

Műanyag hulladékok újrahasznosítása polimer blendek fejlesztésével

Kutatási zárójelentés

Projekt-azonosító: OTKA PD-72722

2008. 04. 01. – 2011. 04. 30.

Készítette: Dr. Ronkay Ferenc

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	1
2. Anyagfejlesztési eredmények	2
2.1. Vegyes műanyag hulladék modellezése eredeti műanyag blendekkel	2
2.1.1. Az elektronbesugárzás hatása az inkompatibilis műanyagok tulajdonságaira.....	2
2.1.2. Az üvegszál-erősítés hatása az inkompatibilis műanyagok tulajdonságaira.....	3
2.1.3. Többalkotós műanyag keverék tulajdonságai	7
2.2. Vegyes műanyag hulladék minőség-növelési lehetőségei	8
3. Az anyagfejlesztési eredmények alkalmazási lehetőségei	10
3.1. Háztartási termékek tervezése	10
3.2. Építőelem tervezése	13
3.3. Gépjármű alkatrész tervezése.....	14
3.3.1. Szerszámtervezés és szimuláció és fröccsöntés	15
3.3.2. Termék vizsgálatok	16
4. Összefoglalás.	18
Publikációs jegyzék	20

1. Bevezetés

A műanyag hulladékok hasznosítása az elmúlt években hazánkban is az egyik fontosabb kutatási területté vált. Az Európai Unió által kidolgozott irányelvek hazai szabályozásba történő átültetésével számos konkrét feladat hárul a nagymennyiségű műanyagot használó iparágakra. Az EU újrahasznosítási arányszámokat írt elő ágazatokra lebontva, amelyeket Magyarországnak a kitűzött időpontra meg kell valósítania. Ennek következtében a csomagolási-, az elektronikai- és az autóiipari hulladékok egyre nagyobb arányát szükséges anyagában hasznosítani, vagyis lerakás és égetés helyett új termékek gyártását kell előtérbe helyezni. A műanyagok ily módon történő hasznosításához számos akadályt kell leküzdeni; többek között a másodlagos nyersanyaggal szemben felállított negatív szemléletet, ugyanis ha a hulladékot megfelelően kezelik, akkor jó minőségű termék is előállítható belőle. Alapfeltétel a műanyag hulladék előkészítése, amely magába foglalja a hulladék különböző szempontok szerinti előválogatását és a tisztítását. Ahhoz, hogy a termék az életciklusa során biztosítani tudja a kívánt minőséget, meg kell oldani a hulladék kémiai újrástabilizálását, valamint a megfelelő mechanikai tulajdonságok elérése érdekében szükséges lehet erősítőanyagok alkalmazására is. Mindenek előtt a piac igényeit és a termékekkel szemben felállított követelményeket kell feltérképezni, majd az anyagfejlesztési lépésben a kívánt tulajdonságok megfelelő adalékanyagok megválasztásával biztosíthatóak.

Kutatási célom annak bebizonyítása, hogy megfelelő adalékanyagokkal és technológiai lépésekkel lehetőség nyílik akár vegyes műanyag frakciók felhasználásával is magas műszaki követelményeknek megfelelő termékek készítésére.

2. Anyagfejlesztési eredmények

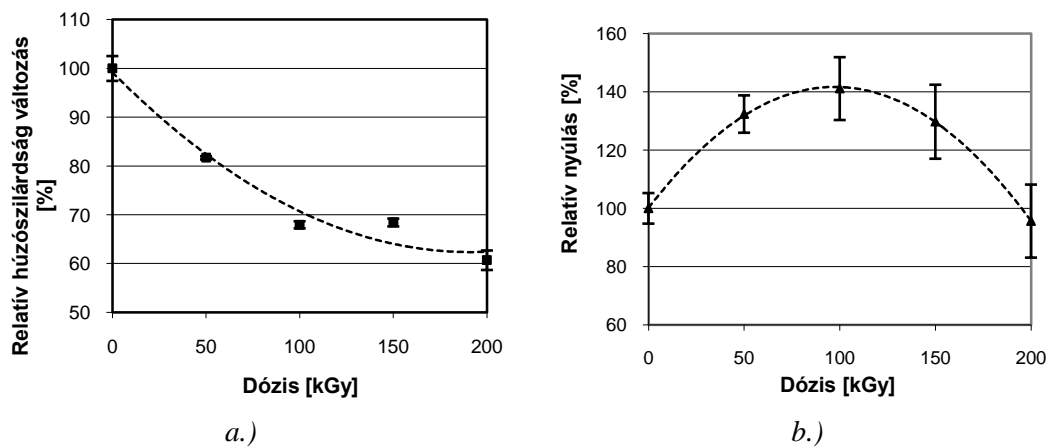
2.1. Vegyes műanyag hulladék modellezése eredeti műanyag blendekkel

Kísérleteim során elsőként kétalkotós, inkompatibilis polimerekből álló blendeket vizsgáltam. A blend összetevőinek a szelektív hulladékgyűjtőkben előforduló két leggyakoribb műanyagot, a polietilént (PE) és a polietilén-tereftalátot (PET) választottam.

2.1.1. Az elektronbesugárzás hatása az inkompatibilis műanyagok tulajdonságaira

A keverékek gyártásához por formátumú nagy sűrűségű polietilént (HDPE) és PET granulátumot használtam. Az extrúzió előtt a HDPE frakciót 4 különböző dózisu sugárzásnak (50, 100, 150, 200 kGy) vettem alá inert (N_2) közegben. Az elektronkezelésre az LUE-8-5V típusú elektronsugárzó berendezésen került sor. Ezután a két alkotót extrudálással homogenizáltam, és fröccsöntéssel állítottam elő próbatesteket, amelyek mechanikai és morfológiai tulajdonságait vizsgáltam.

Az 1.a ábrán látható, hogy a besugárzás csökkentette a blendek húzószilárdságának értékét a nem besugárzott mintához képest. A csökkenés mértéke 200 kGy sugárzásnál 40% ami már jelentősnek mondható. A jelenség oka az, hogy a besugárzás hatására a PE-ben térhálós részek képződnek, amelyek a keverés során nem kerülnek ömledék fázisba. Ezen térhálós részek mérete a besugárzott dózis hatására növekszik, így nagyobb szemcséket hoz létre a PET mátrixban. A növekvő szemcsék rontják a blend mechanikai tulajdonságait, ez okozza a húzószilárdság csökkenését a dózis növekedésének függvényében.

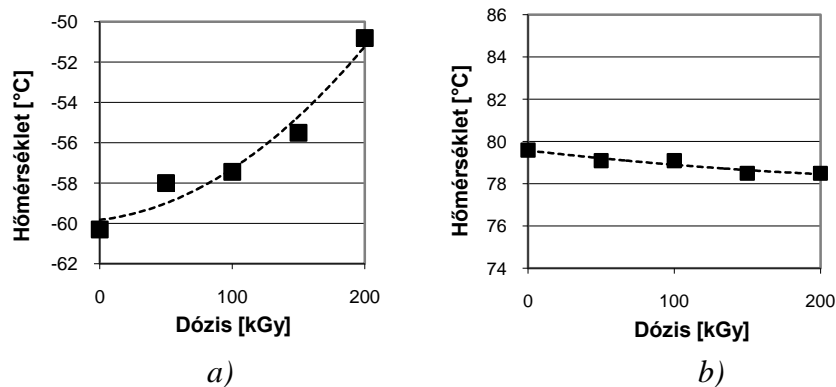


1. ábra A PET/HDPE blendek húzószilárdsága (a) és a húzó rugalmassági modulusa (b) a besugárzás dózisének függvényében

A kompatibilizáció mértékére a szakadási nyúlásból lehet következtetni (1/b. ábra). A szakadási nyúlás 100 kGy sugárdózisig emelkedik, 100 kGy felett viszont csökkenés tapasztalható. A 100 kGy optimum értéknél a növekmény 40%. Ez a növekedés egyértelműen a fázishatárok jobb kapcsolatára utal, amely a létrejött kompatibilizáció eredménye. A kompatibilizáció annak tudható be, hogy míg a HDPE besugárzása során az amorf fázisban keletkező szabad gyökök térhálósodáshoz vezetnek, addig a kristályos fázisban keletkező gyökök az elektronsugárzás hőmérsékletén befagyott állapotban maradnak. Ezek a befagyott szabad gyökök a blend ömledék keverés során az extruderben felszabadulva az éppen tördelődő PET-tel reakcióba léphetnek, és az összeférhetőséget javító kémiai kötésbe léphetnek. A 150 és 200 kGy sugárdózisnál tapasztalható szakadási nyúlás csökkenés oka a

HDPE szemcseméretének térhálósodás miatti növekedése, amely 100 kGy dózis felett nagyobb hatással van a rendszer nyúlására, mint a javuló kölcsönhatás a fázishatárokon, figyelembe véve, hogy a nagyobb szemcseméret esetén a felület/térfogat arány csökken.

Diferenciál szkennig kalorimetriás (DSC) méréssel vizsgáltam az anyagok üvegesedési hőmérsékletének változását (3. ábra). A PE estében a besugárzási dózis függvényében jelentős, közel 10°C növekedést tapasztaltam (2/a. ábra). A térhálósodás következtében ugyanis a szegmensmozgások egyre inkább gátolttá válnak, és maguk a szegmensek is rövidülnek, mindennek a következtében a szegmensmozgások, magasabb hőmérsékleten megállnak, tehát az üvegesedési hőmérséklet növekszik. Mindezen túl a PE/PET határfelületén fellépő kapcsolódás is befolyásolhatja az üvegesedési hőmérsékletet, amelynek következtében a két anyag üvegesedési hőmérséklete közelebb kerül egymáshoz. Az 2/b. ábrán a PET üvegesedési hőmérsékletének változása figyelhető meg, a besugárzási dózis függvényében. A T_g , ha igen kis mértékben is, de csökken. Mivel a PET esetében semmilyen térhálósodási folyamat nem lépett fel így ezt a csökkenést csak a két alapanyag között kialakuló jobb kapcsolat indokolhatja.



