

# ORIGINÁL ÉS RECIKLÁLT PET KEVERÉKEK TULAJDONSÁGAINAK TANULMÁNYOZÁSA

## INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF ORIGINAL AND RECYCLED PET RAW MATERIAL

Bata Attila\*, Tóth Gergely, Ádámné Major Andrea, Nagy Dorottya, Dugár Tamás, Dugár Zsolt

Anyagtechnológia Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola,  
Magyarország

---

### Kulcsszavak:

PET,  
reológia,  
viszkozitás,  
újrahasznosítás  
reciklált PET

### Keywords:

PET,  
rheology,  
viscosity,  
recycling  
recycling PET

### Cikktörténet:

Beérkezett 2015. október 10.  
Átdolgozva 2015. október 31.  
Elfogadva 2015. november 5.

---

---

### Összefoglalás

A tömegműanyagok közül a PET felhasználás tekinthető az egyik legnagyobbnak. Ennek az anyagnak a visszagyűjtése részben megoldott, így nagy mennyiségben áll rendelkezésre PET darálék. A regranulálás során molekula szerkezeti változások következnek be, amelyek vizsgálata reológiai, termoanalitikai mérésekkel lehetséges.

### Abstract

Among plastic materials PET is used one of the most often. The collection of the material to be recycled is partially solved. This way we have great quantity of reground PET. During regrinding the structure of molecules changes, and these properties can be measured by rheology and thermal analysis methods.

---

## 1. Bevezetés

Napjainkban a PET (Polietilén-tereftalát) az egyik legelterjedtebb műanyag, ismertségét széleskörű, nagymennyiségű felhasználása okozza. A szénsavas, szénsavmentes ásványvíz illetve üdítő palackok jelentős része ebből az alapanyagból készül. A PET palackokat bizonyos helyeken már újrahasznosított PET felhasználásával állítják elő. Ebben az esetben körülbelül 10-25% reciklált PET-et alkalmaznak. A cél az, hogy ezt az újrahasznosított mennyiséget növeljék, ezzel visszaforgatva a felhasznált anyagot új palackok, termékek gyártásába. Ez a fejlesztési út, alaposabb és kidolgozottabb technológiákat igényel, hiszen nem egyszerű megállapítani az egyszer használt palackról, hogy mit tároltak benne, mennyire volt szennyezett az első felhasználás során [1]. A PET mechanikai tulajdonságai kiemelkedőek. Magas az ütésállósága, jól formázható, mérsékelten ellenáll a zsíroknak, olajoknak. Az UV sugárzás ellen bevonatokkal teljesen rezisztensé lehet tenni, bevonatolás nélkül viszont tartós sugárzás hatására besárgul. A PET +90°C-felett deformálódik, az ára a jelenlegi piaci állás szerint magas. Higroszkopikus hőre lágyuló polimer, ezért nagy jelentősége van a szárításnak, hiszen ez hatással van az anyag reológiai tulajdonságaira, a későbbi feldolgozás során pedig a termék jellemzőire [2]. A maradék nedvességtartalom hidrolitikus degradációt okoz az anyagban, ezért minél nagyobb a nedvességtartalom annál jelentősebb ez a hatás, ezért fontos az alapanyag szárítása.

---

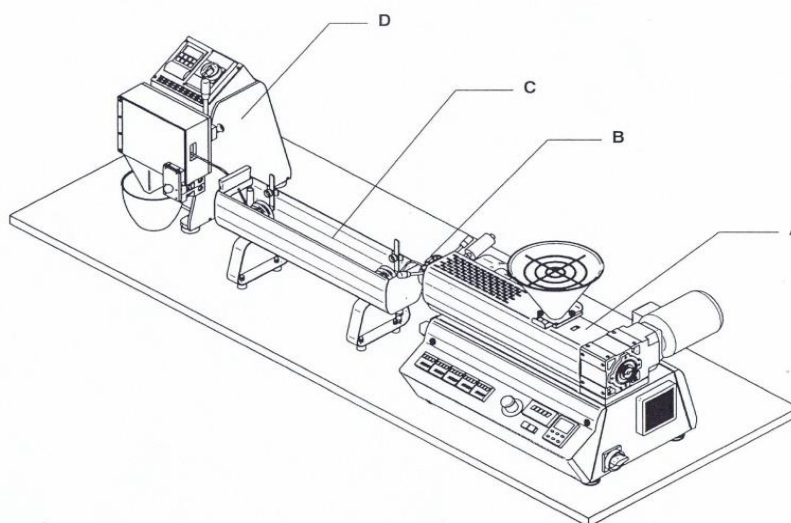
\* Kapcsolattartó szerző. e-mail cím: bata.attila@gamf.kefo.hu

