

Zárójelentés

"Funkcionális anyagok előállítása szabályozott szerkezetű polimerekből és társított rendszereikből" című, 101124 számú OTKA szerződés keretében végzett munkáról

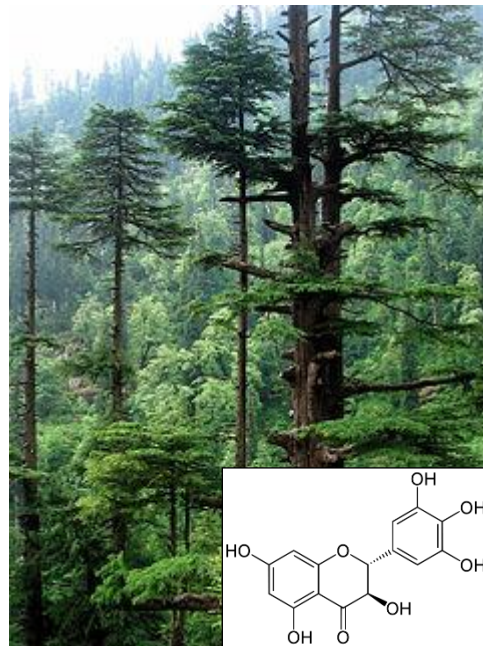
1. Bevezetés

Kutatócsoportunk hosszú évek óta foglalkozik polimerek és összetett polimer rendszerek jellemzésével, módosításával, az új anyagokban kialakuló szerkezet és a tulajdonságok között fennálló törvényszerűségek megállapításával. Bár a kutatás metodikája és alapvető kérdései nem változnak lényegesen az évek során, a kutatás fókuszja folyamatosan változik a kor követelményeinek és a tudományos közösség, valamint az ipar elvárásainak megfelelően. Ezek a tényezők eredményezték, hogy ennek a szerződésnek a keretében kutatásaink egyre inkább a természetes anyagok és a funkcionalitás irányába fordultak. A korábbi évekhez hasonlóan a munka párhuzamosan folyt különböző területeken. Bár a vizsgált anyagok és anyagrendszerek különbözőnek tűnnek, a vezérlő elvek azonosak és az egyik anyagcsoporton szerzett tapasztalatokat más anyagokra is alkalmaztuk. Az egyes projektek gyakran átfedtek egymással, például a nanokompozitok kutatása terén szerzett tapasztalatainkat hasznosítottuk a poliolefinok stabilizálásában vagy a többkomponensű polipropilén kompozitok szerkezetével kapcsolatos ismereteinket a funkcionális csomagolóanyagok fejlesztésében. A legkülönbözőbb anyagrendszereket tanulmányoztuk a szerződés futamideje alatt. Új, természetes anyagokat alkalmaztunk a poliolefinok stabilizálására. A molekulaszerkezet és a tulajdonságok közötti kapcsolatok megállapításával iránymutatást adtunk új, egyenletesen jó tulajdonságokkal rendelkező PP típusok kidolgozásához. Adalékok segítségével funkcionális, jó optikai jellemzőkkel rendelkező anyagokat fejlesztünk ki. A komponensek és a reakcióelegy összetételének változtatásával módosítottuk lineáris PU elasztomerek üvegesedési hőmérsékletét ellenőrzött hatóanyag-leadású bevonatok kifejlesztéséhez. Társítással (töltőanyag, ütésálló adalék, faliszt) módosítjuk a PLA tulajdonságait teljes mértékben komposztálható szerkezeti és csomagolóanyagok előállításához. Megvizsgáltuk a lignin felhasználási lehetőségeit adalékként (stabilizátor, UV abszorbens) vagy kompozitok mátrixanyagaként. Funkcionális (víz- és oxigénzárás, antioxidáns és egyéb hatóanyag-leadás) csomagolóanyagokat állítottunk elő a legkülönbözőbb polimerek és adalékok kombinációjával. A kutatások fókuszában mindig a funkcionalitás állt, azaz valami gyakorlati alkalmazás követelményeinek megfelelően fejlesztettük az anyagokat. Ez esetenként nem nyilvánvaló, mivel egy konkrét anyag kifejlesztése előtt meg kell állapítani az alapötlet alkalmazhatóságát, az adalék, az alapanyag és az egész anyagrendszer viselkedését, a szerkezet és a tulajdonságok között fennálló összefüggéseket, valamint az azokat meghatározó összefüggéseket. Más esetekben azonban már konkrét alkalmazásokhoz fejlesztettünk ki anyagokat rendszerint egy ipari partnerrel együtt. Mivel a funkcionalitásnak önmagában semmi értelme sincs, a gyakorlati alkalmazás, mint motiváció mindig ott rejtőzött kutatásaink mögött.

