

# A PET ÉS AZ ÚJRA FELHASZNÁLT PET VISZKOZITÁSGÖRBÉJÉNEK ÖSSZEHOSONLÍTÁSA

## COMPARISON OF PET AND RECYCLED PET VISCOSITY CURVE

Dugár Tamás<sup>1</sup>, Bata Attila<sup>1</sup>, Tóth Gergely<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Anyagtechnológia Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola, Magyarország

### Kulcsszavak:

PET,  
folyásgörbe  
viszkózitás  
polimer

### Keywords:

PET,  
flow curve,  
viscosity  
polymer

### Cikktörténet:

Beérkezett 2015. október 14.

Átdolgozva 2015. október 30.

Elfogadva 2015. november 10.

### Összefoglalás

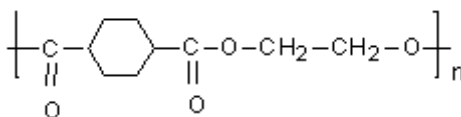
A PET original és a PET regranolátum anyagok reológiai tulajdonságait tanulmányoztuk 270 °C, 280 °C és 290 °C hőmérsékleti értékeken, jellemzően 42-16.000 s<sup>-1</sup> deformációsebesség tartományban. A mérések során 6 mérési pontot határoztunk meg. A mért eredményekből viszkozitásgörbét és folyásgörbét készítettünk.

### Abstract

We studied the PET original and the PET regrenelatum rheology peculiars on 270 °C, 280 °C and 290 °C. The shear rate was under 42-16.000 s<sup>-1</sup>. 6 measuring points were appointed. The given results determined the viscosity curve and the flow curve.

## 1. Bevezetés

A PET, polietilén-terftalát (1. ábra) az élet számos területén előfordul. A PET-ből készült csomagolóanyag az egész világon elterjedt, palackok és fóliák formájában. A palackozott italok növekvő fogyasztásával, valamint az ipar fejlődésével a PET felhasználása is folyamatos növekedést mutat.



1. ábra. A PET kémiai szerkezete.

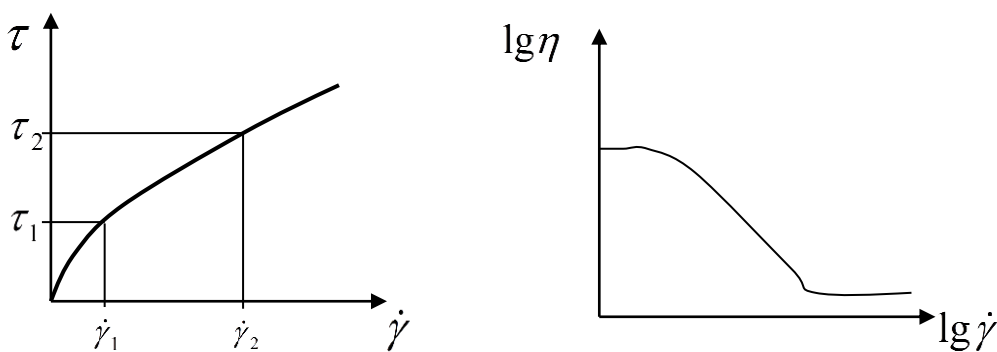
A PET palackokat már bizonyos helyeken részben újrahasznosított PET felhasználásával állítják elő. Az újrahasznosítás mértéke kb. 30-35 %-ra tehető. A PET minél nagyobb mennyiségű újrafelhasználása nyilvánvaló igény. De vajon a reciklált PET fröccsöntési tulajdonságai mennyiben térnek el az „eredeti”, újrafeldolgozott anyagot nem tartalmazó PET-től? Mik a fő okai a PET-ek eltérő tulajdonságainak?

Cikkünkben reológiai mérések eredményeit felhasználva hasonlítjuk össze a két fajta PET anyagot. [1-3]

## 2. A polimer ömledékekre vonatkozó legfontosabb összefüggések ismertetése

A reológia az a fizikai tudományág, amely az anyagok deformációjával, a deformációt előidéző erőkkel, a kettő időfüggésével, illetve a törvényszerűségek hőmérséklet- és nyomásfüggésével foglalkozik.

