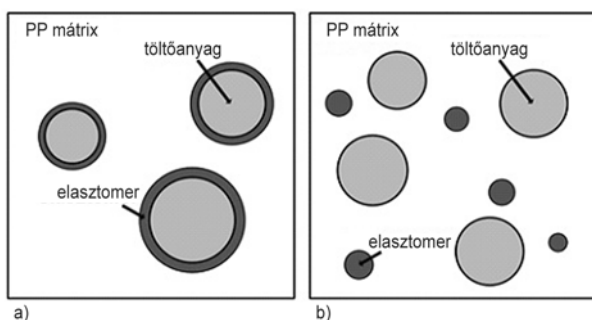


Természetes szálakkal erősített PP kompozitok szilárdsága és ütésállósága

Link Zoltán* PhD vegyészmérnök hallgató, Dr. Renner Károly** tudományos munkatárs,
Dr. Móczó János** tudományos főmunkatárs, Dr. Pukánszky Béla** tanszékvezető egyetemi tanár

1. Bevezetés

A környezettudatosság növekedésével egyre inkább előtérbe kerülnek a természetes szálak, mint erősítőanyagok [1, 2]. A nagymértékű előretörés oka a természetes töltőanyagok kedvező ára, hozzáférhetősége, jó mechanikai tulajdonságai, továbbá az, hogy megújuló nyersanyagforrásból származnak [2–4]. Legjellemzőbb felhasználási területeik az építőipari burkolati elemek, autóiipari alkatrészek és műanyag profilok. A felhasznált anyagoknak ezeken az alkalmazási területeken sok esetben a nagy merevségen kívül nagy ütésállósággal is rendelkezniük kell, amit elasztomer és töltőanyag együttes hozzáadásával érhetünk el. Az így kialakult heterogén rendszerek tulajdonságait a komponensek jellemzői, az összetétel, a határfelületek kölcsönhatása és a szerkezet határozza meg. Az elasztomert és töltőanyagot is tartalmazó, többkomponensű kompozitoknál kétféle határszerkezet alakulhat ki (1. ábra): független diszperzió (a töltőanyag és az elasztomer függetlenül oszlik el a mátrixban) és beágyazott szerkezet (az elasztomer bevonja a töltőanyag szemcséket) [5–7].



1. ábra. Elasztomert és töltőanyagot is tartalmazó többkomponensű rendszerek határszerkezetei: beágyazott (a), illetve független diszperzió (b)

A kialakuló szerkezetet a komponensek homogenizálása során fellépő adhéziós- és nyíróerők viszonya határozza meg. A feldolgozás során fellépő nyíróerők növekedése a szeparált szerkezet kialakulásának kedvez, mivel ebben az esetben az elasztomer réteg könnyebben le-

válk a töltőanyag felületéről a nyírás hatására [8]. Az adhézió hatásának értelmezése már nem ennyire egyszerű. A kölcsönhatások erőssége, és így a szerkezet a megfelelő funkcionális polimerek használatával kontrollálható [9, 10]. Kapcsolóanyag, azaz maleinsav-anhidriddel ojtott polipropilén (MAPP) alkalmazása szeparált szerkezethez vezet. A maleinsav-anhidrid csoport kovalens kötetést alakít ki a természetes szálak hidroxil csoportjaival, míg a polimerek között interdiffúzióval alakul ki az erős kölcsönhatás [11–13]. Funkcionális elasztomer, azaz maleinsav-anhidriddel ojtott etilén-propilén-dién elasztomer (MAEPDM) hozzáadása nagymértékű beágyazottsághoz vezet, mivel ebben az esetben az elasztomer és a töltőanyag között alakul ki erős adhézió. A gyakorlatban a szerkezet valahol a két említett határeset között található, a töltőanyagok egy része beágyazódik az elasztomer fázisba, ugyanakkor diszpergált szemcsék és elasztomer cseppek is találhatóak a mátrixban.

Munkánk során többkomponensű PP/elasztomer/falaszt kompozitokat állítottunk elő különböző funkcionális polimerek (MAPP, MAEPDM) felhasználásával. Vizsgáltuk, hogy a kialakult szerkezet hogyan befolyásolja a kompozitok makroszkopikus tulajdonságait, elsősorban azok merevségét és ütésállóságát. A célunk az volt, hogy összefüggést találjunk a kompozitok szerkezete és a makroszkopikus tulajdonságok között.