2. A polietilén stabilizálása

A polietilén (PE) a mindennapi életben legnagyobb mennyiségben használt tömegműanyag. Bizonyos területeken, ahol a garantált élettartam több tíz év, mint például a gáz

vagy vízcsöveknél, elkerülhetetlen a polimer védelme a feldolgozás és az alkalmazás során fellépő hatások ellen. A degradáció törvényszerűségeinek ismerete nélkül lehetetlen a hatékony stabilizálás. Különböző típusú és kémiai szerkezetű polietilénnek termikus és fotooxidációjának tanulmányozása alapján megállapítottuk, hogy a polimerben hibahelyként jelentkező telítetlen csoportok nem befolyásolják a fotooxidációt, viszont jelentős háttással vannak a termikus degradációra (Gardette 2013). A stabilizálás hatékonyságát jelentősen befolyásolja az adalékok kémiai szerkezete, az adalékok kombinációja, valamint a feldolgozási körülmények is, és az adalékcsoomag komponenseinek kiválasztásánál figyelembe kell venni az alkalmazás körülményeit is, pl. vízvezeték csöveknél a víz hidrolitikus és extrakciós hatását (Tátraaljai 2014a). Bár a hagyományos stabilizátorokat rutinszerűen alkalmazzák az iparban, újabb és újabb kérdések merülnek fel velük kapcsolatban. Néhány éve felmerült annak a lehetősége, hogy az ivóvíz csövek stabilizálására nagymennyiségben használt gátolt fenolos antioxidánsok metabolitjai károsak az egészségre. A felmerült problémára az ipar jelenleg nem rendelkezik megoldással, így kutatást indítottunk új, stabilizátorként alkalmazható vegyületek felderítésére. A természetben számos hatékony antioxidáns tulajdonságú vegyület található, így kézenfekvő volt ezek kipróbálása polietilénben is. Többféle természetes antioxidánst és egyéb természetes vegyületet próbáltunk ki az elmúlt évek során, így a kurkumint (Tátraaljai, 2013a, Kirschweg 2015a), a kvercetin (Tátraaljai, 2013b, Tátraaljai 2014b), a β -karotint (Tátraaljai, 2014c), a dihidromiricetint, a rutint és a szilimarint. A dihidromiricetin szerkezeti képlete és egyik forrása az 1. ábrán látható. Kísérleteink bebizonyították, hogy a természetes antioxidánsok nagyon hatékony stabilizátorok, de ipari alkalmazásukat néhány tényező akadályozhatja, mint pl. a magas olvadáspont, a rossz oldhatóság, a szín vagy kölcsönhatások önmagukkal, esetleg az adalékcsoomagban található más vegyületekkel. A kutatást folytatjuk ezen a területen és vizsgáljuk a fenti problémák kiküszöbölésének lehetőségét.

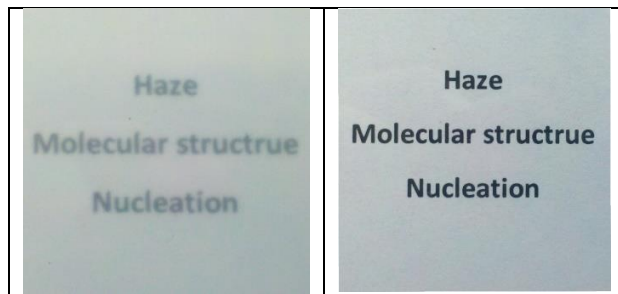


1. ábra A dihidromiricetin szerkezeti képlete és egyik forrása.

