

A szerkezet és a kölcsönhatások szerepe lignoszulfonáttal társított polipropilénben

*Szabó Gábor** BSc vegyész mérnök hallgató, *Romhányi Vivien** MSc műanyag- és száltechnológiai mérnök hallgató, *Pataki Piroska* okleveles vegyész mérnök, *Horváth Zsuzsanna*** tudományos segédmunkatárs, *Kun Dávid** PhD hallgató, *Dr. Pukánszky Béla*** tanszékvezető, egyetemi tanár

1. Bevezetés

A műanyagok termelése és felhasználása évtizedek óta töretlenül növekszik, az újabb és újabb műszaki megoldások egyre több műanyagot igényelnek. A technológiai és gazdasági fejlődés szorosan összefonódott a műanyagokkal, amelyet jól szemléltet, hogy az egyes országokban mért egy főre jutó műanyag-felhasználás egyenesen arányos az egy főre jutó bruttó nemzeti termékkel (GNP) [1].

A polimerek előállításához elsősorban nem megújuló, fosszilis nyersanyagforrásokat használnak, amelyek közül a legfontosabb a földgáz és a kőolaj. A világon e fosszilis készleteknek csupán néhány százalékát használják fel műanyagok gyártására, ennek ellenére a társadalom, a politika és a környezetvédelem részéről nagy a nyomás a műanyagiparon. Ennek oka egyrészt, hogy a fosszilis nyersanyagforrásaink folyamatosan apadnak, másrészt e nem megújuló készletek kiaknázása jelentősen torzítja a szén és hidrogén természetes körforgását, komoly környezeti károkat okozva ezzel. Megoldást jelenthet és hozzájárulhat a fenntartható fejlődés megvalósításához a megújuló nyersanyagok nagyobb mértékű felhasználása, így többek között a biopolimerek alkalmazása.

Biopolimereknek nevezzük azokat a polimereket, amelyeket biológiai rendszerek hoznak létre (pl. selyem), illetve biológiai építőkövetből állítanak elő kémiai úton (pl. politejsav). Emellett a biopolimerek közé soroljuk a biológiai úton lebontható polimereket is, a polimerizációhoz felhasznált alapanyagoktól függetlenül. A biológiai rendszerek által létrehozott biopolimereket kinyerhetjük közvetlenül a biomasszából (pl. keményítő, cellulóz), illetve ellenőrzött, szabályozott körülmények között termeltethetjük ezeket természetes vagy génmódosított élőlényekkel (pl. polihidroxialkanoátok). Összefoglalva tehát, egy biopolimer lehet természetes, természetes alapú és/vagy biológiailag lebontható, az alapanyag eredetétől és a polimer kémiai felépítésétől függően.

A biopolimerek önmagukban is felhasználhatók különböző termékek előállítására, de gyakran társított formában találkozhatunk velük. A széles körben alkalmaz-

zott politejsavat például viszonylag magas ára és néhány kedvezőtlen tulajdonsága miatt (nehéz feldolgozhatóság, kis ütésállóság stb.) célszerű töltőanyagokkal vagy egyéb polimerekkel társítani [2, 3]. Töltőanyagként hasznosíthatjuk többek között a falisztet, amely faipari hulladékként nagy mennyiségben és alacsony áron elérhető, emellett megújuló forrásból származik és komposztálásra is alkalmas. A faliszt alkalmazása ugyanakkor nem csupán gazdasági és környezeti szempontból lehet előnyös, egyes esetekben valódi erősítés, azaz a merevség és a szilárdság egyidejű növelése is elérhető segítségével, fázisközvetítő adalék jelenlétében akár polipropilén (PP) mátrixban is [4, 5].

A faliszt mellett egy másik ígéretes megújuló nyersanyag a lignin, amely a Földön a második legnagyobb mennyiségben előforduló természetes polimer a cellulóz után [6]. A lignin a cellulóz- és papírgyártás mellékterméke, ezért nagyon alacsony áron beszerezhető. Évente 1,1 millió tonnát gyártanak belőle világszerte, amiből 1 millió tonnát savas szulfitos eljárással, 100 ezer tonnát pedig Kraft-eljárással állítanak elő [7]. Mindkét módszer célja a fa feltárása, amely során a lignint és a hemicellulózt kémiai reakciókkal vízzoldhatóvá teszik, ezáltal a folyamat végén a papíripar számára értékes cellulóz könnyen kiszűrhető a reakcióelegyből. A savas szulfitos eljárásnál kén-dioxid és hidrogén-szulfid, a Kraft-eljárásnál nátrium-hidroxid és nátrium-szulfid vizes oldatában főzik a fát magas hőmérsékleten és nagy nyomáson. A Kraft-eljárás során alkalmazott reakcióelegyet fehérlúgnak nevezik, amelyből a feltárás végén az ún. feketelúg keletkezik. A savas szulfitos eljárás során szulfonált lignin, azaz lignoszulfonát (LS) keletkezik, amely jó vízzoldhatósággal rendelkezik, ezzel szemben a Kraft-lignin acetonnal oldódik jól, ami remekül mutatja a feltárási technológia hatását a kinyert lignin kémiai szerkezetére. Emellett a lignin szerkezetét jelentősen befolyásolja a felhasznált növényi alapanyag típusa és származási helye is.