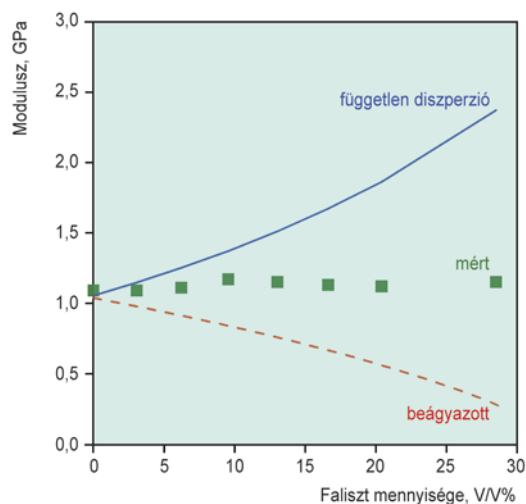
2. Elméleti háttér

A feldolgozás során kialakult szerkezetre a mechanikai tulajdonságok, elsősorban a modulusz változásából következtethetünk. A Lewis-Nielsen modell [14] segítségével mennyiségileg jellemezhetjük a kialakult szerkezetet. A modell a független diszpergált szerkezet moduluszának a változását írja le. Feltételezve, hogy teljes beágyazódás esetében az elasztomertartalom megegyezik az összes bekevert elasztomer és töltőanyag mennyiségével, a merevség számítható teljesen beágyazott szerkezet esetén is (2. ábra).

Független diszperzió esetében a merevség nő a töltőanyag-tartalom növekedésével (kék folyamatos görbe), mivel a mátrixhoz képest nagy merevségű szemcséket

*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Fizikai Kémia és Anyagtudományi Tanszék

**MTA Természettudományi Kutatóközpont, Anyag- és Környezetkémiai Intézet



2. ábra. A Lewis-Nielsen modell alkalmazásával számolt elméleti modulusz értékek független diszperzió (—), illetve tökéletesen beágyazott szerkezetek esetén (---)

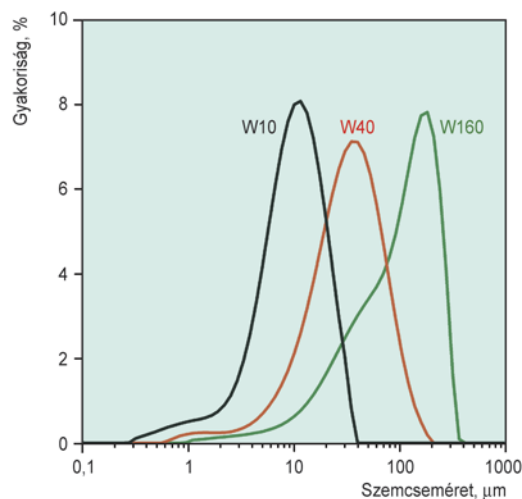
adunk a mátrixhoz. Részlegesen beágyazott szerkezetnél a modulusz nem változik (zöld négyzetek), míg teljes beágyazás esetén csökken a töltőanyag-tartalommal (piros szaggatott görbe). Utóbbi annak köszönhető, hogy ha az elasztomer bevonja a töltőanyagot, akkor annak látszólagos mennyisége csökken, másrészt az elasztomer látszólagos mennyisége a beágyazott töltőanyaggal megegyező mértékben növekszik (1a. ábra). A valóságban kialakuló szerkezetek a két határeset között helyezkednek el (zöld négyzetek), azaz a töltőanyag egy része beágyazódik, ugyanakkor található független töltőanyagok és elasztomer cseppek is a rendszerben. A mért moduluszt a modellel, a független diszperzióra számolt merevségekkel összehasonlítva, a beágyazott szemcsék mennyisége meghatározható.

3. Kísérleti rész

A kompozitok mátrixanyagaként többféle polimert használtunk: a BOREALIS POLYOLEFINE GMBH (Ausztria) által gyártott *HJ325MO* típusú polipropilén homopolimert (MFI = 50 g/10 perc, 230°C/2,16 kg) és az *EE050AE* heterofázisos etilén-propilén kopolimert (MFI = 11 g/10 perc, 230°C/2,16 kg), valamint a TVK NYRT. (Magyarország) által gyártott *H781F* polipropilént (MFI = 0,7 g/10 perc, 230°C/2,16 kg). A szerkezet és a kölcsönhatások szabályozáshoz funkcionális polimereket választottunk. Kapcsolóanyagként a BYK-CHEMIE GMBH (Németország) által gyártott *Scona TPPP 2112* típusú maleinsav-anhidriddel ojtott polipropilént (MAPP, MFI = 3,5 g/10 perc, 190°C/2,16 kg, MA tartalom: 0,9–1,2%) alkalmaztunk. Funkcionális elasztomerként az EXXONMOBIL CHEMICAL COMPANY (USA) által forgalmazott, maleinsav-

anhidriddel ojtott amorf etilén-propilén-dién kopolimereket (MAEPDM) használtunk. A két eltérő viszkozitású MAEPDM az *Exxelor VA1801* (MFI = 2,7 g/10 perc, 230°C/5 kg, MA tartalom: 0,5–1,0%) és az *Exxelor VA1803* (MFI = 21 g/10 perc, 230°C/5 kg, MA tartalom: 0,5–1,0%) volt. Elasztomerként *Vistalon 706* etilén-propilén-dién kopolimert (Mooney viszkozitás 42, ML 1+4/125°C, etilén-tartalom: 65%) alkalmaztunk.

