

Biológiailag lebomló töltőanyagot tartalmazó PP kompozitok előállítása és mechanikai tulajdonságainak vizsgálata

Készítette: Szluka Nikoletta, Anyagmérnök BSc, 1. évfolyam

Témavezető: Varga Csilla, egyetemi adjunktus

**Pannon Egyetem
Mérnöki Kar**

Vegyésszmérnöki és Folyamatmérnöki Intézet
MOL Ásványolaj- és Széntechnológiai Intézeti Tanszék

2012

Tartalom

1. Bevezetés.....	3
2. Műanyagok.....	3
2.1. Biológiailag nem lebomló műanyagok.....	4
2.2. Biopolimerek.....	4
3. Műanyagok újrahasznosítása, biológiai lebomlás.....	5
4. Töltőanyagok.....	6
4.1. y aliszt.....	7
4.2. Kemény ...tő.....	8
5. Kemény tőt tartalmazó kompozitok.....	8
6. y alisztet tartalmazó kompozitok.....	11
7. y elhasználás.....	14
8. Kísérleti rész.....	14
8.1. y elhasznált anyagok.....	15
8.2. Kompozitok összetétele és előállítása	15
8.3. Vizsgálatok	16
9. y redmény k és értékelés.....	16
9.1. Kompozitok mechanikai jellemzői.....	16
9.1.1. Töltőanyagok arány ának hatása.....	16
9.1.2. y aliszt bekeverési módjának hatása.....	18
9.1.3. Próbatétel előállítási módjának hatása	19
9.2. Mikroszkópos vizsgálatok	23
9.2.1. y ény ikroszkópos vizsgálatok.....	23
9.2.2. Páztázó elektromikroszkópos vizsgálatok	24
10. Összefoglalás	25
11. Irodalomjegyzék.....	27
Köszönetny lvánítás.....	28

1. Bevezetés

Napjainkban a környezet megóvása érdekében, valamint a nyersanyagok egyre növekvő ára miatt a műanyagok újrahasznosításának jelentősége egyre inkább növekszik. A környezetvédelmi szabályozások és kormányzati előírások hatására megerősödtek az erőslesztések az iparban is a környezettel összeférhető anyagok fejlesztése és előállítása iránt. Ennek hatására pl. évente megújuló, biológiailag lebomló anyagokat alkalmaznak a kőolajipari alapanyagok egy része helyett, környezetbarát termékeket és technológiákat vezettek be, az eljárások során megújuló anyagokat alkalmaznak, amelyek összeférhetőek a környezettel, és a feldolgozás során keletkező hulladékok biológiailag lebomló melléktermékké alakíthatók vagy újrahasznosíthatók, így minimális környezetszennyezés várható [1-4].

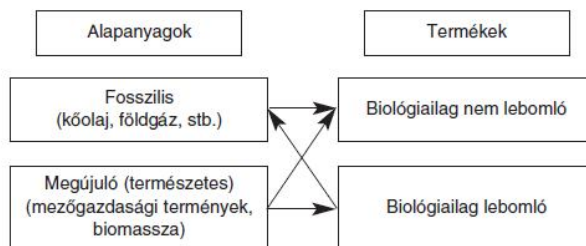
A hulladék lehet termelési, települési, vagy veszélyes aszerint, hogy honnan származik. A műanyag hulladékok kezelése során deponálást (lerakás), energetikai célra történő hasznosítást, újrafeldolgozást alkalmaznak, illetve ezen felül másodnyersanyagokat állítanak elő belőlük.

A környezetvédelmi előírások szigorodásával egyre inkább előtérbe kerül a műanyagok újrahasznosítása, mivel az égetés vagy lerakás nem lehet a hulladékok ártalmatlanításának végleges megoldása. Ezek a módszerek viszonylag egyszerű kezelési eljárásokat igényelnek, nem okoz problémát a műanyag hulladékok változó összetétele. Azonban, ha az újrahasznosítás akár kémiai, akár mechanikai, akkor első lépése az alapanyag szelekció. Ez rendkívül időigényes és költséges folyamat, de a legtöbb esetben elkerülhetetlen.

2. Műanyagok

A műanyagok közül legelőször természetes alapú polimert alkalmaztak még a 15. században, a Hevea fából származó gumit ugyanis az amerikai indiánok már akkor használták, amikor Columbus megérkezett Amerikába. A cellulóz, a keményítő, valamint a bőrben található kollagén jó példái a természetes polimereknek. A természetben előforduló polimerek módosítását a 19. század közepén kezdték, az első, teljes mértékben szintetikusnak tekinthető polimert a 20. sz. elején állították elő. A polimerek tudományának kezdetét a 1920-as évektől számítjuk.

A műanyagokat a környezeti hatásokkal szembeni ellenálló képesség alapján (1. ábra) két csoportba oszthatjuk. Vannak a biológiai hatásra nem lebomló műanyagok, amelyeknek alapanyaga lehet természetes eredetű, de készülhetnek fosszilis nyersanyagból is. Emellett megkülönböztetjük a biológiai hatásra lebomló műanyagokat, amelyek természetes (megújuló) alapanyagból készülnek.



1. ábra Műanyagok csoportosítása kiindulási alapanyagaik és lebomthatóságuk szempontjából

A biológiai lebontható műanyagok feltételeit a DIN 54900 szabvány rögzíti, amely szerint a bomláshoz szobahőmérséklet feletti hőmérséklet és magas nedvesség-tartalom szükséges.

2.1. Biológiai nem lebomló műanyagok

A petrokémiai alapon előállított műanyagok közismerten erősek, könnyűek, olcsók, könnyen feldolgozhatók és energiahatékonyak. Vízállóak és ellenállnak a biológiai lebontásnak. Ezért váltak biológiai nem lebomló hulladékká [1].

A legtöbb szintetikus polimer nem biológiai lebomló. A szintetikus úton előállított biológiai lebomló polimerek, pl. a polilaktid (PLA), polikaprolaktan (PCL) és a poli(hidroxi-butirát) (PHB) magas költséggel állíthatók elő. A biológiai nem lebomló, kőolajalapú műanyagok jelentős környezeti szennyezést okoznak, ezért nagy erőfeszítéseket tettek a kutatók a mezőgazdasági termékekből származó polimerek előállítására és alkalmazására [5].

A műanyagok többféleképpen csoportosíthatók, de alapvetően hőre keményedő és hőre lágyuló csoportokba sorolhatók. A hőre keményedő műanyagok, vagy más néven duroplasztok, rendkívül sok térhálósodási hellyel rendelkező molekulákból állnak, és egy meghatározott hőmérséklet fölött képlékenységük megszűnik. A hőre lágyuló műanyagok, vagy más néven termoplasztok, üvegesedési hőmérsékletük fölött kemény állapotból képlékeny, alakítható állapotba mennek át. A makromolekulák nem vagy csak kismértékben térháló szerkezetűek.

A műanyagoknak számos előnye van, pl. jó a víz, lúg- és savállóságuk, előnyös fizikai és mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek, emellett olcsók és könnyen előállíthatóak nagy mennyiségben. Vannak azonban hátrányaik is, mégpedig, hogy nem bomlanak le, kicsi a mechanikai szilárdságuk, korlátozott hőállóságuk, nem javíthatóak és az öregedés is jellemző rájuk.

2.2. Biopolimerek

Az olyan polimereket, amelyek természetes vagy mesterséges körülmények között biológiai lebonthatók, biodegradábilis polimereknek, röviden biopolimereknek nevezzük.

A *cellulóz* a legnagyobb mennyiségben előforduló polimer a Földön. Évente kb. 1,8 trillió tonna szerves anyag keletkezik, ennek közel 40%-a cellulóz. Ennek a mennyiségnek azonban csak kis hányada hasznosul a hulladék kezelés során. Jelentős mennyiségű cellulóz van a városi és mezőgazdasági hulladékokban. Vízben egyáltalán nem, de erős savakban, lúgokban vagy tömény sóoldatokban magas hőmérsékleten kismértékben oldódik. A cellulóz kémiletes körülmények között enzimkatalizált hidrolízissel bontható le. A cellulóz és a celofán nem műanyag, azonban vannak cellulóz alapú műanyagok. Kevés kutatás végeztek a cellulóz-acetátnak és társainak (cellulóz-butirát, cellulóz-acetil-butirát stb.) lebonthatóságával kapcsolatban, mivel ezeket nem használják nagy mennyiségben.

Kereskedelmi szempontból a *cellulóz-acetát* (CA) a legjelentősebb cellulóz származék. Manapság például szemüvegkeretet, szerszámnyeleket, készítenek belőle, illetve felületbevonatként, valamint dobozok átlátszó anyagaként alkalmazzák. Az első mágnesszalagok is ebből készültek. A cellulóz-acetátból készült termékek szívósak, ütésállóak, olajokkal, zsírokkal szemben ellenállóak. A CA szubsztitúciós foka igen magas, de a 2,5-nél alacsonyabb fokú cellulóz-acetát biológiai lebomló. Bomlása

lágýtók vagy egyéb adalékok (biológiailag lebomló észterek, citrát-típusú lágýtók) segítségével felgyorsítható.

A *keményítő* a természetben nagy mennyiségben jelenlévő poliszacharid (2.ábra). Előállítása burgonyából kiindulva a legolcsóbb, de sokkal nagyobb mennyiségben fordul elő a kukoricában és a búzában is (1.táblázat). Hideg vízben nem oldódik, viszont forró víz hatására kolloid állapotban oldatba vihető. A keményítő a hagyományos műanyag feldolgozó módszerekkel nem dolgozható fel, mivel a folyási hőmérséklete, a bomlási hőmérséklete fölött van. Célszerű termoplasztikussá tenni, amely különböző feldolgozási módszerekkel úgy érhető el, hogy a kristályos szerkezetet felbontják. Ezt destrukciónak vagy zselatinálásnak nevezzük. Lágýtószerek szükségesek hozzá, például víz. Feldolgozásakor a hőmérséklet és a fellépő nyíró erők játszanak szerepet a kristályos szerkezet lebontásában.

1. táblázat Keményítő előfordulása a növényekben %-ban kifejezve

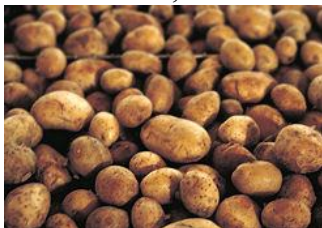
Burgonya	Kukorica	Búza	Rizs
18	67	68	75



a,



b,



c,



d,

2. ábra Különböző megújuló nyersanyagok (a. kukorica, b. búza, c. burgonya, d. rizs)

3. Műanyagok újrahasznosítása, biológiai lebomlás

Napjainkban egyre fontosabb szerepet kapnak a biológiai úton lebontható polimerek, alkalmazásuk a vártnál lassabban, de folyamatosan növekszik. A biológiailag lebomló műanyagok tehát azok a műanyagok, amelyek természetes körülmények között, kémiai tulajdonságaikból adódóan vagy mikroorganizmusok közreműködésével a környezetre (kevésbé) ártalmas (víz és szén-dioxid) vagy akár hasznos komponensekké alakulnak [4]. A biológiai lebomlás során a különböző mikroorganizmusok (gombák, baktériumok) hatására olyan változás történik, amelynek során a mikroszervezetek feltárják és a növények számára ismét felvehető formába hozzák a szerves anyagok felépítésében, az energia raktározásában és transzportjában résztvevő biogén elemeket. Világszinten egyre fokozódik a biológiai úton lebontható polimerek kutatása. Mezőgazdasági felhasználás és hulladékkezelési lehetőség egyaránt rejlik bennük. A lebomló polimerek orvosi területen történő felhasználására pl. varratok, csontpótlás, gyógyszer kapszulák is vannak törekvések. A biológiai úton történő lebonthatóságot, mint fogalmat azonban nem minden esetben használják következetesen.

