

Fröccsönthető poliamid mátrixú hibridkompozitok fejlesztése

Tamás-Bényei Péter^{1,2} adjunktus, tudományos munkatárs

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

²MTA-BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport

A műszaki műanyagok közé sorolható poliamid tulajdonságainak javítására, a hagyományosan alkalmazott üveg- és szénszál mellett, a napjainkban egyre jobban elterjedő környezetbarát bazaltszál is kiváló választás lehet előnyös tulajdonságai miatt. A vulkanikus eredetű szál hibridkompozitokban is eredményesen alkalmazható lehetne, amelynek köszönhetően költséghatékonyan ötvözhető a szénszál és a bazaltszál kedvező tulajdonságai. Jelen kutatás arra keresi a választ, hogy az üveg- és bazaltszál szénszállal társítva hogyan befolyásolja a fröccsöntéssel készülő poliamid mátrixú hibridkompozitok mechanikai tulajdonságait.

BEVEZETÉS

A minél nagyobb minőségi követelményeket igénylő műszaki alkalmazások elterjedésével a gazdaságosság miatt mára a mennyiség is nagyon fontos tényezővé vált. A bonyolultabb geometriájú termék nagy sorozatban történő gyártásához kétségtelenül a fröccsöntés a legjobb megoldás. A hőre lágyuló műanyagok mechanikai tulajdonságai erősítőanyag felhasználása nélkül a legkritikább esetben felelnek meg a különböző igénybevételeknek. Szálerősítés alkalmazásával azonban a mátrixanyag kiinduló tulajdonságai nagymértékben javíthatók jelentős tömeg- vagy költségnövelés nélkül [1]. Erre a célra a leggyakrabban felhasznált erősítőanyag az üvegszál (GF), emellett speciális esetekben gyakran használnak szénszálat (CF) is. Napjainkban azonban egyre nagyobb szerepet kapnak a természetes, illetve természetes eredetű szálak is, mint a kender [2], a szizál [3], a cellulóz [4] és a bazaltszál (BF) [5]. A bazalt egy, a természetben gyakran előforduló vulkanikus eredetű kőzet, amely közvetlenül is alkalmas a szálgyártásra. Kémiai szerkezete nagyon hasonló az üvegszáléhoz, azonban a fő építőelem – a szilícium-oxid – mellett különféle fémes összetevőket is tartalmaz [6], amelyek a kitermelés helyétől függően változhatnak. A bazaltszál előnyös tulajdonságai közül mindenképp érdemes kiemelni, hogy teljesen bioinert [7], nincs ismert környezetkárosító hatása. Növekvő népszerűsége miatt mi sem mutatja jobban, hogy egyre több és szerteágazóbb kutatás foglalkozik a bazaltszálak alkalmazásával.

Amellett, hogy a bazaltszál mechanikai tulajdonságai az üvegszáléhoz hasonlóak [6], előfordul, hogy egyedi erősítőanyagként még nem garantál megfelelő mechanikai tulajdonságjavulást. Ebben az esetben további javulást lehet elérni, ha eltérő anyagú erősítőanyagokat társítunk egymással, amellyel kombinálhatóvá válnak az egyes szálak előnyös tulajdonságai. A szakirodalomban gyakran találkozhatunk ilyen jellegű kutatásokkal. *Karslia* és társai [8] polipropilén mátrixú szennanocsó/üvegszál erősítésű hibridkompozitokat vizsgáltak. Kimutatták, hogy a különböző típusú erősítőanyagok pozitív ha-

tást gyakoroltak egymásra. *Mészáros* és társai [9] montmorillonittal (MMT) és bazaltszállal erősített fröccsönthető poliamid 6 mátrixú hibridkompozitok fejlesztésével foglalkoztak. Vizsgálataik során bizonyították, hogy az MMT/BF társítása pozitív hibrid hatást eredményez. A kutatások jól mutatják, hogy az eltérő típusú erősítőanyagok társításának van létjogosultsága, mivel a pozitív hibrid hatás nagyobb javulást okoz a mátrixanyagban, mint az erősítőanyagok külön-külön, legyen szó mikro vagy nano méretűekről.

A hőre lágyuló műszaki műanyagok közül a poliamid kiemelkedő szerepet tölt be előnyös tulajdonságai, mint a nagy szakítászilárdság és merevség, a jó hőállóság, valamint a kiváló súrlódási tulajdonságok miatt [10]. Az autóipar is előszeretettel használja szálerősített formában, amelyet jól mutat, hogy a gyártók prémium kategóriás autókban is felhasználják különböző alkatrészek gyártására [11].

