

# Műszaki alkatrész előállítása vegyes műanyag hulladékból

*Dr. Ronkay Ferenc\** egyetemi adjunktus, *Bodzay Brigitta\*\** PhD hallgató, *Dr. Dogossy Gábor\*\*\** egyetemi docens

## 1. Bevezetés

A műanyag hulladékok hasznosítása az elmúlt években hazánkban is az egyik legfontosabb kutatási területté vált. Az Európai Unió újrahasznosítási arányszámokat írt elő, amelyeket a kitűzött időpontra meg kellett valósítani [1]. Ezért 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 szembeni negatív szemléletet, ugyanis, ha a hulladékot megfelelően kezelik, akkor akár jó minőségű termék is előállítható belőle. A műanyag hulladék előkészítése magába foglalja az anyagfajták szerinti válogatást és a tisztítást. Ahhoz, hogy a termék az életciklusa során biztosítani tudja a kívánt minőséget, meg kell oldani a hulladék kémiai újraszabilizálását, valamint a megfelelő mechanikai tulajdonságok elérése érdekében szükséges lehet erősítőanyagok alkalmazása is. Mindenekelőtt a piac igényeit és a termékekkel szemben felállított követelményeket kell meghatározni, majd a kívánt tulajdonságokat megfelelő adalékokkal kell biztosítani.

Az általános hiedelmekkel ellentétben, a másodlagos nyersanyag megfelelő előkészítése és adalékolása esetén lehetőség nyílik akár műszaki alkatrészek előállítására is, ami a termék életciklusának zárttá tételével optimális megoldást jelenthet pl. az autóiipari műanyag hulladékok számára. A gépjárművekben alkalmazott műanyag alkatrészek csekély része távolítható el gazdaságosan a kézi előbontás során, többségük csak a shredderben történő aprítás után nyerhető ki az ún. könnyűfrakcióból, erősen kevert és szennyezett állapotban (1. ábra) [2].

Munkánk célja annak bizonyítása, hogy megfelelő adalékanyagokkal és technológiai lépésekkel lehetőség nyílik akár vegyes műanyag frakciók felhasználásával is olyan magas műszaki követelményeknek megfelelő termékek tervezésére és gyártására, amelyek akár az autóiiparban is alkalmazhatók.



1. ábra. Mintavételezés a gépjárművek shredderben történő aprítása során leválasztott hulladék könnyűfrakcióból

## 2. Anyagfejlesztés műanyag hulladékból

Az autókból származó shredder könnyűfrakcióból örvényáramú szeparátorral kiválogatott polimerek tisztítás után egy nehéz szuszpenziós dúsító berendezés segítségével sűrűség alapján osztályozzák. A  $0,01 \text{ g/cm}^3$  lépésközönként szétválasztott csoportok elemzése során megállapítottuk, hogy míg a  $0,93 \text{ g/cm}^3$  sűrűség alatti hulladék többségében polipropilént tartalmaz, addig a  $0,93\text{--}0,97 \text{ g/cm}^3$  között a fő komponens a polietilén, mellette kis mennyiségű PP is megjelenik, PP:PE arányuk 1:9-re tehető. Kísérleteink alapanyagául a  $0,93\text{--}0,97 \text{ g/cm}^3$  sűrűségű frakciót választottuk, amely ideális keverékmátrixnak tűnt, mivel alkotói közül a polipropilén a szilárdságot, a polietilén pedig a szívósságot és alacsony hőmérsékleten jobb teljesítményt biztosíthatja.

A műanyag hulladékok stabilizálásához *Irganox B215* adalékot használtunk, amely a CIBA által gyártott *Irganox 1010* (fenolos antioxidáns) és *Irgafos 168* (foszfit) 2:1 arányú keveréke. Előkísérleteink során megállapítottuk,

\*BME Polimertechnika Tanszék

\*\*BME Szerves Kémia és Technológia Tanszék

\*\*\*Széchenyi Egyetem, Anyagismereti és Járműgyártási Tanszék

hogy a 0,8 tömeg% stabilizátor alkalmazásával létrehozott – a biztonság kedvéért kissé túlstabilizált rendszer – hatékonyan csökkentette a PE/PP keverékek mechanikai tulajdonságainak romlását a kemencében végzett öregítési vizsgálatok alapján, és ellenállt a többszöri feldolgozás során fellépő hőhatásnak is, csökkentve ezzel a fellépő degradáció mértékét [3].