Természetes töltőanyagként kereskedelmi forgalomban kapható faliszteket (*EFC 1000*, *CW 630*, *UFC M8*; RETTENMAIER & SÖHNE GMBH) használtunk. A töltőanyagokról pásztázó elektronmikroszkóppal felvételeket készítettünk, amelyek alapján meghatároztuk a szemcse szerkezeti jellemzőket (1. táblázat). A töltőanyagok szemcseméret-eloszlását lézerefényszórásos módszerrel mértük (3. ábra). A szemléletesség kedvéért az alkalmazott töltőanyagok jelölésére a lézerefényszórásos módszerrel meghatározott átlagos szemcseméretet használtuk. Az alkalmazott töltőanyagok mérete és alakja széles határok között változott, ami lehetőséget nyújtott arra, hogy tanulmányozhassuk a szemcseméret hatását. A legnagyobb szemcseméretű a W160 jelű (*EFC 1000*) faliszte, míg a legkisebb a W10 jelű (*UFC M8*). A szemcseméret-eloszlásban is jelentkeznek különbségek, a választott falisztekek közül a W160 jelű rendelkezik a legszélesebb szemcseméret-eloszlással, és ebben az esetben viszonylag gyakori a néhány száz mikrométeres szemcsék megjelenése is. A faliszte szemcsemérete jelentősen befolyá-



3. ábra. Fényszórással meghatározott szemcseméret-eloszlások

1. táblázat.
Az alkalmazott falisztekek jellemző méretei

Faliszt	Rövidítés	Hossz µm	Szélesség µm	Alaki tényező	D [4, 3] µm
Arbocel UFC M8	W10	14,2±8,3	4,8±2,8	3,2±1,6	12,0
Arbocel CW 630 PU	W40	45,8±28,2	17,6±10,5	2,8±1,5	42,2
Filtracel EFC 1000	W160	137,4±136,1	35,2±33,2	4,2±2,6	162,9

solja a beágyazódás mértékét. Nagy szemcsék esetén a szeparált, míg kis szemcsék esetén a beágyazott szerkezet kialakulása várható.

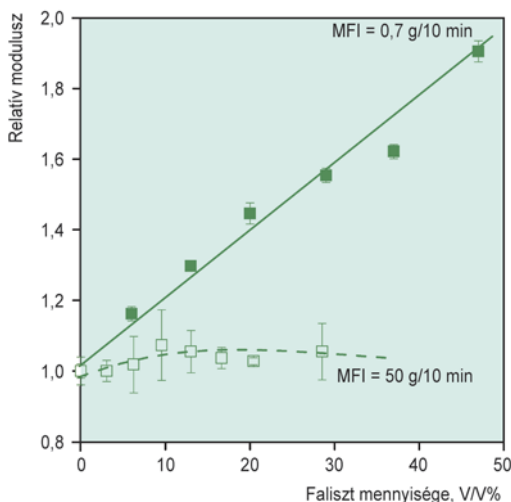
A feldolgozást megelőzően a funkcionális polimereket és a töltőanyagokat 4 órán át, 105°C-on légkeveréses szárítószekrényben szárítottuk. Az előkísérletekhez a komponenseket belső keverőben (BRABENDER W50 EHT) homogenizáltuk, a kompozitokból 1 mm vastag lapokat préseltünk (FONTIJNE SRA 100), amelyekből a mechanikai vizsgálatokhoz szabványos próbatesteket vágunk ki. Az ütésállóság vizsgálatához a kiválasztott anyagokat kétszágas extruderrel homogenizáltuk (THERMOPRISM TSE 24, csigaátmérő 24 mm, L/D arány 28), majd fröccsöntéssel (DEMAG IntElect 50) elkészítettük a szabványos próbatesteket (ISO-527/1A). A kompozitok töltőanyagtartalmát széles összetételi tartományban (0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40 tömeg%) változtattuk. A mechanikai tulajdonságokat INSTRON 5566 univerzális szakítógéppel, az ütésállóságot szabványos Charpy módszerrel határoztuk meg (ISO 179). A szerkezet vizsgálatához folyékony nitrogénben lehűtött, hidegen tört minták törési felületéről SEM képeket készítettünk (JEOL JSM 6380 LA). A SEM felvételek elkészítése előtt az elasztomert THF-el kioldottuk.