Jelen kutatás keretében arra kerestük a választ, hogy az üveg- és bazaltszál különböző arányú szénszállal társítva hogyan befolyásolja a fröccsöntéssel készülő, poliamid mátrixú hibridkompozitok mechanikai tulajdonságait.

ALAPANYAGOK, ELŐÁLLÍTÁSI ÉS VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

A kutatáshoz erősítőanyagként *Camelyaf BMC-1-12* típusú üvegszálat (GF, ŞİŞECAM CHEMICALS GROUP, Törökország), *Zoltek PX35 Type-02* típusú szénszálat (CF, ZOLTEK ZRT., Magyarország), valamint *Basaltex BCF13_12.7* típusú bazaltszálat (BF, BASALTEX, Belgium), mátrixanyagként pedig *Schulamid 6 MV13* típusú poliamid 6-ot (PA6, A. SCHULMAN GMBH, Németország) használtunk fel. A vágott erősítőanyag névleges hosszúsága 13 mm volt.

A erősítőanyagok mátrixanyagra gyakorolt hatásának vizsgálatához 30 m% erősítőanyag-tartalmú mono- és hibridkompozitokat készítettünk. Az elkészített anyagkombinációkat az *1. táblázat* foglalja össze. Az erősítőanyagok hasonló felépítése és szerkezete miatt üveg-bazaltszálás hibridkompozitokat nem állítottunk elő.

1. táblázat.
Az elkészített anyagkombinációk

Jelölés	K1		Jelölés	K2		Jelölés	K3	
	GF [m%]	CF [m%]		CF [m%]	BF [m%]		BF [m%]	GF [m%]
K1.1	0	30	K2.1	0	30	K3.1	0	30
K1.2	5	25	K2.2	5	25	-	-	-
K1.3	10	20	K2.3	10	20	-	-	-
K1.4	15	15	K2.4	15	15	-	-	-
K1.5	20	10	K2.5	20	10	-	-	-
K1.6	25	5	K2.6	25	5	-	-	-

Az anyagok jellemzőinek vizsgálatához szükséges próbatetekhez LABTECH LTE-26-44 ikercsigás extruderrel gyártottuk a kompaundokat. Az extrudálás előtt a poliamidot 8 órán keresztül 80 °C-on szárítottuk HERAEUS UT-20 szárítószekrényben (HERAEUS HOLDING GMBH, Hanau, Németország). Az extrudálási zónahőmérsékletek rendre a szerszámtól kezdve a következők voltak: 255, 255, 255, 250, 250, 245, 245, 240, 240, 235, 235 °C. Az extrudálás után hűtés következett levegőn, majd granulálás. A granulátumokból ezután fröccsöntöttük a szabványos 4×10 mm keresztmetszetű, piskóta alakú próbateteket. A fröccsöntés előtt a kompaundokat szintén 8 órán keresztül 80 °C-on szárítottuk a HERAEUS UT-20 szárítószekrényben. A fröccsöntést ARBURG Allrounder Advance 370S 700-290 fröccsöntő géppel (ARBURG GMBH, Lossburg, Németország) végeztük el. A beállított hőmérsékletek zónánként a következők voltak: 250, 255, 260, 265, 270 °C.

Az elkészített próbateteketen először a száltartalmat határoztuk meg kalcinációval. A mátrixanyagot az erősítőanyag-ról egy Bunsen-égő és egy 650 °C-ra felmelegített Denkal 6B (KALÓRIA HŐTECHNIKAI KFT., Budapest, Magyarország) típusú izzítókemence segítségével 2 óra alatt távolítottuk el.

Ezt követően az erősítőanyag hosszának változását vizsgáltuk a feldolgozási lépések hatására, hogy információt kapjunk az erősítőszálak töredezésének mértékéről. A vizsgálat előkészítő lépései hasonlóak voltak a száltartalom-vizsgálatához. Először pirolízissal eltávolítottuk a mátrixot a szálaokról. A mérés Olympus BX-51 optikai mikroszkóppal (OLYMPUS CORPORATION, Tokió, Japán) történt Stream képelemző szoftvert használva. A minták közül kiválasztottunk háromféle monokompozitot (30 m% száltartalmú GF, BF és CF), illetve kétféle hibridkompozitot (15:15 GF/CF és 15:15 BF/CF arányban), és ezeken véletlenszerűen 100–100 darab elemi szál hosszát határoztuk meg.