A cellulóz kinyerésére a Kraft-eljárás a legelterjedtebb, és a folyamat melléktermékeként évente nagyjából 50 millió tonna lignin keletkezik a cellulóz- és papíripar-

*BME Fizikai Kémia és Anyagtudományi Tanszék

**MTA Természettudományi Kutatóközpont, Anyag- és Környezetkémiai Intézet

ban. Ennek ellenére kevés Kraft-lignin van a piacon, aminek elsősorban az az oka, hogy a feketelúgból kinyert lignint többnyire elégetik, és az így termelt energiát a fehérűg regenerálása során hasznosítják. A lignoszulfonátot ezzel szemben elsősorban ipari tisztítószerekben, takarmányokban és betonkeverékekben használják fel diszpergálószerként, illetve kötő- és ragasztóanyagként [8]. Egyelőre azonban egyik típusból sem gyártanak tetemes mennyiségben nagy hozzáadott értékű termékeket. Egy ilyen lehetőség lehet a lignin társítása polimerekkel, ehhez viszont az is szükséges, hogy az így előállított anyagok bizonyos tulajdonságai felülmúlják az alappolimer tulajdonságait.

Jelen cikkben a lignoszulfonáttal társított polipropilént vesszük górcső alá, amely reményeink szerint a faliszttel erősített PP vetélytársa lehet a jövőben. A polipropilén könnyen és olcsón beszerezhető tömegműanyag, viszont mechanikai tulajdonságai nem teszik alkalmassá arra, hogy önmagában alkalmazzuk szerkezeti anyagként. A lignoszulfonátok nagy merevsége és szilárdsága lehetővé teszi, hogy a társítással a kívánt irányba módosítsuk a PP mechanikai jellemzőit.

A nagy deformációnál mérhető mechanikai tulajdonságok, így a szakítószilárdság és szakadási nyúlás nagymértékben függenek a fázisok közötti kölcsönhatásoktól, hiszen csakis erős kölcsönhatások esetén képes a polimer mátrix átadni a feszültséget a diszpergált társító anyagnak [9–11]. Esetünkben a PP apoláris karaktere miatt nem számíthatunk erős határfelületi adhézióra az LS szemcsék és a mátrix között. A kölcsönhatások erősségét fázisközvetítő anyagokkal növelhetjük, erre a célra maleinsavanhidriddel ojtott polipropilént (MAPP) alkalmaztunk, amelynek apoláris láncai könnyen be tudnak hatolni a PP szintén apoláris láncai közé, a maleinsavanhidrid végcsoportok pedig képesek kémiai kötések kialakítani a lignoszulfonát hidroxilcsoportjaival, emellett dipól-dipól és hidrogén hidas kölcsönhatásokat alakíthatnak ki a lignoszulfonát poláris csoportjaival.

A szerkezeti anyagok árának és minőségének optimalizálása csakis akkor lehetséges, ha a tulajdonságokat meghatározó tényezők ismertek. Ennek megfelelően, kutatómunkánk során arra kerestük a választ, hogy a fázisközvetítő alkalmazása milyen módon befolyásolja a keverékek szerkezetét és a kölcsönhatásokat, valamint ezeken keresztül a mechanikai tulajdonságokat és a tönkremenetelt.

2. Kísérleti rész

A keverékekben felhasznált PP (*H 649 FH*, TVK) extrúziós típusú homopolimer, a lignoszulfonát (*Bretax C*, BURGO CARTIERE) pedig a cellulózgyártás mellékterméke, amelyben kísérő komponensként megtalálhatók cukrok és szervesen oldható sók is. A lignin komponens szulfonát

csoportjainak ellenionja a kalciumion. Fázisközvetítőként a CHEMTURA által gyártott *Polybond 3200* típusú MAPP-t használtuk.