Előkísérletek során a megfelelő szálerősítéshez többféle üveg- és bazaltszálát alkalmaztunk. Különböző arányokban kevertünk a hulladékhoz, és vizsgáltuk a mechanikai jellemzőket. A 3B FIBERGLASS COMPANY által gyártott *3B DS 2200-13P* üvegszállal erősített típus a legjobban, már 25 tömeg%-nál közel 50%-kal, növelte az anyag szilárdságát, és 80%-kal a merevségét. A másodlagos alapanyagot tehát 74,2 tömeg% hulladék polimer, 25 tömeg% üvegszál és 0,8 tömeg% stabilizátor ömledékkeverésével állítottuk elő BRABENDER *Plasticorder* kétcsigas extruderben [4].

### 3. Termégyártás

#### 3.1. Terméktervezés

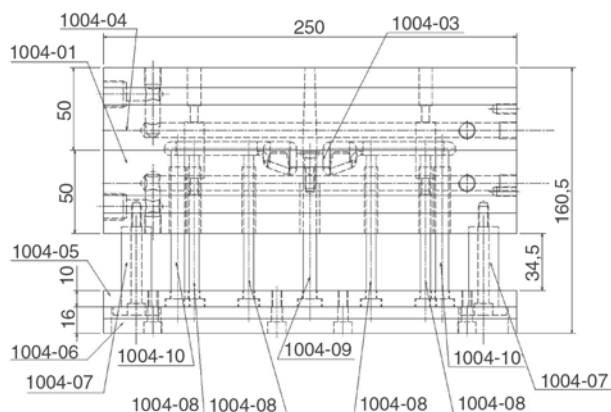
A termék kiválasztása során fontos szempont volt, hogy egy valódi gépjármű műszaki alkatrészt helyettesítsünk másodlagos műanyaggal, bebizonyítva, hogy hulladékból is lehet jó minőségű terméket gyártani. Elsősorban olyan alkatrészeket kerestünk, amelyek elegendően nagy falvastagságúak, ugyanis a vegyes 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 erőknél alakváltozás nélkül ellenálljon, ezen kívül fontos, hogy esztétikailag illeszkedjen a gépjármű belső utasteréhez.

A tervezés során figyelembe vettük, hogy egy felnőtt emberi kéz könnyen és biztonságosan használhassa a kilincset, ezért a fogórész magasságát 15 mm-nek választottuk, a végét és az éleit pedig teljesen lekerekítettük. A befogórésznél, a termék alján 25° ferdeségű levágást alkalmaztunk, mely az alkatrész könnyebb szerelhetőségét biztosítja. Ezen kívül minden olyan pontban, ahol két felület találkozik 3–5 mm nagyságú lekerekítést alkalmaztunk, így a termék sehol sem végződik élből, ezért biztonságosan használható.

#### 3.2. Szerszámtervezés és szimuláció

A szerszámtervezés során, a gazdaságosságot is figyelembe véve, célunk az volt, hogy alkalmas legyen a BME POLIMERTECHNIKA TANSZÉK-én a cserélhető betétes fröccsöntő szerszámhoz. Ezért sem a szerszám méretein, sem tőrésin, illetve a hűtőkörök csatlakozásain nem vál-



2. ábra. A szerszámtervezés modellje tételszámokkal és főbb méretekkel



3. ábra. A legyártott szerszámtervezés (fent álló oldal, lent mozgó oldal)

toztathattunk (2. ábra). Az osztósík megválasztása után a beömlő- és elosztó csatornarendszer, valamint a hűtőkörök optimalizálását AUTODESK *Moldflow Insight* szoftverrel végeztük. A szimuláció eredményeképpen egy 2×10 mm-es filmgátas meglövést alkalmaztunk a jó kitöltés érdekében. A hűtést 8,5 mm átmérőjű, egykörös hűtő csatornarendszer biztosítja. A megtervezett, majd elkészített betétek egy ún. 1+1 fészkes (jobb-balos) szerszámnak felelnek meg (3. ábra) [5].

#### 3.3. Fröccsöntés

A terméket nemcsak az általunk fejlesztett üvegszál kompozitból, hanem kétféle referencia polimerből is elkészítettük. Az egyik referenciának az ilyen célra hagyományosan használt műanyagot, az ABS-t (*Novodur P2H-AT*) választottuk, a másik referencia pedig egy olcsó, erősítetlen tömegműanyag, a polietilén volt (*Tipelin BA 550-13*), mert az alkalmazott hulladékfrakció 90%-ban polietilént tartalmazott.

A három anyag fröccsöntési paramétereit az 1. táblázat tartalmazza, a gyártás ARBURG *Allrounder 320C* fröccsöntő gépen történt, a szerszámhőmérséklet minden esetben 40°C, a hűtési idő 40 s volt.