A polimerek feldolgozási eljárásai során az anyagot gyakran ömledék állapotban deformálják (alakítják). Mai ismereteink szerint azt mondjuk, hogy a reális polimer ömledékek struktúrviszkózosan viselkednek. Ennek az a sajátossága, hogy az ömledék (extrém) kis illetve (extrém) nagy igénybevételek tartományában newtoni jellegűt mutat, a kettő között, a feldolgozási technológiák tartományában pedig nem-newtoni folyadékként viselkedik. A  $\tau - \dot{\gamma}$  függvényt folyásgörbének, a belőle megszerkeszthető  $\eta = f(\tau, \dot{\gamma})$  függvényt pedig viszkozitásgörbének nevezzük. **(Hiba! A hivatkozási forrás nem található.)**



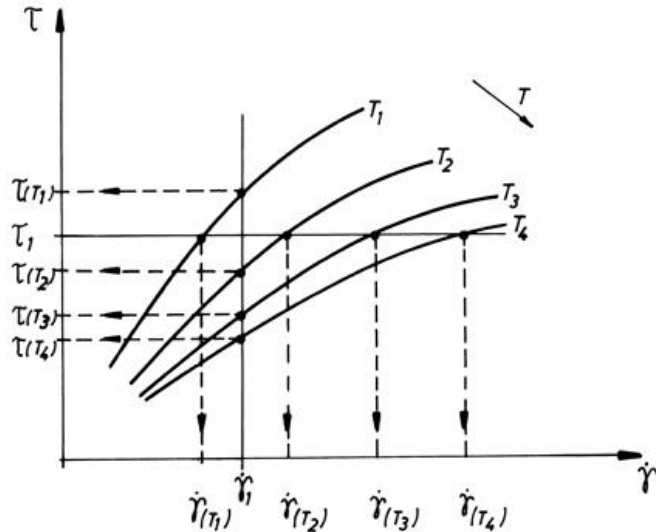
2. ábra. A struktúrviszkózosömledék folyás- és viszkozitásgörbéje.

$\tau$  a polimerömledékben ébredő feszültség  $\dot{\gamma}$  deformációsebesség hatására. A logaritmusos lépték használata azért célszerű, mert a viszkozitás és a deformációsebesség tartománya igen széles.

A polimer ömledékek viszkozitása nem független az igénybevételtől, hanem annak növekedésével csökken. A viszkozitást még egyéb paraméterek is, jóllehet eltérő mértékben, de befolyásolják. Ezek közül messze a legfontosabb a hőmérséklet hatása, de nem hanyagolható el az átlagos molekulatömeg és a nyomás sem.

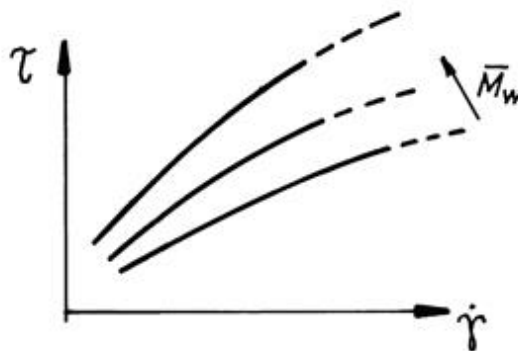
A hétköznapi életünk során gyakran tapasztalhatjuk, hogy az anyagok viszkozitása a hőmérséklet növekedésével csökken. A polimer ömledékek esetén is hasonló összefüggés tapasztalható.

A viszkozitás hőmérsékletfüggésének vizsgálatakor meg kell különböztetni, hogy azt állandó nyírófeszültségen, vagy állandó nyírósebességen hajtották-e végre. A 3. ábra szemlélteti a különböző hőmérsékleteken felvett folyásgörbéket:



3. ábra: A folyásgörbe hőmérsékletfüggésének jellege

A tapasztalat azt mutatja, hogy egy adott anyag esetén annak móltömegének növekedésével csökken az ömledék folyóképessége, nő a viszkozitása. A móltömeg növekedésével (egyre hosszabbak a láncmolekulák) javulnak a termék bizonyos használati tulajdonságai, a feldolgozhatósága egyre nehezebb (energiaigényesebb) lesz.



4. ábra. Az átlagos móltömeg hatása a folyásgörbére.