2. ábra A PE (a) és a PET (b) üvegesedési átmeneti hőmérsékletének változása a blend 2. felfűtése során a besugárzás függvényében

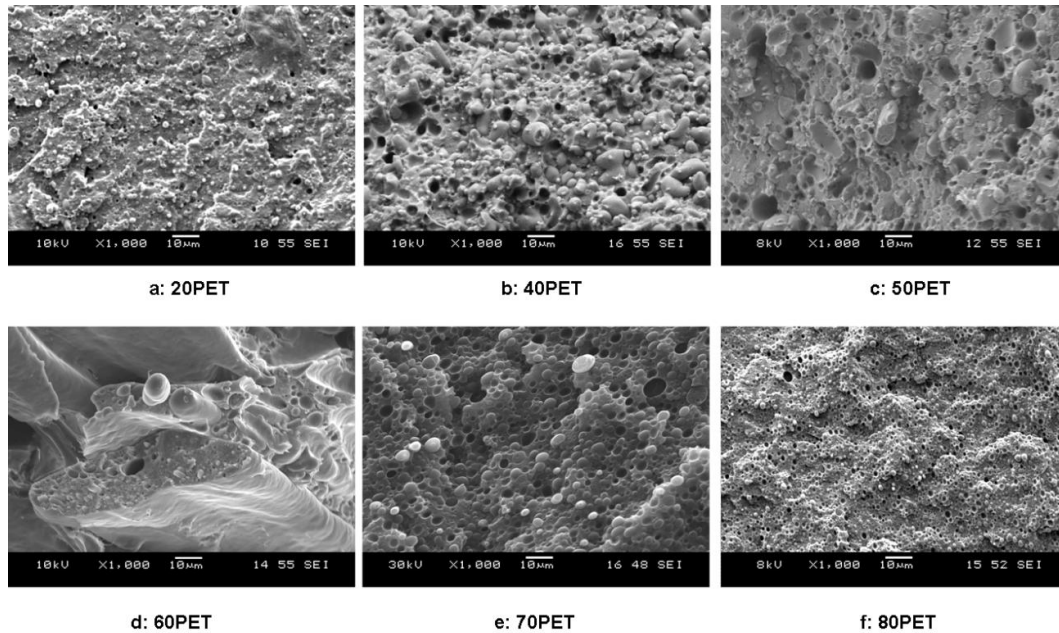
A vizsgálatokat összefoglalva elmondható, hogy bár a két anyag összeférhetősége javult, a viszonylag költséges besugárzási során a blend szilárdsági és merevségi tulajdonságai romlottak, így ez eljárás ipari számára a hulladékkezelésben nem javasolt.

2.1.2. Az üvegszál-erősítés hatása az inkompatibilis műanyagok tulajdonságaira

A méréshez PET és HDPE anyagok különböző összetételű blendjeit használtam. Rövidszálas erősítőanyagként 4 mm átlagos kiindulási hosszúságra aprított, 15 µm átlagos átmérőjű rövid üvegszál (GF) alkalmaztam. Az üvegszálás blendek készítésénél a nem erősített blendekben lévő polimer összetétel arányokat vettem alapul, amelyekhez további 10térfogat% üvegszál (GF) tettem. A keverékeket extrudálással homogenizáltam és fröccsöntéssel állítottam elő piskóta próbatesteket.

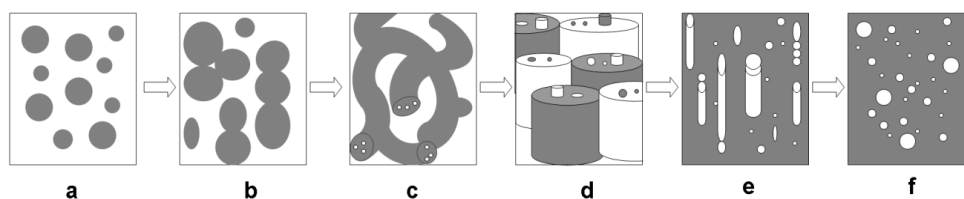
A szálerősítés nélküli fröccsöntött próbatesteket folyékony nitrogénben való hűtés után törtem el, és az így nyert töretfelületekről felvételeket készítettem pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) képeket (3. ábra). A 3/a ábrán 20térfogat% PET található a blendben, amely gömb formában van jelen. A 3/b ábrán 40térfogat% PET tartalomnál a PET gömbök átlagos mérete növekszik, és a gömbök nagy része deformálódik. Felfedezhetőek kettős beburkolású cseppek is. A 3/c ábrán a deformálódott cseppek hálószerű szerkezetekké egyesülnek. Ezek különböző vastagságú, elágazásokkal rendelkező képződmények, amelyek belsejében PE cseppek is előfordulnak. A 3/d

ábrán megfigyelhető, hogy a háló kötegei lemezekké olvadnak össze. A 3/e és a 3/f ábrán már a PET alkot összefüggő mátrixot, amelyben a PE cseppek gömb alakban oszlanak el. A PE gömbök mérete a PE arányának csökkenésével párhuzamosan csökken.



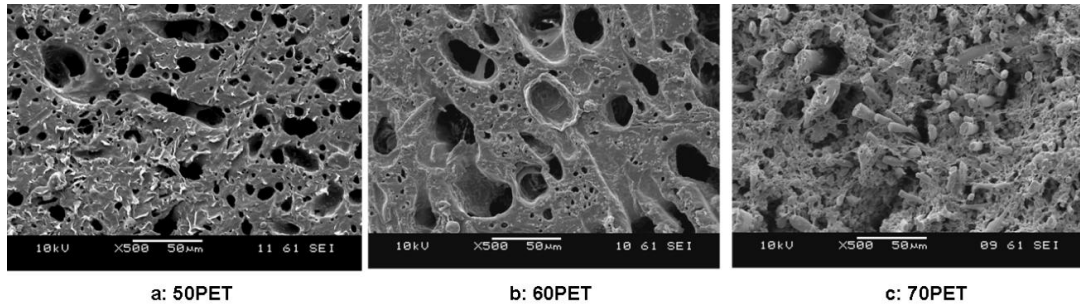
3. ábra SEM felvételek különböző összetételű PET/PE blendek kriogén töretfelületéről (térfogat-százalékos megoszlás - a: 20PET:80PE; b: 40PET:60PE; c: 50PET:50PE; d: 60PET:40PE; e: 70PET:30PE; f: 80PET:20PE)

Az összetétel-arány változásával kialakuló szerkezet-változások modellje az 4. ábrán látható. A nagyobb viszkozitású PET komponens összetételének növekedésével a cseppméret növekszik, majd a cseppek deformálódnak (4/b ábra), illetve a sorozatos egyesülések miatt hálószerű formákat alakítanak ki (4/c ábra). A hálók a cseppegyesülési folyamatok miatt nem homogén szerkezetűek, hanem a major komponensből is van bennük. A fázis inverzió során a két komponens a fröccsszerszám kitöltésének irányával párhuzamos lemezekké/kötegekké rendeződik, amelyek nagy számban tartalmaznak különböző mértékben deformálódott cseppeket a másik komponensből (4/d ábra). Végül a korábbi minor komponens válik major komponenssé, amely elosztatva tartalmazza a másik komponenst, amely először szál formában (4/e ábra), majd a szálak kapilláris instabilitás miatt felbomlanak és cseppekké alakulnak át (4/f ábra).



4. ábra A fázis inverzió megvalósulásának sematikus modellje fröccsöntött szálerősítés nélküli blendéknél

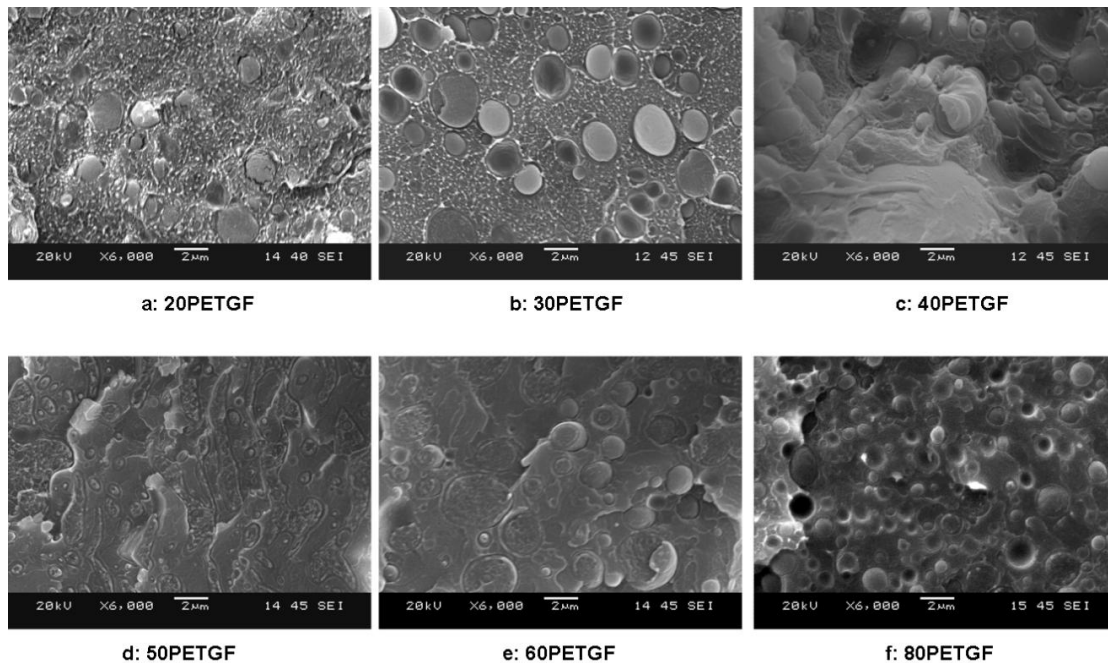
Az 4. ábrán látható sematikus modellt alátámasztják a PET fázis kioldása után készített SEM felvételek is (5. ábra), amelyek a fázis inverzióhoz közeli összetétel arányú blendékről készültek.