Az újrahasznosított alapanyagból fejlesztett kompozit

1. táblázat.  
Fröccsöntési paraméterek

Jellemző	PE	ABS	Kompozit
Ömledékhőmérséklet, °C	225	240	230
Fröccssebesség, cm <sup>3</sup> /s	50	35	50
Fröccsnyomás, bar	1000	1100	1400
Utónyomási idő, s	20	20	20
Utónyomás nagysága, bar	600	750	950



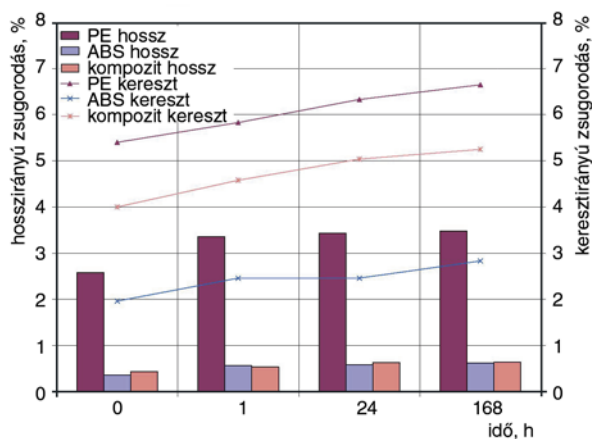
4. ábra. A másodlagos alapanyagból fröccsöntött autó ajtónyitó kar

termék gyártásánál nagyobb nyomást kellett alkalmaznunk, mint a referenciáknál, azonban a fröccsöntés során nem tapasztaltunk olyan problémát, ami a megakadályozná az előállítását. Az újrahasznosított kompozitból készült termék fényképe a 4. ábrán látható.

#### 4. Termékvizsgálatok

##### 4.1. Zsugorodás vizsgálata

A különböző anyagokból készült termékeket elemezve megállapítható, hogy a kilincs vastagságának zsugorodása (áramlásra merőleges irány) minden esetben lényegesen nagyobb a hosszirányú zsugorodásnál (5. ábra). A részlegesen kristályos polietilén zsugorodása bizonyult a legnagyobbaknak: hosszirányban 3,5%, keresztirányban csaknem 7% volt. 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% volt, ami messze elmaradt a polietilénre jellemző értékektől. Keresztirányban

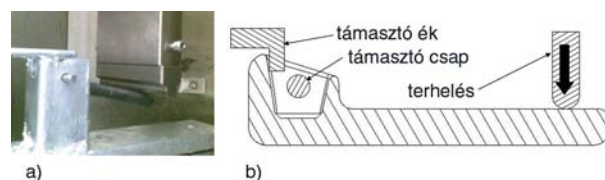


5. ábra. A termékek zsugorodásának alakulása a fröccsöntés után hossz- és keresztirányban

viszont a két referenciaanyag közé esik kb. 5%-os mértékkel, ami már sokkal jobban közelíti a polietilént. Az újrahasznosított alapanyagból gyártott termék hossz- és keresztirányú zsugorodása között tapasztalt eltéréseket a fröccsöntés során kialakuló, ún. mag-héj effektus okozza, amely következtében a szerszám falának közelében az üvegszálak az anyag áramlási irányában, a darab belsőjében pedig arra merőlegesen orientálódnak. Az ilyen mértékű eltérés valószínűleg a nagy falvastagság következménye.

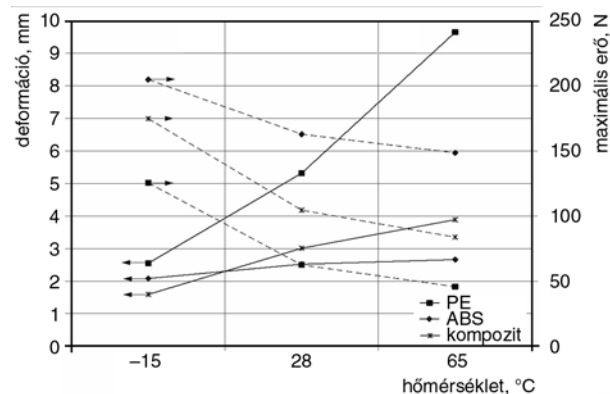
##### 4.2. Mechanikai vizsgálatok

Az elkészült termékek tulajdonságait kétféle szempontból ellenőriztük, ugyanis a termék funkciójából adódóan a legfőbb fellépő igénybevétel a hajlítás, amit egy speciálisan erre a célra készített befogó segítségével (6. ábra), illetve Charpy-féle ütvehajlító vizsgálattal is mértünk.