4. Eredmények, értékelés

4.1. A szerkezetet befolyásoló tényezők

A PP/elasztomer/falisztt többkomponensű rendszerek szerkezetét számos tényező (feldolgozás, mátrix tulajdonságai, funkcionális polimerek, elasztomer tulajdonságai, szemcsék tulajdonságai) befolyásolja. Először a mátrix szerkezetre gyakorolt hatását mutatjuk be (4. ábra). A bevezetőben már említettük, hogy a nyírási viszonyok, amelyek jelentősen függenek a mátrix polimer viszkozitásától, befolyásolják a kialakuló szerkezetet.

A 4. ábrán belső keverőben készült W160-as faliszttel



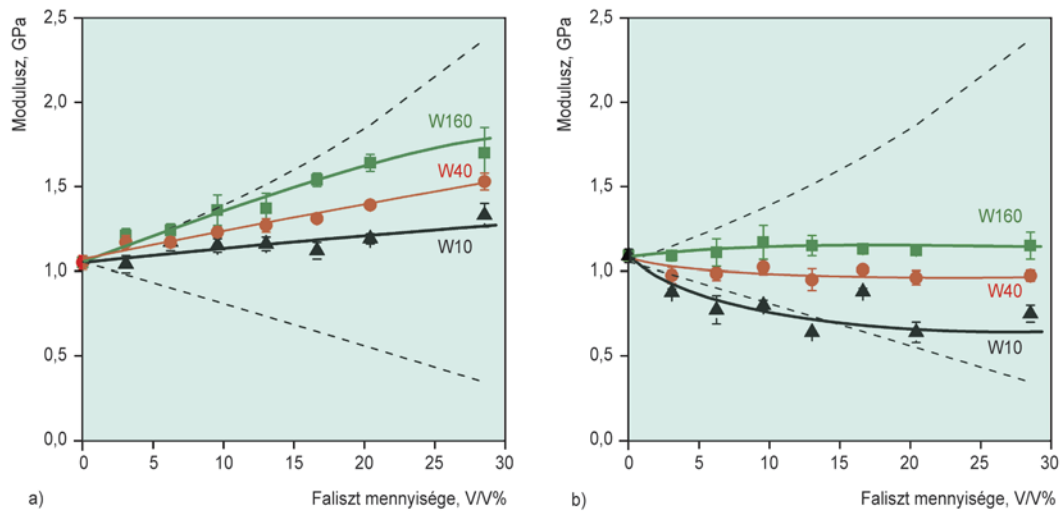
4. ábra. A mátrix viszkozitásának hatása a szerkezetre

és 20 tömeg% MAEPDM-et tartalmazó, eltérő viszkozitású mátrixszal készült kompozitok relatív modulusz értékeit tüntettük fel. A kisebb viszkozitású mátrixszal készült kompozitok modulusza a töltőanyag-tartalommal szinte alig változik, ebből beágyazott szerkezetre következtethetünk. A nagyobb molekulatömegű (kisebb MFI érték), nagyobb viszkozitású mátrixszal készült kompozitok modulusza növekszik, ami lényegesen kisebb mértékű beágyazódásra utal. A nagyobb viszkozitású mátrixba történő homogenizálás során nagyobb nyíróerők lépnek fel, ami könnyebben eltávolítja az elasztomert a töltőanyag szemcse felületéről, és így a diszpergált szerkezetnek kedvez.

A mátrix polimer viszkozitása mellett a töltőanyag szemcseszerkezete és a funkcionális polimerek tulajdonságai is jelentősen befolyásolják a kialakuló szerkezetet. Az 5. ábrán a különböző szemcseméretű faliszteket és 20 tömeg% MAEPDM-et tartalmazó kompozitok modulusza látható. A bal oldalon a nagyobb viszkozitású (Exxelor VA1801), a jobb oldalon a kisebb viszkozitású (Exxelor VA1803) MAEPDM-mel készült kompozitok merevségei szerepelnek a töltőanyag-tartalom függvényében. Mindkét elasztomerrel részlegesen beágyazott szerkezet alakul ki, amit jól mutat, hogy a mért moduluszok a két határszerkezetre számolt értékek (szaggatott vonalak) közé esnek. Az Exxelor VA 1803-as elasztomerrel készült minták modulusz értékei minden esetben kisebbek, mint az Exxelor VA 1801 esetében, és a töltőanyag-tartalommal csökkennek, azaz a beágyazottság mértéke nagyobb. Ennek az az oka, hogy a kisebb viszkozitás miatt a bekeverés során fellépő nyíróerők kisebbek, így azok nem távolítják el a töltőanyagot az elasztomer felületéről. A jobb folyóképességű, kisebb viszkozitású elasztomerrel nagyobb mértékű beágyazás érhető el. Az 5. ábra alapján elmondható, hogy az elasztomer típusa kulcsfontosságú a szerkezet szempontjából.