A hagyományos műanyagok, mint például PE, PP, PVC, a PET alapvetően nem lebomlóak, és nem komposztálhatóak. Az ilyen típusú polimerek esetében különböző adalékok alkalmazásával érhető el degradáció. A biopolimerek pl. az élő szervezet által előállított makromolekulák, pl. poliszacharidok, fehérjék, nukleinsavak, de előállíthatóak megújuló és fosszilis nyersanyagokból is. Fosszilis alapanyagok elsősorban a poliészterek vagy a poli(vinil-alkohol)ok. A megújuló, főként növényi eredetű alapanyagok a keményítő, a poli(hidroxi-alkanoát) (PHA), a PLA vagy a cellulóz-acetát, viszont a hagyományos műanyagokkal pl. (PE, PP) szemben kicsi a szilárdságuk [4]

A kőolaj alapon előállított műanyagok részbeni helyettesítése fontos környezetvédelmi szempontból, viszont a biológiailag lebomló műanyagok még nem terjedtek el az áruk és bizonyos hátrányos tulajdonságaik, pl. kis szilárdság, gyenge vízállóság miatt [6].

4. Töltőanyagok

A töltőanyagok közül néhányan inaktívak, mások aktívak, vagyis erősítő hatást is kifejtenek. Az inaktív töltőanyagok a mennyiséget növelik, ezzel együtt a termék árát csökkentik. Az aktív, vagy erősítő töltőanyagok mechanikai és fizikai tulajdonságokat javítanak.

Az alkalmazott koncentráció széles tartományban változik: a néhány százalék keményítőtől egészen a majdnem 100%-ban alkalmazott fémporokig. Előbbit a biológiai lebomlás elősegítésére alkalmazzák, utóbbit pedig nagy elektromos és hővezető képességű anyagok előállításához. Néhány töltőanyag legjellemzőbb koncentráció-tartományát és az általuk kifejtett hatást a 2. táblázatban foglaltam össze.

2. táblázat Töltőanyagok és fontosabb hatásai

töltőanyag	műanyag	koncentráció, m/m%	javított jellemző
<i>szervetlen</i>			
CaCO ₃	PE, PVC, PPS, PB, UP	<33	ár, fénység
talkum	PUR, UP, PVC, EP, PE, PS, PP		fehér pigment, ütőszilárdság, lágyító felvétel
kvarc	PE, PMMA, EP	<45	hőstabilitás, törés
wollastonit	EP, PMMA, PUR, PP, PA, PBT, PVC, UP, PF	~20	elektromos szigetelés, keménység, vízállóság
<i>szerves</i>			
korom	PVC, HDPE, PUR, PI, PE	<60	UV-stabilitás, pigmentáció, térhálósítás
grafit	EP, MF, PB, PI, PPS, UP, PMMA, PTFE	<50	merevség, kúszás
faliszt	PF, MF, UF, UP, PP	<50	zsugorodás, ütőszilárdság
keményítő	PVA, PE	<7	biológiai lebomlás
szén nanocső	PEEK, PMMA, EP	<3	merevség, keménység, vezetőképesség (hő és elektromos)

A gyakori megközelítés az, hogy a töltőanyagok alkalmazása főleg a költségsökkentésre irányul, de közülük számos típusnak van nagyon előnyös hatása is a különböző műanyagok tulajdonságaira. Javíthatják a mechanikai tulajdonságokat, különösen a moduluszt, módosíthatják az elektromos jellemzőket, változtathatják a sűrűséget, javítják az égésállóságot és csökkentik a füstképződést az égés során.

A hőre lágyuló műanyagokban nem csak a biológiai lebomthatóság miatt alkalmazzák a különböző töltőanyagokat, hanem a mechanikai tulajdonságok javítására is. A

tulajdonságok javíthatóságának mértéke a töltőanyag típusa mellett többek között a töltőanyag méretétől és alakjától, a polimer és a töltőanyag kölcsönhatásától függ.

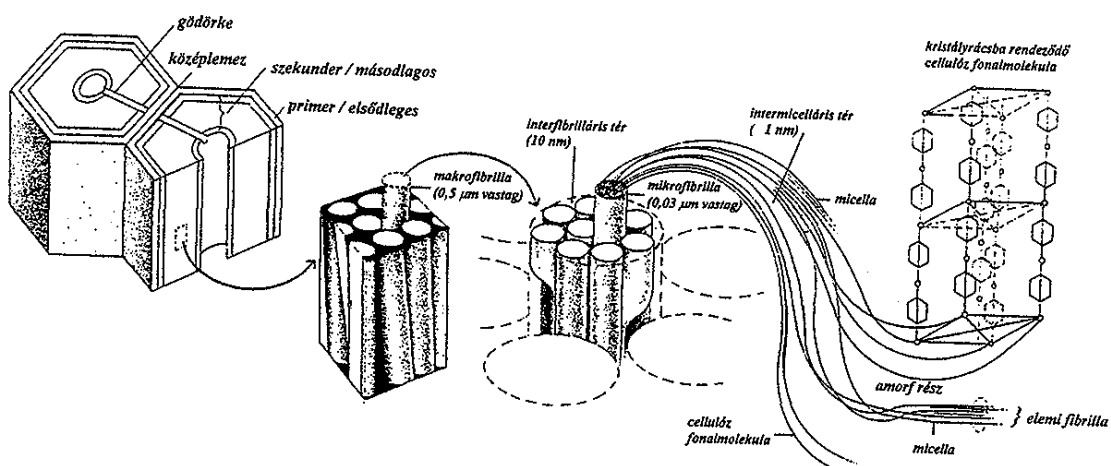
4.1. Faliszt

A faanyag szerkezeti felépítését tekintve inhomogén rendszer, amelynek kémiai, fizikai, illetve mechanikai tulajdonságai az alábbi három szerveződési szinten elemezhetők:

- Sejtfal (*szubmikroszkopikus struktúra*): finomszerkezet, kémiai összetétel;
- Sejtek, szövetek (*mikroszkopikus struktúra*): típus, méret, alak, rendeződés, előfordulási arány;
- Szövetrendszerek (*makroszkopikus struktúra*): nagyobb fateraszrészek, szíjács, évgyűrű.

A fa elemi összetétele a fotoszintézis kiinduló anyagainak (szén-dioxid és víz) elemösszetételét tükrözi. Ez a magyarázata, hogy az eltérő termőhely viszonyok mellett, a fák elemi összetétele kis eltérést mutat. A széntartalom 48,5-50,4%, az oxigéntartalom 43,4-44,5% és a hidrogéntartalom 5,8-6,3% között mozog. A faanyagot felépítő sejtfal döntő része makromolekuláris vegyület. A szerkezetileg és kémiaiilag is elkülöníthető vegyületek, illetve vegyületcsoportok a vázanyagot képező *cellulóz*, a döntően kötőanyag szerepét betöltő, aromás szerkezetű *lignin*, valamint a sejtfalban a cellulózzal szoros kapcsolatban lévő, a ligninnel is kémiai kötést kialakító szénhidrát rész, a *hemicellulóz*.

A fa sejtfalának a fő szerkezeti eleme a cellulóz mikrofibrillákká asszociálódik, nagyon erős hidrogénhid kötésekkel (2.ábra). A mikrofibrillák szerveződnek tovább fibrillákká, amelyek a fák sejtfalát felépítik. A mikrofibrillák és fibrillák nem kapcsolódnak szorosan egymáshoz, a köztük lévő teret hemicellulózok, valamint víz tölti ki. Az interfibrilláris térben lazábban kötődő, kevésbé rendezett cellulózláncok, majd rendezetlen hemicellulózok találhatóak. A hemicellulóz egységek, elsősorban oldalláncaikon keresztül a teljesen amorf ligninhez kapcsolódnak. A kialakult kötések magyarázzák az egyes komponensek elválasztásának nehézségeit. Részleges felhasításuk teszi lehetővé a fahajlítását, plasztifikálását.



2. ábra Sejtfal szerkezeti felépítése

A farészecskéket, a forgácsot, port, szálát és a fapépet egyaránt használják erősítő- és/vagy töltőanyagként. A faanyagokat általában két csoportba lehet sorolni: kemény- és puhafa, a két fő típus között jelentős kémiai összetételbeli különbség van (3. táblázat).

3. táblázat A fa kémiai összetétele

komponens	Puhafa, %	Keményfa, %
<i>Cellulóz I</i>	40-45	45-50
<i>Hemicellulózok (poliózok):</i>		
galakto-glüko-mannán	15-20	-
arabino-glükuro-xilán	10	-
glükurono-xilán	-	20-30
glükomannán	-	1,-5
<i>Lignin</i>	26-34	22-30
<i>Extraktum</i>	0-5	0-10

4.2. Keményítő

A keményítő gyakran kutatott töltőanyag, 1970-től találhatók a kutatására irányuló első publikációk. A keményítő fő alkotóeleme amiláz, amely lineáris részt képviseli, a másik pedig elágazó amilopektin. A keményítő a nyersanyagforrástól függően, eltérő arányban tartalmaz amilózt (10-20%) és amilopektint (80-90%). A keményítőmolekulák hidrofíl természetűek, mert sok hidroxil-csoportot tartalmaznak. Ezt azt jelenti, hogy a keményítő számos hidrogénkötés kialakításban részt tud venni. Az amilóz vízben oldódik és spirális szerkezetet alkot, a rövid elágazó amilopektin láncok képesek spirális szerkezetet alkotni és kikristályosodni. A hidrofíl jellegből adódóan a keményítő szerkezete könnyen változik víz hatására, és ezáltal az úgynevezett üvegesedési hőmérséklet (T_g) is. A természetes keményítő üvegesedési hőmérséklete 60-80°C. A keményítő sokféle környezetben teljesen lebontható. Hidrolizálható mikroorganizmusokkal vagy enzimmel.

5. Keményítőt tartalmazó kompozitok

Az alifás poliészterek, természetes polimerek és származékaik között a keményítő az egyik ígéretes alapanyag biológiailag lebomló műanyagok előállítására, mert olcsón és könnyen hozzáférhető a világ minden táján [1-6].

A keményítő részlegesen kristályos formában fordul elő a természetben, kiterjedt micellahálózat tartja össze, amely megnehezíti a megolvasztást és a feldolgozást. Ugyanakkor lágyító vagy más néven plasztifikáló adalékok (pl. glicerin és víz) alkalmazásával, csökkenthető a keményítő üvegesedési hőmérséklete és olvadáspontja.

A keményítő hőre lágyuló műanyagokra jellemző feldolgozási módszerekkel homogén anyaggá, úgynevezett termoplasztikus keményítővé (TPS) alakítható [4-6].

Az elmúlt két évtizedben jelentős figyelmet fordítottak a TPS alkalmazási területeinek feltárására és bővítésére a megújíthatóságának, alacsony árának, könnyű hozzáférhetőségének és könnyű kémiai és mechanikai módosíthatóságának köszönhetően. Sajnálatos módon azonban a TPS önmagában nem alkalmazható műanyagok helyettesítésére gyenge mechanikai jellemzői és nagy vízfelvevő képessége miatt. A probléma kezelésére számos stratégiát kidolgoztak a problémának a kezelésére. Ezek közül a legfontosabbak a keményítő szerkezetének módosítása, más biológiailag lebomló polimerekkel való társítása, kompatibilizáló adalék alkalmazása a keményítő határfelületi kölcsönhatásának javítására, erősítő szálak, rétegszilikátok alkalmazása [6]. Az elmúlt években nőttek az erőfeszítések a részben vagy teljes mértékben biológiailag lebomló műanyagok fejlesztése iránt is, amelyek keményítőből és szintetikus polimerből készülnek.