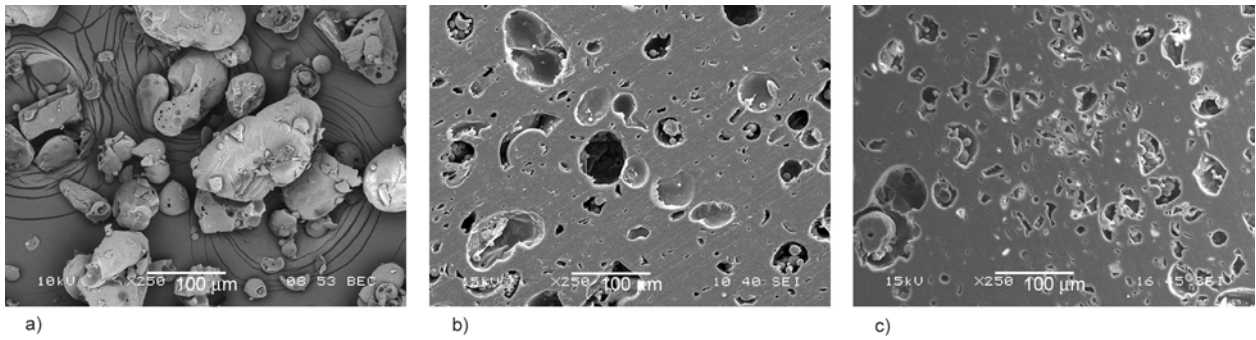
A feldolgozást megelőzően az LS-t 72 órán át 120°C-n, az MAPP-t pedig 4 órán keresztül 80 °C-on szárítottuk vákuumban. A komponenseket HAAKE 2515 belső keverőben homogenizáltuk 10 percen át 42/perc fordulatszámmal, 190°C-on. Az így előállított polimer keverékekből FONTJINE *SRA 100* laboratóriumi présen 1 mm vastag lapokat préseltünk 2 perc alatt, 150 kN erővel, 190°C-on. A lapokat két hétig pihentettük szobahőmérsékleten, elegendő időt hagyva a PP utókristályosodására és a belső feszültségek relaxálódására, majd szabványos próbatesteket vágunk ki belőlük a szakító- és akusztikus emissziós vizsgálatok elvégzésére.

A keverékek lignoszulfonát-tartalmát széles összetételei tartományban változtattuk: a fázisközvetítő nélküli LS/PP keverékekben 60 V/V%-ig, míg a fázisközvetítőt tartalmazó PP/MAPP/LS keverékekben 80 V/V%-ig növeltük a lignin mennyiségét 10 V/V%-os lépésközzel. Ez utóbbi sorozat esetében az MAPP-tartalom mindig az LS mennyiségének 20 V/V%-a volt.

A mechanikai tulajdonságokat INSTRON 5566 univerzális szakítógépen határoztuk meg, a próbatesteket 10 mm/perc keresztfejsebességgel szakítottuk el. A terhelés hatására lejátszódó deformációs folyamatokat a befogott próbatestek akusztikus emissziójának mérésével jellemeztük, amelyhez egy SENSOPHONE *AED 40/4* készüléket alkalmaztunk. A mérések során a beállított küszöbérték 20 dB volt. A keverékek szerkezetének jellemzésére JEOL *JSM 6380 LA* pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM) készítettünk felvételeket a tömbi anyag maratott felületéről. Ehhez a préselt lapokból kivágott mintákat LEICA *EM UC6* mikroszeletelővel készítettük elő, majd 24 órán keresztül áztattuk ezeket szobahőmérsékletű desztillált vízben, amely során a lignoszulfonát kioldódott.

3. Eredmények, értékelés

A heterogén polimer rendszerek szerkezete alapvetően meghatározza azok tulajdonságait. Tekintettel arra, hogy esetünkben mindkét komponens polimer, mindenekelőtt azt a kérdést szükséges tisztázni, hogy a lignoszulfonáttal társított polipropilén a keverékek vagy a kompozitok közé sorolható. Amennyiben a feldolgozás során a társító anyag szemcséi szilárd állapotban maradnak, nem ömlenek meg, akkor kompozitról beszélünk. Ez esetben a szemcsék kizárólag tördelődéssel aprózódhatnak, ami a törési helyeknél durva felületeket eredményez. Az 1. ábrán látható, hogy bár az LS szemcsék mérete jelentősen kisebb a PP mátrixban, mint a kiindulási anyagban, a fázisok közötti határfelületek simák. Ez arra utal, hogy a lignoszulfonát bizonyos mértékig képes megömleni a feldolgozás során,