Ezt a hatást az

$$\eta_a = K' \bar{M}_w^{3,5} \quad (2)$$

összefüggés írja le, ahol  $\bar{M}_w$ : a tömeg szerinti átlagos molekulatömeg;  $K'$ : anyagi minőségtől függő állandó[4].

### 3. Módszer

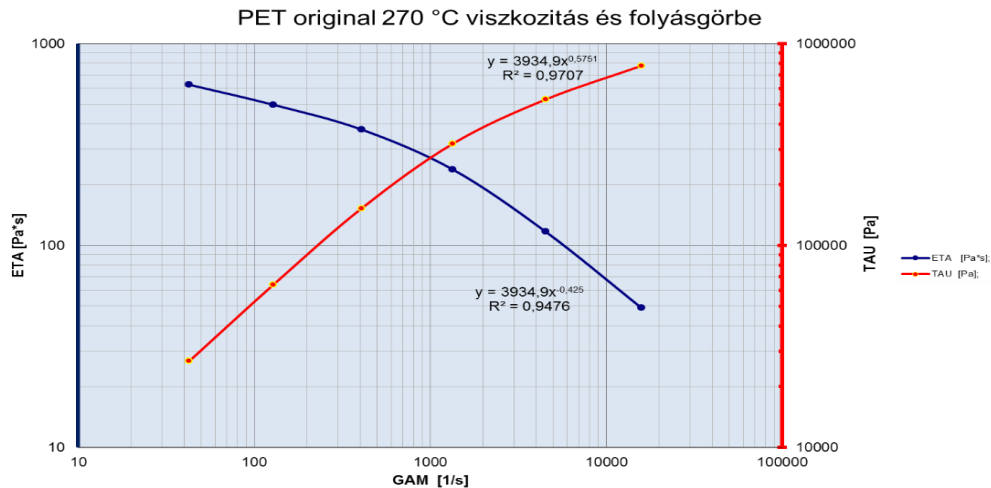
Méréseinket Göttfert Rheograph 25 típusú kapilláris reométerrel végeztük, amely polimer alapanyagok reológiai tulajdonságainak meghatározására, folyásgörbék felvételére alkalmas készülék.

A két különböző geometriájú kapillárisban külön-külön, egymástól függetlenül lehet elvégezni méréseket. Ennek az az oka, hogy kapillárisok mérési eredményeinek összevetéséből történik a be- és kilépési nyomásvesztések korrekciója (Bagley korrekció). Majd ezután a Rabinowitsch korrekció alkalmazása következik. Terjedelmi korlátok miatt a Bagley és a Rabinowitsch korrekciók nem kerülnek kifejtésre. A méréseket végző mérőműszer a korrekciókat önállóan elvégzi, ezzel a mérések hatékonyságát növeli.[5]

A méréseink során a kapilláris hőmérsékletét 10 °C-onként növelve: 270 °C, 280 °C és 290 °C beállított hőmérsékleti értékeken végeztük, mind a PET (original) és mind az 100 %-ban újrahasznosított PET (regranulátum) anyag vonatkozásában. Összesen 6 mérési pontot határoztunk meg mérésekkel a szemléletes ábrázolás érdekében. Méréseinket a felhasznált mintákkal jellemzően 42-16.000 s<sup>-1</sup> nyírási sebesség között végeztük.[3]

#### 4. Eredmények

A viszkozitás- és folyásgörbéken jól megfigyelhető a nyírósebesség növelés hatása az anyag viszkozitására.