3. A polipropilén szerkezetmódosítása

A polietilén mellett a másik legnagyobb mennyiségben használt tömegműanyag a polipropilén (PP). Az élet minden területén alkalmazzák szerkezeti anyagként pl. az autóiparban, de csomagolóanyagot is készítenek belőle. A polipropilén kristályos polimer. Egy adott alkalmazási területnek megfelelő tulajdonságkombináció elérésének vagy egy új funkció kialakításának egyik útja a kristályos szerkezet módosítása, ami megvalósítható a molekul szerkezet szabályozásával vagy göcképzéssel. Kutatásunk során vizsgáltuk a molekul szerkezet hatását a PP kristályosodására és módszert dolgoztunk ki a láncszabályosság jellemzésére (Horváth, 2014a). Vizsgáltuk a polipropilénnél elérhető maximális merevséget és megállapítottuk, hogy ez nem túl nagy, 3 GPa körül van (Horváth, 2013a). A PP szerke

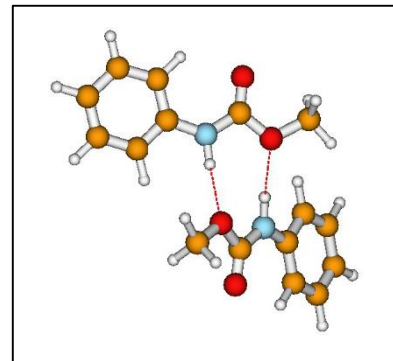
zetével és tulajdonságaival kapcsolatos kutatásaink fókuszában azonban a polimer átlátszóságának javítására irányult. A kristályos szerkezeti egységek szórják a fényt, így a polimerből készült termékek opálosak, amelynek mértékét a homályossággal jellemezhetjük. A kristályosság módosításával, megfelelő gócképzők alkalmazásával a homályosság csökkenthető, de a hatás függ mind a polimer molekulászerkezetétől (Horváth 2013b, Horváth 2014b), mind pedig a gócképző kémiai szerkezetétől (Horváth, 2014c). Vizsgálataink bebizonyították, hogy az optikai jellemzőket meghatározó döntő tényező a polimer molekulás szerkezete és a gócképző oldhatósága a polimerben. Utóbbit az adalék kémiai szerkezete határozza meg. A polipropilén és az adalék megfelelő kombinációja a homályosság és az átlátszóság jelentős javulásához vezet, ahogy ezt a 2. ábra szemlélteti. Az átlátszóság javulása egy új funkcionalitást eredményez az egyébként opálos anyag esetében, ezzel új alkalmazási területeket nyitva meg a polimer előtt.



2. ábra PP homályosságának javítása gócképzéssel.

4. Poliuretán elasztomerek

A poliuretánok (PU) alkalmazása is széleskörű, amit az tesz lehetővé, hogy szerkezete rendkívül széles tartományban módosítható. Készülnek belőlük kemény és lágy habok, de a cipőiparban használt elasztomerek is. A poliuretán elasztomereket biokompatibilitásuk következtében előszeretettel alkalmazzák a gyógyászatban is. Korábbi kutatásaink rámutattak, hogy a PU elasztomerek bonyolult szerkezete, valamint a fázisszerparáció mértéke a kemény és lágy szegmensek között kialakuló kölcsönhatásoktól függ (Sütő, 2012). Molekulamodellezéssel vizsgálatuk ezeket a kölcsönhatásokat és megállapítottuk, hogy számos hidrogénhid alakulhat ki az azonos és a különböző szegmensek között is. Egy ilyen kölcsönhatást mutat a 3. ábra. Egy egyszerű modell segítségével mennyiségileg jellemeztük ezeket a kölcsönhatásokat és sikerült kapcsolatot találni a kölcsönhatások és a tulajdonságok között. Megállapítottuk, hogy nem a kemény szegmensek között kialakuló kölcsönhatások, hanem a kemény és lágy szegmensek közötti kapcsolatok határozzák meg a kialakult fázisszerkezetet és az elasztomerek tulajdonságait (Bagdi, 2012). A megszerzett ismeretek alapján új funkcióval rendelkező, antiszeptikus tulajdonságú PU katéter anyag kidolgozását kíséreljük meg a jövőben.



3. ábra PU elasztomerben kialakuló kölcsönhatások modellezése.

