



**B2/T7**

Változat: 7.24

Kiadva: 2021. március 23.

**BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM  
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR  
POLIMERTECHNIKA TANSZÉK**

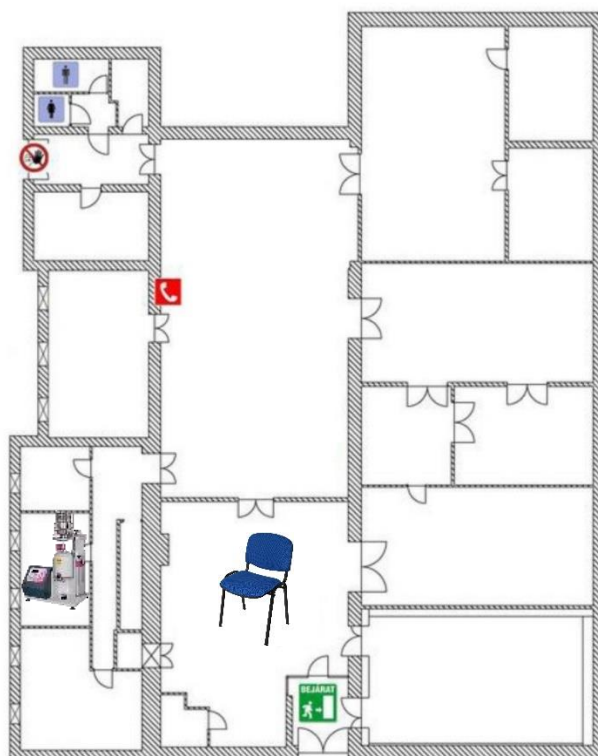
**MT épület**

## **MFI mérés**

**HŐRE LÁGYULÓ MŰANYAGOK FOLYÓKÉPESSÉGÉNEK VIZSGÁLATA**

**A JEGYZET ÉRVÉNYESSÉGÉT A TANSZÉKI HONLAPON KELL ELLENŐRIZNI!  
WWW.PT.BME.HU**

## A LABORGYAKORLAT HELYSZÍNE



MT  
épület

## TARTALOMJEGYZÉK

<b>1.</b>	<b>A LABORGYAKORLAT CÉLJA .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>ELMÉLETI HÁTTÉR .....</b>	<b>3</b>
2.1.	ALAPFOGALMAK, NEWTON VISZKOZITÁSI TÖRVÉNYE .....	3
2.2.	A VALÓS POLIMER ÖMLEDÉKEK VISELKEDÉSE .....	8
2.3.	A FOLYÓKÉPESSÉG, A FOLYÁSI MUTATÓSZÁMOK ÉS SZABVÁNYOS MEGHATÁROZÁSUK .....	11
2.4.	AZ MFI MÉRÉS KIÉRTÉKELÉSE.....	12
<b>3.</b>	<b>A MÉRÉS LEÍRÁSA, ELVÉGZENDŐ FELADATOK.....</b>	<b>14</b>
<b>4.</b>	<b>A MÉRÉS SORÁN HASZNÁLT GÉPEK, BERENDEZÉSEK .....</b>	<b>15</b>
<b>5.</b>	<b>A TÉMÁHOZ KAPCSOLÓDÓ FONTOSABB SZAVAK ANGOLUL, NÉMETŰL .....</b>	<b>15</b>
<b>6.</b>	<b>FELHASZNÁLT IRODALOM .....</b>	<b>15</b>
	<b>FÜGGELÉK.....</b>	<b>16</b>
	<b>MÉRÉSI JEGYZŐKÖNYV .....</b>	<b>17</b>