5. ábra SEM felvételek különböző összetételű PET/PE blendék töretfelületéről a PET fázis kioldása után (térfogat-százalékos megoszlás - a: 50PET:50PE; b: 60PET:40PE; c: 70PET:30PE)

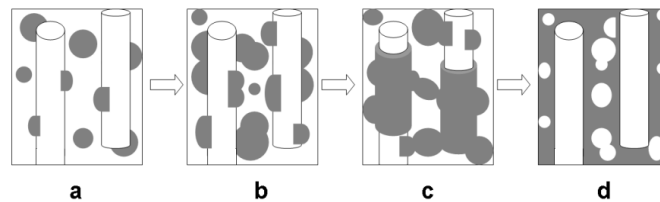
Az üvegszál erősítéses rendszerek tanulmányozása során lényeges információ a fázisok közötti szilárdság, ezt csepplehúzásos vizsgálattal határoztam meg. Az üvegszál és a PET között 9,3 MPa nyírószilárdságot mértem, míg ez az érték a PE és az üvegszál között 6,2 MPa volt. A két polimer közötti határfelületi nyírószilárdság az előzőeknél lényegesen kisebbre, 1,8 MPa-ra adódott.

Ha a blendék rövid üvegszálás erősítést is tartalmaznak, a különböző összetétel-arányokat jellemző morfológiák jelentősen megváltoznak. A kriogén töretfelületek SEM felvételeit az 6. ábrán lehet összehasonlítani. Megállapítható, hogy a 20v% PET-et tartalmazó blendnél a diszpergált PET gömbök átmérője (6/a ábra), illetve 80v% PET tartalmazó blendnél az elosztatott PE gömbök átmérője (6/f ábra) lényegesen kisebb, mint a megegyező összetétel arányú üvegszál nélküli blendekben. További különbség, hogy a fázis inverzió alacsonyabb PET aránynál következik be (6/c és 6/d ábra).



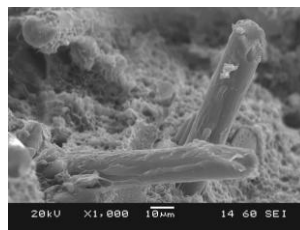
6. ábra SEM felvételek rövid üvegszálás erősítést tartalmazó, különböző összetételű PET/PE blendék kriogén töretfelületéről (térfogat-százalékos megoszlás - a: 20PET:80PE + 10% GF; b: 40PET:60PE + 10% GF; c: 50PET:50PE + 10% GF; d: 60PET:40PE + 10% GF; e: 70PET:30PE + 10% GF; f: 80PET:20PE + 10% GF)

A 7. ábrán egy egyszerűsített modell segít lépésről lépésre megérteni a különböző összetételű üvegszál erősítésű blendék morfológiájának kialakulását. A 7/a ábrán látható az alacsony PET tartalmú blendekre jellemző szerkezet. Mivel a PET jobban kapcsolódik az üvegszálakhoz, mint a PE mátrix, a cseppek előszeretettel helyezkednek el a szálak felületén. Növelve a PET arányát, a cseppek egyre nagyobb mennyiségben tapadnak a szál felszínéhez, (7/c ábra). A PET-tel nagymértékben bevonat szálak között egyre több PET „híd” alakul ki, míg végül bekövetkezik a fázis inverzió. Ez után a PE cseppek kisebb valószínűséggel találhatók a szálak felszínén, inkább a mátrixban eloszlva jelennek meg (7/d ábra).



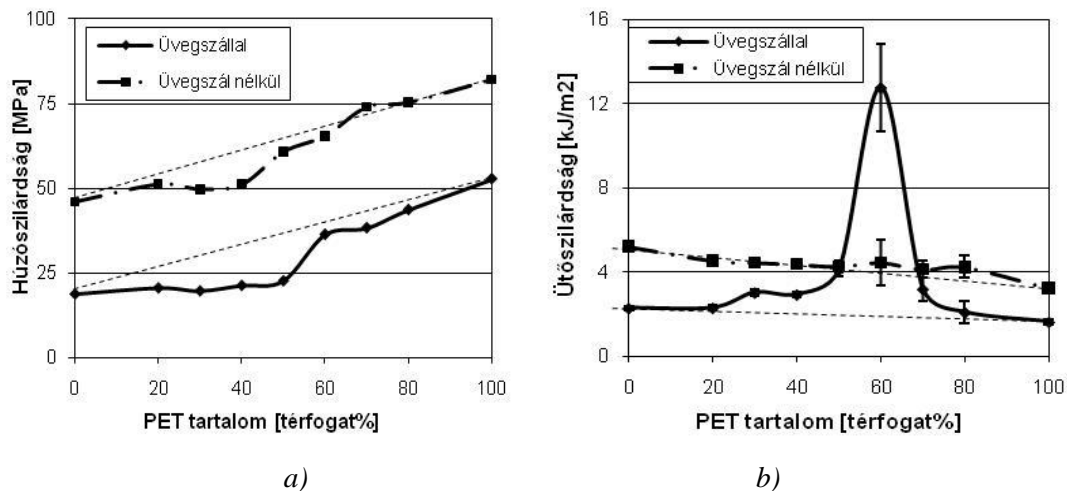
7. ábra A fázis inverzió megvalósulásának sematikus modellje szál erősítésű blendéknél

A különböző összetételű próbatestek húzóvizsgálat-eredményeiből meghatároztam a húzószilárdságot és a Young modult. A 9/a ábrán a húzószilárdság változása látható üvegszál nélküli és rövid üvegszálás erősítésű blendéknél. Az üvegszál nélküli anyagok húzószilárdsága 0-50v% PET tartalom között nem változik lényegesen, itt a keverékszabálynál alacsonyabb értékeket mértem. Ezt a viselkedést a morfológia változása okozza: a PET tartalom növekedésével a PET cseppek mérete növekszik, ami a gyenge adhéziós kapcsolat miatt a keverékszabály szerint számolható értéknél alacsonyabb eredményt ad. A 4/c ábrán látható háló fokozatos kialakulása azonban növeli a PET teherviselő szerepét, ezzel ellensúlyozza a PET cseppek méretnövekedése miatt bekövetkező szilárdságcsökkenését. 60v% PET tartalomnál már kialakul olyan összefüggő PET mátrix, amely jelentősen növeli az anyag szilárdságát, és innentől a 100v% PET tartalomig a keverékszabályhoz hasonló trend szerint fokozatosan nő az anyag szilárdsága. Üvegszálás keverékeknél hasonló tendencia figyelhető meg, ám ebben az esetben a két polimer eltérő kapcsolódása az üvegszálhoz meghatározó a szilárdsági tulajdonságok alakulásában. A PET arányának növekedése 40v%-ig nem okoz szignifikáns szilárdságnövekedést. Ennek oka a 8. ábrán látható jelenség: a PET cseppek egyre nagyobb mértékben megtapadnak az üvegszálak felszínén, így – mivel a két polimer közötti határreteg igen gyenge teherbíró képességgel rendelkezik – az üvegszál nem tud lényegi erősítést kifejteni. Ez a trend csak akkor változik meg, amikor az üvegszálakat burkoló PET fázisok elegendő hídval kapcsolódnak össze, így nagyobb szilárdságot képesek biztosítani. A PET mátrixban a PE cseppek már nem okoznak a keverékszabályhoz képest jelentős gyengülést, mivel nem elsősorban a szálfelületen helyezkednek el, így nem csökkentik lényegesen azok erősítő hatását.



8. ábra 40v% PET tartalomnál a PET bevonatot alkotó cseppek az üvegszálak felszínén

A Charpy ütvehajlító vizsgálatok eredményét a 9/b ábra foglalja össze. Megfigyelhető, hogy szálerősítés nélküli blendeknél jelentős szinergetikus hatás lép fel: 60v% PET tartalomnál a blend ütőszilárdsága több mint 500%-kal nő a polimer komponensek ütőszilárdságához képest. Ennek oka, hogy a polimer blendben kialakuló szerkezet a lemezek orientációjára merőleges ütésből származó repedés útját jelentősen meghosszabbítja, ami megnöveli az ütés során elnyelt energia mennyiségét. A szálerősítést tartalmazó blendek ütőszilárdságának alakulása nem tér el lényegesen a keverékszabály szerint számítható értékektől.

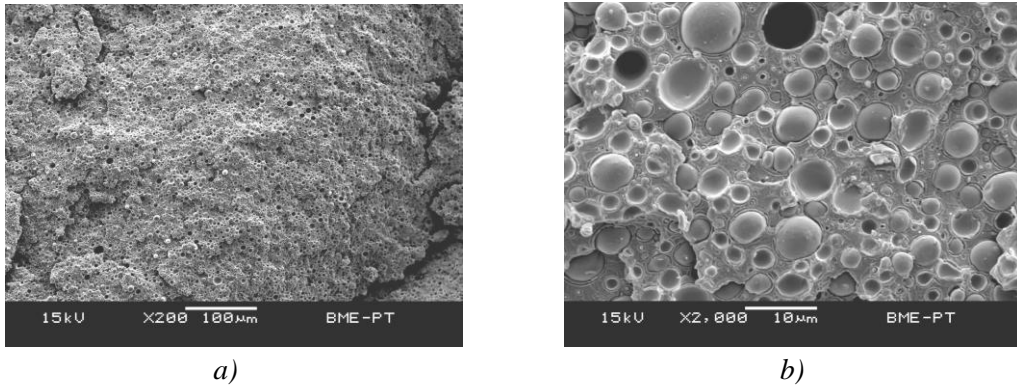


9. ábra A húzószilárdság (a) és az ütőszilárdság (b) változása különböző összetételeknél (szaggatott vonal: keverékszabály)

Összefoglalásként elmondható, hogy az üvegszálakat tartalmazó blendeknél a fázisinverzió eltolódott a kevesebb PET tartalom irányába, hozzávetőlegesen 65v%-ról 45v% PET tartalomra. Ennek oka, hogy az üvegszálak miatt jelentősen nő az nyíró-igénybevételi sebesség, ami megváltoztatja az összetevők viszkozitását, emiatt pedig változik a viszkozitás arány is. Az üvegszálakat nem tartalmazó blendekben a fázisinverzió közelében kialakuló co-continuous szerkezet növelte mind a statikus húzó- és hajlító szilárdságot és modulust, mind a dinamikus csillapítást és ütőszilárdságot, ez utóbbit több mint 500%-kal a polimerek ütőszilárdságához képest. Üvegszálakat tartalmazó blendekben a co-continuous morfológia nem játszik ilyen jelentős szerepet a mechanikai tulajdonságok alakításában, itt elsősorban a szál-mátrix határfelületi kapcsolat erőssége a meghatározó. Jelen esetben az üvegszál jobban kapcsolódik a PET-hez, mint a PE-hez, ezért a PET kis térfogatarányánál is kapcsolatba kerül az üvegszálakkal nagy részben beburkolva azokat, így – a polimerek közötti gyenge kapcsolódás miatt – rontja terhelésselvevő tulajdonságukat.