5. Polimerek módosítása

A polimerek tulajdonságai sikerrel módosíthatók társítással is. Az eljárás során egy másik polimert, elasztomert, töltő- vagy erősítőanyagot adunk a polimerhez ezzel jelentősen

módosítva a mátrix jellemzőit. A módosítás eredményezheti meglévő tulajdonságok javulását vagy akár új funkcionalitás kialakítását. Csoportunk már évek óta foglalkozik a töltőanyagot tartalmazó polimerek tulajdonságait meghatározó törvényszerűségek feltárásával, tapasztalatainkat összefoglaló cikkekben és könyvfejezetekben közöljük (Móczó, 2015). A társítás egy viszonylag új módja a nanoméretű töltőanyagok alkalmazása. A rétegszilikát nanokompozitok megjelenése nagy érdeklődést váltott ki a kutatókból és az ipar szereplőiből egyaránt. Csoportunk is különböző rétegszilikát nanokompozitokat készített, és vizsgálta a kompozitokban kialakuló szerkezetet és a tulajdonságokat. Megállapítottuk, hogy a szerkezet bonyolult, hierarchikusan épül fel és a szilikátok remélt teljes exfoliációja gyakorlatilag soha nem következik be. Kimutattuk, hogy pl. a poliamid kompozitokban jelenlévő nem exfoliált nagyobb szemcsék határozzák meg az anyagban lejátszódó lokális deformációs folyamatokat és a kompozit tulajdonságait (Dominkovics, 2013). Mivel a teljes exfoliáció eddig gyakorlatilag senkinek nem sikerült, új, in situ polimerizációs módszert próbálunk kidolgozni ennek elérésére (Hegyesi, 2014). A már elfogadott és sokat próbált rétegszilikátok mellett új nanoméretű töltőanyag, a halloysite alkalmazásával is próbálunk a polimer tulajdonságainak módosítása, esetleg új funkcionalitás elérése érdekében (Polyák, 2013, Kocsis 2014).

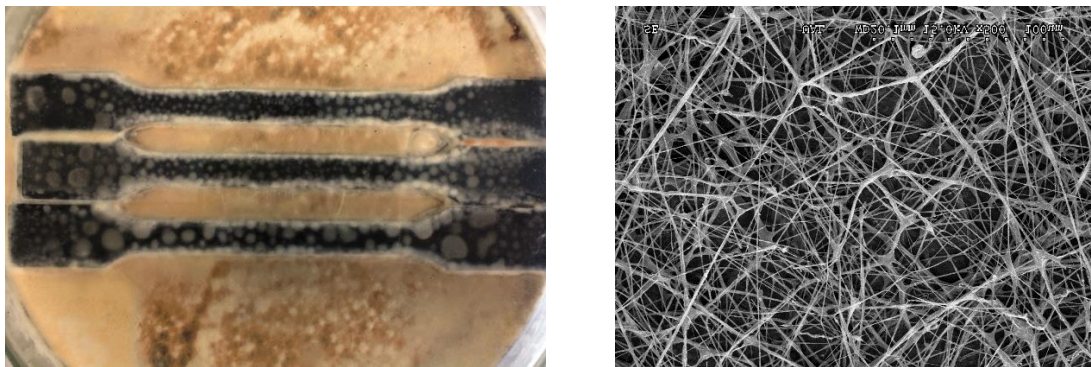
6. Biopolimerek

Az elmúlt években a közvélemény, a társadalom, ennek megfelelően a tudományos világ és valamilyen mértékben az ipar érdeklődése is a megújuló forrásból származó természetes nyersanyagok, valamint a biodegradálható anyagok irányába fordult. Egyre több publikáció és egyben termék jelenik meg, amelyben természetes nyersanyagokat, gyakran polimereket használnak fel és a szintetikus előállított polimerek (PE, PA, PET) egy része is természetes alapanyagokból készül. Fontos kérdés a biológiai degradálhatóság is, az ilyen anyagok is származhatnak természetes forrásból, de készülhetnek szintetikus eljárásokkal is. Az elmúlt években csoportunk érdeklődése is egyre inkább eltolódott a biopolimerek irányába. Ezek lehetnek adalékok, mint a 2. szakaszban emlegetett stabilizátorok, erősítőanyagok (Csikós, 2012), keverékek komponensei (Pataki, 2012) vagy azok mátrixanyaga is (Imre, 2013a, Gyarmati, 2015). Alkalmazhatják őket szerkezeti anyagként, de rendelkezhetnek valamilyen funkcionalitással is (Imre, 2013b, Imre 2015a) gyakran gyógyászati felhasználásra (Tuboly, 2014). A hagyományos tömegműanyagokhoz hasonlóan gyakran a biopolimereket is módosítani kell, hogy betöltsék funkciójukat (Renner 2015, Imre 2015b). A biopolimerek műanyagipari alkalmazásával kapcsolatos kutatásokban csoportunk felhasználja a hagyományos műanyagokon szerzett tapasztalatait és elsősorban a kialakuló háttérterületi kölcsönhatásokra, valamint a szerkezet és tulajdonságok között fennálló összefüggésekre fókuszál. Itt is fontos szempont a funkcionalitás, a megfelelés a kiválasztott alkalmazási terület követelményeinek.