A cikk témája PET daralék visszadolgozhatósági vizsgálata különböző keverési arányokban, illetve egyes méréseknél 100% - ban reciklált PET alapanyagot is vizsgáltunk. A méréseink mechanikai tulajdonságok vizsgálatára, illetve termoanalitikai mérésekre vonatkoznak.

## 2. Kísérleti rész

### 2.1. Alapanyag, keverékek előállításához használt berendezések

A vizsgálatainkhoz a Neogroup, által forgalmazott NEOPET 80 típusú, PET alapanyagot használtuk fel [3]. Az extrudálást a Collin Teach-Line E20T egycsigás extrúderrel végeztük el (1. ábra). Az egységnek független meghajtása és hőmérséklet szabályozása van, mindezek a keverés hatékonyságát segítik elő. A szemek méretét próbáltuk az originált alapanyaggal megegyező méretűre beállítani különböző technológiai paraméterek változtatásával, ezzel gondolván a megfelelő felület – térfogat arányra, ami fröccsöntésnél befolyásolhatja a keverékek feldolgozását.



1. ábra. Collin Teach-Line E20T egycsigás extrúder granuláló sorral

A szabványos próbatetek fröccsöntését egy ENGEL e –mac 310/100 típusú fröccsöntő gépen végeztük el (2. ábra). A gép teljesen elektromechanikus működtetésű, ezért precíz mechanikájának, illetve vezérlésének köszönhetően kiválóan sikerült reprodukálni a próbatesteket.



2. ábra. ENGEL e –mac 310/100 típusú fröccsöntőgép

## 2.2. Vizsgálati módszerek, eljárások

Az alapanyag, amit vizsgáltunk szennyeződésektől mentes új anyag, illetve annak reciklált anyagát használtuk fel 10 és 20% - os keverési arányban. Külön-külön fröccsöntöttünk próbatesteket az alapanyagokból, majd a kész darabokon mechanikai, illetve termoanalitikai vizsgálatokat végeztünk el. Az anyagvizsgálatokat az Instron 3366-os típusú univerzális kétoszlopos elektromechanikus vizsgálórendszerrel végeztük [4]. Az ütvehajlító vizsgálat egy kiépített mérő állomáson, Charpy Impactor II. műszerezett ütőmű segítségével történt [5]. A termikus jellemzőket TA Q200 DSC berendezéssel határoztuk meg [6].

## 3. Eredmények

### 3.1. Szakítóvizsgálat

Az originált alapanyagot, illetve a három keveréken a húzóvizsgálatot szobahőmérsékleten végeztük el. A mért görbékből meghatároztuk a rugalmassági moduluszt (1. táblázat).

1. Táblázat. Húzó rugalmassági modulus

Anyag	Rugalmassági modulus [MPa]	Szórás
PET originált	1769	69.8
PET 10% reciklált	1751	23.8
PET 20% reciklált	1742	37.4
PET 100% reciklált	1572	141,1

A kapott értékek alapján megállapítható, hogy a három keverék között minimális, szinte elhanyagolható a rugalmassági modulus értékének különbsége, viszont a 100%-ban reciklált anyag modulus értéke 13%-os változást mutat az originál anyaghoz képest. Az alapanyagok merevsége közel egyformának tekinthető.