## 1. A laborgyakorlat célja

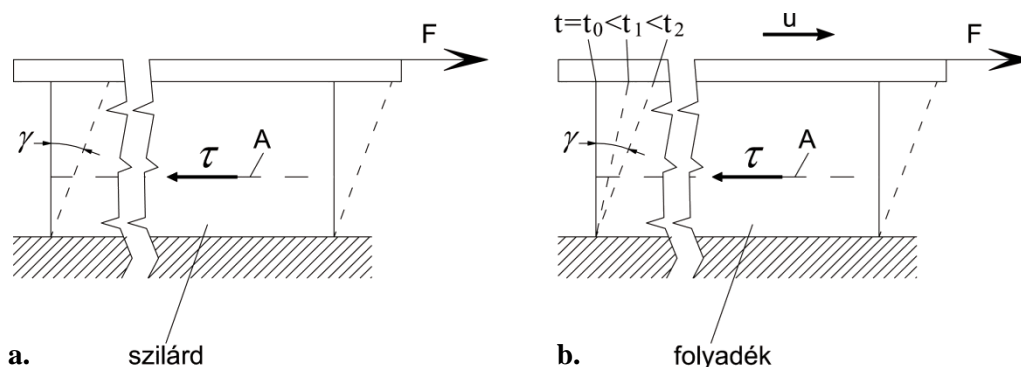
A laborgyakorlat célja hőre lágyuló polimer ömledékek folyási tulajdonságainak, reológiai viselkedésének megismerése. A polimerfeldolgozó-iparban elterjedt, szabványos folyási mutatószámok (MFI, MVR) meghatározása, az MFI berendezés használatának megismerése. Az MFI készülék reológiai mérések céljára való felhasználhatóságának bemutatása hőre lágyuló polimer viszkozitásának meghatározásával. A vizsgált polimer folyásgörbéjének kimérése, megszerkesztése.

## 2. Elméleti háttér

A hőre lágyuló polimerek legtöbb feldolgozási technológiájának van olyan, az alakadást megelőző fázisa, amikor az anyag ömledék állapotban van. Ez teszi lehetővé, hogy az alakadás viszonylag kis erők hatására is megfelelő módon végbemenjen. Az ömledékek jellemzőinek, viselkedésének és az ezzel foglalkozó tudomány, az ömledékreológia alapjainak ismerete a feldolgozás szempontjából nélkülözhetetlen. A polimer ömledékek viselkedésének, tulajdonságainak modellezése és mérése alapvetően szükséges a műanyagok feldolgozásához, a polimer termékek előállításához.

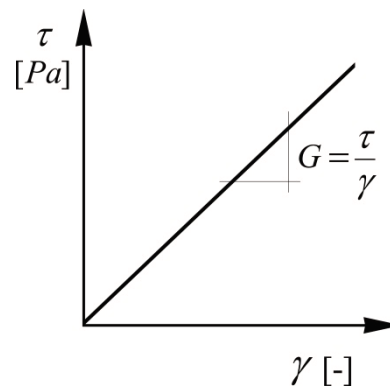
### 2.1. Alapfogalmak, Newton viszkozitási törvénye

Mi különbözteti meg a folyadékokat a szilárd testektől? Az 1. ábra bal oldalán két síklap közé helyezett lapos szilárd testet látunk, amelyet alul és felül a lapokhoz ragasztottunk. Az 1. ábra jobb oldalán a két párhuzamos lap között folyadékréteg van. A szilárd test és a folyadékréteg lappal párhuzamos keresztmetszete  $A$  [m<sup>2</sup>] nagyságú.