6.1. Polipropilén/fa kompozitok

Mint már említettük a polipropilén az egyik legnagyobb mennyiségben használt tömegműanyag, fontos szerkezeti anyag, amelyet az autóipar előszeretettel alkalmaz. Lényeges jellemzője a viszonylag magas alkalmazási hőmérséklet, de szerkezeti anyagként nem túlságosan nagy a merevsége és kicsi a homopolimer ütésállósága, különösen alacsony hő-

mérsékleten. Ezeknek a hátrányoknak a kiküszöbölésére a polipropilént gyakran módosítják. Lemezes vagy szál as anyagokkal növelik a merevséget, míg elasztomerekkel az ütésállóságot. A legnagyobb mennyiségben üvegszál at használják erősítésre, de kézenfekvő a természetes szál ak vagy faliszt alkalmazása a kedvező környezeti hatások és a kisebb sűrűség következtében. Egy új, természetes erősítőanyag használata azonban számos kérdést vet fel a kölcsönhatások, a szerkezet és a külső terhelés hatására végbemenő deformációs folyamatok szempontjából (Link, 2012, Link, 2014). A merevség és a szilárdság egyidejű növelése érdekében gyakran kétféle társítóanyagot adnak a polimerhez, szálakat az erősítéshez és elasztomert az ütésállóság javítására. A többkomponensű anyagban többféle szerkezet alakulhat ki és a lokális deformációs folyamatok száma is nagy (Keledi, 2012a). Vizsgálataink során megállapítottuk, hogy bár a merevség valóban növelhető fa erősítőanyag alkalmazásával, az ütésállóság nem, elsősorban a fa törése, kis sajátzilárdsága miatt (Sudár 2014). További kísérletek szükségesek ahhoz, hogy megoldást találjunk az ütésállóság növelésére. A természetes anyagok használata során elkerülhetetlen a biodegradáció vagy biodeterioráció kérdésének vizsgálata. Kísérleteink egyértelműen megmutatták, hogy a gombák megtelepednek a fatartalmú PP felületén (4. ábra) és a növekedés sebessége nő a fatartalommal, ugyanakkor a tulajdonságok nem változnak jelentősen, a termék tartósan alkalmazható (Sudár, 2013).



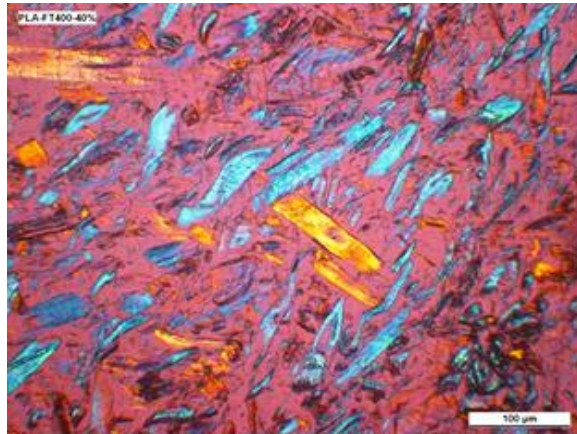
4. ábra Gomba növekedése fatartalmú PP próbatest felületén (Sudár, 2013).

6.2. Politejsav (PLA)

A politejsav ma a legtöbbet vizsgált és a gyakorlatban is a legnagyobb mennyiségben használt biopolimer. Természetes alapanyagokból állítják elő szintetikus úton. Azért került az érdeklődés középpontjába, mert viszonylag jók a tulajdonságai és a termelési kapacitások növekedésével az ára is nagymértékben csökkent az utóbbi időben. A politejsavnak azonban vannak hátrányai is, ilyenek például a gyors fizikai öregedés és a kis törési ellenállás. Ennek megfelelően a politejsavat sokféleképpen módosítják (lágylítás, kopolimerizáció, adalékok, társítás), hogy javítsák feldolgozhatóságát és alkalmazástechnikai jellemzőit. Az egyik ilyen lehetőség töltőanyagok alkalmazása. A PLA gyártási eljárásában keletkező CaSO_4 használata töltőanyagként tovább növelné a PLA kedvező környezeti hatását. Kritikus kérdés azonban a határfelületi adhézió és a lokálisan lejátszódó deformációs folyamatok, amelyek meghatározzák a végtermék tulajdonságait (Imre, 2012). Az eredmények rámutattak arra, hogy a társítóanyagok megváltoztatják a PLA molekulák mozgékonyágát, és ezáltal üvegesedési hőmérsékletét és kristályosodási hajlamát is (Müller, 2015).