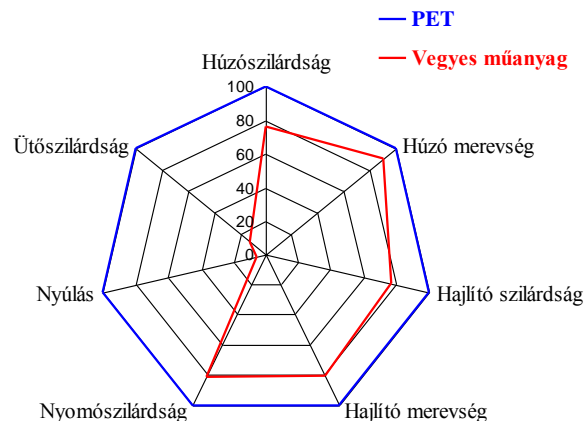
2.1.3. Többalkotós műanyag keverék tulajdonságai

A kísérletek során a lakossági szelektív hulladékgyűjtésből származó hulladék összetételét modelleztem, amelynek túlnyomó többségét a PET palackok adják, ám előfordul benne PE, PP és polisztirol (PS) is. Méréseimhez a következő anyagokat használtam: PET; HDPE; PP; PS - 70:10:10:10 tömegszázalékos arányban. A keveréket kétszigás Brabender extruder segítségével homogenizáltam majd Arburg Allrounder 270C típusú fröccsöntőgéppel állítottam elő piskóta próbatesteket. A feldolgozási eljárás végére kisebb részarányú polimer töltőanyagok a PET mátrixban homogén eloszlású, 0,5-5 µm átmérőjű gömbökként helyezkedtek el (10. ábra).



10. ábra PET:HDPE:PP:PS – 70:10:10:10 tömegszázalékos blend morfológiája a: 200x b: 2000x nagyításban

Húzó-, nyomó-, hajlító-, és ütvehajlító vizsgálatoknak vetettem alá a blendet, amelynek tulajdonságait a 100% PET-hez hasonlítottuk (11. ábra). Megállapítható, hogy a húzó, nyomó és hajlító szilárdság, ill. merevség a tiszta PET-hez képest csupán kb. 20% visszaesést mutat, az ütőszilárdság és a nyúlás azonban drasztikusan csökken. A visszaesést azonban a PET közismerten nagy nyúlása és szívóssága fényében kell értékelni, így a blend csökkent tulajdonságai (abszolút értékben az ütőszilárdsága 32 kJ/m², a szakadási nyúlása pedig 6%) ellenére is sok területen felhasználható.



11. ábra A vegyes műanyag mechanikai tulajdonságainak változása a tiszta PET-hez képest százalékban

2.2. Vegyes műanyag hulladék minőség-növelési lehetőségei

Az eredeti műanyagokból létrehozott keverékek vizsgálatai alapján szerzett tapasztalatokat felhasználva valódi műanyag hulladékon is végeztünk kísérleteket. Ehhez az Alcufer Zrt. által begyűjtött vegyes műanyag hulladékot használtuk fel. Felhasználás előtt a hulladék sűrűség alapján osztályozásra került, hogy az összetétel analizálása érdekében. A 0,01 g/cm³ lépésközönként szétválasztott csoportok elemzése során megállapítottam, hogy míg a 0,93 g/cm³ sűrűség alatti hulladék többségében polipropilént tartalmaz, addig 0,93-0,97 g/cm³ között a fő komponens a PE és mellette kis mennyiségű PP is megjelenik, arányuk PP:PE 2:8-re tehető. További kísérleteim alapanyagául a 0,97 g/cm³ sűrűségeknél kisebb frakciót választottam, amely ideális keverék-mátrixnak

tűnt, mivel alkotói közül PP a szilárdságot a PE pedig a szívósságot és az alacsony hőmérsékleten nyújtott jobb teljesítményt biztosíthatja.

A műanyag hulladékok stabilizálásához Irganox B215 adalékot használtunk, amely a Ciba által gyártott Irganox 1010 (fenolos antioxidáns) és Irgafos (foszfit) 168, 2:1 arányú keveréke. Előkísérleteink során megállapítottuk, hogy a 0,8 tömeg% stabilizátor alkalmazásával létrehozott - a biztonság kedvéért kissé túlstabilizált rendszer - hatékonyan csökkentette a PE/PP keverékek mechanikai tulajdonságainak romlását a klímakamrában végzett öregítési vizsgálatok alapján, és ellenállt a többszöri feldolgozás során fellépő hőhatásnak is, csökkentve ezzel a fellépő degradáció mértékét.

Előkísérleteket végeztem a megfelelő szálerősítés kiválasztására is többféle üvegszál és bazaltszál alkalmazásával. Ezeket különböző arányokban kevertem a hulladékhoz, és vizsgáltam a mechanikai jellemzők alakulását. A mérések eredménye alapján a 3B Fiberglass Company által gyártott 3B DS 2200-13P típusú üvegszál erősített a leghatékonyabban: már 25tömeg%-os erősítésnél közel 50%-kal emelte az anyag szilárdságát, és 80%-kal a merevségét. A másodlagos alapanyagot tehát 74,2 tömeg% hulladék polimer, 25 tömeg% üvegszál és 0,8 tömeg% stabilizátort ömledék-keverésével állítottuk elő, amelyhez Brabender Plasticorder kétszigás extrudert használtam.

A minőségnyelés érdekében a polimer hulladék égésgátlási lehetőségeit is tanulmányoztam, mivel több potencionális felhasználási területen ez is fontos szempont. Ennek érdekében az újrahasznosított polimer örleményt az égésgátló adalékok hozzáadásával belső keverőn homogenizáltam. A homogenizált keverékekből 190°C-on lapokat préseltem, amelyekből kivágtam a megfelelő. Az elkészült próbatesteket szakító- és hajlító vizsgálatoknak vettem alá a mechanikai tulajdonságok meghatározásához, az éghetőségi tulajdonságokhoz oxigénindex mérést, UL 94 éghetőségi fokozatba sorolást és cone kaloriméteres vizsgálatokat végeztem. A legmegfelelőbb adalék típusnak az APP 766-os bizonyult, köszönhetően a megfelelő mechanikai, ill. éghetőségi tulajdonságainak. Az eredeti PP-nel végzett koncentrációsorozat során megállapítottam, hogy 34%-os adaléktartalomig elfogadhatóak a mechanikai tulajdonságok, valamint 26%-os adaléktartalomtól már megfelelően égésgátoltak a minták.

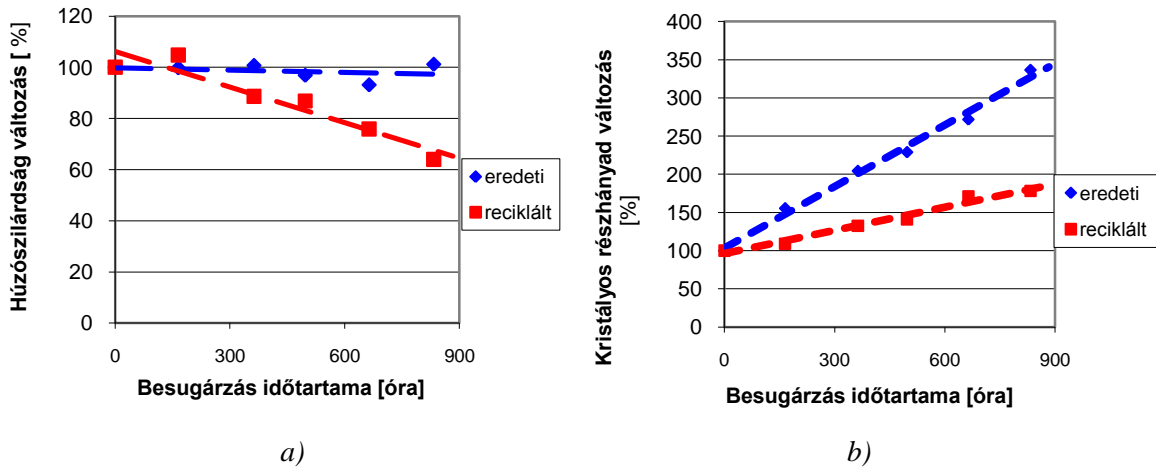
Az öregedés hatása a másodlagos műanyag alapanyagra

A vizsgálat célja az volt, hogy az egyik legnagyobb mennyiségben képző hulladék, a PET reciklálása során készülő termékek UV sugárzás hatására bekövetkező öregedését tanulmányozzam. Ennek érdekében összehasonlítottam a palack alapanyagul szolgáló PET granulátumból, és a PET palackok reciklálásából származó darálékból fröccsöntött próbatestek öregedését, elsősorban a mechanikai tulajdonságok változása alapján.