1. ábra Szilárd test (a) és folyadékréteg (b) deformációja

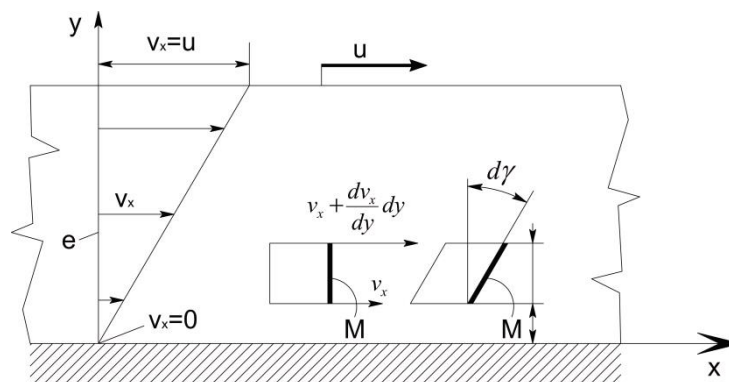
Az alsó lap rögzített, a felső önmagával párhuzamosan elmozdítható. Ha a lappal párhuzamos irányú  $F$  [N] erővel hatunk a felső lapra, akkor a szilárd testben keletkező  $\tau = F/A$  [Pa] csúsztatófeszültség (a felülettel párhuzamos, egységnyi felületre ható erő) hatására a szilárd test deformálódik. A deformációra jellemző  $\gamma$  szög egy határig arányos a  $\tau$  [Pa] csúsztatófeszültséggel (**Hooke-törvény**, 2. ábra), tehát a deformáció nagysága arányos a szilárd testben ébredő csúsztatófeszültséggel, ez az arányossági tényező a  $G$  nyíró rugalmassági modulus.



2. ábra A Hooke-modell csúsztatófeszültség-deformáció kapcsolata

Ha folyadék van a lapok között, az  $F$  erő hatására a felső lap  $u$  sebességű mozgásba jön, a folyadék időben folyamatosan deformálódik. Ezért a  $\tau$  csúsztatófeszültség függvényében a deformáció helyett a deformációsebességről ( $d\gamma/dt$ ) beszélünk.

Az alábbiakban a Newton-modell alapján mutatjuk be a folyadékok viselkedésének alapjait. A reális folyadékok viselkedésének leírására is használatos Newton-modell az ömledékreológia alapmodellje. Newtoni folyadékok esetében a két síklap között lévő folyadékréteg sebességmegoszlása lineáris (3. ábra).



3. ábra Sebességmegoszlás a folyadékrétegben

Az álló laphoz legközelebb lévő folyadékrészek sebessége  $v_x=0$ , míg a felső lap közvetlen közelében a sebesség egyenlő a felső lap  $u$  sebességével. Vizsgáljuk meg, hogy  $dt$  idő alatt milyen  $d\gamma$  szöggel fordul el az  $M$  szakasz! Az  $M$  szakasz felső pontja  $v_x+(dv_x/dy)dy$ , alsó része pedig  $v_x$  sebességgel mozog. A  $dt$  időtartamra jutó elfordulást,  $d\gamma$ -t a megtett út különbségének  $dy$ -nal való osztásával kapjuk meg. Az egységnyi időre jutó szögelfordulás, azaz a **deformációsebesség** pedig  $dt$ -vel való osztás után a következőképpen adódik:

$$\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt} = \frac{dv_x}{dy} \quad (1)$$

Felírható a deformációsebesség (vagy alakváltozási sebesség) és a csúsztatófeszültség közötti egyenes arányosságot kifejező összefüggés, azaz a **Newton-egyenlet**, amelyben  $\eta$  [Pa·s] egy, a folyadék tulajdonságaitól függő értékű arányossági tényező, amelyet **dinamikai viszkozitásnak** nevezünk:

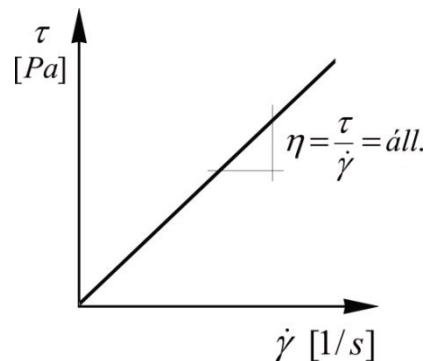
$$\tau = \eta\dot{\gamma} = \eta \frac{d\gamma}{dt} = \eta \frac{dv_x}{dy} \quad (2)$$