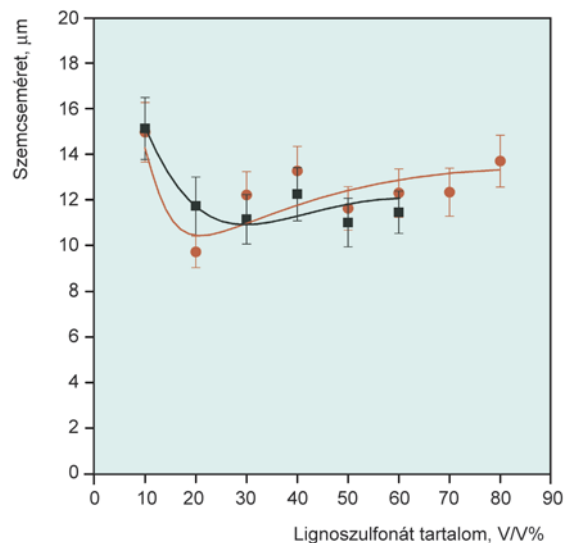


1. ábra. Lignoszulfonát szemcsemérete a feldolgozás előtt és után. a) Lignoszulfonát szemcsék, b) 20 V/V% lignintartalmú PP/LS keverék maratás után, c) 20 V/V% lignintartalom PP/MAPP/LS keverék maratás után

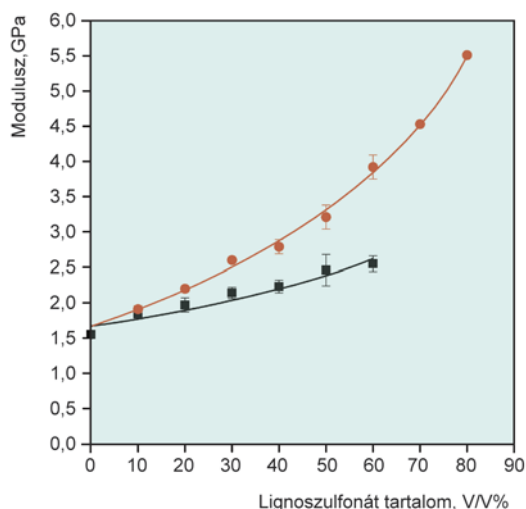
következésképpen a lignoszulfonáttal társított polipropilén a polimer keverékekkel mutat rokonságot.

Keverékekben adott összetételnél a szemcseméretet – számos egyéb tényező mellett – befolyásolja a határfelületi kölcsönhatások erőssége, a nyírás, valamint a komponensek viszkozitásának aránya [12, 13]. Azonos határfelületi kölcsönhatások és megegyező feldolgozási paraméterek mellett a kisebb viszkozitású mátrixban nagyobb szemcseméretű diszpergált fázis jön létre, mivel a homogenizálás során fellépő nyíróerők kisebbek. A felhasznált PP folyásindexe 2,5 g/10 perc, míg az MAPP folyásindexe 115 g/10 perc, azaz a fázisközvetítőt tartalmazó keverékekben kisebb a polimer mátrix viszkozitása a feldolgozás során. A fenti összefüggésnek megfelelően, tehát nagyobb szemcsék kialakulására számíthatnánk a PP/MAPP/LS keverékben, mint fázisközvetítő alkalmazása nélkül. Ezzel szemben a 2. ábrán az látható, hogy kis lignintartalomnál az átlagos szemcseméret aránya éppen ellenkező, ami arra utal, hogy az MAPP alkalmazásával jelentősen sikerült erősíteni a határfelületi köl-

csönhatásokat. Mivel az LS mennyiségének növelésével egyidejűleg növeljük az MAPP mennyiségét is, ezért a növekvő lignintartalommal egyre kisebb lesz a mátrix viszkozitása a feldolgozás során. Ez végül ahhoz vezet, hogy egy adott összetétel felett – a várakozásainknak megfelelően – az LS/PP keverékekben kisebb lesz a lignin szemcsemérete. A lignintartalom függvényében ugyanakkor csak kezdetben csökken az átlagos szemcseméret, majd egy minimum elérése után növekedésnek indul, ami két egymással ellentétes hatású tényező eredőjéből fakad. Az egyik tényező a nyírási viszonyok megváltozása. A lignintartalom növelésével nő a rendszer átlagos viszkozitása, ami ugyanolyan feldolgozási körülmények között nagyobb nyírást eredményez, ezáltal jobban aprózódnak a szemcsék. A másik tényező a koaleszcencia, azaz a szemcsék találkozásának és egybeolvadásának valószínűsége, amely egyre nő a lignintartalom növelésével, ezáltal nő a szemcsék mérete. Ezek szerint, kis lignintartalomnál a nyírási viszonyok megváltozása, nagy lignintartalomnál pedig a koaleszcencia hat leginkább a szemcseméretre.