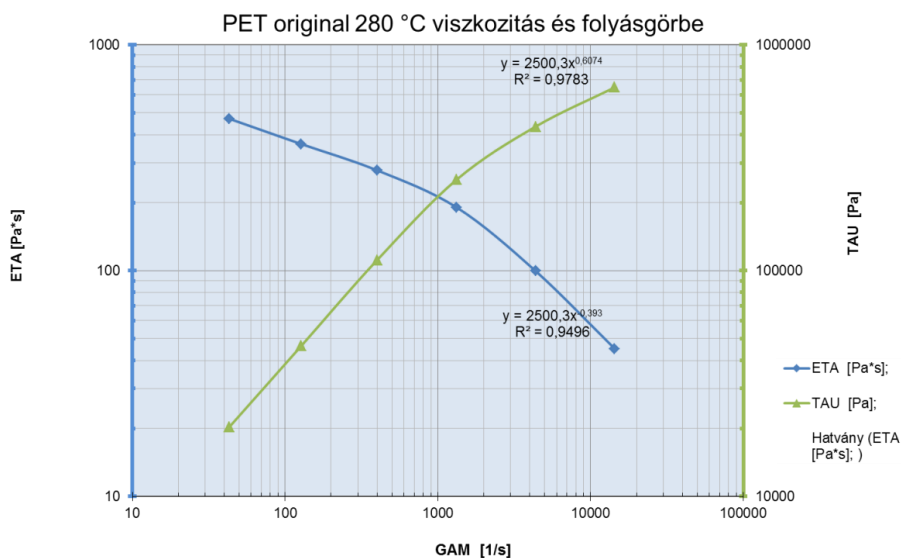


5. ábra a PET original 270 °C viszkozitásgörbe és folyásgörbe

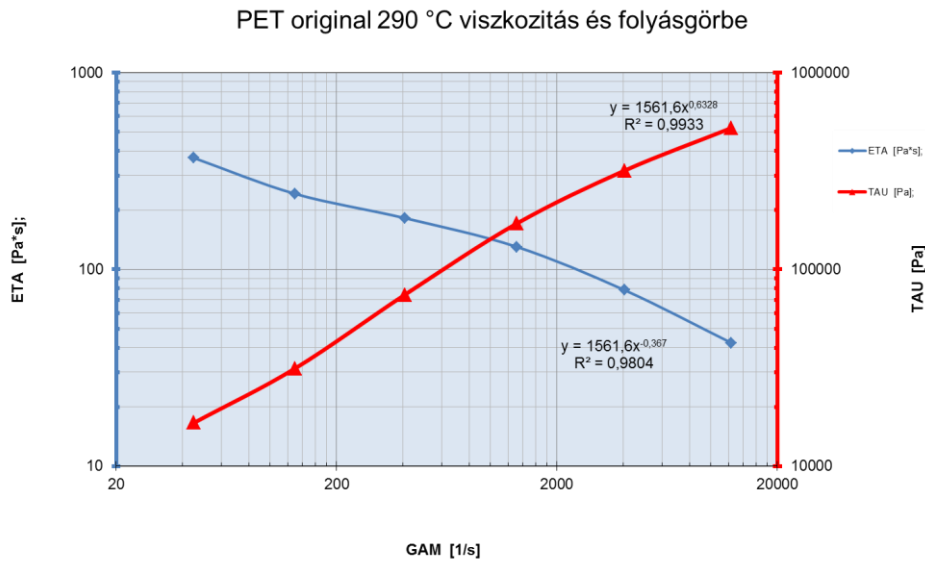
Az ábrán (5. ábra) a PET original anyag 270 °C-on mért viszkozitásgörbéje és folyásgörbéje látható.

Jól látható, hogy a kezdeti, 626 Pa\*s viszkozitás lecsökken 49 Pa\*s-ra. Ennek azaz oka, hogy a deformációsebesség 42 1/s-ról 15806 1/s-ra növekszik. A növekvő deformációsebesség hatására az anyag viszkozitása lecsökken. (A feszültség 26729 Pa-ról 776708 Pa-ra emelkedik.) Ennek a változásnak a magyarázata a makromolekulák orientációja, ami a szerkezet (konformáció) megváltozását eredményezi.