Magyarországon a legnagyobb sugárzásnak kitett területen a globálsugárzás átlagos értéke 4000-5000 MJ/m² között változik. Ennek az UV tartományba (300-400 nm) eső része kb. 4% (180 MJ/m²), a látható fény (400-800 nm) tartományba eső része pedig 55% (2300 MJ/m²). A rendelkezésemre álló Suntest CPS+ berendezéssel mintegy 6 hét alatt lehetett az egy éves magyarországi nappfényesugárzást modellezni. A vizsgálati hőmérséklet 55°C volt.

A szakítóvizsgálatok alapján a húzószilárdság változását összehasonlítva eredeti és reciklált PET esetében megállapítható, hogy az eredeti anyag húzószilárdsága a besugárzási idő függvényében nem változik szignifikánsan, reciklált PET esetében azonban közel lineárisan csökken (12/a. ábra). Ennek oka a reciklált anyag degradációja, vagyis molekulaláncainak nagyobb fokú tördelődése,

illetve az ebből adódó eltérő morfológia lehet. Az öregítés során a minták szakadási nyúlása és ütőszilárdsága drasztikus mértékben csökkent. A próbatestek felszínéből kivágott mintákon vizsgáltuk a kristályos részarány változását. A 12/b. ábrán megfigyelhető, hogy a bár mindkét fajta anyag kristályosága közel lineárisan növekedett a besugárzási idő függvényében, az emelkedés üteme az eredeti anyagnál lényegesen nagyobb volt, mint a reciklált anyagnál. A húzószilárdság eltérő változására lehetséges magyarázat, hogy az eredeti anyag nagyobb fokú kristályos részarány változása kompenzálta a szilárdságcsökkenést, köszönhetően a rendezett, kristályos részek jobb mechanikai tulajdonságainak.



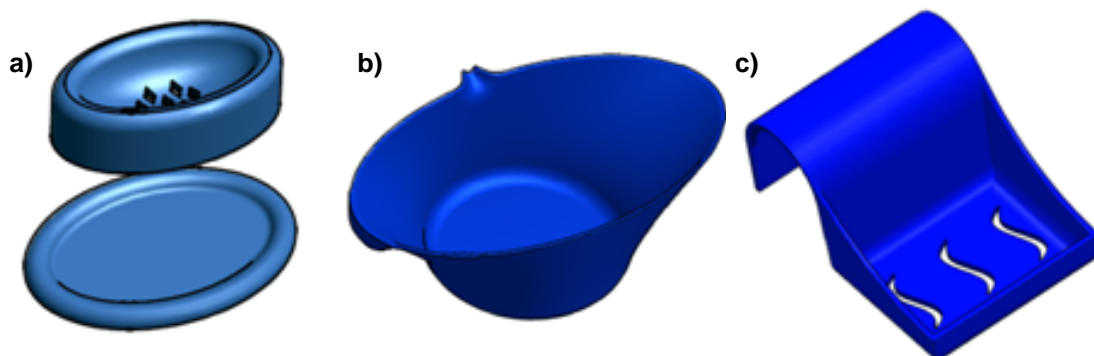
12. ábra Eredeti és reciklált PET tulajdonságainak változása a besugárzási idő függvényében

3. Az anyagfejlesztési eredmények alkalmazási lehetőségei

A kísérletek elvégzése után igazoltnak tűnik az a hazai tapasztalat, hogy a vegyes műanyag hulladék feldolgozásának nem a tulajdonságromlás az elsődleges akadálya, hanem sokkal inkább a megfelelő piaci szegmens, az eladható termék megtalálása. Ennek érdekében többféle felhasználási területre készítettem termékterveket, prototípusokat, illetve fröccsöntött terméket.

3.1. Háztartási termékek tervezése

A megtervezett „fürdőszoba-szett” három termékének 3D-s képe a 13. ábrán található.

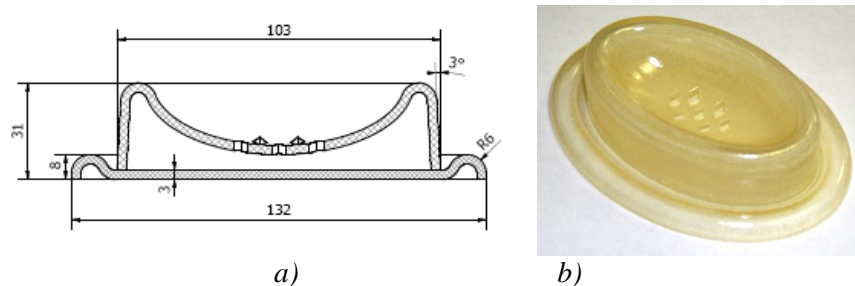


13. ábra Tervezett háztartási termékötletek: a-szappantartó, b-lavor, c-kádra akasztható konzol

A tárgyak fröccsöntéssel készülének, sorozatgyártásban, anyaguk a megfelelően stabilizált, kisebb sűrűségű (0,97 alatt) műanyag frakció lenne.

Szappantartó

A szappantartó gyártáshelyes kialakítása és prototípusa a 14. ábrán látható.

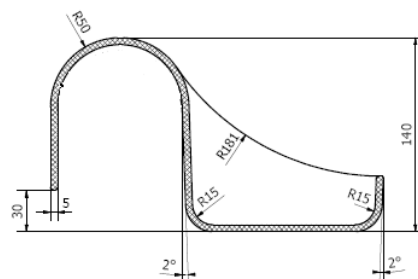


14. ábra A szappantartó gyártáshelyes kialakítása a főbb méretekkel (a) és prototípusa (b)

Elemelve a gyártásnak megfelelő kialakítási lehetőségeket, az alsó, tálca rész peremének 7 mm-es vastagsága fröccsöntéskor beszívódást, hólyagképződést vagy folyási nyomvonalakat illetve összecsapási nyomokat eredményezhet a falvastagság egyenetlensége és az anyag-felhalmozás miatt. Ezért a tálca rész peremét üregesre alakítottam át 3 mm-es falvastagságot alkalmazva. Ezáltal anyagmegtakarítást is elértem. A szerszámból való eltávolításkor, kidobáskor, a felső rész palástfelülete párhuzamos a szerszám felületével, így nehézkes a szerszámból való távozás, ezért minimális, 3 fokos dőlésszöget alkalmaztam.

Kádra akasztható konzol

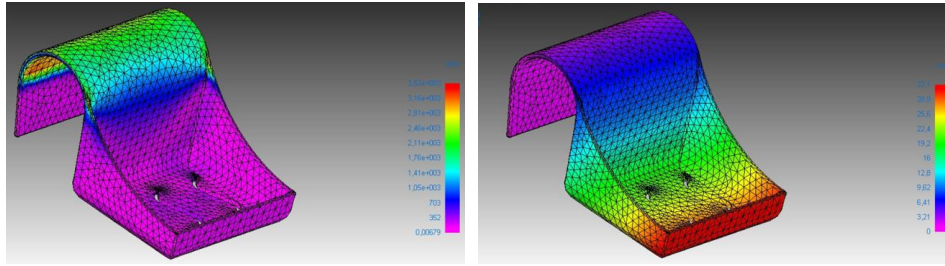
A kádra akasztható konzol alkalmas lenne a fürdőkád peremére akasztva különféle tisztálkodási szerek (pl. sampon, tusfürdő, borotvahab.) tárolására. A termék tervezett befoglaló méretei: 240 x 180 x 140 mm, becsült tömege 0,4 kg. A gyártáshelyes kialakítás érdekében a vastagságot csökkenteni kell, azonban a teherbírást sem szabad figyelmen kívül hagyni. A végeelem analízis segít a rá ható mechanikai igénybevételek elemzésével a kritikus terhelési helyek megtalálásában. További gyártástechnológiai szempontok megvizsgálásával a termék szerszámból történő kidobásának megkönnyítése érdekében, a 15. ábrán látható módon a szerszámból való távozás irányával párhuzamos érintkező síkot 2%-os dőlésszögűre alakítottam.



15. ábra Gyártáshelyes kialakítás

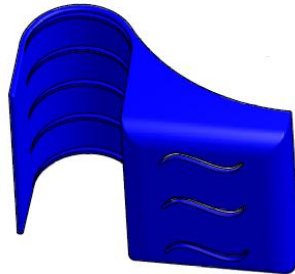
A termék falvastagságát 5 mm-re csökkentve, a gyártási technológiának megfelelő geometriával végigfuttattam a VEM analízist. Terhelésnek 15 N-t választottam. Ez nagyjából a tálcafelületbe beférő 3-4 db tisztálkodási szer tömege. A 16. ábrán látható, hogy feszültség szempontjából a kád

peremére illeszkedő felület a legkritikusabb. Elmozdulás szempontjából a tálca részének vége hajlik le legjobban a megadott terhelés hatására (32 mm).



16. ábra „Kádra konzol” feszültségeloszlása (baloldalt) és elmozdulása (jobbról)

Megerősítésként a kádra illeszkedő íves felületre 5db 3 mm széles bordát helyeztem el egyenletesen elosztva kb. 40 mm-es osztásközzel (17. ábra).

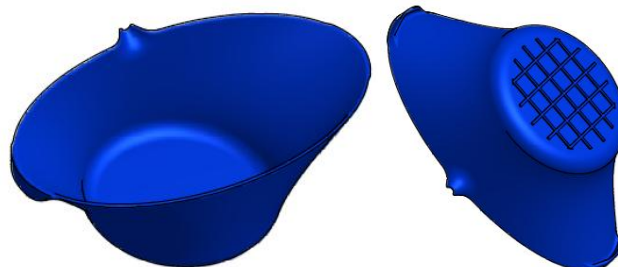


17. ábra Bordázattal megerősítve

Ezek alkalmazásával a bordázott ívek külső peremén jelentkeztek kisebb lokális feszültségkoncentrációk, amelyek kis mértékben megnövelték a Von Mises-féle feszültség értékeit, a tálca végének a megfogási felülethez viszonyított maximális elmozdulása viszont csökkent.