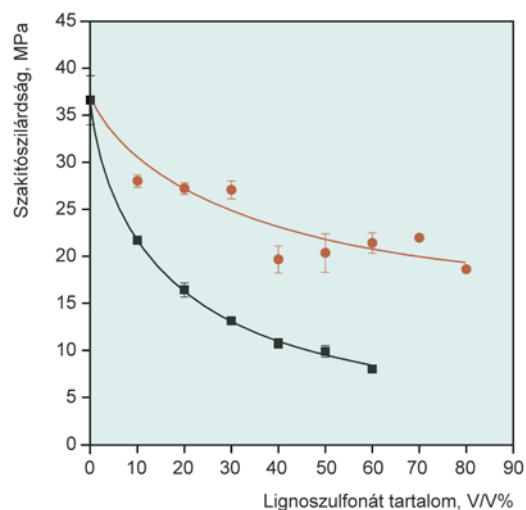
2. ábra. Lignoszulfonát szemcsemérete az összetétel függvényében, (■) PP/LS, (●) PP/MAPP/LS



3. ábra. Lignin/polipropilén keverékek merevségének változása a lignintartalom függvényében, (■) PP/LS, (●) PP/MAPP/LS

MAPP-t tartalmazó keverékekben ez nem következik be, a fázisok között kialakult erősebb kölcsönhatásoknak köszönhetően.

Keverékekben és kompozitokban külső terhelés hatására a heterogenitások környezetében feszültségkoncentráció alakul ki, amelynek nagysága függ a diszpergált fázis szemcséinek alakjától, a komponensek rugalmas jellemzőinek relatív nagyságától és a két komponens kölcsönhatásától [17, 18]. Következésképpen a tönkremenettel általában a szemcsék környezetében indul meg, és az említett tényezők meghatározzák a végbemenő mikromechanikai deformációs folyamatokat is. A lignoszulfonáttal társított polipropilénben a tönkremenettelhez vezető lehetséges deformációs folyamatokat két szélsőséges csoportba sorolhatjuk: gyenge kölcsönhatások esetén a



4. ábra. Lignin/polipropilén keverékek szakítószilárdságának változása a lignintartalom függvényében, (■) PP/LS, (●) PP/MAPP/LS

határfelületek elválása, míg erős kölcsönhatások esetén az LS szemcsék töreése vagy a PP nyirási folyása következhet be. A 4. ábrán látható, hogy a szakítószilárdság mindkét vizsgált rendszer esetében csökken a lignoszulfonát-tartalom növelésével, amely arra utal, hogy a polipropilén mátrix nem képes jelentős mértékben átadni a terhelést a nagy szilárdságú lignoszulfonát szemcséknek, azaz a domináns mikromechanikai deformációs folyamat feltehetőleg a határfelületek elválása. A szakítószilárdság csökkenésének mértéke ugyanakkor egyértelműen kisebb a fázisközvetítőt tartalmazó keverékekben, ami alátámasztja korábbi kijelentésünket, miszerint az MAPP erősíti a kölcsönhatásokat az LS és a PP között.

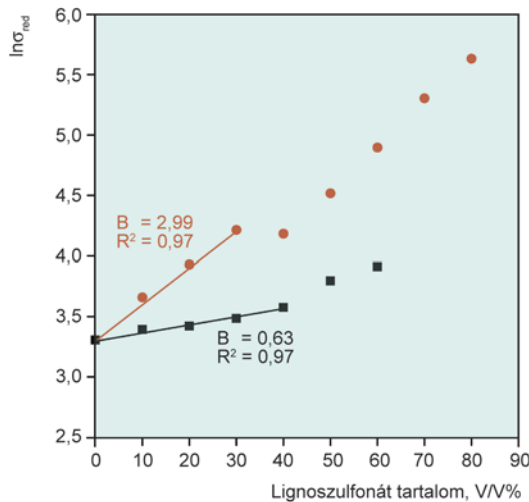
Keverékekben és kompozitokban a kölcsönhatás erősségét mennyiségileg is jellemezhetjük a szakítószilárdságuk összetétel-függése alapján. Ehhez egy kompozitokra kifejlesztett modellt alkalmaztunk, amely az (1) egyenlet szerint teremt kapcsolatot a szakítószilárdság és az összetétel között [19].

$$\sigma_T = \sigma_{Tm} \lambda^n \frac{1 - \varphi}{1 + 2,5\varphi} \exp(B\varphi) \quad (1)$$

ahol σ_T és σ_{Tm} a kompozit, valamint a polimer mátrix valódi szilárdsága ($\sigma_T = \sigma\lambda$ és $\lambda = L/L_0$, σ a mérnöki feszültség, λ a relatív megnyúlás, L_0 a minta kezdeti hossza, L az éppen aktuális hossz), n az orientációs szilárdságnövekedés mértékére jellemző paraméter, φ a töltőanyag térfogattörtje, B pedig a diszpergált fázis relatív teherhordó képességét jellemző paraméter, ezáltal összefügg a kölcsönhatások erősségével. Az (1) egyenletet linearizálva kapjuk a (2) egyenletet.