A kompozitok húzóvizsgálatát az MSZ EN ISO 527 szabvány szerint, ZWICK Z020 univerzális terhelőgépen (ZWICK GMBH, Ulm, Németország) szabványos, 4×10 mm keresztmetszetű piskóta próbatetekeken végeztük. A szakításkor felvett erő-elmozdulás görbéből húzószilárdságot és húzó rugalmassági moduluszt számoltunk. A befogási hossz 150 mm, a szakítási sebesség 5 mm/perc volt. A méréseket mintánként 5–5 próbatesten, szobahőmérsékleten végeztük el, majd ezek alapján számítottuk ki az eredmények átlagát és szórását.

A kompozitok hárompontos hajlítóvizsgálatait a ZWICK Z020 szakítógépen végeztük az MSZ EN ISO 14125 szabvány szerint. A próbatetek keresztmetszete 4×10 mm, az alátámasztási távolság 64 mm, a terhelési sebesség 2 mm/perc volt. A próbateteket 6,4 mm határlehlajlásig terheljük. Az erő-lehlajlás görbéből határhajlító feszültséget és határhajlító rugalmassági moduluszt számoltunk. A méréseket mintánként 5–5 próbatesten, szobahőmérsékleten végeztük el, majd ezek alapján számítottuk ki az eredményeik átlagát és szórását.

A Charpy-féle ütvehajlító vizsgálatot az MSZ EN ISO 179 szabvány szerint CEAST Resil Impactor Junior (CEAST, Torinó, Olaszország) műszerrel végeztük CEAST DAS 8000 adatgyűjtő segítségével, hornyolt 4×10 mm keresztmetszetű próbatetekeken. Az alkalmazott üténergia 25 J, a becsapódás sebessége 3,3 m/s, az alátámasztási távolság 62 mm volt. A mérés során a próbatest által elnyelt energiát regisztráltuk, és ebből határoztuk meg a Charpy-féle ütőszilárdságot. A méréseket mintánként 5–5 próbatesten, szobahőmérsékleten végeztük el, majd ezek alapján számítottuk ki az eredményeik átlagát és szórását.

Az elkészített próbatetek mikroszerkezeti vizsgálatát JEOL JSM-6380LA pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM) (JEOL LTD., Tokió, Japán) végeztük el. A vizsgálatok során a roncsolt próbatetek töretfelületéről készítettünk felvételeket, amelyek alapján megállapítható a határfelületi adhézió minősége. A vizsgált felületeket a mérés előtt Au/Pd ötvözzel vontuk be az elektrosztatikus feltöltődés elkerülésére.

EREDMÉNYEK

A száltartalom meghatározása során a névleges 30 m% száltartalomhoz képes csekély mértékű, mindösszesen ±1 m% eltérést tapasztaltunk. Az eltérés a szén- és a bazaltszálás minták esetén volt a legnagyobb, mert az extrudálás előtti bekeveréskor a szálak sztatikusan feltöltődtek, ami megnehezítette a pontos mennyiség beállítását.

Az átlagos szálhossz meghatározásánál megállapítható, hogy a 13 mm kiinduló hosszúságú szálak a feldolgozás lépései (kompaundálás és fröccsöntés) során jelentősen tördelődtek. A kiválasztott anyagkombinációkból meghatározott átlagos szálhosszak az 1. ábra mutatja be.

A monokompozitokat vizsgálva látható, hogy a szénszál nagyobb mértékben töredezett fröccsöntés után (25%), mint a bazalt és üvegszálás változatok (5–7%). A hibrid kompozitoknál megfigyelhető, hogy a bazaltszálásnál alig (2%), míg az üvegszálás tartalmazónál sokkal nagyobb (22%) a száltöredezettség mértéke. Összefoglalva elmondható, hogy a monokompozitoknál – a nagy merevségük miatt – a szénszálak, hibrid kompozitok közül pedig az üveg/szénszál változatú szálak töredezték jobban.