Az  $\eta$  anyagjellemző értékétől függ, hogy adott anyagnál egy adott deformációsebesség előállításához milyen csúsztatófeszültségre van szükség. A newtoni viszkozitási törvényt megvizsgálva érdekes következtetéseket vonhatunk le: ha a  $\dot{\gamma}$  deformációsebesség zérushoz tart, akkor a csúsztatófeszültség is eltűnik. Ez azt jelenti, hogy – a szilárd anyagokkal ellentétben – a folyadékok nyugvásbeli sűrűdása zérus. További különbség, hogy – szemben a szilárd anyagokkal – a folyadékok tetszőleges mértékben deformálhatók belső szerkezetük megváltozása nélkül.

A szilárd fallal érintkező folyadék sebessége – közvetlenül a falnál – megegyezik a fal sebességével. Ezt az általánosan érvényes és széles körben használt tapasztalatot a tapadás törvényének nevezzük.

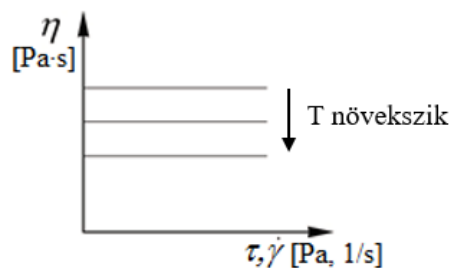
Adott newtoni folyadék esetében az  $\eta$  **dinamikai viszkozitás kizárólag  $T$  hőmérséklet függvénye**, és így izoterm esetben állandó. Tehát  $\eta$  nem függ az igénybevételtől, azaz sem  $\tau$  [Pa] **nyírófeszültségtől**, sem pedig  $\dot{\gamma}$  [1/s] **alakváltozási sebességtől (nyírósebességtől)**, ezért  $T$ =áll. esetén  $\eta$ =áll., a **newtoni közeg  $\tau$ - $\dot{\gamma}$  görbéje** (azaz **folyásgörbéje**) egy egyenes, amit a **Newton-egyenlet** fejez ki (4. ábra):

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (3)$$



4. ábra A Newton-modell feszültség-deformációsebesség kapcsolata (folyásgörbéje)

A newtoni közeg viszkozitása független az igénybevételtől, csak a **hőmérséklettől függ** (5. ábra).



5. ábra A newtoni folyadékok viszkozitási görbéjének hőmérséklet-függése

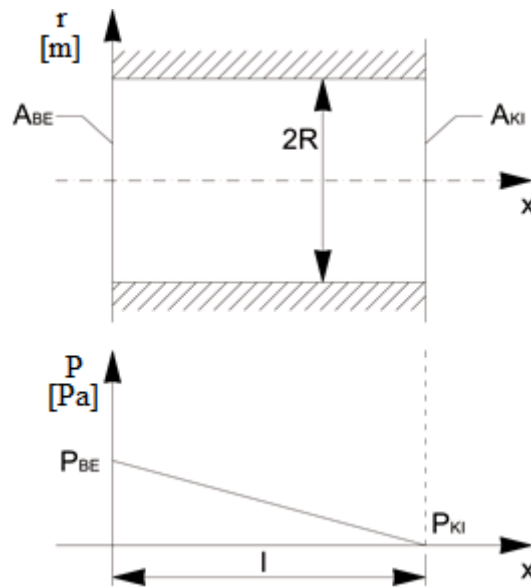
### Áramlás kapillárisban

Vizsgáljuk a továbbiakban a **newtoni folyadékoknak** kis átmérőjű csőben, azaz kapillárisban való áramlását, hiszen a folyási mutatószám meghatározására szolgáló készülékben is egy kapillárison kell a vizsgált anyagnak áthaladnia. A kapilláris vázlatát a 6. ábra mutatja.