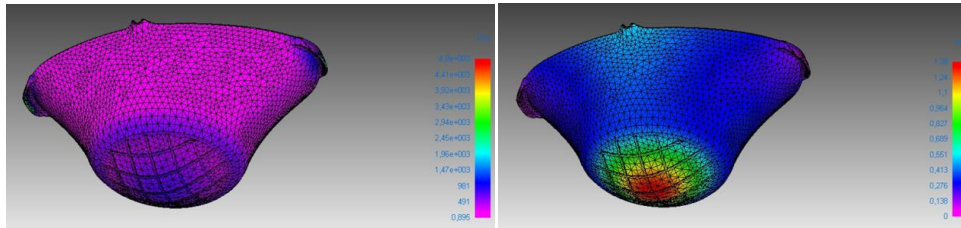
Lavor

A termék tervezett befoglaló méretei: 600 x 355 x 202 mm, becsült tömege 1,4 kg. A terhelések modellezésére szintén a VEM analízist alkalmaztam. Megfogási pontoknak a füleket vettem, terhelésnek 20 N súlyerőt és 2 kPa nyomást alkalmaztam, amely színültig töltött vízmennyiséget és még kb. 2 kg vizes ruhaneművel történő terhelést modellez. A legnagyobb feszültség a megfogásnál, a füleknél ébred, illetve a fenék rész peremén és a súlypontja körül (5,8 MPa). A legnagyobb deformáció pedig fenék rész súlypontjában keletkezett (1,84 mm). Ezért erősítésként a fenék rész külső felületét bordázottra alakítottam át az 18. ábrán szemléltetett módon.



18. ábra Ráccsal megerősített verzió 3D-s képe

Az így lefutott VEM analízis is igazolja, hogy a rácsok felveszik a terhelés egy részét, ezáltal több és újabb feszültséggyűjtő helyeket létrehozva, a rácsok mentén. Ezáltal a maximális feszültség értéke is lecsökkent 4,9 MPa-ra, a deformáció mértéke pedig 1,38 mm-re (19. ábra).

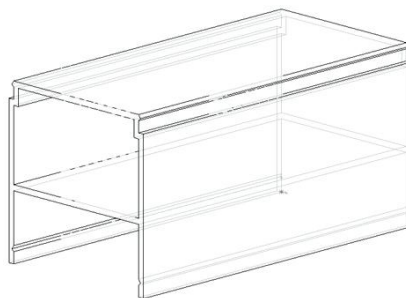


19. ábra Ráccsal megerősítve a feszültségeloszlás (baloldalt) és elmozdulás (jobbról)

3.2. Építőelem tervezése

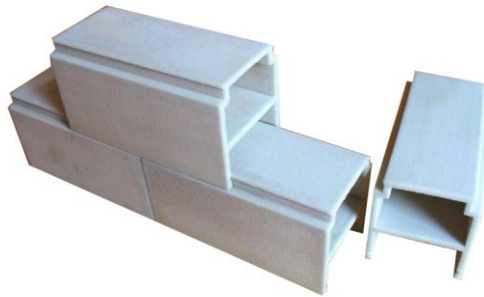
Véleményem szerint jó alkalmazási területek találhatók ilyen szempontból az építőiparban, ahol egymással lego-szerűen összeépíthető műanyagtéglákból sok munka gyorsan és egyszerűen elvégezhető lenne, valamint ki lehetne használni a műanyagok egyik legfontosabb tulajdonságát, a szigetelőképeséget. Az elemek rögzítése külön szerelés és ragasztás nélkül történne, ezért használat után szétbontható lenne a szerkezet. Egy ilyen terméknek igen sok követelménynek kell megfelelnie. Ilyen például a kis tömeg – a könnyű üreges szerkezet gazdaságossá teszi az anyagfelhasználást és megkönnyíti az építőelemek szállítását és kezelését; ám meg kell tartani a megfelelő stabilitást. Az elemeknek lehetőleg kötőanyag, szerelés nélkül rögzíthetőnek kell lenniük, így tetszőleges kialakítású építményeket lehet egyszerűen létrehozni belőlük. Fontos az időjárás-állóság, az égésgátoltság és nem utolsósorban a gazdaságosság.

A javasolt gyártási technológia az extrúzió. Ez az eljárás termelékenyebb a fröccsöntésnél, kisebb a berendezés és a gyártás költsége és kevésbé érzékeny az anyag tulajdonságaira. Mivel a gyártás itt folyamatos, ezért hosszirányban tetszőleges méretű darabokat állíthatunk elő. Ha az extrudálással gyártható építőelem falvastagsága a profil mentén mindenhol állandó, akkor a kellő a szilárdság érdekében ennek meglehetősen nagyoknak kell lenni. A gyártásához nagyteljesítményű extruderre és nagyméretű szerszámra lenne szükség, továbbá a nagy falvastagság miatt megfelelő hűtő és kalibráló szerszámot kell alkalmazni az alakrögzítéshez. A falvastagságot csökkenteni tudjuk, ha az elem belsejében hosszanti merevítést alkalmazunk. (20. ábra), ezáltal egyszerűsíthetjük a gyártást, mivel kevesebb lesz a hűléshez szükséges idő. Az elemek egymáshoz rögzítése történhet egymásra pattintással vagy összecsisztatással. A termék felületét érdemes itt is érdekessé tenni, hogy az egyenetlenségek kevésbé legyenek láthatóak, ez hosszanti barázdákkal oldható meg.



20. ábra Extrudálással gyártható építőelem merevítő bordával

A saroknál rétegenként váltakozva az oldalfal egyik eleme túlnyúlik a másikon, így a rétegeket téglakötéssel lehet egymáshoz rögzíteni. Ehhez azonban az alsó elem felső csatlakozó részén egy bevágást kell ejteni, hogy a fölötte lévő elem rá tudjon illeszkedni. Ez a művelet nem igényel bonyolult szerszámot, és az építés helyszínén is könnyen elvégezhető. Egy további lehetséges megoldás a sarok kialakítására, ha a derékszögben érintkező elemek végét 45 fokban levágjuk, majd hegesztéssel rögzítjük egymáshoz. A hegesztést egy fűtőlappal lehet elvégezni, amit először a két oldalelem közé helyezünk, majd a felhevítés után eltávolítunk onnan és összeszorítjuk az elemeket. Ebben az esetben nincs szükség a fal végét lezáró fedőlapokra, azonban az így összeszerelt épület nem bontható szét az elemek roncsolása nélkül. A megvalósíthatóság, és a tervezés további pontosítása érdekében egy Z Corporation Z810 3D nyomtató segítségével elkészítettük a termék kicsinyített prototípusát (21. ábra). A termék valós méreteit még nem határoztuk meg pontosan, ez függvénye az előállításához használni kívánt extruder paramétereitől, hozzávetőlegesen azonban 120x180 mm keresztmetszetet tartunk irányadónak.



21. ábra Az elkészült prototípus

3.3. Gépjármű alkatrész tervezése

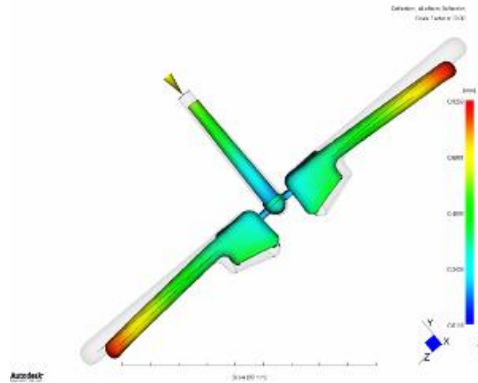
A termék kiválasztása során fontos szempont volt, hogy egy gépjárműben megtalálható műszaki alkatrészt váltsunk ki másodlagos műanyaggal, bebizonyítva ezzel, hogy hulladékból is lehet a célra megfelelő terméket gyártani. Elsősorban olyan ötleteket kerestem, amelyek vastag keresztmetszetükből adódóan biztonságosan gyárthatóak és használhatóak, ugyanis a hulladék tulajdonságaiból adódóan közel sem olyan homogén, mint egy tiszta polimer, de megfelelő termékválasztásnál ez nem feltétlenül okoz problémát.

A gépjárművek belső ajtónyitó karja primer nyersanyag esetén általában ABS-ből készül. Elvárás a termékkel szemben, hogy a hőmérsékletingadozást jól viselje, a gépjármű ajtajának nyitása során fellépő erőknek alakváltozás nélkül ellenálljon, ezen kívül fontos, hogy a termék esztétikailag illeszkedjen a gépjármű belső utasteréhez.

A tervezés során figyelembe vettem, hogy egy felnőtt emberi kéz könnyen és biztonságosan nyithassa ki a szerkezetet, ezért a fogórész magasságát 15 mm-nek választottuk a végét és az éleit pedig teljesen lekerekítettük. A befogó résznél, a termék alján 25° ferdeségű levágás készült, mely az alkatrész könnyebb szerelhetőségét biztosítja. Ezen kívül minden olyan pontban, ahol két felület találkozik 3-5 mm-es lekerekítést alkalmaztam, így a termék sehol sem végződik élből, ezért biztonságosan használható.

3.3.1. Szerszámtervezés és szimuláció és fröccsöntés

A szerszám tervezése során figyelembe kellett venni, hogy a BME Polimertechnika Tanszékén található cserélhető betétes szerszámába alkalmazható legyen. Ezért mind a szerszám méretein, mind tűrésein, illetve a hűtőkörök csatlakozásain nem tudtunk változtatni. Az osztósík megválasztása után a beömlő és elosztó csatornarendszer valamint a hűtőkörök optimalizálását Autodesk Moldflow Insight szofverrel hajtottuk végre (22. ábra). A szimuláció eredménye képen egy 2x10 mm-es film gátas meglövést alkalmaztam a jó kitöltés érdekében. A hűtést 8,5 mm átmérőjű egykörös hűtő csatornarendszer biztosítja. A megtervezett majd legyártott betétek egy ún. 1+1 fészkes (jobb-balos) szerszámnak felelnek meg (23. ábra).