A mechanikai tulajdonságok vizsgálata előtt a próbatestet minden esetben 24 órán keresztül 23 °C-on kondicionáltuk 45% relatív páratartalmú CLIMACELL III típusú klímakamrában (CLIMACELL GMBH, Angelbachtal, Németország). A mechanikai jellemzők közül elsőként a mono- és hibrid-

kompozitok húzószilárdságát és rugalmassági modulusát határoztuk meg. Az erősítőanyag nélküli mátrixanyag húzószilárdsága $68,13 \pm 0,06$ MPa, húzó rugalmassági modulusza pedig 2607 ± 50 MPa volt. A 2. ábra szerint a szénszál arányát növelve mind az üveg/szénszál, mind pedig a bazalt/szénszál erősítésű termoplasztikus hibrid kompozitban egyenes arányban, szigorúan monoton növekszik a húzószilárdság. A bazaltszálalás hibridek átlagban 3,5%-al jobb húzószilárdsággal

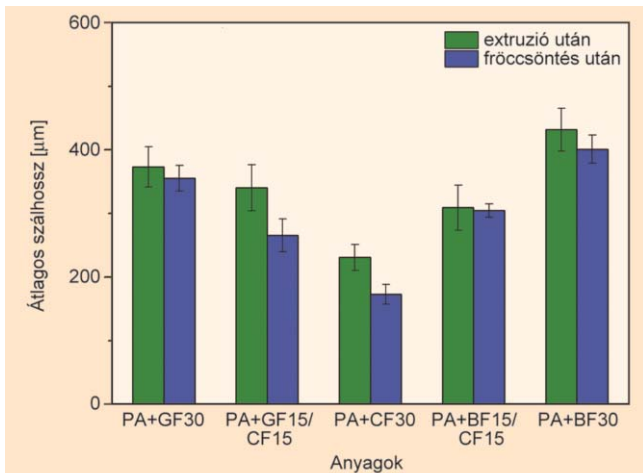
rendelkeznek, mint az üvegszálalás változatok. A legnagyobb különbséget a 20:10 BF/CF aránynál kaptuk, ahol 7%-kal nagyobb a bazaltszálalás hibrid kompozit húzószilárdsága az üvegszálaláséhoz képest. A bazalt/szénszálalás minták esetében csekély pozitív hibrid hatás tapasztalható.

A rugalmassági moduluszokról megállapítható (3. ábra), hogy a GF/CF kompozit húzó rugalmassági modulusza 15:15 GF/CF arányig növekszik, majd utána 9 GPa értéknél stagnál. Ebben az esetben a hibridkompozit húzó rugalmassági modulusza megközelítőleg akkora, mint a 30 m%-os CF mono-kompozit. A BF/CF típusú hibridkompozitok esetében átlagosan 8% csökkenés figyelhető meg az üvegszálalás változatokhoz képest. A hibridizáció itt gyakorlatilag nem hozott eredményt, a szénszál arányát növelve az értékek stagnálnak. A legnagyobb rugalmassági modulusz a hibridek esetén a 15:15 BF/CF aránynál figyelhető meg a GF/CF változatokhoz hasonlóan.

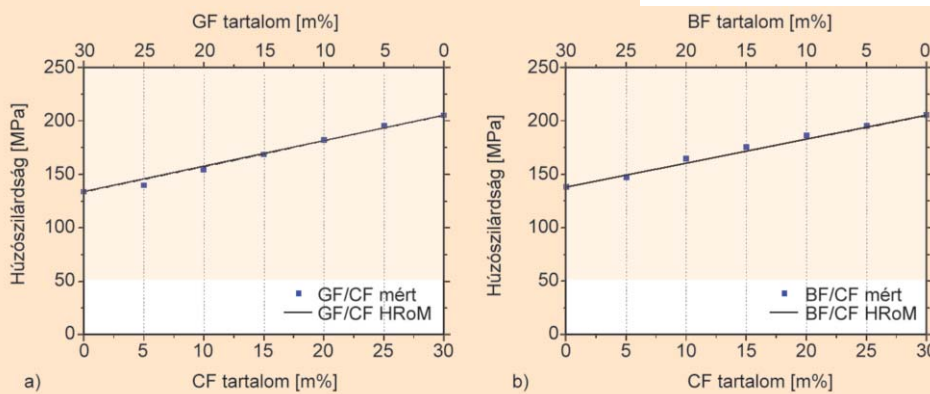
A hárompontos hajlító vizsgálatok alapján határhajlító feszültséget (4. ábra) és hajlító moduluszt (5. ábra) határoztunk meg. Az erősítetlen mátrixanyag határhajlító feszültsége $88,08 \pm 0,74$ MPa, hajlító modulusza pedig 2601 ± 9 MPa volt. A határhajlító feszültség értékeknél hasonlóság figyelhető meg a szakítószilárdságnál kapott eredményekkel, itt is egyenesen arányosan növekednek az értékek a 30 m%-os GF tartalomtól a 30 m%-os CF tartalomig. A GF/CF változathoz képest itt is

egyenes arányban, monoton növekszik a határhajlító feszültség a CF tartalom emelkedésével. A két hibrid változatot összehasonlítva a bazaltszálalás hibridek mutattak jobb értékeket, átlagban 6%-kal az üvegszálalás változatokhoz képest.