Az 5. ábrán az MAEPDM típusának a szerepén túl jól látható a falisztt szemcseméretének hatása is. A legnagyobb modulusz, azaz a legkisebb mennyiségű beágyazott szemcse a legnagyobb szemcsemérettel rendelkező W160 töltőanyagot tartalmazó kompozitoknál van. A szemcseméret csökkenésével a beágyazott szemcsék mennyisége növekszik. A falisztt méretének hatása azzal magyarázható, hogy a nagy szemcséről a feldolgozás során az elasztomer réteg leszakadása könnyebb, így a teljesen szeparált szerkezethez közeli szerkezet tud csak kialakulni.

Ezekon az ábrákon megfigyelhetjük azt is, hogy milyen széles határok között változik a PP/elasztomer/falisztt kompozitok modulusza. Azonos összetétel, azaz azonos elasztomer és falisztt tartalom mellett a legkisebb modulusz 0,6 GPa, míg a legnagyobb 1,6 GPa volt, hangsúlyozva a kialakuló szerkezet és a szemcseméret

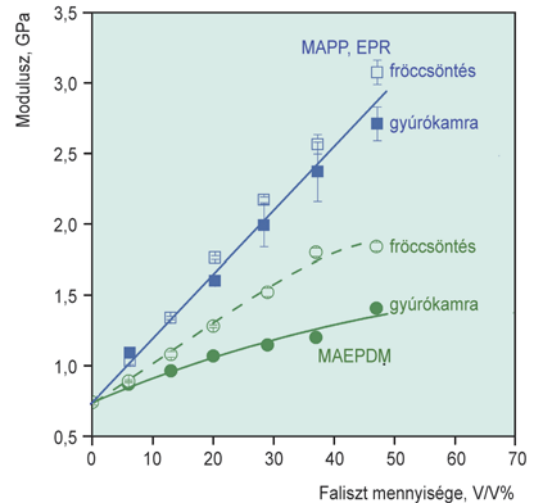


5. ábra. 20 tömeg% funkcionális elasztomert és falisztet tartalmazó kompozitok merevsége a töltőanyag mennyiségének a függvényében. Jelölések: ■ W160, ● W40, ▲ W10.

tulajdonságokra gyakorolt hatásának fontosságát. A komponensek helyes megválasztásával az adott alkalmazásnak megfelelő merevségű kompozitok készíthetők.

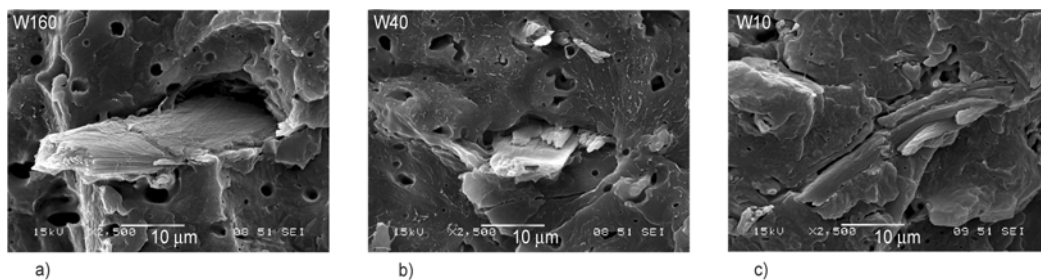
A feldolgozáskor kialakuló nyírásviszonyok jelentősen befolyásolják a szerkezetet. A fröccsöntés során nagyobb a nyírósebesség, mint a belső keverőben, ami meghatározza a heterogén rendszerek szerkezetét. A 6. ábrán látható a feldolgozás, valamint a funkcionális polimer hatása is. Mind az MAEPDM-et, mind a MAPP-t és EPR-t tartalmazó rendszerekben nő a modulusz a töltőanyag-tartalom függvényében. Mivel az MAEPDM bevonja a faliszt szemcsék felületét, a nagyobb mértékű beágyazás kisebb mértékű modulusz növekedést eredményez, mint az MAPP-t tartalmazó, szeparált szerkezetű minták esetében.