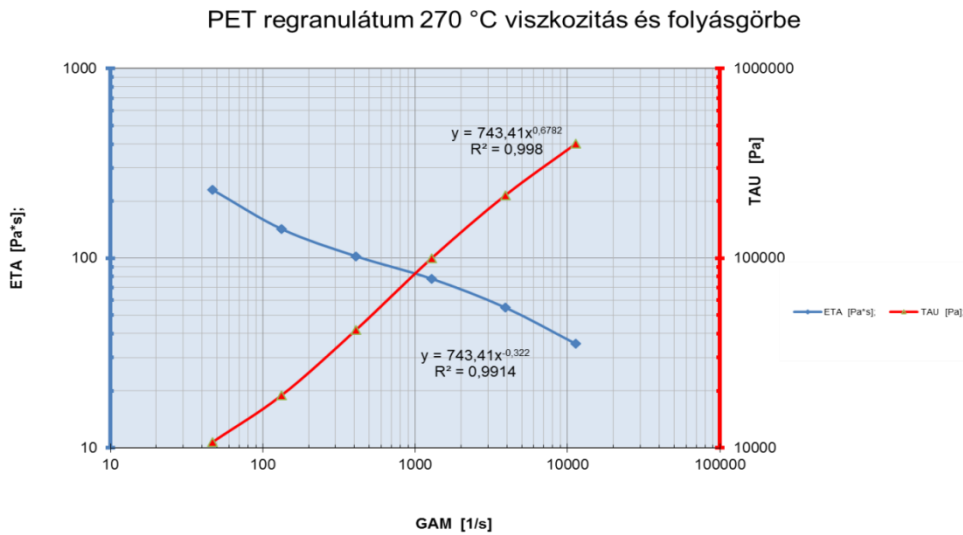
A 270 °C (5. ábra), 280 °C (6. ábra) és 290 °C (7. ábra) vizsgált hőmérsékletekhez tartozó PET original viszkozitás- és folyásgörbéi jellegükben hasonlóak.



6. ábra a PET original 280 °C viszkozitásgörbe és folyásgörbe



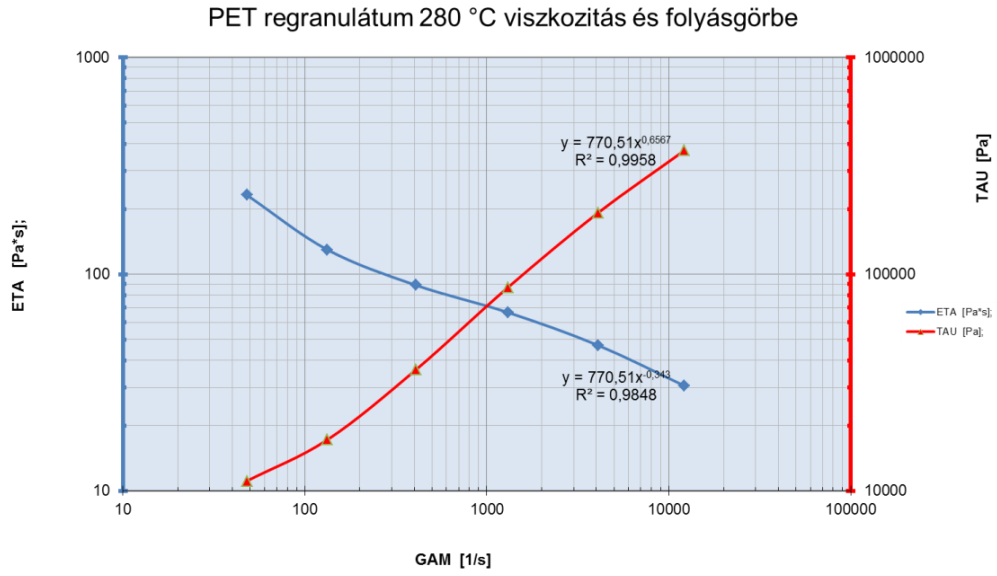
7. ábra a PET original 280 °C viszkozitásgörbe és folyásgörbe