$$\ln \sigma_{Tred} = \ln \frac{\sigma_T(1 + 2,5\varphi)}{\lambda^n(1 - \varphi)} = \ln \sigma_{Tm} + B\varphi \quad (2)$$

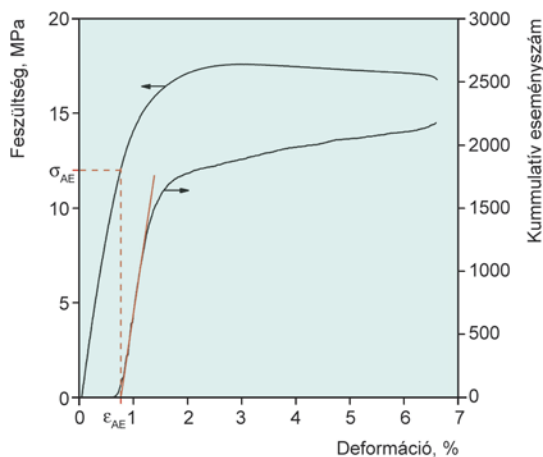
Amennyiben a redukált szakítószilárdság (σ_{Tred}) természetes alapú logaritmusát ábrázoljuk a töltőanyag térfogattörtjének függvényében, akkor az illesztett egyenes meredeksége megadja a B paraméter értékét. Az 5. ábrán látható, hogy az MAPP-t tartalmazó keverékre illesztett egyenes meredeksége nagyobb, tehát a szemcsék nagyobb terhelést viselnek, ami két okra vezethető vissza. Egyrészt a fázisközvetítővel feltehetőleg sikerült javítani a kölcsönhatást a polipropilén és a lignoszulfonát között, másrészt a PP/MAPP/LS mintákban kisebbek a diszpergált szemcsék, ezáltal nagyobb felületen érintkeznek a komponensek. A PP/LS esetén 40 V/V%-ig, a PP/MAPP/LS esetén 30 V/V%-ig illesztettünk egyenest, hiszen láthatóan ebben a tartományban alkalmazható a linearizált formula. A modell alkalmazásának korlátot szab, hogy nem képes leírni a szakítószilárdságot a mikromechanikai deformációs folyamatok, illetve a szerkezet megvál-



5. ábra. Lignin/polipropilén keverékek B paraméterének meghatározása, (■) PP/LS, (●) PP/MAPP/LS

tozása (pl. fázis inverzió) esetén. Mivel a SEM felvételek nem utalnak jelentős szerkezeti változásra nagyobb ligninszulfonát-tartalomnál sem, valószínűleg a mikromechanikai deformációs folyamatok változnak. Ezek felderítése még további vizsgálatokat igényel.

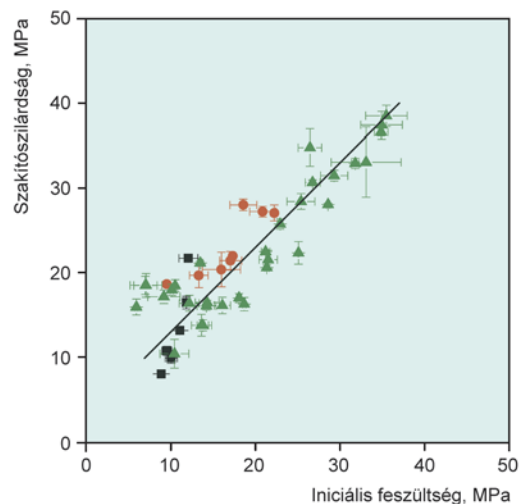
A mikromechanikai deformációs folyamatok azonosításának egyik elterjedt módszere az akusztikus emisszió mérése [20]. A módszer alapja, hogy külső igénybevétel hatására az anyagban bekövetkező változások hangeffektussal járnak, amelyek amplitúdójából és gyakoriságából következtethetünk a lejátszódó mikromechanikai deformációs folyamatok jellegére. A 6. ábrán látható a 20 V/V% ligninszulfonátot tartalmazó PP/LS minta szakítógörbéje, amelyen feltüntetettük a detektált akusztikus jelek összegzett számát, azaz a kumulatív eseményszámot is. A görbe kezdeti szakaszának lépcsőszerű lefutása a határfelületek elválására utal, amely nagyjából 0,8-tól 1,5%-ig tart. Jól látható, hogy a minta nem szakad el