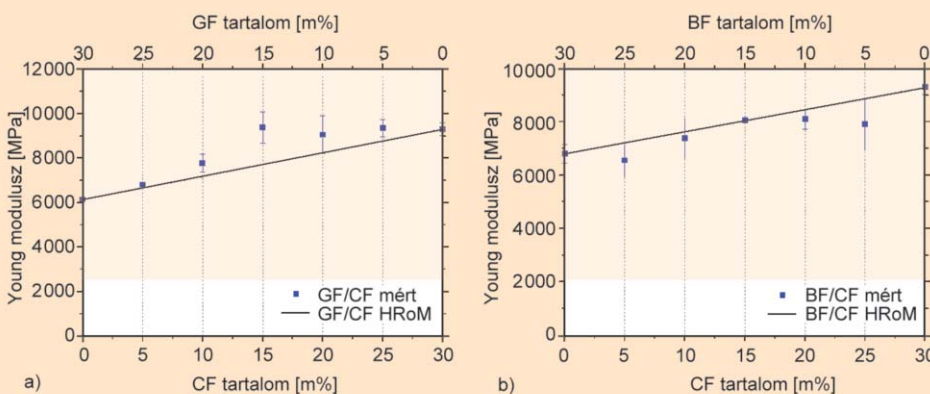
A GF/CF erősítésű próbatetek hajlító rugalmassági moduluszainál szintén felfedezhető az egyenes arányosság az egyes anyagfajták között, illetve, ahogy várható volt, a szénszál mennyiségének növekedésével egyenletesen nő az anyag merevsége. Jelentősebb (22%-os) ugrás csupán a 20 és 25 m% GF tartalmú kompozitoknál figyelhető meg. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a bazaltszálalás minták eredményei az üvegszálalás változathoz hasonló trendet követtek. A 22%-os értékugrás a 20 és 25 m% bazaltszálalás tartalmú kompozitoknál is megfigyelhető. A hajlító moduluszok értékei mind a mono-, mind pedig a hibridkompozitok esetében ha-



1. ábra. A kiválasztott minták átlagos szálhossza extrúzió és fröccsöntés után



2. ábra. Az elkészített mono- és hibridkompozitok mért és a hibrid keverékszabály (HRoM) szerint meghatározott húzószilárdsága, a) PA6+GF/CF, b) PA6+BF/CF



3. ábra. Az elkészített mono- és hibridkompozitok mért és a hibrid keverékszabály (HRoM) szerint meghatározott Young modulusza, a) PA6+GF/CF, b) PA6+BF/CF

sonló nagyságrendbe estek, ami jól mutatja az üvegszál és a bazaltszál közötti hasonlóságot.

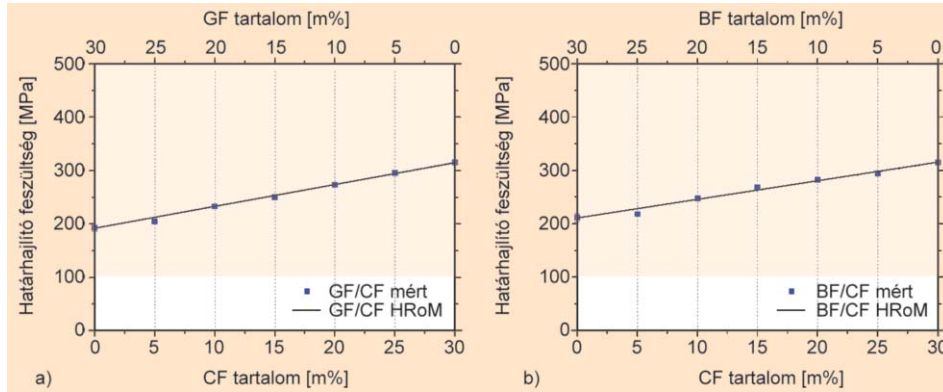
Az elkészített mono- és hibridkompozitok dinamikus igénybevétellel szembeni ellenálló képességét Charpy-féle ütvehajlító vizsgálattal határoztuk meg. Az erősítetlen poliamid 6 fajlagos ütőmunkája $6,52 \pm 1,45 \text{ kJ/m}^2$ volt. A mérés során rögzített elnyelt energiaértékből fajlagos ütőmunkát számítottunk (6. ábra).