A keményítőt tehát alapvetően kétféleképpen lehet alkalmazni biológiailag lebomló kompozitok előállítására, amelynek módszerei eltérnek egymástól. Egyrészt, a természetes keményítő úgynevezett termoplasztikus vagy plasztikus keményítővé (TPS) alakítható, amely a természetes keményítő szerkezetének széttörésével, majd lágyításával érhető el. Lágyítószerként vizet és különböző lágyító komponenseket pl. (glikolt) használnak. Sajnálatos módon ezeknek a termékeknek a tulajdonságai nem elégítik ki teljes mértékben pl. a csomagolóipari követelményeket

Másrészt a komposztálható, többretegű anyagok vagy blendek TPS és biológiailag lebomló polimerek elsősorban biológiailag lebomló poliészterek társításával készülnek. Ezek a blendek meglehetősen jó vízállósággal rendelkeznek, de a mechanikai tulajdonságaik elég gyengék. A TPS-poliészter összeférhetőség többé-kevésbé gyenge.

1990-es évek elején a keményítőt tartalmazó kompozitokban polietilén volt a mátrix, amely 6% koncentrációban tartalmazott keményítőt. A biolebonthatóságot tekintve nem érték el kimagaslóan jó eredményeket ezekkel a kompozitokkal, mert a várakozásokkal ellentétben a termékek szétestek ugyan alkotóelemeikre, de a molekulaszervezetben nem történtek változások. A fejlesztések ezt követően az összetételek módosítására irányultak, és ezzel együtt a feldolgozási módszerek módosítására is szükség volt. A korábban teljes egészében keményítőt tartalmazó kompozitok helyett keményítőtartalmú komponenseket kezdtek el alkalmazni, amelyek különböző lágyítószerkezetet, pl. vizet tartalmaztak. A márkatermék (Novon) elágazó (70%) és lineáris (30%) keményítőt tartalmazott, amelyben lágyító komponensként glicerint használtak. Az elmúlt években azonban nagy haladást értek el a mezőgazdasági alapanyagból, pl. burgonya, kukorica, rizs vagy búzakeményítőből előállított biológiailag lebomló termékek fejlesztése kapcsán [3].

A keményítő műanyagba való bekeverése por formájában még nem okoz komoly feldolgozási nehézségeket a hagyományos módszerek esetén, mert pl. extrúzióval viszonylag egyszerűen elő lehet állítani a terméket [7]. A keményítőnek önmagában a legtöbb szintetikus polimerrel gyenge az összeférhetősége, a hatékony diszperzió és kölcsönhatások elérése érdekében a keményítőtartalmú töltőanyagot előzetesen elő kell állítani. A természetes keményítőt azonban módosítani kell, mivel gyenge az ömledék állapotban történő feldolgozhatósága. Erre azért van szükség, mert a keményítőnek mind az üvegesedési hőmérséklete ($T_g=230^\circ\text{C}$), mind pedig az ömledék hőmérséklete ($T_o=220-240^\circ\text{C}$) a bomlási hőmérséklete fölött van ($T_b=220^\circ\text{C}$). A természetes keményítőből lágyító adalék, főleg különböző glikolok hozzáadásával lehet hőre lágyuló polimert előállítani, mert ezek hatására csökken a keményítő üvegesedési hőmérséklete megfelelő mechanikai és termikus viszonyok között. Manapság a keményítőt extrúzióval plasztifikálják $120-220^\circ\text{C}$ hőmérséklet-tartományban. A keményítő természetéből adódóan a nedvesség-tartalom, a nyomás, a hőmérséklet, a lágyító adalék típusa és mennyisége jelentősen befolyásolja az átalakulás hatékonyságát [7, 10].

A hagyományos TPS-t előállításakor lágyító komponensként nemcsak glicerint, hanem pl. poliolkat, acilamidokat is alkalmaznak, de az így készült anyagban hosszú ideig tartó tároláskor kristályosodás indul meg, amelynek hatására a mechanikai tulajdonságok romlanak.

A karbamid megakadályozza a keményítő újrakristályosodását. Yu és mtsai formamidot használtak a TPS-hez lágyító komponensként, ezeknél az anyagoknál nem volt újrakristályosodás, de a szilárdság alacsony volt. Kaolin jelenlétében javultak a TPS jellemzői, de a vízállóság továbbra is gyenge maradt. Park és mtsai pedig TPS/rétegszilikát hibrid kompozitokat állítottak elő, amelyek azonban a viszonylag

magas lágyító tartalom miatt a gyakorlatban csak nagyon korlátozott mértékben alkalmazhatók [2].

A termoplasztikus keményítő előállítása többféleképpen történhet a rendelkezésre álló alapanyagoktól függően. Ennek bemutatására néhány példát ragadtam ki a szakirodalomból. Például Avérous és mtsai 26% amilózt és 74% amilopektint tartalmazó a búzakereménýtőből, 99,5% tisztaságú glicerinnél és a 99% tisztaságú Mg-sztearáttól állítottak elő TPS-t. A kompozit 18 m/m% glicerint, 12 m/m% vizet tartalmazott. A glicerinn/keményítő aránya 0,26 volt. Először az ún. száraz blendet állították elő, amelyhez a természetes keményítőt a glicerinnel ~ 2000/perc fordulatszámon keverték össze. Ezt követően a masszát szárítószekrényben 170°C-on, 45 percig szárították, hogy a glicerinn átjárja a keményítőt, és eközben a víz eltávozzon. A termék hűtése után a keverőbe vizet adagoltak, a meghatározott víztartalom elérése érdekében. A cellulóz szálakat ugyancsak keverőben, 2500 fordulat/perc fordulatszám mellett homogenizálták. A szálakat is tartalmazó keverékeket kétszer homogenizálták egycsigás extruderben, annak érdekében, hogy javítsák a szálak eloszlását a TPS mátrixban. A szálakat tartalmazó mintákat a víz hozzáadása után egyszer extrudálták. Valamennyi mintát 8 napig 65% páratartalom mellett tartották. A fröccsöntés 100-130°C hőmérsékleten 1500 bar nyomáson történt [3].

Lu és mtsai [6] a száraz keményítőt és glicerint 10 percig kevertették, majd 30 percig állni hagyták 140°C-on, hogy a glicerinn átjárja a keményítőt. A polimer előállítása során 70:20:10 arányt alkalmaztak (keményítő:glicerinn:víz) és víz hozzáadása után egycsigás extruderben 40/perc fordulaton 105-120°C hőmérséklet-tartományban állították elő a terméket [10].

Huang és mtsai [10] a kukoricakereménýtőből indultak ki, termékeikben a glicerinn és a kukoricakereménýtő aránya 3:1 (m/m%) volt. A két anyagot 2 percig kevergették, 3000/perc fordulat számon, majd 36 órán át állni hagyták, hogy a glicerinn átjárja a keményítőt. Ezt követően adagolták egy egycsigás extruderbe 20/perc fordulatszámon. A polimer előállítása után újraextrudálták a mintát miközben 110-120°C-on hozzákeverték a montmorillonitot [2]. Matzinos és mtsai [10] három lépésben állították elő a kompozitokat. Az első lépés során az iker-csigás extruderbe a plasztifikáló komponenst, jelent esetben a glicerint, 20m/m%-ban folyamatosan adagolták, 60/100/150/180/170/130/90°C hőmérséklet profil mellett 80/perc fordulatszámon. A második lépés LDPE/TPS keveréket extrudálták 160-180°C hőmérséklet-tartományban profil 80/perc fordulatszámon. Kompatibilizáló adalékként maleinsav-anhidriddel ojtott polietilént (MA-PE) alkalmaztak A TPS tömegére vonatkoztatva 10m/m%-ban. A kompozitokat végül fröccsöntötték 60 bar nyomáson 170-190°C-on.

A megújíthatóság, biológiai lebomlás megőrzésére és a mechanikai ellenállás javítására a cellulóz szálak és TPS együttes alkalmazhatóságát is vizsgálták [3]. Néhány publikációban arról számoltak be, hogy a cellulóz szálak vagy mikroszálak formájában a TPS mátrix szakítószilárdságát javítják (4.táblázat). Emellett jelentős vízállóság-javulás érhető el már kismértékű (max. 15%) cellulóz szál hozzáadásával. Ez a viselkedés annak köszönhető, hogy a cellulóz szálak hidrofób jellegűek szemben a keményítő természetével. Emellett azt is kimutatták, hogy a termikus stabilitás is javul.

4. táblázat Néhány keményítőtartalmú kompozitok mechanikai jellemzői

Mátrix	Töltő- anyag	Adalék	Gyártás és technológia	Húzó-szilárdság (MPa)	Húzó-modulusz (MPa)	Szakadási nyúlás (%)
TPS	-	glicerín	extrudálás, fröccsöntés	3,6	87	124
TPS (9v/v%)	-	glicerín	extrudálás, fröccsöntés	7,92	435	24,8
TPS (17 v/v%)	-	glicerín	extrudálás, fröccsöntés	16,56	783	12,4
GTPS (kukorica keményítő)	-	glicerín	extrudálás	3,53	38,15	85,32
GTPS	-	mont- morillonit	extrudálás, fröccsöntés	25,45	206	17,82
LDPE/TPS	-	MA-PE	extrudálás, fröccsöntés	10	222	100
LDPE/TPS/PC L (75%)	PCL (25%)	MA-PE	extrudálás, fröccsöntés	7,5	213	30
LDPE/TPS (25%)	PCL (75%)	MA-PE	extrudálás, fröccsöntés	12,5	240	450

6. Falisztet tartalmazó kompozitok

A fa/polimer kompozitok (WPC) jelentős érdeklődésre tettek szert az iparban elsősorban amiatt, hogy hőre lágyuló műanyag alapú termékek, amely egyrészt lehetővé teszi a kompozitok feldolgozását hagyományos eljárásokkal, másrészt a gyártásközi hulladékok vagy a hulladékká vált termékek a hasznos életük végén újrahasznosíthatók. Az elmúlt évtizedben nagy erőfeszítéseket tettek annak elérése érdekében, hogy a farost valódi erősítő hatást is kifejtson a kompozitokban, ne csak töltőanyagként funkcionáljon. A WPC-k mechanikai tulajdonságainak javításával foglalkozó publikációkban elsősorban a különböző felületkezelési módszereknek a szál és a mátrix közötti határfelületi adhézióra kifejtett hatásával foglalkoztak, és számos kompozitban tanulmányozták a terhelésadást a szál és a mátrix között [11].

A WPC-k számos előnnyel rendelkeznek, pl. csökkentik a felhasznált polimer mennyiségét, alkalmazásuk olcsó, megújuló anyagok, a farost CO₂-semleges komponensnek tekinthető, könnyen hozzáférhető, valamint nagy koncentrációban alkalmazható [11-12]. Emellett a kompozitok hatékony módszerekkel, pl. extrúzióval és fröccsöntéssel feldolgozhatók. Hátrányaik a fa higroszkópos jellegéből adódnak.

A faliszttel erősített kompozitok fő hátránya, hogy vízre érzékenyek és viszonylag gyenge a méretbelistabilitásuk. Emellett hátrányos az is, hogy a farostok jellemzői változnak hellyel és korral, valamint a farészecskék többnyire csak gyenge kölcsönhatásba lépnek gyakorlatilag az összes polimer mátrixszal [12-13].

Falisztet elsősorban PP-ben és PE-ben alkalmaznak [14]. Ennek oka, hogy a feldolgozás során alkalmazható hőmérséklet a faliszt degradációja miatt nem lehet túlságosan magas, ez a két tömegműanyag pedig alacsonyabb hőmérsékleten is extrudálható például. A feldolgozás módszerét és körülményeit a töltőanyag szemcsemérete és alakja jelentősen befolyásolja.

A gyenge összeférhetőség miatt e két komponensből előállított kompozitok mechanikai tulajdonságai várhatóan gyengék lesznek. Ennek csökkentésére úgynevezett kompatibilizáló adalékokat alkalmaznak, amelyek a kémiai szerkezetükből adódóan a két komponens közötti kölcsönhatást, és ezáltal a kompozitok mechanikai jellemzőit javítják.