Számításaink során induljunk ki a newtoni közeg viselkedését leíró (2) összefüggésből, és használjuk fel azt, hogy a  $\dot{\gamma}$  alakváltozási sebesség kifejezhető az áramlási sebesség helyszerinti deriváltjával:

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} = \eta \frac{dv(r)}{dr}, \quad (4)$$

ahol  $v(r)$  [m/s] az ömledék áramlási sebessége a hely függvényében, és  $r$  [m] a kapilláris sugár irányú koordinátája ( $0 \leq r \leq R$ ).



6. ábra A nyomás változása a kapilláris hossza mentén

A (4) összefüggés rendezésével kapjuk:

$$\frac{dv(r)}{dr} = \frac{\tau}{\eta} \quad (5)$$

A levezetés folytatásához meg kell határozni a  $\tau$  feszültség eloszlását a kapilláris keresztmetszete mentén. A **folyadékelem erőegyensúlyára** a kapilláris  $r$  sugarának függvényében a következő összefüggés írható fel:

$$2r\pi \cdot l \cdot \tau = r^2 \pi \cdot \Delta p \quad (6)$$

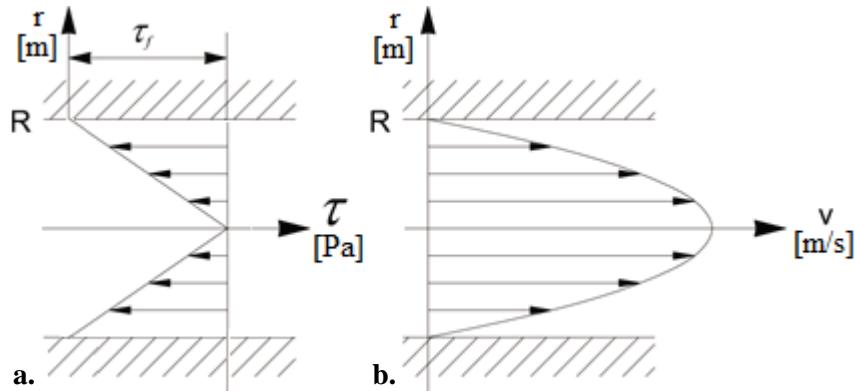
ahol  $\Delta p$  [Pa] a nyomáskülönbség a kapilláris beömlési ( $A_{be}$ ) és kiömlési ( $A_{ki}$ ) keresztmetszete között,  $l$  (m), a kapilláris hossza. Azaz az  $r$  sugarú henger palástján ébredő erő tart egyensúlyt az  $r$  sugarú henger alapjára ható nyomóerővel ( $0 \leq r \leq R$ ).

Feltételezzük továbbá, hogy a 6. ábrának megfelelően a nyomáscsökkenés a kapilláris hossza mentén lineáris, így  $\tau$ ,  $v$  és  $\dot{\gamma}$  függvényei a kapilláris sugarának, de a kapilláris hossza mentén nem változnak.

Folytatva a levezetést, a (6) egyenlet rendezésével megkapjuk a  $\tau$  feszültség keresztmetszeti eloszlását leíró függvényt, amely az áramló anyagtól független, és csak a terheléstől, valamint a kapilláris méreteitől függ:

$$\tau = \frac{\Delta p}{2l} r \quad (7)$$

Az eloszlás kúp alakú, az áramlás a tengelyben feszültségmentes,  $r = R$ -nél éri el maximális értékét. A  $\tau$  feszültség tehát **a sugárral lineárisan arányos**, így legnagyobb értékét éppen  $r = R$ -nél, a kapilláris fala mentén veszi fel (7. ábra):