Az erősítetlen mátrixhoz képest a 30 m%-os GF tartalmú kompozit több mint kétszer nagyobb fajlagos ütőmunkával rendelkezik, ugyanakkor a 30 m%-os CF tartalmú kompozit-

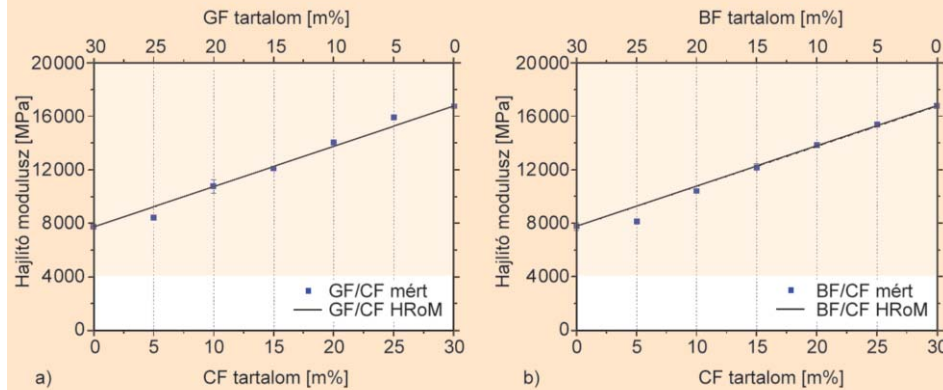
hoz képest 30%-kal kisebbel. Ennek magyarázata a nem tökéletes minőségű szál-mátrix adhézió. A hibrid kompozitok közül az 5:25 GF/CF arányú minta a 10:20 BF/CF összetételűhöz hasonló fajlagos ütőszilárdsággal rendelkezett, ami azt mutatja, hogy a bazaltszál ütésállóbbá teszi a kompozitot, mint az üvegszál. Az eredmények alapján kijelenthető, hogy az erősített kompozitok legalább kétszer-háromszor nagyobb szívóssággal rendelkeznek, mint a referenciaként alkalmazott erősítetlen poliamid 6.

A mechanikai vizsgálatok elvégzését követően a Charpy próbatetek töretfelületéről pásztázó elektronmikroszkópi (SEM) felvételeket készítettünk. A 7. ábra a monokompozitokról, a 8. ábra a hibridkompozitokról készített felvételeket mutatja. Az üvegszál (7a. ábra), valamint a bazaltszál (7b. ábra) erősítésű mintákról készített felvételeken jól látható az adhézió kiváló minősége, a mátrixanyag megfelelően tapad az erősítőszálakhoz, a szálak mellett nem találhatók üregek, ami szintén jó szál-mátrix adhézióról tanúskodik. A szénszálak kompozitnál (7c. ábra) már üregek láthatók az elemi szálak mellett, a mátrixanyag nem tapad olyan jól a szálakhoz, mint a másik két erősítőanyag esetén. Ez nem megfelelő adhézióra utal, ami alátámasztja a Charpy mérés eredményeinek magyarázatát.

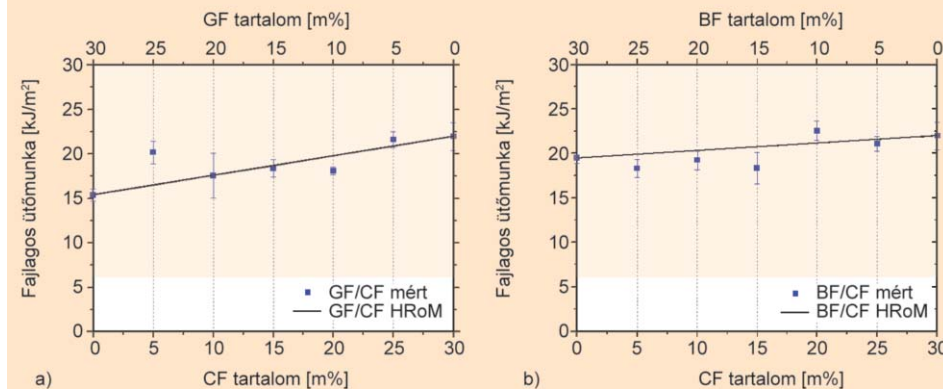
A 8a. ábrán átmérőjük alapján jól elkülöníthetők a különböző típusú szálak, a piros nyíl a nagyobb átmérőjű üvegszálat, a sárga a szénszálat jelöli. A felvételen jól látható, hogy az adhézió megfelelő, azonban néhol szálkihúzódnás tapasztalható, ami azt bizonyítja, hogy az adhézió tovább javítható. A 8b. ábrán zöld nyíl jelöli a bazaltszálakat, sárga nyíl a kisebb átmérőjű szénszálakat. Szálkihúzódnásra utaló nyomok nem láthatók a felvételen, valamint a mátrixanyag jól körbeveszi a szálakat és megfelelően tapad a felületükre, ami jó szál-mátrix adhézióra utal. Ebből kifolyólag elmondható, hogy a mechanikai vizsgálatoknál a tönkremenetel inkább a szálsza-