Számos kutatást végeztek az elmúlt évtizedekben a fa és a műanyag közötti adhézió javításának területén, pl. a különböző típusú kapcsoló ágensek fejlesztésével kapcsolatosan. Leggyakrabban ezek közül a maleinsav-anhidriddel ojtott poliolefineket,

pl. MA-PP-t alkalmazzák, de viszonylag magas 3-10% koncentrációban. Ez a típusú adalék a maleinsav-anhidrid gyűrűvel tud a töltőanyaghoz kapcsolódni, míg az adalék vázát képező PP lánc a polimer irányában tud erősebb kölcsönhatást kialakítani. Ez egyfajta kémiai hídát eredményez a hidrofób jellegű polimer és a hidrofil jellegű töltőanyag között [12]. Készültek publikációk más típusú kapcsoló ágensek, pl. szilánok, izocianátok hatásvizsgálatáról is [12-15].

Számos felületkezelési/módosítási módszert dolgoztak ki a hőre lágyuló, fatartalmú kompozitokhoz, amelyekben azonban közös az, hogy alapvetően a fa-fa kölcsönhatások csökkentésére és a fa-polimer kölcsönhatások javítására irányultak [12, 13, 15].

Több publikációban [16, 17] beszámoltak arról, hogy a faliszttal töltött PP kompozitok tönkremenetele során négy mikromechanikai deformációs folyamat fordul elő. Ezek a folyamatok pl. akusztikus mérésekkel azonosíthatók [7-9]. Pukánszky és mtsai [16-17] kutatásai alapján a polimer mátrix főként nyírási folyással deformálódik, amely nem bocsát ki sok hangot. Faliszt jelenlétében a részecskékhez köthető deformációs folyamatok indulnak meg. Kompatibilizáló adalék nélkül a fázisszétválás dominál, amely nagyon kicsi deformáció és feszültség hatására már elkezdődik. Közepes feszültség szinten, a nagy részecskék fázisszétválasztása után a szálak kihúzódása következik be. A funkcionizált polimer típusú adalék alkalmazása jelentősen növeli a határfelületi adhéziót, és ezáltal megváltoztatja a deformációs mechanizmust. Habár közepes feszültség szinten a nagyon nagy részecskénél fázisszétválasztásra kerül sor, az uralkodó deformációs folyamat mégis a részecskék törése. A fázisszétválasztás mellett pl. az aggregátumok szétesése ugyancsak előfordul a kompozitok tönkremenetele során a részecskék törése. Az irodalmi adatokkal összhangban, a határfelületi adhézió döntő szerepet játszik a kompozitok tulajdonságainak meghatározásában, és a funkcionizált polimerek alkalmazása jelentősen befolyásolja a mechanikai szilárdságot (5.táblázat).

Az eredmények alapján a kompozitok szilárdsága részecskék közötti kötőerő növelésével javítható. A komponensek közötti gyenge tapadás azt eredményezi, hogy a komponensek terhelés hatására elválnak egymástól, ez pedig a termék fokozatos tönkremeneteléhez vezet. A terhelés nagysága, amelynek hatására a tönkremenetel elindul, függ a töltőanyag szemcseméretétől, a mátrix merevségétől/szívósságától és a határfelületi kölcsönhatások erősségétől [7-9, 16-17]. Mivel a faliszt részecskéi nagynak számítanak, és könnyen elválnak a polimertől, a tönkremeneteli folyamatot csak a komponensek jobb tapadásával lehet elkerülni.

A fa/polimer kompozitokat különböző ömledékkeveréssel eljárásokkal állítják elő. Pl. összekeverik egy keverőben, majd fröccsöntik, vagy extruderben homogenizálják és extrúziós terméket készítenek.

A hőre lágyuló műanyagból készült termékek tulajdonságai nagymértékben függenek a feldolgozási technológiától, ugyanis a gyenge diszperzió és a rostok gyenge nedvesíthetősége, illetve a korlátozott termikus stabilitás általában nem megfelelő szintű jellemzőkkel rendelkező WPC terméket eredményez.

Az elmúlt két évtizedben a WPC-k kutatása területén a kis farosttartalmú (10-40 m/m%) kompozitok előállítására fókuszáltak, és csak viszonylag kevesen foglalkoztak a jóval nagyobb farosttartalmú kompozitok előállításával. A legnagyobb problémát a nagy farosttartalmak esetén a rostok agglomerációja jelenti, amely a nem megfelelő diszperzió következménye. Ebből kifolyólag a farostokat és a finom faliszt sokkal inkább alkalmazzák az ilyen kompozitok előállítására, mint a faforgácsot, mivel ez utóbbiaknak nem megfelelő a diszperziója és gyenge a nedvesíthetősége. Ugyanakkor a faforgács esetében nincs szükség szétválasztásra és előzetes felületkezelésre, és olcsóbbak, mint a farostok, gazdasági szempontból tehát kedvező lenne az alkalmazása.

A feldolgozási nehézségeket a reológiai jellemzők alapján az okozza, hogy a farosttartalom növelésével nagymértékben megnő a viszkozitása az olvadék állapotban lévő műanyag-fa blendnek, és ez behatárolja a nagy rosttartalmú kompozitok előállítását. Ezeknek a hatásoknak a csökkenésére az egyik megoldás az lehet, ha nagy folyásindexű (MFI) műanyagot alkalmazunk, amely kompenzálni tudja a nagy farosttartalom miatt bekövetkező viszkozitás-növekedést [13].

A tapadást gyakorlatilag mindig javítani kell az elfogadható tulajdonságok elérése érdekében a faliszttal töltött kompozitokban. A kompozitok merevségét nem befolyásolja számottevően a funkcionális polimer (MA-PP) jelenléte, de a szilárdságot jelentősen megnöveli. A polimer húzó- és hajlítószilárdsága rendszerint csökken a töltőanyag-tartalom növekedésével a kapcsoló anyag nélkül (5. táblázat), de a változás iránya megfordítható és jelentős növekedést lehet elérni a funkcionális polimerek segítségével [7-9].

Ellentmondó információk állnak rendelkezésre a funkcionális polimerek mennyiségének a kompozit tulajdonságaira gyakorolt hatásáról [7-9]. Egyes források azt állítják, hogy a húzó- és hajlítószilárdság, valamint az ütőszilárdság a kompatibilizáló adalék koncentrációjának függvényében elér egy maximumot, de a legtöbb kutatócsoport nem vizsgálta még ezt a kérdést, csak alkalmazzák a kapcsoló ágenseket, a fa tömegére vonatkoztatott, adott koncentrációban. Hasonlóképpen nem teljesen világos az adalék jellemzők, azaz a molekulatömeg és funkcionális mértékének hatása a kompozit tulajdonságaira. Több publikációban megállapították [7-9], hogy a nagyobb molekulatömegű és kevesebb funkcionális csoportot tartalmazó adalék előnyösebb, mint az ellenkező tulajdonságokkal rendelkező. A következtetéseket a szakítószilárdság mérése és a határfelületi nyírószilárdság alapján vonták le, de a hasonló tanulmányok száma korlátozott, és többnyire nem adnak kielégítő magyarázatot e tényezőknek a kompozit tulajdonságaira kifejtett hatására.

5. táblázat Néhány farostot tartalmazó kompozitok mechanikai jellemzői

Mátrix	Töltő- anyag	Adalék	Gyártás és technológia	Húzó- szilárdság (MPa)	Húzó- modulusz (MPa)	Szakadási nyúlás (%)	Hajlító- szilárdság (MPa)	Hajlító modulusz (MPa)
MMFI	-	-	keverés, extrudálás	20,89	-	-	22,5	916
LMFI	-	-	keverés, extrudálás	22,2	-	-	23,9	1102
MMFI (20%)	farost	-	extrudálás	25	2000	7	32,5	2000
MMFI (40%)	farost	-	extrudálás	18	2980	3,5	35	2800
MMFI (60%)	farost	-	extrudálás	11	3300	1,5	24	3200
LMFI (20%)	farost	-	extrudálás	18	1400	7	24,5	1200
LMFI (40%)	farost	-	extrudálás	13	1800	3,8	24	1500
LMFI (60%)	farost	-	extrudálás	7,5	1700	1,7	16	1500
HDPE		-	extrudálás, préslés	19,1	694,3	-	-	-
HDPE	20% farost	-	extrudálás, préslés	18,8	1116,7	6,3	-	-
HDPE	30% farost	-	extrudálás, préslés	17,8	1365,3	2,9	-	-
HDPE	40% farost	-	extrudálás, préslés	17,5	1490,2	2,1	-	-
HDPE-RT	farost	vinil- trimetoxi- szilán	extrudálás, préslés	-	-	-	30,5	1100
HDPE40- RT	farost	vinil- trimetoxi- szilán	extrudálás, préslés	-	-	-	3	3000

A teljesség igénye nélkül néhány falisztet tartalmazó kompozit előállításának lépéseit részletezem a következő bekezdésekben.

A fa kompozitok előállítása során a farostot előzetesen 24 órán keresztül szárítani kell, amely általában 80°C vagy 100 °C-on történik. Ezt követően kétféle előállítási út következhet. Vagy gyorskeverőben homogenizálják a komponenseket vagy extruderben. Bledzki és mtsai [18] a polimert, a falisztet a kompatibilizáló adalékkal (5%) gyorskeverőben homogenizálták, majd granulátumokat állítottak elő, amelyekből a vizsgálatokhoz szükséges próbatesteket 150-180°C hőmérséklet-tartományban fröccsöntötték.

Bengtsson és mtsai [12] a falisztet 100°C-on, 24 órán keresztül szárították. 11 zónás ikercsigás extruderben, 175-200°C hőmérsékleten, 150/perc fordulatszámon és az összetételtől függően 23-70 bar nyomás mellett állították elő a kompozitokat. Az erősítőanyagot a 4.zónához kapcsoló oldaladagolón keresztül keverték az ömledék állapotban lévő polimerhez. A granulátumokból pedig 1 mm vastagságú lapot állítottak elő [12].

Balasuriya és mtsai ikercsigás extruderben állították elő a kompozitokat. A farostot oldaladagolón keresztül adagolták a polimerhez a 2 keverő zónával, 2 olvasztó zónával rendelkező extruderben. A hőmérséklet 160-200°C, a fordulatszám 200/perc volt. A kompozitok 10-70m/m%-ban tartalmaztak erősítőanyagot. A granulátumot 200°C-on, 10 percig, 1 MPa nyomás mellett préselték [13].

7. Felhasználás

A biológiailag lebomló kompozitok alkalmazási területei az elmúlt néhány évtizedben jelentősen bővültek. Az intenzív kutatások hatására pl. évente több mint 1,5 millió tonna falisztet tartalmazó kompozitot (WPC) használnak fel. Piacvezető szerepe az Amerikai Egyesült Államoknak van, a WPC termékek csaknem kétharmadát ott állítják elő. Európa a második helyen van e tekintetben, majd Japán követi. Európában Németországa a piacvezető főleg a fejlett feldolgozó gépek miatt.

Ezen kompozitok legfontosabb alkalmazási területei az autópárhban vannak, ahol beltéri elemeket állítanak elő faliszt/polimer kompozitokból. Padlók és burkolóelemek is készülnek belőlük kültéri használatra, de a nagy vízfelvétel miatt a nedves környezetben könnyen deformálódhatnak, jelentősen romlik a méretstabilitásuk.

8. Kísérleti rész

A környezetvédelmi jelentőségének növekedésével a biológiailag teljes vagy részben lebomló kompozitok kutatásával intenzíven foglalkoztak az elmúlt két évtizedben. Nagy erőfeszítéseket tettek annak érdekében, hogy a petrolkémiai alapanyagokból előállított műanyagokat biopolimereket és biokompozitokkal helyettesítsék. Ezt azonban mai napig több tényező akadályozza. Többek között a hagyományos műanyagokhoz képest a késztermékek gyengébb mechanikai jellemzői, a magas ár. Emellett nehézséget okoz még az is, hogy feldolgozásuk még nem teljesen megoldható a hagyományos műanyag-feldolgozó berendezéseken, pl. fröccsöntőgép, fóliafűró.