22. ábra A szerszám fröccs-szimulációs modellje



23. ábra A legyártott szerszám betétek (fenn álló oldali, lenn mozgó oldali)

A terméket nem csak az általam fejlesztett másodlagos alapanyagból, hanem kétféle referencia polimerből is legyártottam. Az egyik referenciának az ilyen célra hagyományosan használt műanyagot, az ABS-t választottuk, a másik referencia pedig egy olcsó, erősítetlen tömegműanyag, a PE volt, amit azért választottunk, mert az alkalmazott hulladék frakció nagy részben polietilént tartalmazott. Az elkészült termék fényképe a 24. ábrán látható.

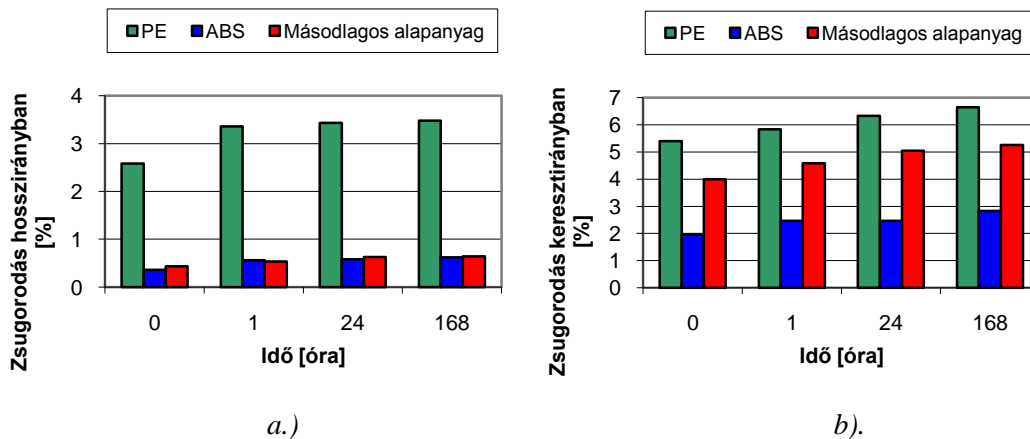


24. ábra A másodlagos alapanyagból fröccsöntött autóajtó-nyitó kar

3.3.2. Termék vizsgálatok

Zsugorodás vizsgálat

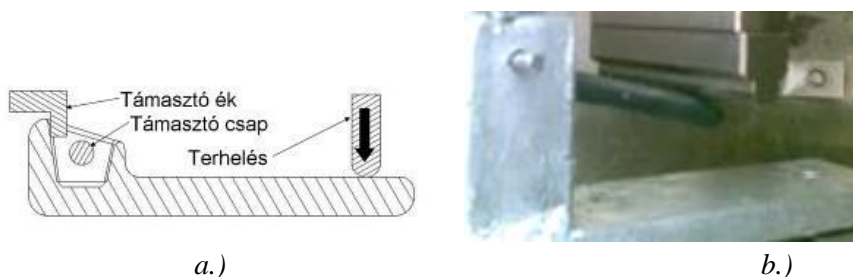
A különböző anyagokból készült termékek zsugorodását elemezve megállapítható, hogy a kilincs vastagságának zsugorodása (áramlásra merőleges irány) minden esetben lényegesen nagyobb a hossz-irányú zsugorodásnál (25. ábra). A részben kristályos PE zsugorodása bizonyult a legnagyobbak: hosszirányban 3,5%-ot, keresztirányban pedig csaknem 7%-ot. Az ABS-ből készült termék zsugorodása csekély volt, hosszirányban 0,5% körüli, keresztirányban pedig 3% alatt maradt. A másodlagos alapanyagból készült termék zsugorodása hosszirányban az ABS-hez hasonlóan csupán 0,5% zsugort mértünk, ami messze elmaradt a PE-re jellemző értékektől. Keresztirányban viszont zsugorodás a két referencia anyag közé esik a kb. 5%-os mért értékkel, ami már sokkal jobban közelíti a polietilént. A hossz- és keresztirányban tapasztalt eltéréseket az üvegszálak fröccsöntés során kialakuló orientációja magyarázhatja.



25. ábra A termékek zsugorodásának alakulása a fröccsöntés után a: hosszirányban (áramlás irányban) b: keresztirányban (az áramlási irányra merőlegesen)

Mechanikai vizsgálatok

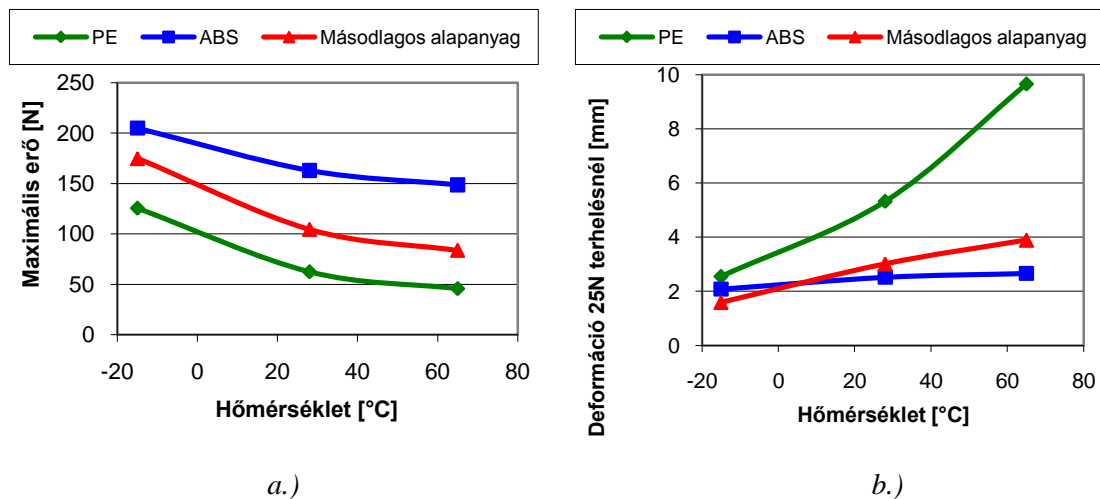
Az elkészült termékek tulajdonságait kétféle szempontból ellenőriztem, ugyanis a termék funkciójából adódóan a legfőbb fellépő igénybevétel a hajlítás; amit egy speciálisan erre a célra készített befogó segítségével mértük (26. ábra); illetve Charpy féle ütvehajlító vizsgálatot is végeztem.



26. ábra A funkcionális vizsgálathoz használt mérési elrendezés sematikus ábrája (a) és fotója (b)

A funkcionális vizsgálatok során három különböző hőmérsékleten mértem a termék által elviselt maximális terhelést, majd a kapott eredményeket a 27/a ábrán foglaltam össze. Az eredmények

értékeléséhez fontos információ, hogy rendeltetészerű használat során az ajtónyitó karra 25 N terhelés hat, tehát $-15-65^{\circ}\text{C}$ tartományban a másodlagos alapanyagból készült ajtónyitó kar minimum háromszoros biztonsági tényezővel megfelel az igénybevételnek. A 25 N terheléshez tartozó deformációt vizsgálva megállapítható, hogy a másodlagos alapanyagból készült termék merevsége az ABS-hez hasonló, a deformáció 65°C -on sem haladja meg a 4 mm-t, ami elfogadható (27/b ábra). Összehasonlításképpen megfigyelhető, hogy az erősítetlen PE ezen a hőmérsékleten már 10 mm-t deformálódik.



27. ábra A vizsgálatok során elviselt maximális erő (a) és a 25 N terhelésnél mért deformáció (b) a hőmérséklet függvényében

Az ütvehajlító vizsgálatokat Ceast Impact Junior berendezéssel, 25 Joules kalapáccsal, 60 mm alátámasztási szélességgel végeztem szobahőmérsékleten, az ütést az ajtónyitó karok lapjára irányítva. A vizsgálatok során az újrahasznosított anyagból készült termék esetében mértük a legkisebb értéket (1. táblázat). Az értékelésnél azonban figyelembe kell venni azt a tényt, hogy az ABS és a PE kiemelkedő ütészilárdsággal rendelkezik, így az ezekhez viszonyított alacsony érték nem jelent teljesen rideg viselkedést, hozzávetőlegesen a PP ütészilárdságával egyenértékű.

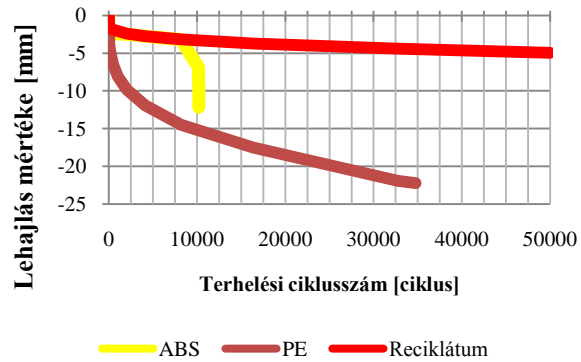
	Ütészilárdság [kJ/m ²]
PE	14,7±0,2
ABS	9,9±0,5
Másodlagos alapanyag	2,8±0,6

1. táblázat Az ütvehajlító vizsgálat eredményei

A fásztó vizsgálatokat a funkcionális vizsgálatához hasonló elrendezésben végeztem (28/a ábra). A vizsgálatot 80N terheléssel végeztük, az eredményeket a 28/b ábra foglalja össze. Megállapítható, hogy a másodlagos nyersanyagból készült termék deformálódott a legkisebb mértékben a ciklusszám függvényében, így ez az anyag kiemelkedően jól ellenáll a fásztó igénybevételnek.



a.)



b.)

