 (2015).
- [7] Czigány, T.; Kovács, J. G.; Tábi, T.: Basalt fiber reinforced poly(lactic acid) composites for engineering applications, ICCM -PROCEEDINGS-Composite materials: 19th International Conference on Composite Materials, Montreal, Canada, 2013.07.28-2013.08.02. pp. 4377–4384.
- [8] Asadi, A.; Baaj, F.; Mainka, H.; Rademacher, M.; Thompson, J.; Kalaitzidou, K.: Basalt fibers as a sustainable and cost-effective alternative to glass fibers in sheet molding compound (SMC), *Composites Part B*, 123, 210–218 (2017).
- [9] Leszczynska, A.; Njuguna, J.; Pielichowski, K.; Banerjee, J. R.: Polymer/montmorillonite nanocomposites with improved thermal properties, Part I. Factors influencing thermal stability and mechanisms of thermal stability improvement, *Thermochemica Acta*, 453, 75–96 (2007).
- [10] Bodor, G.; Vas, L. M.: *Polimer anyagszerkezettan*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000.

Mindenki számára elérhető az új weboldalunk

- megújult honlap: látványban és tartalmában
- olvasható számítógépen, tableten, okostelefonon
- újság „másodközlése” helyett aktuális hírfolyam
- nemzetközi kitekintés
- korszerű hirdetési lehetőségek
- hírlevél



www.polimerek.hu