A törési ellenállás növelésének egyik leggyakoribb módja a keverékkészítés. A keverék törési ellenállása függ a komponensek jellemzőitől, de döntő mértékben azok kölcsönhatásától. Különböző PLA/termoplasztikus polimer keverékeken végzett kísérleteink bebizonyították, hogy a keverékek szerkezetét a kölcsönhatások határozzák meg és a komponensek szilárdsága javul a kölcsönhatások erősségének növekedésével, az összeférhetőség javulásával (Imre, 2014a). A diszpergált cseppek mérete csökkenhető és ezáltal a komponensek összeférhetősége javítható reaktív feldolgozással (Imre, 2013c).

A politejsavat alkalmazzák szerkezeti anyagként is, ahol a merevség az egyik legfontosabb követelmény. A PLA merevsége is növelhető szálerősítéssel és kézenfekvő a biológiailag lebontható polimer kombinálása természetes szálakkal vagy fa erősítőanyaggal. A PLA/fa kompozitokon végzett vizsgálataink bebizonyították, hogy az irodalomban elfogadott állítás ellenére, miszerint a PLA és a természetes szálak közötti kölcsönhatások gyengék, erős adhézió alakul ki a két komponens között (Faludi, 2014a). A kölcsönhatások csak kismértékben módosíthatók, az adhézió növelése csak a nagy fa szemcsék elváltását akadályozza meg, de a többi helyi deformációs folyamatot nem befolyásolja (Faludi, 2013a, Csikós, 2015). A tulajdonságokat, de különösen a szilárdságot és a törési ellenállást a fa saját szilárdsága határozza meg (Faludi, 2013b, Faludi 2014b), ami módosítható a természetes erősítőanyag impregnálásával (Csizmadia, 2013). Szerkezeti tényezők is szerepet játszhatnak a tulajdonságok meghatározásában, nagy anizotrópiával rendelkező erősítőanyagok kölcsönhatásba léphetnek egymással egy hálószerkezetet alakítva ki (5. ábra), ami jelentősen rontja a szilárdságot és a törési ellenállást (Faludi 2013c).



5. ábra Természetes erősítőanyag szemcséinek fizikai kontaktusa, hálószerkezet kialakulása.

6.3. Egyéb biopolimerek

A PLA mellett a másik kedvelt biopolimer a poli(hidroxi butirát), a PHB. Ezt a polimert természetes úton, mikroorganizmusokkal állítják elő, teljes mértékben biodegradálható, tulajdonságai pedig közel állnak a polipropilénehez. Hátránya, hogy stabilitása nem túl jó, ezért feldolgozása nehéz. A gyógyászatban azonban már jelenleg is alkalmazzák és a biológiai lebonthatóság rendkívül fontos ezen a területen. Ennek megfelelően vizsgáljuk a PHB hidrolitikus és enzimatis degradációját és modelleket dolgozunk ki a degradáció kinetikájának mennyiségi leírására (Kirschweg, 2015b). A biológiai lebontás, ami szinte kizárólag monomereket eredményez, alternatív útja lehet a hidroxibutánsav monomer előállításának, ami egyébként csak nehezen, bonyolult szintézisúton valósítható meg. A keményítő nagymennyiségben rendelkezésre álló, olcsó természetes polimer. Műanyagipari alkalmazására már hosszú ideje történnek kísérletek, amit megnehezít a merev molekulaszervezet, az ebből eredő magas üvegesedési hőmérséklet és nagy viszkozitás. A feldolgozhatóságot lágyítással oldják meg, termoplasztikus keményítő (TPS) előállításával. A TPS me-