Az MAPP-t tartalmazó kompozitokkal szemben az MAEPDM-mel készített minták merevsége a feldolgozási módszerrel is változik. A fröccsöntött kompozitoknál nagyobb modulusz értékeket mértünk. Ennek két oka lehet: egyrészt a töltőanyag szemcsék eltérő orientációja, másrészt a beágyazottság mértékében található különbségek. Amennyiben a különbség oka az eltérő orientáció lenne, abban az esetben ennek a hatásnak jelentkeznie kellene az MAPP-t tartalmazó kompozitokban is. Mivel ott



6. ábra. A feldolgozás és az alkalmazott funkcionális polimer hatása. Jelölések: (kék) MAPP és EPR, (zöld) MAEPDM; □, ○ fröccsöntés, ■, ● gyűrőkamra.

nem tapasztaltunk ekkora különbséget, így az MAEPDM-mel készült kompozitok moduluszának eltérést a beágyazottság mértékének változásával magyarázhatjuk. Összességében megállapíthatjuk, hogy a belső keverő-



7. ábra. 20 tömeg% falisztet és 20 tömeg% Exxelor VA1803 MAEPDM-et tartalmazó kompozitok hidegen tört felületéről, 1 perces THF-es maratás után készített SEM felvételek

ben történő feldolgozás során, ahol kisebb nyíróerők hatnak, nagyobb mértékű beágyazottság érhető el.

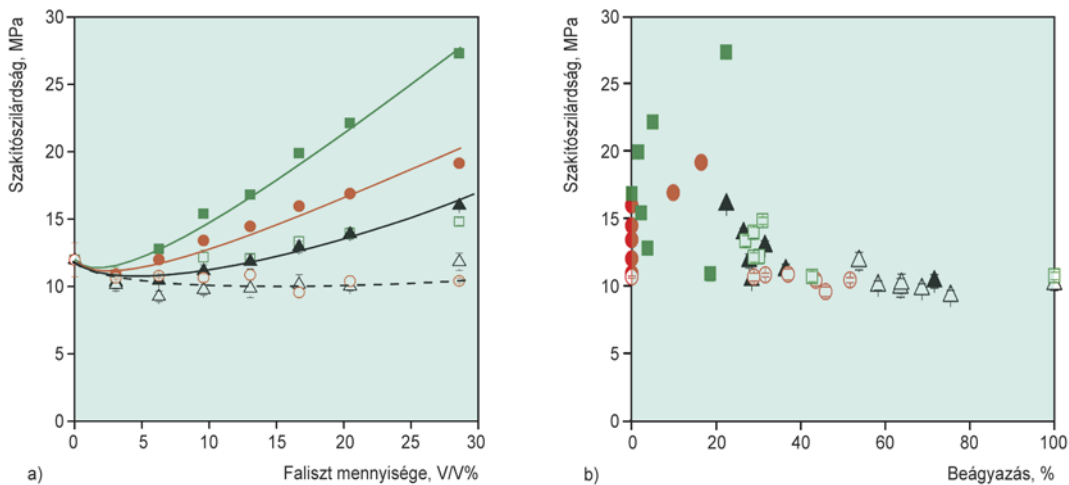
A kompozitok merevségének változása alapján következtethetünk a kialakult szerkezetre, amiről további információkat a fagyasztva tört minták THF-ben maratott törési felületéről készített SEM felvételek vizsgálatával kapunk. A 7. ábrán három SEM felvétel látható a 20 tömeg% Exxelor VA1803 MAEPDM-et és 20 tömeg% faliszt tartalmazó mintákról. Az elasztomer a maratás során lyukakat hátrahagyva kioldódik, megkönnyítve ezzel az egyes fázisok elkülönítését. A beágyazott szerkezetre a kevesebb számú hátrahagyott lyukból és a faliszt szemcsék körül látható üregek jelenlétéből következtethetünk. Összhangban a modulusz alakulásából levont következtetéseinkkel, a legtöbb szemcse a W10 jelű, legkisebb szemcseméretű faliszt tartalmazó kompozitban ágyazódott be, mivel itt található a legkevesebb számú üreg, ugyanakkor látható a szemcse körül egy vékony réteg, ahonnan az elasztomer kioldódott. A legtöbb üreget a W160-as faliszt tartalmazó kompozitról készített SEM felvételen láthatjuk, azaz ebben az esetben volt a legkisebb a beágyazottság mértéke.