Egyfajta kompromisszumos megoldás lehet, ha a tömegműanyagokban, pl. PP-ben, biológiailag lebomló komponenseket alkalmazunk. Ezzel részben biológiailag lebomlóvá tudjuk tenni a készterméket, ezáltal csökkenthető a környezetterhelés, másrészt gazdasági szempontból is kedvező lehet, mert olcsó alapanyagokból indulunk ki.

Kísérleti munkám során ezért biológiailag lebomló töltőanyagokat alkalmaztam polipropilén mátrixban. A korábbi tanszéki előkísérletek során megállapított feldolgozási és mechanikai tulajdonságok szempontjából előnyös koncentráció tartományon belül változtattam a biológiailag lebomló töltőanyagok arányát, majd a húzó mechanikai tulajdonságok és a homogenitás változását vizsgáltam.

8.1. Felhasznált anyagok

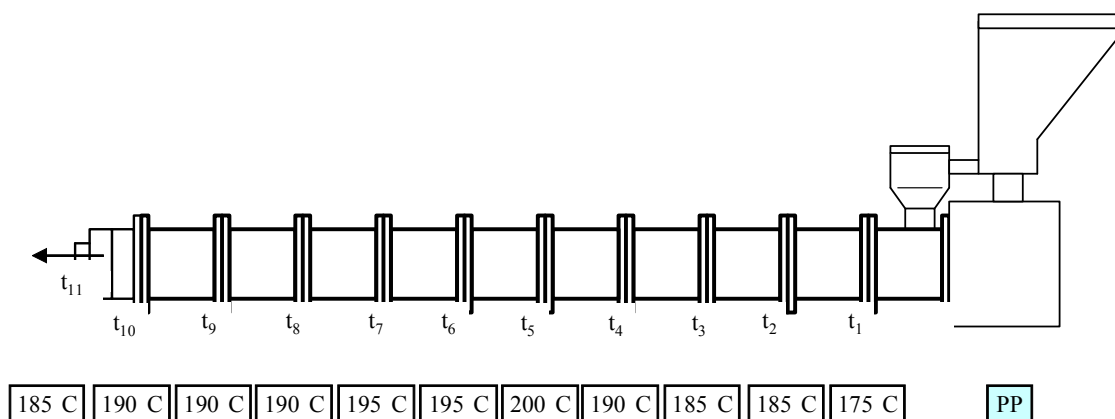
A kompozitok mátrixanyagaként kereskedelmi forgalomban kapható PP granulátumot (Ineos GmbH, MFI=9g/10perc, 230°C, 2,16kg) alkalmaztam. A kompozitok töltőanyaga a Pannon Egyetem, MOL Ásványolaj- és Széntechnológiai Intézeti Tanszékén előállított kukoricakeményítőből készült biológiailag lebomló töltőanyag és faliszt volt. A keményítőtartalmú töltőanyagok fontosabb jellemzőit a 6.táblázatban foglaltam össze.

6. táblázat Kísérleti keményítőtartalmú töltőanyagok főbb jellemzői		
reagens típus	koncentráció, m/m%	
	KM-1	KM-2
keményítőtartalmú alapanyag	98,8	89,3
típus	poliészter	poliészter-amid
funkcionalizált növényolaj-származék	1	10
poliol	0,2	-
polialkanol-amin	-	0,7
reagens tömegarányok (apoláris/poláris)	5	14

A mintegy 50m/m% keményítőt tartalmazó töltőanyagokat (KM-1 és KM-2) a Tanszéken kidolgozott kétlépcsős eljárással állítottam elő, amelyek alapanyagához biológiailag lebomló komponenseket, pl. glicerint használtam fel. A komponensek közötti kötések kialakítása érdekében több napig tartó hőkezelést alkalmaztam.

8.2. Kompozitok összetétele és előállítása

A biológiailag lebomló töltőanyagot tartalmazó kompozitokat LabTech gyártmányú ikercsigás extruderben állítottam elő. A korábbi tanszéki előkísérletek alapján meghatározott hőmérsékletprofil és csiga fordulatszámok (3. ábra) mellett készültek a megfelelő összetételű minták (7.táblázat).



3. ábra Kompozitok előállítása ikercsigás extruderben

Mivel a feldolgozás során alkalmazott 180-200°C közötti hőmérséklet-tartományban a keményítőtartalmú töltőanyag és a faliszt egyaránt károsodhat, a töltőanyagokat a 6-os zónához csatlakozó oldaladagolóval kevertem az ömledék állapotban lévő polimerhez. Így csökkenteni tudtam a tartózkodási időt az extruderben, ezáltal a termékek elszíneződése is csökkenthető volt. A töltőanyagok együttes koncentrációját 50 tömegszázaléknak választottam, és a két típus arányát ezen belül változtattam (7. táblázat).

7. táblázat Biológiai lebomló töltőanyagot tartalmazó PP kompozitok összetétele

minta jele	keményítőtartalmú töltőanyag		faliszt m/m%	koncentrációja,
	típusa	koncentrációja, m/m%		
BIO-1	KM-1	50	0	
BIO-2	KM-1	35	15	
BIO-3	KM-1	25	25	
BIO-4	KM-1	15	35	
BIO-5	KM-2	50	0	
BIO-6	KM-2	35	15	
BIO-7	KM-2	25	25	
BIO-8	KM-2	15	35	
BIO-9	-	0	50	

A minták hővel szembeni érzékenységét is tanulmányoztam, vagyis az extrudált mintákból préseléssel lapokat is készítettem 180°C-on, 1,4MPa nyomáson. Ezekből a vizsgálatokhoz szükséges 10 x 2 x 90 mm méretű próbatesteket kivágtam.

8.3. Vizsgálatok

Az extrudált szálak és a préselt lapokból kivágott próbatestek húzó jellemzőit is INSTRON 3345 típusú univerzális szakítógéppel határoztam meg 90mm/perc keresztfej-elmozdulási sebesség mellett. A laboratóriumban a hőmérséklet 23°C, a relatív páratartalom pedig 50% volt. A vizsgálat előtt valamennyi mintát szárítószekrényben kondicionáltam 5 órán keresztül, 80°C-on.

9. Eredmények és értékelés

9.1. Kompozitok mechanikai jellemzői

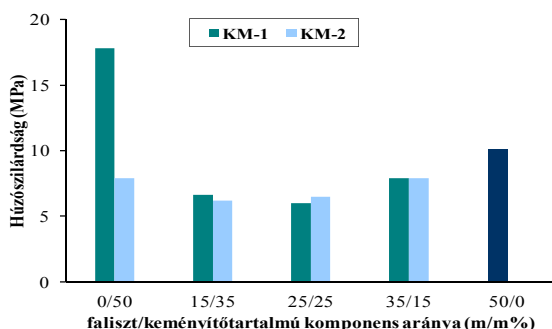
9.1.1. Töltőanyagok arányának hatása

A faliszt/keményítőtartalmú komponens arányának húzószilárdságra gyakorolt hatását mutatja az (4. ábra).

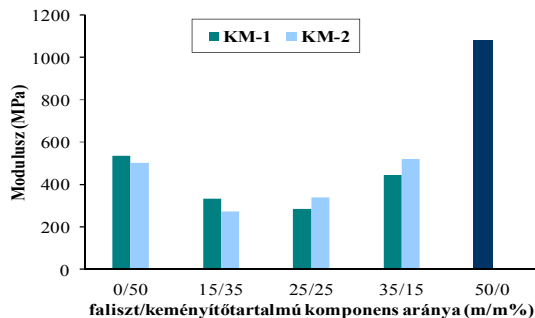
Megállapítottam, hogy a húzószilárdság szempontjából a két különböző keményítőtartalmú komponens (KM-1 és KM-2) hatása között nem mutatkozott jelentős különbség a falisztet is tartalmazó mintáknál, mert a húzószilárdság mindkét esetben minimumgörbe szerint változott a faliszt koncentrációjának növelésével. Az 50% falisztet tartalmazó PP esetben növekedés volt tapasztalható a 35% faliszt-tartalmú mintához képest, de a húzószilárdság így is csak mintegy 40%-a volt a tiszta polimerének.

A keményítőtartalmú komponensek (KM-1 és KM-2) összetételbeli eltérése viszont jelentős húzószilárdság-különbséget okozott a tisztán keményítőtartalmú töltőanyagot tartalmazó PP kompozitok esetén. A KM-1 összetételű kompozit (BIO-1)

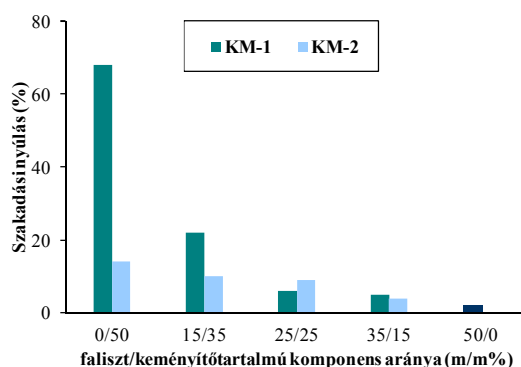
húzószilárdsága mintegy kétszerese volt a KM-2 jelű töltőanyagot tartalmazó kompozit (BIO-5) húzószilárdságának.



4. ábra Húzószilárdság alakulása a lebomló komponensek arányának és összetételének függvényében (PP:27,7 MPa)



5. ábra Modulusz alakulása a lebomló komponensek arányának és összetételének függvényében (PP:1150 MPa)



6. ábra Szakadási nyúlás alakulása a lebomló komponensek arányának és összetételének függvényében (PP:60%)

A húzó modulusz esetében (5.ábra) a két keményítőtartalmú töltőanyag (KM-1 és KM-2) hatása között átlagosan 10%-os különbséget mértem ugyanolyan arányú összetételekkel jellemezhető kompozitoknál. A polimer mátrix merevsége jelentősen, mintegy felére csökkent a töltőanyagok alkalmazásának hatására, a csak falisztet tartalmazó kompozit (BIO-9) modulusza azonban nem csökkent a polimeréhez képest. A modulusz ilyen mértékű csökkenését ezek alapján elsősorban a keményítőtartalmú töltőanyag okozta. Megállapítható, hogy a modulusz szempontjából a KM-1 és KM-2 jelű töltőanyagokban a keményítő mellett alkalmazott további komponenseknek nincsen olyan jelentős szerepe, mint a húzószilárdság esetén. Ez összhangban van a szakirodalmi adatokkal is, amelyek szerint a moduluszt a töltőanyag/mátrix kölcsönhatás általában nem befolyásolja [9].

A szakadási nyúlás (6.ábra) a faliszt/ keményítő tartalmú komponens arányának növelésekor jelentősen csökkent. A két különböző keményítőtartalmú töltőanyag (KM-1 és KM-2) hatása között a szakadási nyúlás szempontjából még így is jelentős különbség mutatkozott. KM-1 töltőanyag esetén (BIO-1) mintegy háromszoros értéket mértem a KM-2 töltőanyagot tartalmazó kompozit (BIO-5) szakadási nyúlásához képest. Vagyis a keményítő mellett alkalmazott további komponenseknek jelentős szerepe volt ennél a jellemzőnél is. A szakadási nyúlást tekintve a KM-1 jelű töltőanyag alkalmazása előnyös, mert egyedüli töltőanyagként felhasználva a tiszta polimerre mért 60%-os szakadási nyúlást is meghaladja 13%-kal. A faliszt alkalmazásával viszont nagymértékben lecsökkent a KM-1 töltőanyag/PP kompozitok rugalmassága, ami valószínűleg a húzószilárdságnál tapasztalt változásokat is figyelembe véve, a leromlott töltőanyag/mátrix kölcsönhatásnak köszönhető. Kevés (15%) faliszt bedolgozásakor a

többihez viszonyítva még nagy (20%) szakadási nyúlást mértem, de ez már így is csak mintegy 35%-a volt a töltetlen polimer szakadási nyúlásának. A 35%-ban falisztet is tartalmazó mintánál már 5%-ra csökkent a szakadási nyúlás, tehát minél jobban növeltem a faliszt arányát, az annál kisebb szakadási nyúlást eredményezett. KM-2 töltőanyag alkalmazásakor alapvetően kis értékű szakadási nyúlás mértem, ami tovább csökkent a faliszt bekeverésének hatására, de ez egészen a 25/25 bekeverési arányig nem volt jelentős. KM-1 minta alkalmazásakor tehát a legjobb kölcsönhatás feltételezésem szerint a tisztán KM-1 töltőanyagot tartalmazó PP kompozitokban (BIO-1) alakulhatott ki.