chanikai jellemzői azonban rosszak, kicsi a szilárdsága és a nyúlása is. A szilárdság természetes erősítőanyag, faliszt alkalmazásával javítható, ami jelentősen csökkenti a keményítőtől előállított tárgyak zsugorodását és valamennyire a vízfelvételt is. Természetesen a TPS/fa kompozitoknál is kulcskérdés a kölcsönhatás, a szerkezet és a tulajdonságok viszonya (Müller 2014, Imre 2014b). Egy további biopolimer, ami a jelenleginél több figyelmet érdemel a lignin. A világon a cellulóz után a második legnagyobb mennyiségben rendelkezésre álló polimer egy térhálós polifenol, ami melléktermékként keletkezik a cellulóz és a bioetanol gyártás során. Legfeljebb elégetik, de nagyobb hozzáadott értékű terméket nem készítenek belőle. Mivel melléktermék, rendkívül olcsó, felhasználása jelentős gazdasági, de környezeti előnyökkel is járna. Vizsgáljuk a lignin felhasználásának lehetőségét polimer keverékek komponenseként (Szabó 2013), illetve kémiai módosításával is próbálkozunk.

7. Funkcionális polimerek

Bár az általunk vizsgált legtöbb anyag rendelkezik valamilyen funkcionalitással vagy további módosítással kialakítható ilyen, vannak anyagok, amelyeket kifejezetten valamilyen, a polimerektől eltérő funkcióval ruháznak fel. Ilyen anyagokat gyakran alkalmaznak a csomagolástechnikában jelzésre, azonosítására vagy valamilyen feltételek, kondíciók biztosítására. A gyógyszeriparban gyakran követelmény a kis oxigén áteresztés. Oxigénzáró csomagolás előállítására gyakran használnak poli(vinil alkohol)-t (PVOH) vagy annak etilénnel készült kopolimerét. Tovább növeltük a PVOH gázzáró képességét egy speciális adalékanyag használatával. Bebizonyítottuk, hogy a jó záró képesség az adalék és a polimer között kialakuló hidrogénhidás kölcsönhatások eredménye (Péter 2014). A gyógyszer és az elektronikai iparban az oxigén záráshoz hasonlóan fontos a nedvességtartalom kizárása a csomagolásból. Korábban külön zacskóban helyezték a deszikkánst a csomagolt anyag mellé. Ma már deszikkáns funkcióval rendelkező csomagolóanyagokat is készítenek különböző polimerek és deszikkáns anyagok (zeolit, szilikagél stb.) kombinálásával. Vizsgáltuk egy sor polimer viselkedését ilyen kompozitokban és megállapítottuk, hogy a vízfelvétel sebessége a polimer szabadterefogatától, a kompozit vízfelvételi kapacitása pedig a zeolittartalomtól függ (Kenyó 2013a, Kenyó 2013b). További vizsgálatokban megállapítottuk, hogy a zeolit típusa kevésbé befolyásolja a vízfelvételi jellemzőket (Kenyó 2014a). A polisztirol (PS) és az ütésálló polisztirol (HIPS) szabadterefogata nagy, így kedvezően használható deszikkáns kompozitok előállítására. Ugyanakkor az utóbbi polimerek szerkezete bonyolult (ld. 6. ábra), amit tovább komplikál a deszikkáns jelenléte. HIPS/zeolit kompozitok szerkezetét és tulajdonságait vizsgálva megállapítottuk, hogy a zeolit részlegesen beágyazódik a HIPS polibutadién fázisába, ami befolyásolja a mechanikai tulajdonságokat, de kevésbé módosítja a vízfelvételi jellemzőket (Kenyó 2014b). Megkísérljük hibrid deszikkánsok alkalmazását is, ami megváltoztathatja a vízfelvétel kinetikáját és módosíthatja a vízfelvételi kapacitást is (Bere 2014).