28. ábra A fárasztó vizsgálat elrendezése (a) és mért deformáció a ciklusszám függvényében (b)

4. Összefoglalás

A kutatási időszakban a vegyes műanyag hulladék értéknövelt hasznosítására fejlesztettem ki új eljárást, amelynek segítségével magas műszaki követelményeknek megfelelő alkatrész gyártását is megvalósítottam.

A kutatás első felében a vegyes műanyag hulladékot eredeti polimerek keverékével modelleztem és ezeket vizsgáltam mechanikai, valamint morfológiai szempontból. Elsőként a polimer blend-morfológiák kialakulását és tulajdonságait tanulmányoztam, majd kutatásaimat kiterjesztettem üvegszál-erősítéses rendszerekre is. A polimer keverékek esetében igen lényeges szempont a fázisok határfelületein kialakuló kapcsolódás erőssége. Az adhézió növelésére az irodalomban több módszer található, én az elektronkezelés kompatibilizáló hatását vizsgáltam. Az eredményeket összefoglaló publikáció a Materials Science Forum c. folyóiratban jelent meg. Az eddig vizsgált blendek tulajdonságainak értelmezése érdekében kétalkotós keveréken vizsgáltam meg alapvető – ám az irodalomban még nem pontosan feltárt – jelenségeket. A megfigyelések alapján egyszerű morfológiai modelleket hoztam létre, amelyekkel jól magyarázhatóak a különböző összetételű blendek mechanikai tulajdonságainak változásai. Kutatásaimat egyszerűsített cikkben foglaltam össze, amely a Polymer Composites (IF:1,19) c. újságnál jelent meg.

A munka során kifejlesztett új kritikus szálhossz meghatározási módszer különösen nagy jelentőséget kap, mivel az extrudálás és fröccsöntés jelentős száltördelődést eredményez. Az eredményeket a 'Polymer Testing' c. nemzetközi impact faktoros (IF=1,36) folyóiratban publikáltuk.

A kutatások következő fázisában a vegyes műanyag hulladék adalékolásának optimalizálásán dolgoztam. Többféle égésgátlóval, kompatibilizáló-szerrel és stabilizátorral kísérleteztem, valamint speciális szendvicskompozitok fejlesztésében is részt vettem, amelyekben az adalékok és az erősítő szálak közösen biztosítják a termék optimális tulajdonságait. Az e témában született eredményeket az Express Polymer Letters c. folyóirathoz nyújtottuk be (IF=2,15).

Az anyagfejlesztésekkel párhuzamosan számos termékötlet merült fel, amelyek közül többet meg is terveztünk, illetve legyártottunk a prototípusát. A kutatómunka során azonban világossá vált, hogy a vegyes műanyag hulladékokat is érdemes egy olcsó szétválasztási (sűrűség alapú úsztatásos) eljárással differenciálni, és a különböző sűrűségű csoportokat különböző területeken hasznosítani. Így az alacsonyabb sűrűségű hulladékból fejlesztett anyaggal akár az autógyártást is meg lehetne

célozni. Ennek bizonyítására hallgatóimmal egy autóiipari alkatrészt, valamint annak gyártószerszámát terveztük és gyártottuk le. Az általunk fejlesztett anyagból fröccsöntött terméket egy autóiiparban általánosan használt műszaki műanyaggal hasonlítottuk össze, és a különböző vizsgálatok során igen biztató eredményeket kaptunk. A nagyobb sűrűségű hulladékok hasznosítására is többféle megoldást javasoltunk a háztartási- és az építőipar számára. Az eredményeket rendszeresen publikáltuk magyar szaklapokban (Műanyag és Gumi, Jövő Járműve).

A kutatómunka során számos az újrahasznosításhoz kapcsolódó részproblémával foglalkoztam, például a gyártásközben keletkező nagyobb tisztaságú műanyag hulladékok visszaforgatásával, vagy az erősen szennyezett és így csupán kémiai újrahasznosításra alkalmas hulladékok problémájával. Az ezeken a területeken elért eredményeimet is nemzetközi folyóirathoz küldtem be (Journal of Analytical and Applied Pyrolysis (IF=1,91)).

A kutatási eredmények szerepe az oktatásban

A kutatási eredményeket sikeresen építettem be a Műanyag hulladék menedzsment című gépészmérnöki MSc tárgy tananyagába, amelynek keretében évente 100-150 gépész hallgatót oktatok. A tantárgyhoz nem csak elméleti előadásokból áll, hanem az általam kidolgozott rendszerben a hallgatók olyan csoportokat alkotnak, amelyek otthon hetekig szelektíven gyűjtik a műanyag hulladékot, majd a gyakorlatok keretében anyagoként válogatják, ledarálják, majd extrudálással homogenizálják és terméket fröccsöntenek belőle. Ez a gyakorlatban végigvitt újrahasznosítási ciklus jól kiegészíti az előadásokat, és fontos szemléletformáló hatása van.

A tárgyhoz jegyzet írása folyamatban van, jelenleg mintegy 60 oldal van kész. A vizsgálatok eredményei alapján a három év alatt 7 TDK, 9 szakdolgozat és 12 diplomamunka született vezetésemmel.

Köszönetnyilvánítás

Végezetül szeretnék köszönetet mondani az OTKA-nak, hogy kutatásomat lehetővé tették.

Publikációk

Folyóiratcikkek / *Magyar nyelvű:*

- [1] **Ronkay F.**, Bodzay B., Dogossy G.: Műszaki alkatrész előállítás a vegyes műanyag hulladékból. *Műanyag és Gumi*, 47 (2010), 331-334.
- [2] Jánoki G., **Ronkay F.**: Nem elegendő polimer keverékek szerkezete és mechanikai tulajdonságai. *Anyagvizsgálók Lapja*, 20 (2010), 16-21.
- [3] Lukács P., **Ronkay F.**: A gépjármű-recycling aktuális feladatai a szerves hulladékok hasznosítása vonatkozásában. *Műanyag és Gumi* 46 (2009), 70-73.
- [4] **Ronkay F.**, Hajas G.: Műanyag hulladék hasznosítási lehetőség az építőiparban. *Műanyag és Gumi*, 45 (2008), 321-323.
- [5] **Ronkay F.**, Czigány T.: Eredeti és reciklált polietilén-tereftalát tulajdonság-változásának összehasonlítása mesterséges öregítés során. *Anyagvizsgálók Lapja* 18 (2008), 79-85.

Folyóiratcikkek / *Idegen nyelvű:*

- [6] **Ronkay F.**, Fejős M., Bocz K., Toldy A., Bodzay B., Marosi Gy.: Upgrading of recycled polyolefins by preparing flame retarded layered composite. *Express Polymer Letters* (IF: 1,45), 2011 benyújtva
- [7] Szabo E., Márton O., **Ronkay F.**, Miskolczi N., Blaszó M.: Characterization of the liquid product recovered through chemical recycling of PMMA-ABS waste. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* (IF: 2,31), 2010 elfogadva, megjelenés alatt
- [8] **Ronkay F.**: Influence of Short Glass Fiber Reinforcement on the Morphology Development and Mechanical Properties of PET/HDPE Blends. *Polymer Composites* (IF: 1,19), 32 (2011); 586-595.
- [9] **Ronkay F.**, Mészáros L., Jánoki G., Czvikovszky T.: The effect of pre-electron beam irradiation of HDPE on the thermal and mechanical properties of HDPE/PET blends. *Materials Science Forum*, 659 (2010), 85-90.
- [10] **Ronkay F.**, Dogossy G.: Possibility of recycling of miscellaneous automotive polymer by products. *A Jövő Járműve*, 5 (2010), 34-37.
- [11] Vas L. M., **Ronkay F.**, Czigány T.: Active fiber length distribution and its application to determine the critical fiber length. *Polymer Testing* (IF: 1,36) 28 (2009), 752-759.

Nemzetközi és hazai konferencián elhangzott előadások jegyzéke

- [12] Bodzay B., Toldy A., Fejős M., Madi K., **Ronkay F.**, Marosi Gy.: Fire retardancy and reinforcement of plastic waste originating from different industrial sources. In: 14th European Conference on Composite Materials. Budapest, Magyarország, 2010. 06. 14-17. Budapest: Paper 661-ECCM14.

- [13] **Ronkay F.:** Recycling of automotive plastic waste with glass fibre reinforcing. In: 14th European Conference on Composite Materials. Budapest, Magyarország, 2010. 06. 07-10. Budapest: Paper 258-ECCM14.
- [14] **Ronkay F.,** Mészáros L., Czigány T., Sterzynski T., Matkó Sz., Bodzay B., Fejős M., Toldy A., Marosi Gy.: Recycling of mixed polymer waste upgraded with flame retardancy. In: 7th European Workshop on Phosphorus Chemistry. Budapest, Magyarország, 2010. 03. 25-26. pp. 13-17.
- [15] Toldy A., Bodzay B., Bocz K., **Ronkay F.,** Marosi Gy.: Multilayer flame retarded composites from recycled automotive shredder plastic waste. In: 14th European Conference on Composite Materials. Budapest, Magyarország, 2010. 06. 14-17. Budapest: Paper 800-ECCM14.
- [16] Dogossy G., **Ronkay F.,** Kozma I.: Polimer kompozitok CT vizsgálata. 5. AGY, Anyagvizsgálat a Gyakorlatban Szakmai Szeminárium, előadás, Mór, 2010. 06. 9-10.
- [17] **Ronkay F.,** Mészáros L., Czigány T., Toldy A., Sterzynski T., Matkó Sz., Fejős M., Bodzay B., Marosi Gy.: Recycling of mixed polymer waste upgraded with flame retardancy. Poster presentation. 12th European Meeting on Fire Retardant Polymers Materials FRPM 2009. 2009. 08. 30. – 09. 03. Poznan, Poland
- [18] **Ronkay F.:** Nem elegendő polimer blendek morfológiájának változása a feldolgozás különböző szintjein. In: VII. Országos Anyagtudományi Konferencia. Balatonkenese, Magyarország, 2009.10.11-13. Paper 20.