6. ábra. A funkcionális vizsgálathoz használt mérési elrendezés vázlatja (a) és fényképe (b)

A funkcionális vizsgálatok során három különböző hőmérsékleten mértük a termék által elviselt maximális terhelést, majd a kapott eredményeket a 7. ábrán foglaltuk össze. A mechanikai tulajdonságokat ZWICK Z050 típusú univerzális szakítógépen, 500 mm/perc igénybevételi sebességgel határoztuk meg. Az eredmények értékeléséhez fontos információ, hogy rendeltetésszerű használat során az ajtónyitó karra 25 N terhelés hat, tehát -15/+65°C tartományban a másodlagos alapanyagból készült kar minimum háromszoros biztonsági tényezővel megfele-



7. ábra. A vizsgálatok során elviselt maximális erő, és a 25 N terhelésnél mért deformáció a hőmérséklet függvényében

lel 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. Az erősítetlen polietilén ezen a hőmérsékleten 10 mm-t deformálódik, ami már nem elfogadható.

Az ütőhajlító vizsgálatokat CEAST *Impact Junior* berendezéssel, 25 J-os kalapáccsal és 60 mm alátámasztási szélességgel végeztük szobahőmérsékleten, az ütést az ajtónyitó karok lapjára irányítva. A vizsgálatok során az újrahasznosított anyagból készült termék esetében mértük a legkisebb értéket (2. táblázat). Az értékelésnél azonban figyelembe kell venni azt a tény, hogy az ABS és a polietilén kiemelkedő ütészállóságú, így az ezekhez viszonyított kis érték nem jelent teljesen rideg viselkedést, amely természetesen az üvegszál erősítés következménye. Ettől függetlenül ez az érték nem jelenti azt, hogy a kompozit nem lenne alkalmazható erre a célra, hiszen az ajtónyitó kilincse ritkán hat ilyen mértékű dinamikus terhelés.

**2. táblázat.**  
**Az ütőhajlító vizsgálat eredményei**

	Ütőszilárdság, kJ/m <sup>2</sup>
PE	14,7±0,2
ABS	9,9±0,5
Kompozit	2,8±0,6

## 5. Összefoglalás

Bebizonyítottuk, hogy a típusonként nem szétválogatott, vegyes műanyag hulladék is felhasználható autóiipari alkatrészek gyártására is. Az általunk tervezett és elkészített termék egy autó belső ajtónyitó kilincse, amelynek

fröccsöntő szerszámát is magunk terveztük meg. Kísérleteinkhez sűrűség szerint osztályozott és tisztított műanyagot használtunk üvegszál erősítéssel, stabilizátor adalékolásával. Az ideális recepturát előkísérletekkel alakítottuk ki (25% üvegszál és 0,8% stabilizátor). A kompozit tulajdonságai csak kis mértékben térnek el a referencia ABS értékeitől. A másik referencia, a polietilén azonban nem lenne megfelelő ehhez a termékhez. Összegezve kijelenthetjük, a vegyes műanyag hulladékok autóiipari alkalmazása lehetséges, megfelelő terméktervezés és -fejlesztés segítségével.

*A cikk megjelenését a Nemzeti Fejlesztési Ügynökség (GOP-1.1.2-07/1-2008-0003), a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal (OM-00151/2008 és OM-00266/2008), az Európai Unió 7-es keretprogramja (212782), az Országos Tudományos Kutatási Alap (OTKA PD 72722) és a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíja támogatta.*

## Irodalomjegyzék

- [1] Lukács, P.; Ronkay, F.: A gépjármű recycling aktuális feladatai a szerves hulladékok hasznosítása vonatkozásában, *Műanyag és Gumi*, 46/2, 70–73 (2009).
- [2] Németh, I. G.: Próbaüzem az Alcufer shredderüzemében, *Hulladéksors*, 10/5, 12–13 (2009).
- [3] Toldy, A.; Bodzay, B.; Terean, M.: Recycling of mixed polyolefin wastes, *Environmental Engineering and Management Journal*, ISSN 1582-9596 (2009).
- [4] Ronkay, F.; Dogossy, G.: Vegyes autóiipari műanyag hulladék újrahasznosítási lehetőségei, *A jövő járműve* 5/1, 34–37 (2010).
- [5] Dunai, A.; Macskási, L.: *Műanyagok fröccsöntése*, Lexica Kft., Budapest, 2003.