8. Az eredmények szintézise, általánosítható következtetések

A munkánk során vizsgált sokféle anyag és számos kísérleti módszer lehetővé tette általános következtetések levonását, az eredményeink általánosítását. Néhány ilyen, mint pl. a társítóanyagoknak a PLA mobilitására gyakorolt hatását (Müller 2015) vagy a töltőanyagokkal kapcsolatok általános ismereteket már említettük (Móczó 2015). Felkérést kaptunk

egy a töltőanyagot tartalmazó polimerek előállítására, szerkezetére és tulajdonságaira vonatkozó enciklopédia fejezet megírására is (Pukánszky 2015). Munkánk eredményeként felkértük bennünket egy a polimer/fa kompozitokkal foglalkozó áttekintő fejezet megírására (Renner 2012), illetve a polimer nanokompozitokkal kapcsolatos ismereteink összefoglalására (Keledi 2012b). A biopolimerek módosításával, illetve a biopolimer keverékek tulajdonságaival foglalkozó cikkünk, az European Polymer Journal különszámában jelent meg és elfogadható visszhangot váltott ki (Imre 2013d). Ezek az összefoglaló művek lehetővé teszik eredményeink szintézisét, következtetések levonását és a munka további irányának kijelölését.

9. Az eredmények hasznosítása

Bár az általunk folytatott kutatások nagy része alapkutatás jellegű és általános összefüggéseket kíván feltárni a vizsgált anyagokban uralkodó kölcsönhatások, az anyagok szerkezete és tulajdonságai között, legtöbbször gyakorlati vonatkozása is van, vagy már most hasznosul, vagy legalább fennáll a lehetősége a későbbi hasznosításnak. A kutatást fiatal kutatók bevonásával végeztük, a pályázatban részt vett több doktoráns, munkájukat pedig számos diplomázó hallgató segítette. A szerződés időtartama alatt négy doktoráns (Bagdi K., Imre B., Horváth Zs., Tátraaljai D.) végzett csoportunkban. Két doktori munka védelem előtt áll (Kenyó Cs., Müller P.). További doktoránsok végzik munkájukat az egyes részterületeken, a dolgozat megírására és megvédésére a közeli vagy kis távolabbi jövőben kerül sor. Emellett azonban közvetlen kapcsolatban állunk hazai vagy külföldi vállalatokkal, akik érdeklődnek kutatásaink eredményei iránt. A degradációs és stabilizálási munkát a TVK és a Clariant (Svájc) együttműködésével végeztük, jelenleg a Sabc multinacionális vállalat hollandiai kutatóközpontjával együttműködésben vizsgáljuk a lignin alkalmazhatóságát polimerek stabilizálására. A gócképzőkkel kapcsolatos munkát a Borealis (Ausztria) poliolefin gyártóval együtt végeztük, jelenleg természetes és mesterséges szálakkal erősített PP fejlesztésében működünk velük együtt. A funkcionális csomagolóanyagokat az Airsec (Franciaország) cég számára fejlesztettük, de számos egyéb hazai és külföldi vállalattal is kapcsolatban állunk. A természetes szállal erősített tömeg és biológiailag lebontható műanyagból készült kompozitokkal kapcsolatos munkát egy nagy európai FP7-es projekt (Forbioplast, Grant No: 212239) keretében végeztük, amelyben kidolgoztunk egy keményítő és faszál alapú műtrágya készítményt is, amelyet egy hazai nagyvállalat gyártani kíván.

10. Összefoglalás

A 101124 számú OTKA szerződés által nyújtott támogatás biztosította a lehetőséget a természetes és mesterséges polimerekkel, illetve társított rendszereikkel kapcsolatos évek óta végzett munkánk folytatásához. A folyamatos kutatás több területen is nemzetközi elismerést szerzett csoportunknak, tudományos eredményeinkre minden évben számos hivatkozás érkezik. 2012-ben megrendeztük a Bipoco2012 (Bio-Based Polymers and Composites), amit 2014-ben a második szintén sikeres konferencia követett. A harmadik Bipoco konferenciát 2016 augusztusában rendezzük remélhetően hasonló sikerrel, mint az előző kettőt. A folytonosság mellett a kutatás állandóan megújul. A kutatás hangsúlya eltolódott a funkcionális anyagok és a természetes alapanyagok, illetve polimerek felé. Használjuk ezeket az anyagokat a polimerek stabilizálásában, társított és erősített keverékekben

és kompozitokban, társító anyagként és mátrix polimerként egyaránt. Kutatásainkban egyre nagyobb hangsúlyt kap a lignin, mint társító és műanyagipari alapanyag. A fejlesztés eredményekén új szerkezeti anyagokat hozunk létre, anyagaink egy részét a csomagolástechnikában használják, de egyre hangsúlyosabbak a gyógyászati alkalmazások is. Munkánkban számos fiatal kutató vesz részt és kutatási eredményeink nagy része a gyakorlatban is hasznosul.