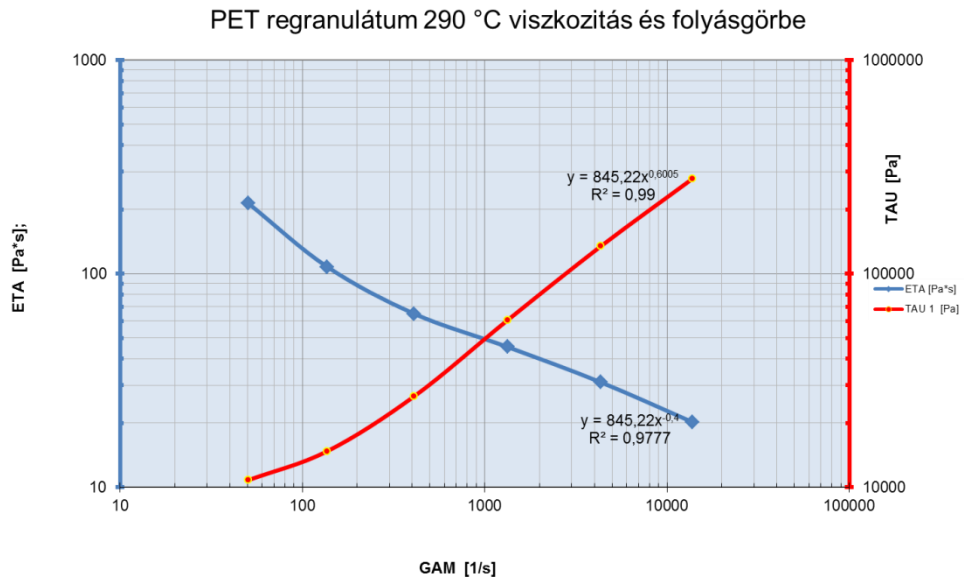
8. ábra a PET regranolátum 270 °C viszkozitásgörbe és folyásgörbe

270 °C-on a PET regranolátum kezdeti, 229 Pa\*s viszkozitás lecsökken 35 Pa\*s-ra, mert a deformáció sebesség 46 1/s ról 11303 1/s-ra növekszik. (A feszültség 10729 Pa-ról 40044 Pa-ra emelkedik.)

A 270 °C (8. ábra), 280 °C (9. ábra) és 290 °C (10. ábra) vizsgált hőmérsékletekhez tartozó PET regranolátum viszkozitás- és folyásgörbéi jellegükben hasonlóak.

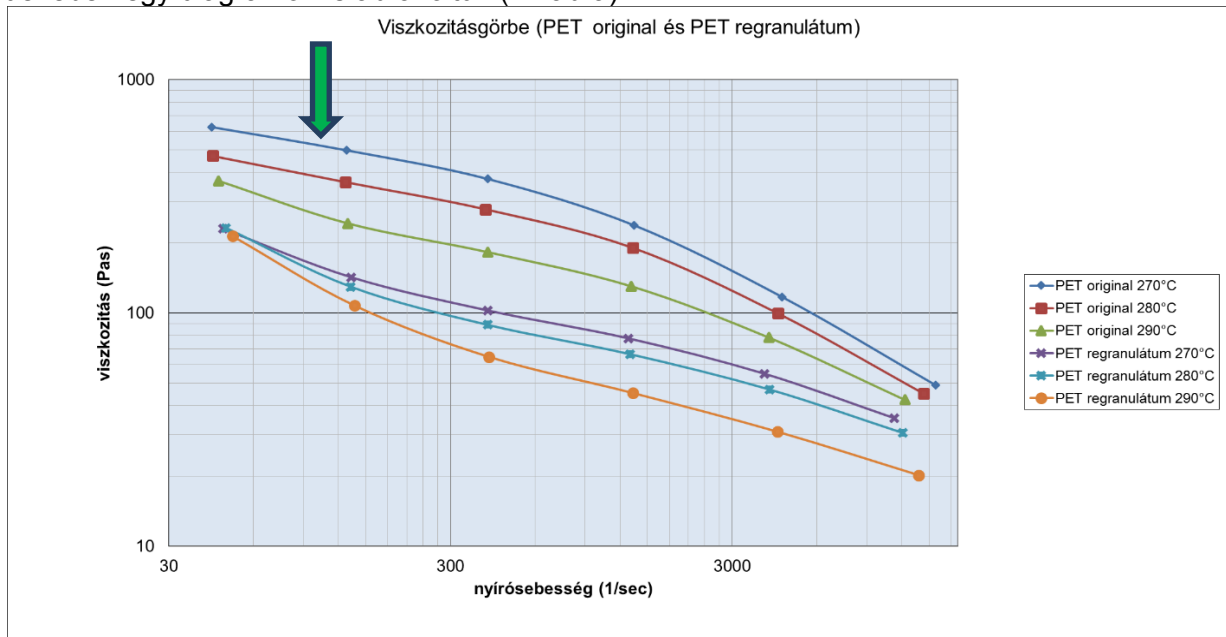


9. ábra a PET regranolátum 280 °C viszkozitásgörbe és folyásgörbe



10. ábra a PET regranolátum 290 °C viszkozitásgörbe és folyásgörbe

Az PET original és a PET regranolátum viszkozitásgörbéit a szemléletesebb ábrázolás érdekében egy diagramon is ábrázoltuk (11. ábra).