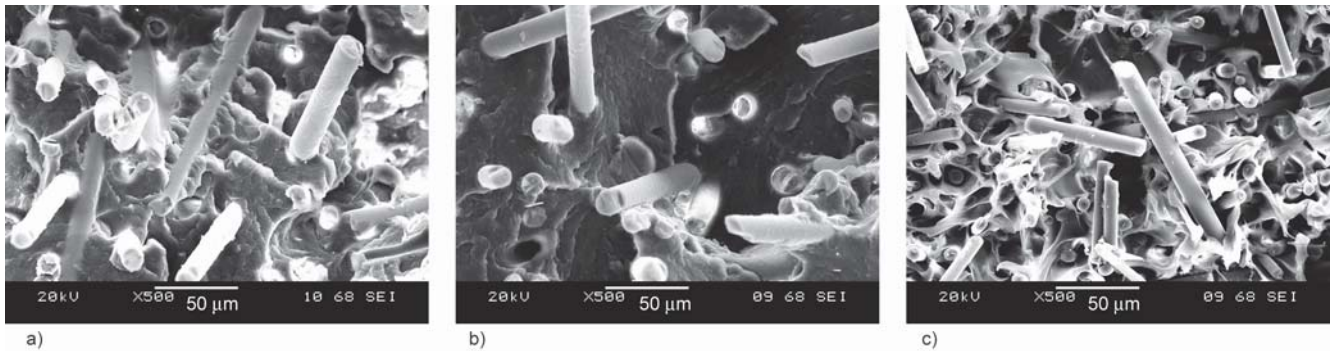
4. ábra. Az elkészített mono- és hibridkompozitok mért és a hibrid keverékszabály (HRoM) szerint meghatározott hatóhajlító feszültsége, a) PA6+GF/CF, b) PA6+BF/CF



5. ábra. Az elkészített mono- és hibridkompozitok mért és a hibrid keverékszabály (HRoM) szerint meghatározott hajlító modulusza, a) PA6+GF/CF, b) PA6+BF/CF



6. ábra. Az elkészített mono- és hibridkompozitok mért és a hibrid keverékszabály (HRoM) szerint meghatározott Charpy-féle fajlagos ütőmunkája, a) PA6+GF/CF, b) PA6+BF/CF



7. ábra. A 30 m% erősítőanyag-tartalmú monokompozitok töretfelületéről készített felvételek, a) PA6+30GF, b) PA6+30BF, c) PA6+30CF

kadás, mintsem a szálkihúzóds miatt történt.