A keverékek, illetve az originált alapanyag nyakképződési feszültségét a 2. táblázatban mutatjuk be.

2. Táblázat. Nyakképződési feszültség

Anyag	Nyakképződési feszültség [MPa]	Szórás
PET originált	60.8	0.252
PET 10% reciklált	57.35	0.371
PET 20% reciklált	57.57	0.371
PET 100% reciklált	60.6	0.849

A méréseink alapján meghatározható hogy a nyakképződési feszültséget jelentős mértékben nem befolyásolta egyik keverék sem, viszont az originál anyagnak van a legnagyobb feszültségi értéke. Ezért valószínűsíthetően az originál anyag lesz a legridegebb. A nyakképződési feszültség értékéhez tartozó nyúlás minél kisebb, az anyag annál ridegebb. A reciklált anyagból készített keverékek szórás mértéke nagyobb, mint a már korábban előállított granulátumból gyártott próbatesteké. A 100% - ban reciklált anyag szórása kicsivel több mint a háromszorosára nőtt. Ez a reciklált anyag moltömegeloszlására utalhat. A töredezett molekulaláncok miatt a szórás is nagymértékben nő. A rugalmassági modulusz illetve a nyakképződési feszültség értékei viszonylag jól meghatározhatóak voltak.

### 3.2. Ütővizsgálat

Minden egyes keveréknek meghatároztuk a fajlagos ütőmunkáját, melyeket ezáltal össze tudtuk hasonlítani (3. táblázat). A mérés során a hornyolatlan próbatestet hárompontos hajlításnak megfelelő elrendezésben a két végén megtámasztjuk, majd elütjük.

3. Táblázat. Fajlagos ütőmunka

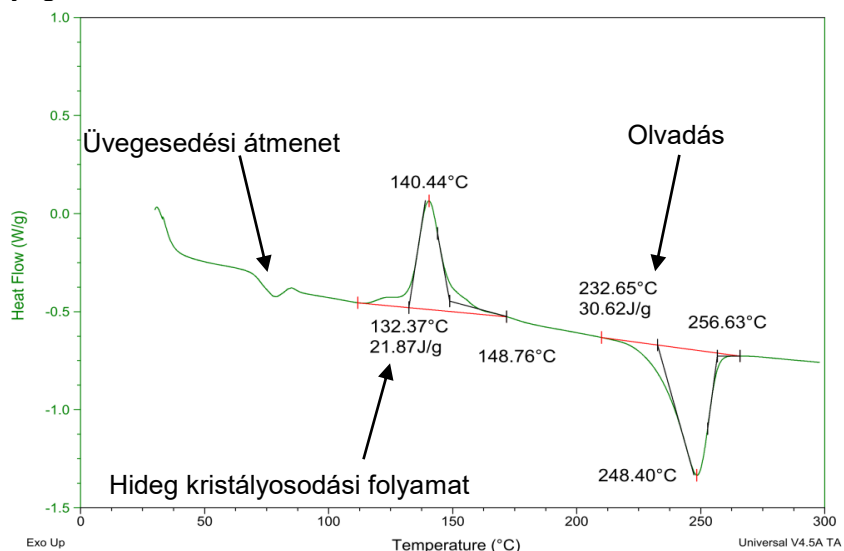
Anyag	Fajlagos ütőmunka [kJ/m <sup>2</sup> ]	Szórás
PET originált	182,1	13,2
PET 10% reciklált	367,1	18,2
PET 20% reciklált	310,8	7,7
PET 100% reciklált	122,2	10,5

Az ütőmunka eredményei szignifikáns különbséget mutatnak. A 10, illetve 20 % - ban kevert PET alapanyagok jóval nagyobb fajlagos ütőmunkával rendelkeznek, mint az originál, illetve 100% - ban reciklált PET anyagok. Ez azt jelenti, hogy a 10, és 20% - os keverék sokkal szívósabb, míg a keveretlen anyagok jóval ridegebb viselkedést mutatnak. Elméletben az originál anyagnak kellene a legnagyobb ütőmunkával rendelkeznie. Valószínűsíthető, hogy a részben kristályos, illetve amorf részek aránya befolyásolta a mérési eredményeinket.