4.2. Tulajdonságok

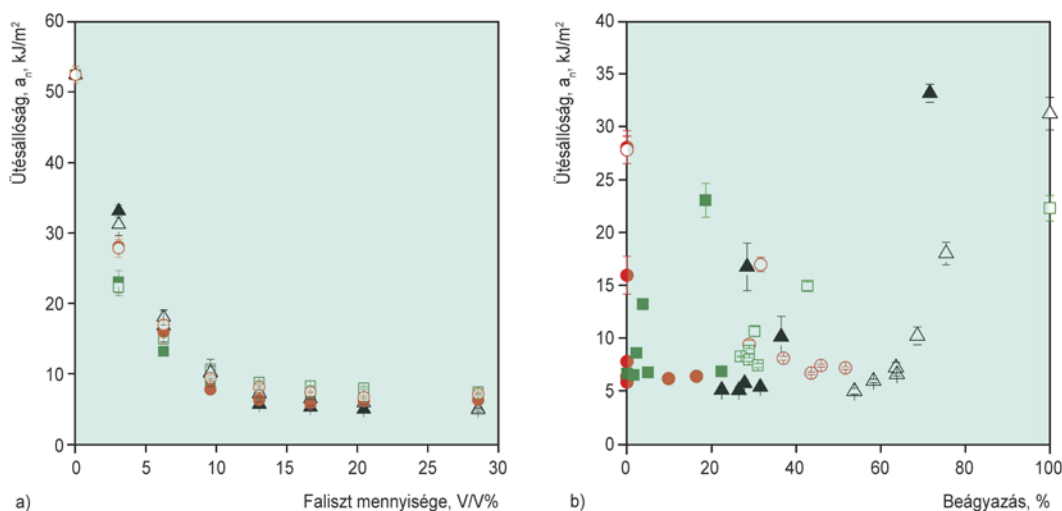
Az előző pontban bemutattuk, hogy milyen változatos lehet a háromkomponensű PP/elasztomer/faliszt kompozitok szerkezete, valamint a szerkezetet milyen tényezők befolyásolják. Ebben az alfejezetben tárgyaljuk a szerkezetnek a kompozitok tulajdonságaira gyakorolt hatását. A 8. ábrán a kompozitok szakítószilárdságát ábrázoltuk a töltőanyag-tartalom függvényében. Megfigyelhető, hogy az MAPP adagolása növeli a kompozitok szilárdságát. Látható az alkalmazott töltőanyag szemcseszerkezeti jellemzőinek a hatása, a legnagyobb szilárdság a legna-

gyobb alaki tényezőjű fával érhető el. MAEPDM hozzáadásával a szilárdság minden esetben alacsonyabb, mint az MAPP-t tartalmazó kompozitok esetében, köszönhetően a szerkezet változásának, ugyanis nagyobb a beágyazottság mértéke. A beágyazott töltőanyag teherhordó képessége jelentősen csökken, az MAPP adagolásával erősen a mátrixhoz kötött töltőanyaghoz képest. Amennyiben a beágyazottság mértékének a függvényében ábrázoljuk a szilárdságokat, akkor megállapítható, hogy nagymértékű beágyazódás (>40%) esetén a szilárdság jelentősen csökken a jobbra diszpergált elasztomert és töltőanyagot tartalmazó mintákhoz képest. Szeretnénk felhívni a figyelmet arra, hogy mivel a modulusz értékét nem csak a beágyazottság, hanem egyéb szerkezeti tényezők (a töltőanyag alaki tényezője, aggregációja, orientációja) is befolyásolják, ezért kis- és nagy töltőanyagtartalmak esetén a beágyazott szemcse mennyiségének meghatározása pontatlan lehet, így egyértelmű összefüggés felállítása nehéz.

A 9. ábrán az ütésállóság változását láthatjuk a faliszt, valamint a beágyazottság mértékének a függvényében. A korábbiakban bebizonyítottuk, hogy különböző szerkezetek alakulhatnak ki a PP/elasztomer/faliszt kompozitokban, a szerkezet befolyásolja a makroszkopikus tulajdonságokat, így a moduluszt és a szilárdságot is. Ennek megfelelően azt vártuk, hogy a szerkezettel változzon a kompozitok ütésállósága, azonban ellentétben a szilárdságnál látottakkal a kompozitok ütésállóságában csupán kis töltőanyag-tartalom mellett mutatkozik eltérés. A törési ellenállás minden esetben rohamosan csökken a faliszt mennyiségével, és egyazon határértékhez tart. A 9. ábra alapján azt mondhatjuk, hogy a törési ellenállás PP/elasztomer/faliszt rendszerünkben független a szerkezettől és a határfelületi kölcsönhatásoktól. Látható



8. ábra. A 33 tömeg% elasztomert és fát tartalmazó kompozitok szakítószilárdsága a töltőanyag-tartalom és a beágyazás függvényében. Jelölések: (teli) MAPP (az MAPP/faliszt arány 0,1), (üres) Exxelor VA1803 MAEPDM (MAEPDM/faliszt aránya 0,2); ■, □ EFC 1000, ●, ○ CW630, ▲, △ UFC M8.