6. ábra. 20 V/V % lignintartalmú LS/PP keverék akusztikus görbéje, a σ_{AE} és az ε_{AE} meghatározásának módszere

azonnal a határfelületek elválása után, köszönhetően annak, hogy a PP nagymértékű deformációra képes. A kumulatív eseményszám görbén látható, hogy 0,8 és 1,5% deformáció között nagyon sok akusztikus eseményt detektálunk, nagyobb deformációknál viszont az akusztikus események száma jelentősen csökken. Ennek magyarázata, hogy csak a határfelületek elválása jár hangeffektussal, ez pedig már kis deformációknál bekövetkezik, míg a képződő üregek tágulása nem ad detektálható akusztikus jelet, ezért nagyobb deformációknál gyakorlatilag csupán háttérzajt mérünk.

Amennyiben a kumulatív eseményszám görbe kezdeti szakaszára egyenest illesztünk, meghatározhatjuk a mikromechanikai deformációs folyamatok megindulását jellemző deformáció (ε_{AE}) és feszültség (σ_{AE}) értékeket. A korábbi kutatásaink során szoros kapcsolatot tártunk fel a faliszttal erősített polipropilénre mért σ_{AE} és szakítószilárdság adatok között [4]. A 7. ábrán látható, hogy ebbe az összefüggésbe beleillenek a ligninszulfonáttal társított polipropilénre mért adatok is, amely alapján minél nagyobb a határfelületek elválásához szükséges kritikus feszültség, annál nagyobb a szakítószilárdság. Eszerint, a nagyobb szilárdságú anyagok fejlesztéséhez a mikromechanikai deformációs folyamatokat befolyásoló tényezőkre érdemes összpontosítani, hiszen e folyamatok határozzák meg az anyagok makroszkopikus viselkedését is. A 7. ábrán feltüntetett rendszerek esetén a szakítószilárdság rendre nagyobb, mint a σ_{AE} értéke, ami szintén azzal magyarázható, hogy a PP szakadási nyúlása, deformálhatósága jelentős, ezáltal a határfelületek elválása után további deformációra képes. A PP/MAPP/LS mintákban ugyanakkor nagyobb feszültségnél indulnak meg a mikromechanikai deformációs folyamatok, mint a PP/LS mintákban, ami egy újabb bizonyítéka annak, hogy a



7. ábra. Összefüggés a szakítószilárdság és a mikromechanikai deformációs folyamatok között, (■) PP/LS, (●) PP/MAPP/LS, (▲) PP/faliszttal [4]

fázisközvetítővel sikerült javítani a kölcsönhatást az LS és a PP között. A PP/MAPP/LS keverékek felülmúlják egyes PP/faliszt kompozitok mechanikai tulajdonságait, viszont egyelőre akad példa az ellenkezőjére is, ezért a célunk a szilárdság további növelése a lignin tulajdonságainak, valamint a határfelületi adhézió és a keverékek szerkezetének módosítása útján.

4. Összefoglalás

A lignin nagy mennyiségben és alacsony áron beszerezhető papíripari hulladék, amelyből egyelőre nem gyártnak tetemes mennyiségben nagy hozzáadott értékű termékeket. Egy ilyen lehetőség lehet a lignin társítása polimerekkel, ezért különböző összetételű PP/LS, valamint PP/MAPP/LS keverékeket állítottunk elő, és jellemeztük a fázisközvetítőként alkalmazott MAPP hatását a komponensek között kialakuló kölcsönhatásokra. A SEM felvételek alapján megállapítottuk, hogy az előállított anyagokat nem sorolhatjuk a kompozitok közé, ugyanis a lignin szemcsék megömlenek a feldolgozás során, a rendszer polimer keverékként viselkedik. A szemcseméretet analízise és a szakítóvizsgálatok alapján mennyiségileg is igazoltuk, hogy az MAPP jelentősen javítja a kölcsönhatást az LS és a PP között. A faliszttal társított PP alapú kompozitokhoz hasonlóan a PP/LS és PP/MAPP/LS keverékekben is szoros összefüggés figyelhető meg a mikromechanikai deformációs folyamatok – jelen esetben a határfelületek elválásának – megindulására jellemző feszültség és a szakítószilárdság között, azaz a mikroszkopikus szinten lejátszódó folyamatok és a makroszkopikus tulajdonságok között. Az LS-sel társított PP mechanikai tulajdonságai egyelőre kismértékben elmaradnak a faliszttal erősített polipropilénhez képest, ezért a további kutatómunkánk során célunk a szilárdság növelése a lignin tulajdonságainak, valamint a határfelületi adhézió és a keverékek szerkezetének módosításával.