A mechanikai tulajdonságok alapján tehát a keményítő mellett alkalmazott további komponenseknek is jelentős szerepe van. Míg KM-1 jelű minta elsősorban nagy szénatomszámú, egyenes láncú részeket, ezen belül számos éterkötésű oxigént tartalmaz, addig a KM-2 jelű minta e helyett kis szénatomszámú, nagy nitrogéntartalmú komponenst tartalmaz. Emiatt KM-1 tartalmú kompozitok esetében a biolebomló töltőanyag a polimer mátrix irányában valószínűleg apoláris természetű, míg a KM-2 minták polaritása nagyobb, emiatt az apoláris jellegű PP-vel csak gyenge kölcsönhatás alakulhatott ki.

Ezt a feltételezést alátámasztja egyrészt az is, hogy a KM-1 típusú anyagot tartalmazó PP kompozitok esetén a húzószilárdságnál tapasztalt csökkenő tendencia egyértelműen a faliszt bedolgozásának volt a következménye. A faliszt tehát, poláris természetéből adódóan lerontotta a kétkomponensű rendszerben feltételezett kedvező kölcsönhatást.

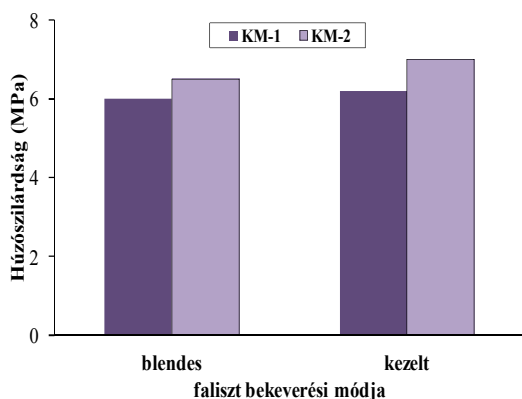
Mivel ilyen kiugró eltéréseket a KM-2 jelű anyag mellett faliszt alkalmazásakor nem tapasztaltam a tisztán KM-2 jelű töltőanyagot tartalmazó PP kompozit húzószilárdságához képest, valószínűsítettem, hogy a polárisabb jellegű KM-2 felhasználásával alapján véve gyenge kölcsönhatás alakulhatott ki a polimer mátrixszal, amit már csak kisebb mértékben rontott a faliszt bekeverése.

9.1.2. Faliszt bekeverési módjának hatása

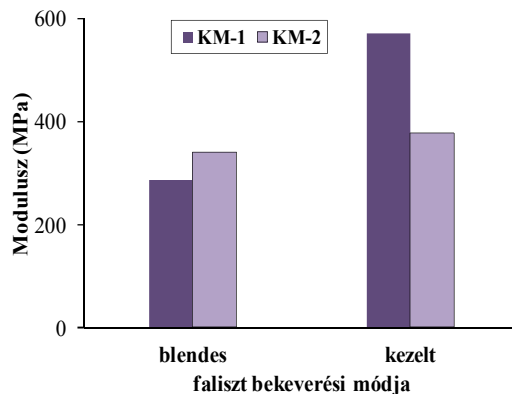
A blendes bekeveréssel és felületkezelt eljárással előállított kompozitok szakítási felületét is pásztázó elektromikroszkópos felvételeken tanulmányoztam.

Kísérleti munkám során vizsgáltam a faliszt bekeverési módjának hatását is a 25/25 összetételű töltőanyagot tartalmazó PP esetén. Blendes bekeverésnek neveztem el, amikor a két, külön-külön szárított töltőanyagot a feldolgozáskor, közvetlenül az oldaladagolóba beadagolás előtt kevertem össze. Kezelt módszernek pedig azt tekintettem, amikor a falisztet és a keményítőtartalmú komponenst együttesen vetettem alá a hőkezelésnek a feldolgozást megelőzően, és a kiszárított keveréket dolgoztam be az extruderben.

A (7.ábra) faliszt bekeverési módjának hatását mutatja PP kompozitok húzószilárdságára. A húzószilárdság szempontjából a két különböző bekeverési módszer hatása között nem mutatkozott jelentős különbség. A KM-1 jelű töltőanyag bedolgozásánál 0,8 MPa húzószilárdság-különbséget mértem a blendes és a kezelt módszerrel előállított töltőanyagot tartalmazó kompozit között. A KM-2-es jelű anyag bedolgozása során is csak 0,5 MPa különbség volt a két módszer között.

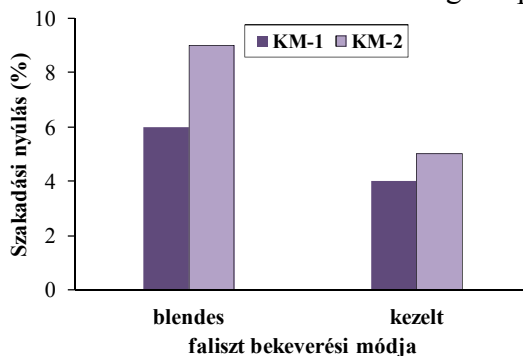


7. ábra Húzószilárdság alakulása a faliszt bekeverési módjának függvényében



8. ábra Modulusz alakulása a faliszt bekeverési módjának függvényében

A (8.ábra) faliszt bekeverési módjának hatását mutatja a PP kompozitok húzó rugalmassági modulusza esetén. A KM-1 és a KM-2 összetételű töltőanyagok két különböző módszerrel történő bekeverése között különbséget tapasztaltam.



9. ábra Szakadási nyúlás alakulása a faliszt bekeverési módjának függvényében

A KM-1 jelű töltő anyag alkalmazásakor jelentős, majdnem kétszeres különbséget mértem a blendes és a kezelt minta között. A kompozit merevsége tehát nőtt KM-1 összetételű komponens alkalmazásakor, ha a falisztal előzetesen együtt kezeltem. KM-2-es típusú komponensnél ekkora különbséget nem tapasztaltam.

A komponensek bedolgozási módszere szempontjából összességében megállapítható, hogy a két töltőanyag (faliszt és keményítőtartalmú komponens) összetétele nagymértékben befolyásolja a módszerek hatékonyságát. A kevésbé poláris keményítőtartalmú komponens (KM-1) alkalmazásakor az tűnik előnyösnek, ha a két komponenst előzetesen összekevertem, és együtt történt a hőkezelés. Valószínűleg azért lehet jobb homogenitást elérni ilyen módon, mert az apolárisabb keményítőtartalmú részek és a poláris faliszt részecskék az előzetes összekeveréssel rendeződnek. A poláris keményítőtartalmú minta (KM-2) alkalmazásakor nem tűnt előnyösnek a komponensek előzetes összekeverése és együttes hőkezelése, hiszen a húzószilárdság és a húzómodulusz is csak kismértékben (1-2%-kal) növekedett a szakadási nyúlás (9.ábra) azonban a felére csökkent. Ez arra utalhat, hogy a komponensek között a kölcsönhatás gyengült az együttes hőkezelés hatására.

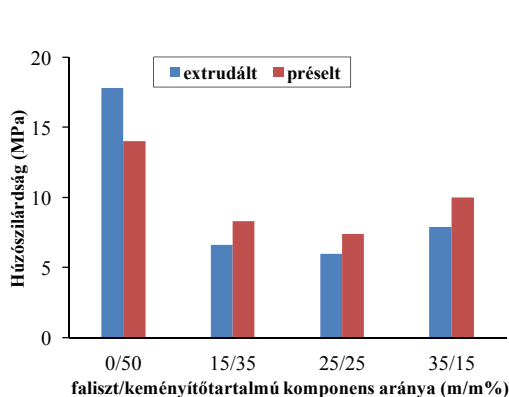
9.1.3. Próbatétel előállítási módjának hatása

A kompozitok húzó jellemzőinek bemutatásakor eddig csak az ikercsigás extruderrel előállított extrudált szál jellemzőit mutattam be. Kísérleti munkám során azonban

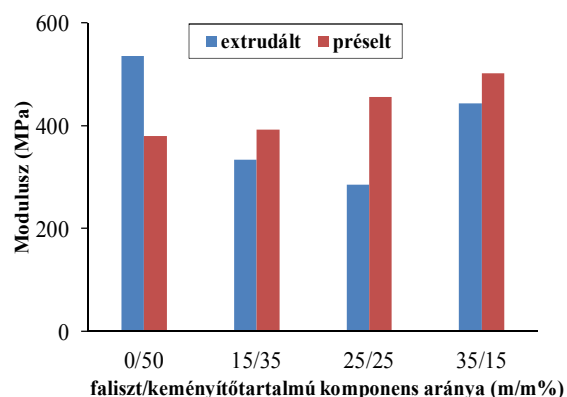
vizsgáltam azt is, miként befolyásolja a PP kompozitok húzószilárdságát, ha az extrudálás és a nedvességtartalom eltávolítása után újabb alakadási műveletnek, jelen esetben préselésnek vetem alá a különböző mintákat. Az ugyanis jelentősen befolyásolhatja a kompozitok jellemzőit, ha az extruderből még forrón kijövő termék nem azonnal nyeri el végső formáját, hanem granulátumként történő tárolása után készítik el a végterméket.

9.1.3.1. KM-1 töltőanyagot tartalmazó PP kompozitok húzó jellemzői

A KM-1 jelű töltőanyagot tartalmazó kompozitok húzószilárdságát mutatja (10.ábra). A tisztán KM-1-et tartalmazó minta esetén a préselés, vagyis egy újabb „hőkezelés” hatására a kompozit húzószilárdsága csökkent. A csökkenés mértéke 27% volt.



10. ábra Próbatétel előállítási módjának hatása a PP kompozitok húzószilárdságára



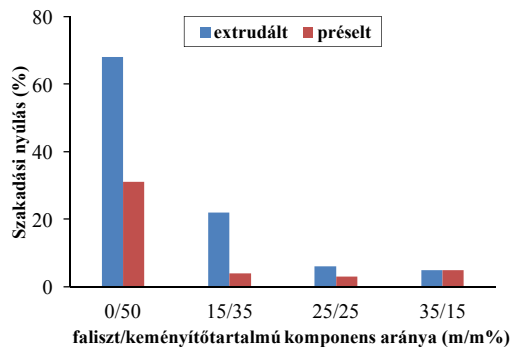
11. ábra Próbatétel előállítási módjának hatása a PP kompozitok moduluszra

A húzószilárdság a korábbi extrudált szálak eredményeivel megegyező irányú változásokat mutatott a préseléssel előállított minták esetén, mint az extrudált szálak mérésekor. A falistsztet tartalmazó kompozitok esetében egyértelműen látszott, hogy a préseléssel előállított minták húzószilárdsága az extrudált szálak húzószilárdságánál nagyobb, legalább 10%-kal jobb húzószilárdságot mértem a préselt mintákra, mint az extrudált szálakra. Ez feltételezhetően annak köszönhető, hogy a falistszt javítja a kompozitok hőállóságát.

A falistsztet is tartalmazó minták esetében továbbra is az tűnt előnyösnek, ha nagyobb mennyiségben alkalmazzuk, mint a keményítőtartalmú komponenst, tehát a korábban és jelen esetben tapasztalt változások az összetételbeli különbségekre vezethetők vissza, és nem a minta előállítási módszerére. Ugyanakkor nem elhanyagolható az sem, hogy a préselés esetén a falistszt koncentrációjának növelésével a csökkenés mértéke kisebb lett a tisztán KM-1 töltőanyagot tartalmazó kompozitokhoz képest.