### 3.3. DSC vizsgálat

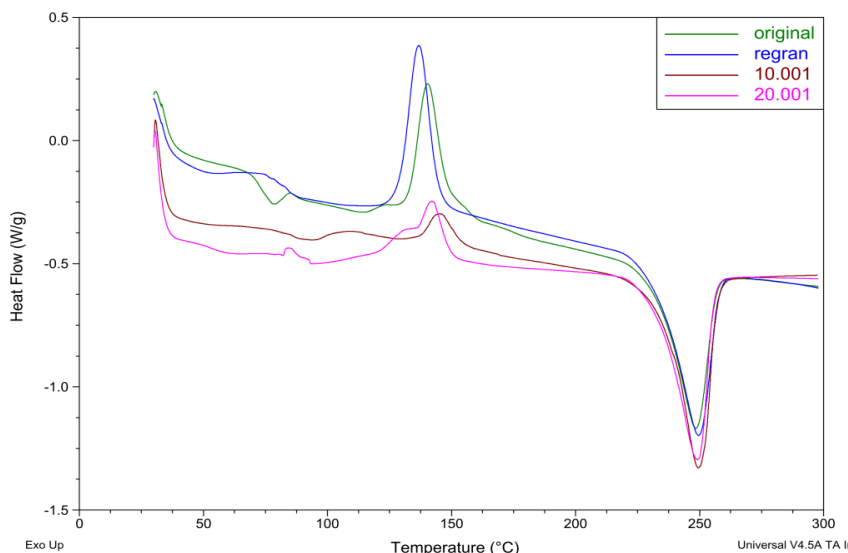
A Differential Scanning Calorimetry (DSC) segítségével a termikus átalakulásokhoz társuló hőáramlások mérhetőek. A pásztázó kaloriméterek ideális eszközei a különböző anyagokban lejátszódó, hőeffektussal járó folyamatok gyors vizsgálatára. A mérés elvégzéséhez a mintákat, a Charpy ütővizsgálat során elütött minták töretfelületéről vettük. Mivel az első felfűtést vizsgáljuk, ezért csak a termikus előéletről, azaz a feldolgozás körülményeiről kapunk információt. A DSC mérés során alkalmazott program egy fűtési metódusból állt, ahol a felfűtési sebesség 20 °C/min nitrogén gáz közegben történt [7].

Az originál alapanyag első felfűtését, és annak értelmezését az 3. ábrán szemléltetjük.



3. ábra. Originált alapanyag DSC görbéje

A görbe alapján információt kapunk az üvegesedési átmenetről, a kristályosodásról, illetve a kristályolvadási hőmérsékletről. A különböző keverékeknel, alapanyagoknál a TA Universal Analysis 200 program segítségével meghatároztuk az olvadáshőket. A hidegkristályosodás értékéből következtetni lehet az amorf rézhányadra. A kristályolvadási hőmérséklet 1,5 °C – os tartományon belül maradt mind a négy minta esetében. A minták összesített DSC első felfűtése (4. ábra).



4. ábra. Összes első felfűtés összevonva

Az első felfűtések alapján jól látszódik, hogy a hidegkristályosodás során felszabaduló hő mértéke jelentősen eltér a 10, és 20 % - os keverékben, míg az originál és 100%- ban reciklált anyagnál közel azonos. A DSC mérés első felfűtéseinek hidegkristályosodási eredményei igazolhatják a fajlagos ütmunka értékének változását (4. táblázat).