A szerzők köszönetüket fejezik ki a Forbioplast (212239) FP7 keretprogram és a K 101124 szerződészámú (Funkcionális anyagok előállítására szabályozott szerkezetű polimerekből és társított rendszerekből) OTKA pályázat anyagi támogatásáért.

Irodalom

- [1] Kim, U. Y.; Kim, K. U.: Research and development activities on polymer for the 21st century in Korea, Macromolecules Symposium, 98, 1261 (1995).
- [2] Imre, B.; Renner, K.; Pukánszky, B.: A politejsav módosítása – PLA alapú társított rendszerek, Műanyag és Gumi, 50, 104–108 (2013).
- [3] Imre, B.; Keledi, G.; Renner, K.; Móczó, J.; Murariu, M.; Dubois, P.; Pukánszky, B.: Adhesion and micromechanical deformation processes in PLA/CaSO₄ composites, Carbohydrate Polymers, 89, 759–767 (2012).

- [4] Link, Z.; Renner, K.; Móczó, J.; Pukánszky, B.: Természetes töltőanyagot tartalmazó kompozitok: határfelületi kölcsönhatások és tönkremenetel, Műanyag és Gumi, 49, 81–86 (2012).
- [5] Dányádi, L.; Janecska, T.; Szabó, Z.; Nagy, G.; Móczó, J.; Pukánszky, B.: Wood flour filled PP composites: Compatibility and adhesion, Composites Science and Technology, 67, 2838–2846 (2007).
- [6] Sarkanen, K. V.; Ludwig, C. H.: Lignins: Occurrence, formation, structure and reactions, John Wiley & Sons, Inc., New York (1971).
- [7] Gosselink, R. J. A.; de Jong, E.; Guran, B.; Abächerli A.: Co-ordination network for lignin – standardisation, production and applications adapted to market requirements (Eurokignin), Industrial Crops and Products, 20, 121–129 (2004).
- [8] Ek, M.: The Status of Applied Lignin Research, Report No. 2, Processum Technology Park AB, 29 (2005).
- [9] Bax, B.; Mussig, J.: Impact and tensile properties of PLA/Cordenka and PLA/flax composites, Composites Science and Technology, 68, 1601–1607 (2008).
- [10] Huda, M. S.; Mohanty, A. K.; Drzal, L. T.; Schut, E.; Misra, M.: Green composite from recycled cellulose and Poly(lactic acid): Physico-mechanical and morphological evaluation, Journal of Materials Science, 40, 4221–4229 (2005).
- [11] Mathew, A. P.; Oksman, K.; Sain, M.: Mechanical properties of biodegradable composites from poly lactic acid (PLA) and microcrystalline cellulose (MCC), Journal of Applied Polymer Science, 97, 2014–2025 (2005).
- [12] Taylor, G. I.: The Formation of Emulsions in Definable Fields of Flow, Proceedings of the Royal Society of London, 146 A, 501–523 (1934).
- [13] Fortelný, I.; Kamenická, P.; Kovar, J.: Effect of the viscosity of components on the phase structure and impact strength of polypropylene/ethylene-propylene elastomer blends, Angewandte Makromolekulare Chemie, 164, 125–141 (1988).
- [14] Pukánszky, B.: Polypropylene: Structure, Blends and Composites, Vol. 3, Chapman and Hall, London, 1–70 (1995).
- [15] Jancar, J.; Kummer, M.; Kolarik, J.: Interfaces in Polymer, Ceramic and Metal Matrix Composites, Elsevier, New York, 705 (1988).
- [16] Demjén, Z.; Pukánszky, B.; Nagy, J.: Evaluation of interfacial interaction in polypropylene/surface treated CaCO₃ composites, Composites, 29 A, 323–329 (1998).
- [17] Goodier, J. N.: Concentration of stress around spherical and cylindrical inclusions and flaws, Journal of Applied Mechanics, 55, 39–44 (1933).
- [18] Kowalewski, T.; Galeski, A.; Kryszeński, M.: Polymer Blends: Processing, Morphology and Properties, Vol. 2., eds. Kryszeński, M.; Galeski, A.; Martuscelli, E., Plenum, New York, 223 (1984).
- [19] Pukánszky, B.: Influence of interface interaction on the ultimate tensile properties of polymer composites, Composites, 21, 255–262 (1990).
- [20] Karger-Kocsis, J.; Harmia, T.; Czigány, T.: Comparison of the fracture and failure behavior of polypropylene composites reinforced by long glass fibers and by glass mats, Composites Science and Technology, 54, 287–298 (1995).