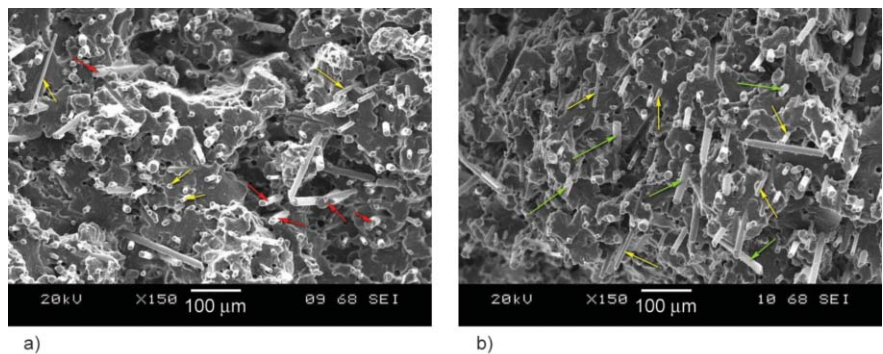
ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen kutatásban üveg-, szén- és bazaltszállal erősített poliamid 6 mátrixú fröccsönthető mono- és hibridkompozitok fejlesztésével foglalkoztunk. A vizsgálatok szerint, a bazaltszál kevésbé érzékeny a feldolgozásra, mint az üvegszál, így fröccsöntéssel is kiválóan feldolgozható. A mechanikai tulajdonságok elemzése alapján akár önmagában, akár szénszállal társítva is eredményesen használható műszaki területeken, mérnöki alkalmazásokhoz. A szálerősítés hatására a mátrixanyagot jellemző alapértékek a többszörösükre emelkedtek, amellyel, hogy az áruk versenyképes maradt a hibridizációnak köszönhetően. Mind az üvegszál, mind pedig a bazaltszál szénszállal való társításakor megfigyelhető volt néhány esetben a pozitív hibrid hatás. Az eredmények alapján a bazaltszál eredményesen használható a hagyományosan alkalmazott üvegszál kiváltására fröccsöntött mono- és hibridkompozitok erősítőanyagaként is, amellyel, hogy a környezetbarát erősítőanyagok közé tartozik. Ezen tények a bazaltszál fokozatos térnyerését vetítik előre, amit a bazaltszállal kapcsolatos kutatások növekvő száma is alátámaszt.

A kutatás során felhasznált anyagokért köszönetünket fejezzük ki a Zoltek Zrt.-nek, a Novia Kft.-nek, továbbá a Basaltex NV-nek. A kutatás létrejöttét támogatta a Magyar Állami Eötvös Ösztöndíj és a TÉT_12_JP-2014-0026 japán-magyar TÉT pályázat.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Njuguna1, J.; Mouti, Z.; Westwood, K.: Toughening mechanisms in composite materials, Woodhead Publishing, Cambridge (2015).
- [2] Panaitescu, D. M.; Nicolae, C. A.; Vulugaa, Z.; Vitelarub, C.; Sanporeanc, C. G.; Zahariad, C.; Floreaa, D.; Vasilevicia, G.: Influence of hemp fibers with modified surface on polypropylene composites, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 37, 137–146 (2016).
- [3] Ka, A. K.; Josec, C.; Ra, R. K.; Georgeb, K. E.: Sisal nanofibril



8. ábra. A 15:15 arányú hibridkompozitok töretfelületéről készített felvételek (sárga nyíl: szénszál, piros nyíl: üvegszál, zöld nyíl: bazaltszál), a) PA6+15:15 GF/CF, b) PA6+15:15 BF/CF

reinforced polypropylene/polystyrene blends: Morphology, mechanical, dynamic mechanical and water transmission studies, Industrial Crops and Products, 71, 173–184 (2015)

- [4] Bocz, K.; Tabi, T.; Vadas, D.; Sauceau, M.; Fages, J.; Marosi, Gy.: Characterisation of natural fibre reinforced PLA foams prepared by supercritical CO₂ assisted extrusion, Express Polymer Letters, 10, 771–779 (2016).
- [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: Applied Science and Manufacturing, 64, 99–106 (2014)
- [6] Deák, T.; Czigány, T.: Chemical composition and mechanical properties of basalt and glass fibers: A comparison, Textile Research Journal, 79, 645–651 (2009).
- [7] Pott, F.; Roller, M.; Kamino, K.; Bellmann, B.: Significance of durability of mineral fibers for their toxicity and carcinogenic potency in the abdominal cavity of rats in comparison with the low sensitivity of inhalation studies, Environmental Health Perspectives, 102, 145–150 (1994).
- [8] Gamze, K. N.; Yesilb, S.; Aytaca, A.: Effect of hybrid carbon nanotube/short glass fiber reinforcement on the properties of polypropylene composites, Composites Part B: Engineering Volume, 63, 154–160 (2014).
- [9] Mészáros, L.; Deák, T.; Balogh G.; Czvikovszky, T.; Czigány, T.: Preparation and mechanical properties of injection moulded polyamide 6 matrix hybrid nanocomposite, Composites Science And Technology, 75, 22–27 (2013).
- [10] Peters, S. T.: Handbook of composites, Chapman & Hall, London (1998).
- [11] <http://www.muanyagipariszemle.hu/2004/04/uj-technologiai-alkalmazasa-az-autoipari-muanyag-alkatreszek-eloallitasahoz-10.pdf> (2014.10.22.)