11. ábra: Viszkozitásgörbe (PET original és PET regranolátum)

Jól látható, hogy a vizsgált tartományban magasabb hőmérséklethez alacsonyabb viszkozitás tartozik ugyanannál a deformációsebességnél. Ez a megállapítás mind a PET original és mind a PET regranolátum anyagokra igaz. (Például a PET original anyag esetében 128 1/s deformációsebességhez 270 °C-on 497 Pas, 280 °C-on 363 Pas, 270 °C-on 107 Pas viszkozitás érték tartozik. (A pontok helyét zöld nyíllal jelöltem meg a diagrammon.)

Szintén megállapítható, hogy a PET regranolátum anyag minden hőmérsékleten alacsonyabb viszkozitást produkál, mint a PET original anyag közel azonos deformációsebességnél. (Például 270 °C-on a PET original anyag viszkozitása 497 Pas 128 1/s deformációsebességen, a PET regranolátum viszkozitása 142 Pas 133 1/s deformációsebességen.)[3]

## 5. Következtetések

Annak magyarázata, hogy azonos vizsgált hőmérsékleten a PET original nagyobb viszkozitással rendelkezik, mint a PET regranolátum, illetve a folyásgörbéi is magasabb tartományban helyezkednek el a molekula tömegben bekövetkezett változásokban rejlik.

Felhasználva a viszkozitás és az átlagos molekulatömeg összefüggését következtethetünk a PET original és a PET regranolátum átlagos molekulatömegének változására.

Ennek érdekében a következő táblázatban (1. táblázat) 270 °C hőmérséklethez tartozó PET original és PET regranolátum nullviszkozitási értékeit jelenítem meg. Majd a hányadosukból 3,4 gyököt vonok.

1. táblázat: PET original és PET regranolátum nullviszkozitása

Hőmérséklet	270 °C
$\eta_0$ (PET regranolátum)	650
$\eta_0$ (PET original)	788
$\sqrt[3,4]{(\eta_0(\text{PET regranolátum})/\eta_0(\text{PET original}))}$	0,945

Az így kapott érték a PET regranolátum és a PET original tömegszerinti átlagos molekulatömegének arányát adja eredményül. Azaz a PET regranolátum átlagos molekula tömege 5,5 %-kal kisebb a PET originalhoz képest, ha feltételezzük, hogy a K' anyagi minőségtől függő állandó azonos a PET original és a PET regranolátum anyagok esetében. Ennek magyarázata az, hogy a molekulák hossza lecsökkent. A változások oka a PET degradáció.[3]

A PET újrahasznosítása során az anyag tulajdonságai romlanak: csökken a viszkozitás, rövidülnek a molekulaláncok, csökken a molekulatömeg, a kristályosság és a mechanikai tulajdonságok megváltoznak, például az anyag ridegebbé válik. [6]

## Köszönetnyilvánítás

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] Iván Georgina, Gere Dániel: PET degradációjának nyomon követése az újrahasznosítás során (TDK dolgozat), Budapest, 2014.
- [2] Dr. Füzési László, Dr. Kelemen Andorné: Műszaki Műanyagok Zsebkönyve, Műszaki Könyvkiadó Budapest, 1989.
- [3] Dugár Tamás: A PET molekuláris jellemzőinek meghatározása reológiai mérésekből (Diplomamunka), Miskolc, 2015.
- [4] Czvikovszky Tibor, Nagy Péter, Gaál János: A polimertechnika alapjai, Műegyetemi kiadó, Budapest, 2000.
- [5] Tóth Gergely: Műanyag alapszabványok vizsgálata gyártási körülmények között (Diplomamunka), Miskolc, 2013.
- [6] Bánhegyi Gy.: Poli(etilén-tereftalát) (PET) újrafeldolgozása a tulajdonságok javításával. Műanyagipari Szemle, 2005. Május, 2. kötet, 85-92. oldal