7. ábra A  $\tau$  csúsztatófeszültség (a) és az áramlási sebesség (b) eloszlása a kapilláris mentén

$$\tau_{r=R} = \tau_{max} = \frac{\Delta p}{2l} R \quad (8)$$

A gyakorlatban az **áramlási sebesség keresztmetszet menti eloszlására** a következő összefüggés használható:

$$v = \frac{\Delta p}{4l\eta} (R^2 - r^2) \quad (9)$$

#### A térfogatáram meghatározása

A sebességeloszlás ismeretében meghatározhatjuk a  $\dot{V}$  [ $m^3/s$ ] **térfogatáramot**:

$$\dot{V} = \frac{\pi \cdot \Delta p \cdot R^4}{8 \cdot l \cdot \eta} \quad (10)$$

Ez az ún. **Hagen-Poiseuille összefüggés**, amely a reológiai mérések alapjának tekinthető, mivel a  $\dot{V}$  térfogatáram mérése nagyon egyszerű, és  $\dot{V}$  ismeretében a fenti összefüggéssel az  $\eta$  viszkozitás kiszámítható.

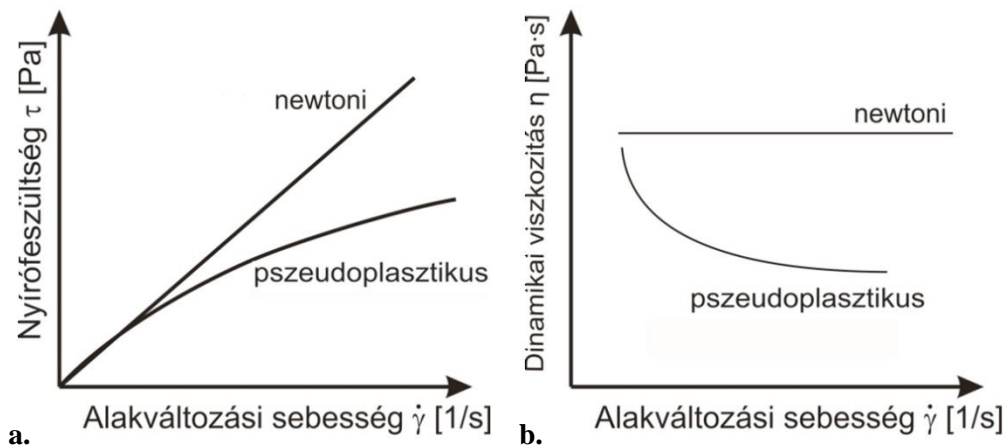
## 2.2. A valós polimer ömledékek viselkedése

A viszkozitási tényező a polimer ömledékek legfontosabb feldolgozástechnológiai jellemzője. Sajnos, amíg a kis molekulájú anyagok közül pl. a víz, számos oldószer vagy a kőolaj követi a newtoni viselkedést, addig a polimer ömledékek a feldolgozási tartományban gyakorlatilag nem!



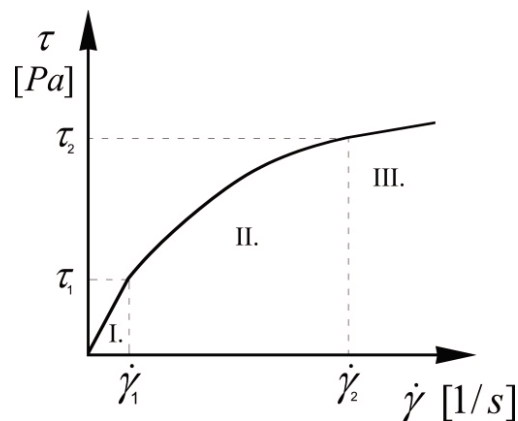
A polimer ömledékek esetén az ömledék viszkozitása – állandó hőmérsékleten – az igénybevétel növekedésével csökken. Ezt a fajta viselkedést **pszeudoplasztikusnak** nevezik.

A 8. ábrán látható  $\tau$ - $\dot{\gamma}$  függvényt **folyásgörbének**, a belőle megszerkeszthető  $\eta = f(\dot{\gamma})$  függvényt **viszkozitásgörbének** nevezük.