A modulusz esetében (11.ábra) a préseléssel előállított mintáknál a változás iránya eltért az extrudált szálak esetében tapasztaltaktól. Míg ugyanis az extrudált szálak esetében minimumgörbe szerinti változást tapasztaltam a moduluszban, a préselt mintáknál növekedést figyeltem meg a falistszt koncentrációjának növelésével. Mivel a moduluszt a töltőanyag/mátrix kölcsönhatás nem befolyásolja számottevően, a jelenség elsősorban a minták jobb hőállóságával magyarázható. Ezt alátámasztja az is, hogy a tisztán KM-1

komponenst tartalmazó PP esetén a préselés hatására a modulusz 41%-kal csökkent. A préselt mintáknál a 35% koncentrációban falisztet is tartalmazó minta húzómodulusza mintegy 100 MPa-lal meghaladta a falisztet nem tartalmazó kompozitét. Ez 32%-os növekedést jelentett.

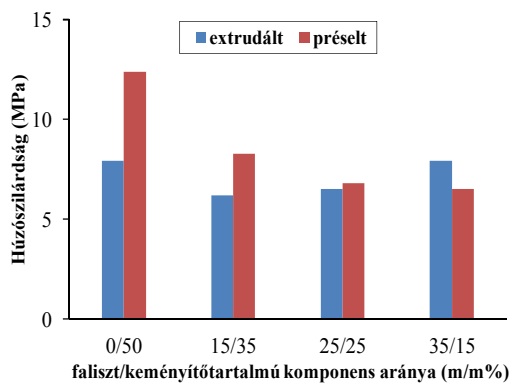


12. ábra Próbatest előállítási módjának hatása a PP kompozitok szakadási nyúlására

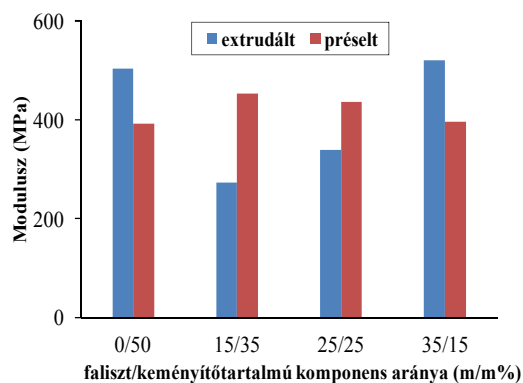
A szakadási nyúlás esetében (12.ábra) a préselt mintáknál is csökkenő tendenciát mértem a faliszt koncentrációjának növekedésével. Ugyanakkor a préselés hatására is jelentősen, mintegy 119%-kal csökkent a szakadási nyúlás az extrudált szál esetén meghatározott értékhez képest. A 35/15 faliszt/keményítőtartalmú komponens aránynál egyenlő értéket kaptam a préselt és az extrudált minta esetében, ami arra utal, hogy ennél az összetételnél nincs nagy jelentősége a kétszeres hőhatásnak.

9.1.3.2. KM-2 töltőanyagot tartalmazó PP kompozitok húzó jellemzői

A húzószilárdság (13.ábra) a faliszt/keményítőtartalmú komponens arány növelésével préselt minták esetén csökkenő tendenciát mutatott. Az extrudált szálak esetén minimumgörbe szerint változást tapasztaltam, és azt állapítottam meg, hogy a falisztet legalább 35%-ban érdemes alkalmazni, mert a húzószilárdság értéke megegyezik a tisztán KM-2 komponenst tartalmazó PP húzószilárdságával. Préselt minták esetében azt figyeltem meg, hogy a tisztán KM-2-t tartalmazó kompozit húzószilárdsága (57%-kal) nőtt az extrudált száléhoz képest. Faliszt alkalmazásával azonban csökkent a húzószilárdság a kiindulási kompozithoz viszonyítva, 25% koncentráció felett azonban már nem változott. A 25/25 töltőanyag arányig a préselt minta húzószilárdság értéke az extrudált szálénál minden összetételnél nagyobbak bizonyult. Ez alapján az valószínűsíthető, hogy a KM-2 összetételű minta esetén inkább a komponensek közötti kölcsönhatás a mérvadó, a hőhatás kevésbé befolyásoló tényező, hiszen a faliszt hővel szembeni védőhatása nem érvényesült.

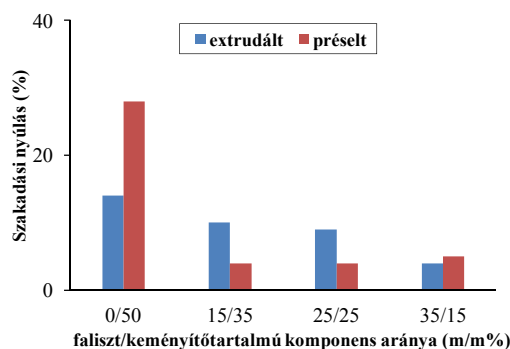


13. ábra Próbatesszt előállítási módjának hatása a PP kompozitok húzószilárdságára



14. ábra Próbatesszt előállítási módjának hatása a PP kompozitok moduluszára

A modulusz eredményeit tekintve (14.ábra) a faliszt/KM-2 arány préselés esetén is befolyásolta az értékeket. A tisztán KM-2-tartalmú PP esetén a második hőhatás (préselés) után a minta modulusza 29%-kal csökkent. A faliszt koncentrációjának növelésével javulást tapasztaltam a modulusz értékekben. A 35% faliszt-tartalmú PP-nél a modulusz kismértékben, 5%-kal csökkent a 25% koncentrációjú mintához képest, de ez a változás elhanyagolható mértékű. Az extrudált szálakhoz képest a 25% faliszt-koncentráció alatti tartományban mértem kiugróan jó eredményeket a préselt mintáknál.



15. ábra Próbatesszt előállítási módjának hatása a PP kompozitok szakadási nyúlására

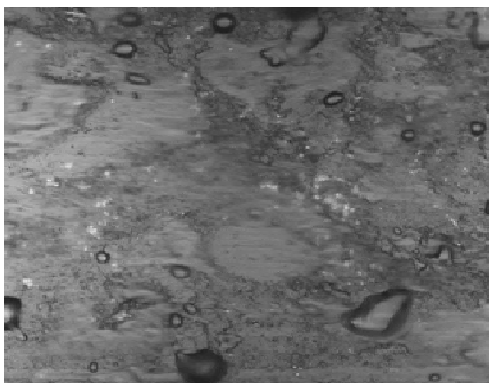
A szakadási nyúlást bemutató (15.ábra) alapján a faliszt/keményítőtartalmú komponens arány növelésével a KM-1-tartalmú kompozitokhoz hasonlóan csökkenő tendenciát mutattak a KM-2-es-tartalmú kompozitok. Vagyis a minták rugalmassága csökkent a faliszt-tartalom növelésével. Ez préselt minták esetén is igaznak bizonyult, nem csak az extrudált szálak esetében. A préselés hatására a szakadási nyúlás növekedett a tisztán KM-2/PP kompozitban, ugyanúgy, mint a húzószilárdság. Ez azt jelenti, hogy ez esetben a préselés keményítőre káros hatása nem érvényesült. Megállapítottam, hogy a préseléssel, vagyis a második hőkezeléssel csökken az anyag rugalmassága, vagyis könnyebben elszakad. A falisztet tartalmazó mintákban a faliszt koncentrációja nem befolyásolta jelentősen a szakadási nyúlás alakulását.

9.2. Mikroszkópos vizsgálatok

Az előállított minták megjelenését és homogenitását mikroszkópos felvételeken tanulmányoztam.

9.2.1. Fénymikroszkópos vizsgálatok

A minták megjelenését tekintve számottevően különböztek egymástól. A tisztán keményítőt tartalmazó minta világosabb volt (16-17. ábra), mint a falisztet is tartalmazó minták (18- 20. ábrák).

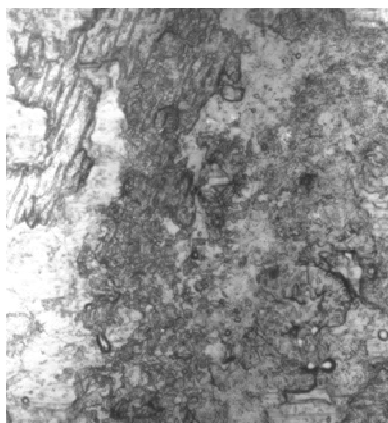


16. ábra BIO-1 jelű kompozitról készített fénymikroszkópos kép (0/50% faliszt/keményítőtartalmú töltőanyag arány)



17. ábra BIO-1 jelű kompozitról készített fénykép (0/50% faliszt/keményítőtartalmú töltőanyag arány)

A keményítő tartalmú kompozitnak extruderben fellépő hőhatások miatt lett sárgás színe, amit a második hőhatás (préselés) tovább mélyített.

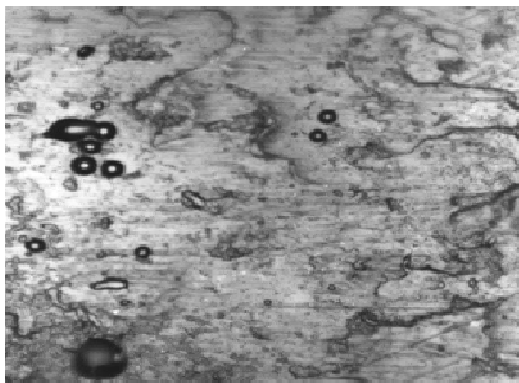


18. ábra BIO-3 jelű kompozitról készített fénymikroszkópos kép (25/25% faliszt/keményítőtartalmú töltőanyag arány)



19. ábra BIO-3 jelű kompozitról készített fénykép (25/25% faliszt/keményítőtartalmú töltőanyag arány)

A falisztet is tartalmazó minták esetében is helyenként sötétebb színű lett a préselt lap (17, 19, 21. ábra). A fénymikroszkópos felvételek alapján a mintákat nem lehet jól megkülönböztetni homogenitás szempontjából.



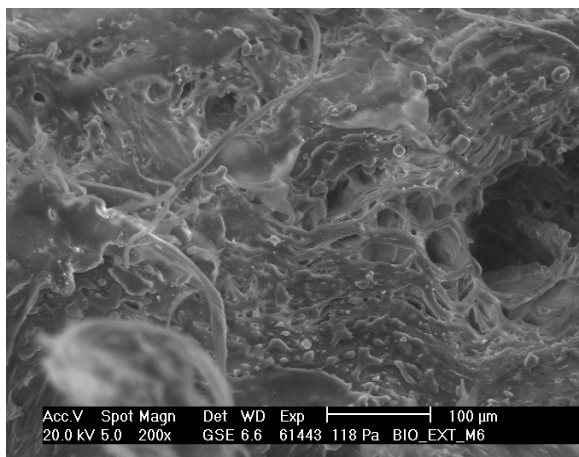
20. ábra BIO-4 jelű kompozitról készített fénymikroszkópos kép (35/15% faliszt/keményítőtartalmú töltőanyag arány)



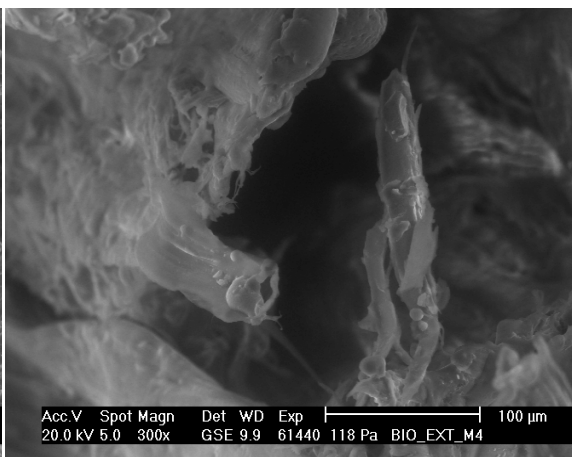
21. ábra BIO-4 jelű kompozitról készített fénykép (35/15% faliszt/keményítőtartalmú töltőanyag arány)

9.2.2. Pásztázó elektromikroszkópos vizsgálatok

A faliszt bedolgozásának negatív hatása a SEM felvételek alapján a komponensek összeférhetőségének romlásával magyarázható. Míg a polimer jól bevonja a keményítőtartalmú komponenst az 50%-os kompozitban (BIO-1 jelű minta, 24.ábra), addig a KM-1-tartalom 25%-ig tartó csökkentésével az inhomogenitás jelentőssé válik (25.ábra), a polimer részben bevonja a faliszt részecskéket, a KM-1 részecskéket kevésbé. A KM-1-tartalom további csökkentése a SEM felvételek alapján (26.ábra) egyenletesebb felületet eredményezett.