9. ábra. A 33 tömeg% elasztomert és fát tartalmazó kompozitok ütésállósága a töltőanyag-tartalom és a beágyazás függvényében. Jelölések: (teli) MAPP (az MAPP/faliszt arány 0,1), (üres) Exxelor VA1803 MAEPDM (MAEPDM/faliszt aránya 0,2); ■, □ EFC 1000, ●, ○ CW630, ▲, △ UFC M8.

ugyanakkor, hogy a beágyazottság nagymértékben változik, a kompozitok ütésállóságát azonban elsősorban a faliszt mennyisége, illetve a törés folyamán lejátszódó deformációs folyamatok és azok aránya határozza meg.

5. Következtetések

A kialakuló szerkezetet számos tényező befolyásolja, melyek közül elsősorban a homogenizálás során fellépő nyírás és az adhézió viszonya a meghatározó. A szerkezet érzékeny a feldolgozási körülményekre, az alkalmazott mátrix viszkozitására, valamint a töltőanyag szemcse méretére. Munkánk során sikerült beágyazott szerkezet kialakítanunk funkcionális elasztomer alkalmazásával. Az MAEPDM típusa meghatározó, kisebb viszkozitás esetén nagyobb mértékű beágyazottság érhető el. Megállapítottuk, hogy a beágyazott szerkezetnek kedvez a homogenizálás közben fellépő nyíróerők csökkentése. A töltőanyag szemcseméretének növekedésével a szeparált szerkezethez közeli szerkezet alakul ki.

Összefoglalva elmondható, hogy az általunk vizsgált mintákban a beágyazottság mértékében nagy különbségek vannak. Ezek a különbségek megjelennek a kompozitok eltérő modulusz és szakítószilárdság értékeiben, ugyanakkor az ütésállóság nem változik a szerkezettel. Ebből arra következtethetünk, hogy az ütésállóság esetében nem a beágyazottság mértéke lesz a meghatározó, hanem az, hogy adott összetétel és szerkezet mellett milyen deformációs folyamatok vezetnek a töréshez. A domináló mechanizmus a határfelületi kölcsönhatásoktól és a faliszt szemcseméretétől függ. Nagy töltőanyag-tarta-

lom esetén az ütésállóság független az alkalmazott töltőanyagtól, azt a mátrix deformációja határozza meg.

Irodalomjegyzék

- [1] Bledzki, A. K.; Faruk, O.; Huque, M.: Polym.-Plast. Technol. Eng., 41, 435–451 (2002).
- [2] Bledzki, A. K.; Gassan, J.: Prog. Polym. Sci., 24, 221–274, (1999).
- [3] Bledzki, A. K.; Mamun, A. A.; Volk, J.: Compos. Pt. A-Appl. Sci. Manuf., 41, 480–488 (2010).
- [4] La Mantia, F. P.; Morreale, M.: Compos. Pt. A-Appl. Sci. Manuf., 42, 579–588 (2011).
- [5] Kolarik, J.; Lednický, F. in Polym. Compos., (ed.: Sedláček, B.), Walter de Gruyter: Berlin, 1986, pp. 537–544.
- [6] Premphet, K.; Horanont, P.: J. Appl. Polym. Sci., 74, 3445–3454 (1999).
- [7] Hornsby, P. R.; Premphet, K.: J. Appl. Polym. Sci., 70, 587–597, (1998).
- [8] Pukánszky, B.; Fekete, E. in Mineral Fillers in Thermoplastics I, (ed.: Jancár, J.), Springer-Verlag: Berlin, 1999, Vol. 139, pp. 109–153.
- [9] Kolárik, J.; Lednický, F.; Jancár, J.; Pukánszky, B.: Polymer Communications, 31, 201–204 (1990).
- [10] Chiang, W. Y.; Yang, W. D.; Pukánszky, B.: Polym. Eng. Sci. 32, 641–648 (1992).
- [11] Felix, J. M.; Gatenholm, P.: J. Appl. Polym. Sci., 42, 609–620 (1991).
- [12] Kazayawoko, M.; Balatinecz, J. J.; Matuana, L. M.: J. Mater. Sci., 34, 6189–6199 (1999).
- [13] Kazayawoko, M.; Balatinecz, J. J.; Woodhams, R. T.: J. Appl. Polym. Sci., 66, 1163–1173 (1997).
- [14] Nielsen, L. E.: Mechanical Properties of Polymers and Composites, Marcel Dekker: New York, 1974.