8. ábra Pszeudoplasztikus és newtoni közeg folyási (a) és viszkozitási (b) görbéjének összehasonlítása

Mai ismereteink szerint azt mondjuk, hogy a valós polimer ömledék **strukturviszkózan** viselkedik. Ennek az a sajátossága, hogy az ömledék az extrém kis és az extrém nagy igénybevételek tartományában (I. és III. tartomány) newtoni jelleget mutat, a kettő között, a polimerfeldolgozási technológiák jellemző tartományában (II. tartomány) pedig pszeudoplasztikusan viselkedik (9. ábra).



9. ábra A strukturviszkózus ömledék folyásgörbéje

Az 1. táblázatban foglaltuk össze a különböző anyagok nyíró-igénybevétel során fellépő viselkedését, a  $\gamma$  deformáció és a  $\tau$  nyírófeszültség összefüggését:

Szilárd testeknél (Hooke)	$\gamma$ arányos $\tau$ -val	$\tau = G \cdot \gamma$
Newtoni folyadékoknál	$d\gamma/dt$ arányos $\tau$ -val	$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$
Nem-newtoni közegeknél	$d\gamma/dt$ függvénye $\tau$ -nak	$\tau = f(\dot{\gamma})$

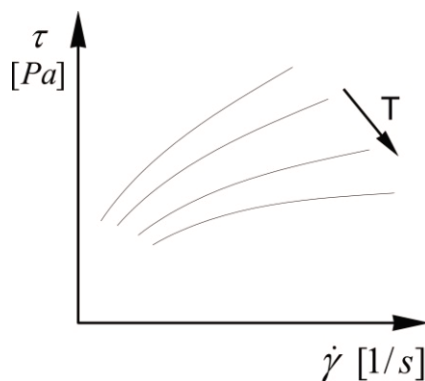
1. táblázat Anyagok viselkedése nyíró-igénybevétel során

### Polimer ömledékek folyási tulajdonságainak modellezése

A pszeudoplasztikus közegek folyási tulajdonságainak modellezése, a folyási és a viszkozitási görbét megfelelően közelítő függvények felírása igen bonyolult problémát jelent. A legegyszerűbb és leggyakrabban használt közelítő összefüggést **hatványtörvények** (11) nevezzük.

$$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n \quad (11)$$

A hatványtörvénnyel leírható viselkedésű anyagok esetében az ömledékben ébredő  $\tau$  feszültség a  $\dot{\gamma}$  deformációsebesség valamilyen  $n > 0$  hatványával arányos. A legtöbb polimer ömledéknél  $n < 1$ , azaz az **ömledék viszkozitása az igénybevétel növekedésével csökken**, ami megfelel az előző pontban tárgyalt pszeudoplasztikus viselkedésnek. A pszeudoplasztikus közegek folyásgörbéjének hőmérsékletfüggését szemlélteti a 10. ábra.