24. ábra BIO-1 jelű minta szakítási felületéről készített SEM felvétel (50% KM-1)

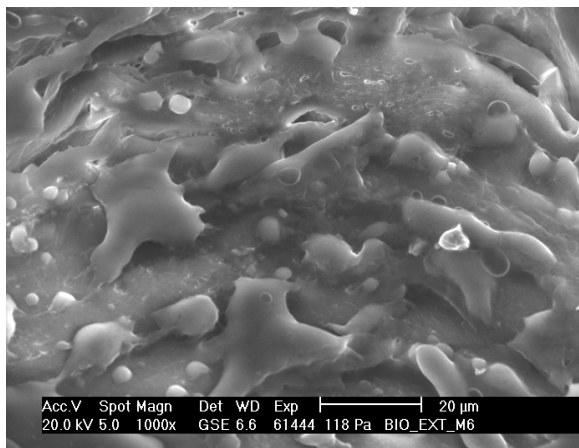


25. ábra BIO-3 jelű minta szakítási felületéről készített SEM felvétel (25% KM-1/25% faliszt)

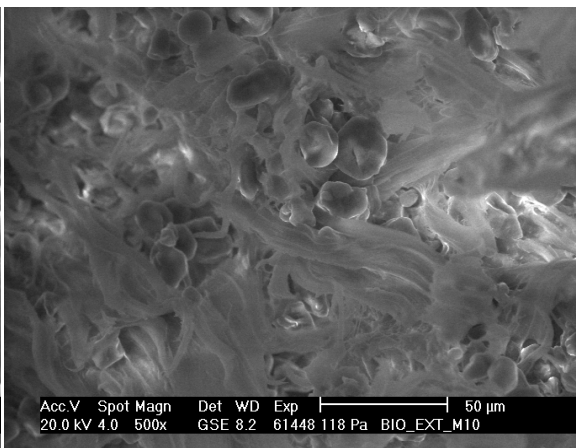


26. ábra BIO-4 jelű minta szakítási felületéről készített SEM felvétel (15% KM-1/35% faliszt)

A SEM felvételek alapján úgy tűnik, hogy a KM-1 típusú töltőanyagot egyrészt homogénebben sikerült eloszlatni a polimerben (27.ábra), mint a KM-2 összetételű töltőanyagot (28.ábra), másrészt pedig a polimer be tudta vonni a KM-1 töltőanyag felületét, vagyis erősebb kölcsönhatás alakulhatott ki közöttük. Ezzel szemben a KM-2 töltőanyag jól láthatóan elkülönül a polimertől, közöttük rés alakult ki, amely a komponensek közötti gyenge kötődésre utal.

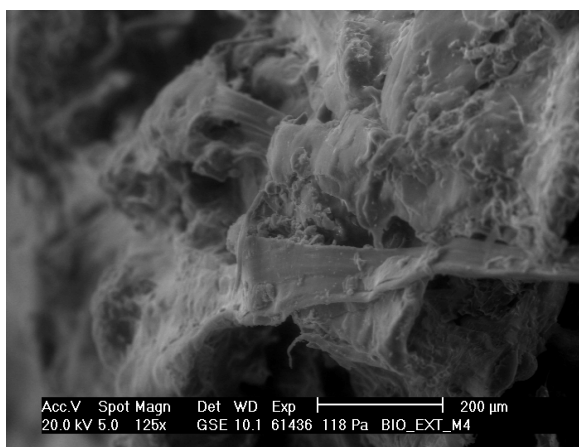


27. ábra BIO-1 jelű minta szakítási felületéről készített SEM felvétel (50% KM-1)

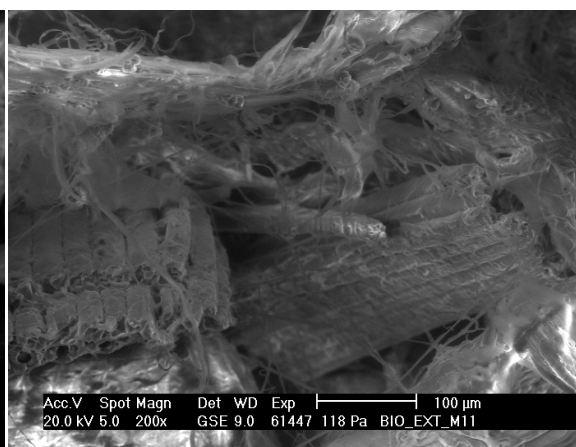


28. ábra BIO-5 jelű minta szakítási felületéről készített SEM felvétel (50% KM-2)

A SEM felvételek alapján (29-30.ábra) mindkét kompozit inhomogénnek tűnik, nem lehet egyértelmű különbséget megállapítani a két komponens összeférhetőségéről.



29. ábra Blendes bekeveréssel előállított kompozit szakítási felületéről készített SEM felvétel (25/25 faliszt/keményítőtartalmú töltőanyag arány)



30. ábra Felületkezelt eljárással előállított kompozit szakítási felületéről készített SEM felvétel (25/25 faliszt/keményítőtartalmú töltőanyag arány)

10. Összefoglalás

Kísérleti munkám során faliszt és a Tanszéken kidolgozott összetételű keményítőtartalmú töltőanyag alkalmazásának hatását vizsgáltam PP-ben. Megállapítottam, hogy a két töltőanyag összetétele és aránya nagymértékben befolyásolta a kompozitok húzó tulajdonságait.

A kevésbé poláris keményítőtartalmú töltőanyag esetén az tűnik előnyösnek a vizsgált koncentrációnál, ha a két töltőanyagot előzetesen összekevertem, és együtt történt a hőkezelés. A keményítőtartalmú töltőanyagok tekintetében az tűnik előnyösnek, ha

nagyobb szénatom számú, egyenes láncú, éterkötésű oxigént is tartalmazó komponenst alkalmaztam az előállítás során.

Mivel ezen kísérletek során kompatibilizáló adalékok hatását nem vizsgáltam, és a komponensek összeférhetőségének kritikus szerepe van a mechanikai tulajdonságok alakulásában, a későbbiekben a faliszt kezelésének hatását kívánom tanulmányozni az kifejlesztett, új típusú kapcsoló ágensek alkalmazásával, amelyek már korábban számos szálerősített kompozitban eredményesnek bizonyultak.

11. Irodalomjegyzék

- [1] H.-J. Sue and S. Wang and J.-L. Jane *Morphology and mechanical behaviour of engineering soy plastics* **Polymer** **1997**, 38, 5035-5040.
- [2] Ming-Fu Huang, Jiu-Gao Yu, Xiao-Fei Ma *Studies on the properties of Montmorillonite-reinforced thermoplastic starch composites* **Polymer** **2004**, 45, 7017-7023.
- [3] L. Avérous, C. Rringant, L. Moro *Plasticized starch-cellulose interactions in polysaccharide composites* **Polymer** **2001**, 42, 6565-6572.
- [4] Shinji Ochi *Development of high strength biodegradable composites using Manila hemp fiber and starch-based biodegradable resin* **Composites Part A** **2006**, 37, 1879-1883.
- [5] J. Zhang, P. Mungara, J. Jane *Mechanical and thermal properties of extruded soy protein sheets* **Polymer** **2001**, 42, 2569-2578.
- [6] Yongshang Lu, Lan Tighzert, Patrice Dole, Damien Erre *Preparation and properties of starch thermoplastics modified with waterborne polyurethane from renewable resources* **Polymer** **2005**, 46, 9863-9870.
- [7] Károly Renner, János Móczó, Béla Pukánszky *Deformation and failure of PP composites reinforced with lignocellulosic fibers: Effect of inherent strength of the particles* **Composites Science and Technology** **2009**, 69, 1653-1659.
- [8] J.Móczó, B. Pukánszky *Polymer micro and nanocomposites: Structure, interactions, properties* **Journal of Industrial and Engineering Chemistry** **2008**, 14, 535-563.
- [9] L. Dányádi, T. Janecska, Z.Szabó, G.Nagy, J. Móczó, B. Pukánszky *Wood flour filled PP composites: Compatibilization and adhesion* **Composites Science and Technology** **2007**, 67, 2838-2846.
- [10] P. Matzinos, V. Tserki, C. Gianikouris, E. Pavlidou, C. Panayiotou *Processing and characterization of LDPE/starch/PCL blends* **European Polymer Journal** **2002**, 38, 1713-1720.
- [11] Aleksandra Sretenovic, Ulrich Müller, Wolfgang Gindl *Mechanism of stress transfer in a single wood fibre-LDPE composite by means of electronic laser speckle interferometry* **Composites Part A** **2006**, 37, 1406-1412.
- [12] Magnus Bengtsson, Paul Gatenholm, Kristiina Oksman *The effect of crosslinking on the properties of polyethylene/wood flour composites* **Composites Science and Technology** **2005**, 65, 1468-1479.
- [13] P.W. Balasuriya, L. Ye, Y.-W. Mai *Mechanical properties of wood flake-polyethylene composites. Part I: effects of processing methods and matrix melt flow behaviour* **Composites Part A** **2001**, 32, 619-629.
- [14] Houssine Sehaqui, Maël Allais, Qi Zhou, Lars A. Berglund *Wood cellulose biocomposites with fibrous structures at micro- and nanoscale* **Composites Science and Technology** **2011**, 71, 382-387.
- [15] Magnus Bengtsson, Kristiina Oksman *Silane crosslinked wood plastic composites: Processing and properties* **Composites Science and Technology** **2006**, 66, 2177-2186.
- [16] Dominkovics Z., Dányádi L. Pukánszky B.: *Falaszt erősítésű PP kompozitok- az erősítőanyag reaktív felületmódosítása* **Műanyag és Gumi** **2006**, 43, 517-523.
- [17] Pataki P., Imre B., Földes E., Pukánszky B.: *Természetes anyagok a műanyagiparban- alapanyagok és adalékok* **Műanyag és Gumi** **2012**, 49, 12-18.
- [18] P.J. Herrera-Franco, A. Valadez-González *Mechanical properties of continuous natural fibre-reinforced polymer composites* **Composites Part A** **2004**, 35, 339-345.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Dr. Varga Csilla, egyetemi adjunktusnak, hogy figyelemmel kísérte munkámat, és nagyon sok hasznos szakmai tanáccsal látott el annak elvégzése során, valamint, hogy segítette a TDK dolgozatom elkészítését. Szeretnék még köszönetet mondani Szakács Hajnalkának gyakorlati tanácsaiért és segítségéért.

Köszönettel tartozom még a MOL Ásványolaj-és Széntechnológiai Intézeti Tanszék dolgozóinak, akik mindvégig segítették munkámat. Különösen Lepsényi István és Horváth Dániel technikusoknak, laboratóriumi munkám során nyújtott segítségükért.

Jelen dolgozat a TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0003 és a TÁMOP-4.2.2/B-10/1/-2010-0025 projektek keretében készült. A projektek a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósulnak meg.

2012.április.6.

.....

Szluka Nikoletta