4. Táblázat. Minták olvadáshője, hőmennyisége

Anyag	Hidegkristályosodás [J/g]	Kristályolvadás [J/g]
PET originált	21,87	30,62
PET 10% reciklált	4,73	38,78
PET 20% reciklált	13,72	34,9
PET 100% reciklált	21,69	33,72

A 10% - os keverékben a hidegkristályosodás során felszabaduló hőmennyiség 4,73 J/g, ami nagy valószínűséggel azt jelenti, hogy ennél a keveréknél lehetett a legnagyobb kristályos rézhányad. A 20% - os keverék olvadáshője követte ezt 13,72 J/g – os értékkel, tehát feltehetően a 10 és 20%-os keveréknél volt a legnagyobb kristályos rész, amely a fajlagos ütmunkával arányban állhat. Mivel az amorf, és kristályos részeknek eltérőek a mechanikai tulajdonságai, így ezek hányadától függően eltérőek lehetnek a kapott ütmunka értékek. Feltehetően ezért mérhettünk jóval nagyobb ütmunkát e két keveréknél. Az originál, és 100% - os keverék esetében a hidegkristály kialakulása során felszabaduló hő mértéke jóval meghaladja a 10, és 20% - os keverékek értékét. Ebben az esetben az amorf részek hányada lehetett nagyobb, tehát ez a két keverék ridegebben viselkedett, mint a 10, és 20 % - os reciklált anyagok.

Ezeket az eredményeket nagyon sok változó befolyásolhatja. A legfontosabbak, amivel a kristályos, illetve amorf rézhányadra kihathatunk technológia szempontjából, a hűtési sebesség (fröccsszerszám hőmérséklete), ömledékhőmérséklet. Természetesen ezeken kívül még számos technológiai paraméter befolyásolhatta az eredményeinket.

## 4. Összefoglalás

A mért eredményeink alapján kijelenthető, hogy a három keverék között minimális, szinte elhanyagolható a rugalmassági modulus eltérése, viszont a 100%-ban reciklált anyag modulus értéke 13%-os változást mutat az originál anyaghoz képest.

Az ütőmunka eredményei nagymértékű különbséget mutattak. A 10, illetve 20% - ban kevert PET alapanyagok jóval nagyobb fajlagos ütőmunkával rendelkeznek, mint az originál, illetve 100% - ban reciklált PET anyagok. Valószínűsíthető, hogy a részben kristályos, illetve amorf részek aránya befolyásolta a mérési eredményeinket.

A DSC mérésből meghatározott hidegkristályosodási adatok alátámasztják azt a megfigyelést, hogy a fajlagos ütőmunka csökkenő tendenciát mutat az amorf tartalom növekedésével. Ez alapján megállapítható, hogy a reciklált tartalom lényegesen befolyásolja a mechanikai tulajdonságokat. Az anyagi összetétel mellett kiemeljük, hogy a próbatest készítés paraméterei is befolyással bírnak az anyagok viselkedésére. Ilyen például a hűtési sebesség (fröccsszerszám hőmérséklete), ömledékhőmérséklet, utónyomás stb.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a reciklált anyag visszakeverhető a folyamatba, azonban az ütésállóság változására nagy figyelmet kell fordítani.

## Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk megköszönni mindazoknak, akik segítették kutatásunk előre haladását. Köszönettel tartozunk a Deltaplast Kft munkatársainak a kutatómunkánk alatt nyújtott segítségért. A publikáció elkészítését a TÁMOP 4.2.1C-14/1/Konv számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

## Irodalomjegyzék

- [1] Ronkay Ferenc: PET palackok anyagának fizikai újrahasznosítása 2006
- [2] Czvikovszky Tibor, Nagy Péter, Gaál János: A polimertechnika alapjai, Műegyetemi kiadó, Budapest, 2000
- [3] Neogroup Neopet 80 PET, <http://neogroup.eu/products/neopet-788082/>
- [4] Instron 3366 [www.instron.com/hu](http://www.instron.com/hu)
- [5] Charpy Impactor II. <http://www.instron.com/hu-hu/products/testing-systems/impact-systems/pendulums?region=Hungary>
- [6] TA Instruments Q200 <http://www.tainstruments.com/product.aspx?n=1&id=16>
- [7] Thermal Analysis of Plastics Theory and Practice, Ehrenstein, Gottfried W., Riedel, Gabriela, and Trawiel, Pia, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG 2004.