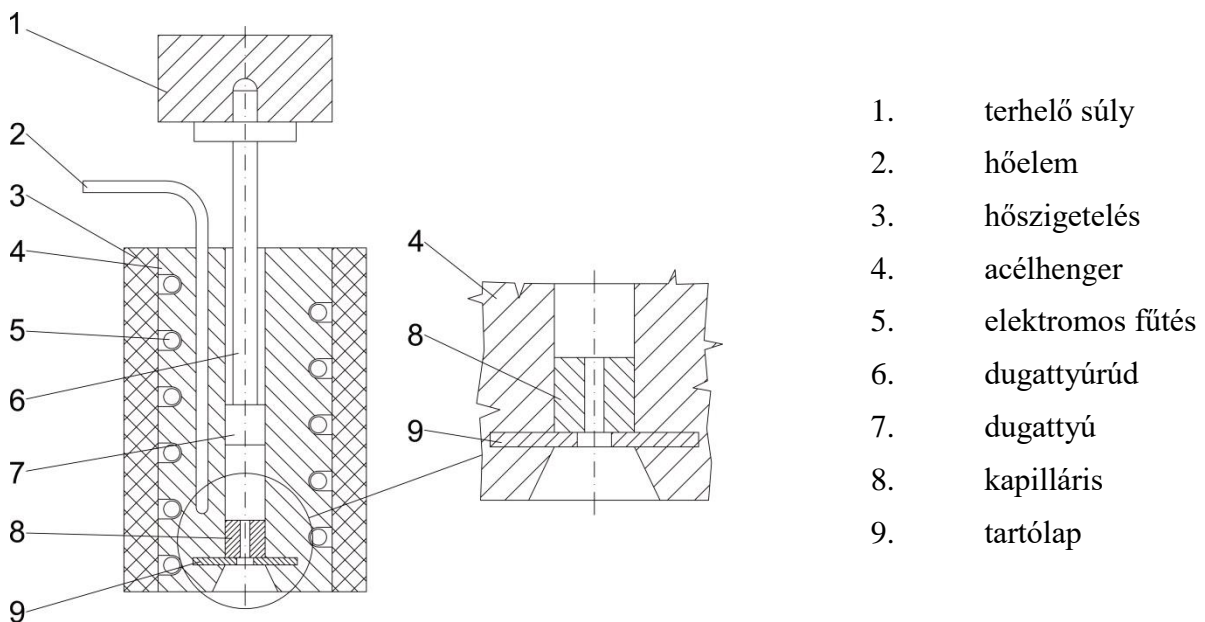


10. ábra Pszeudoplasztikus közegek folyásgörbéjének hőmérsékletfüggése

Az ábrán jól megfigyelhető a folyásgörbe meredekségének, azaz a dinamikai viszkozitásnak a hőmérséklet növekedésével végbemenő csökkenése. Polimer ömledékek dinamikai viszkozitása – bizonyos határok között – a hőmérséklet növelésével **exponenciálisan csökken**. A kismolekulájú folyadékokkal szemben – mint amilyen például a víz és a hidraulikaolaj – a polimer ömledékek bizonyos mértékben **összenyomhatóak**, azaz a nyomás növekedésével nő a sűrűségük.

### 2.3. A folyóképesség, a folyási mutatószámok és szabványos meghatározásuk

A folyóképesség a hőre lágyuló polimerek fontos reológiai tulajdonsága. **Folyóképesség ( $\Phi$ )** alatt a **dinamikai viszkozitás ( $\eta$  [Pa·s]) reciprokát értjük**. A **folyóképesség** gyakorlati jellemzésére a könnyen és egyértelműen meghatározható **szabványos folyási mutatószám** használatos. Jele **MFI** (Melt Flow Index, [g/10 perc]) vagy **MFR** (Melt Flow Rate, [g/10 perc]). A **szabványos folyási mutatószám** az a grammokban kifejezett anyagmennyiség, amely a vizsgálati és anyagszabványban előírt hőmérséklet és nyomás mellett a szabványos mérőkészülék kifolyónyílásán 10 perc alatt kifolyik. Az MFI mellett gyakran használatos a térfogatra vonatkoztatott folyási mutatószám, az **MVR** (Melt Volume Rate [cm<sup>3</sup>/10 perc]), amely esetében nem a kifolyt polimerömladék tömegét, hanem térfogatát adjuk meg. A folyási mutatószám meghatározására szolgáló készülék, a **kapilláris plasztométer** vázolata a 11. ábrán látható.



11. ábra A kapilláris plasztométer vázolata

A (7) dugattyú a (4) fűtött acélhengerben lévő megömlesztett anyagra nyomást gyakorol, és azt a (8) szabványos kapillárison át kisajtolja. A henger az (5) elektromos fűtéssel fűthető. A hőmérséklet a (2) hőelemmel mérhető és hőfokszabályozóval a kívánt értékre beállítható. A szükséges nyomást az (1) terhelő súllyal lehet biztosítani. A dugattyú magasságát egy szenzor érzékeli, és egy beépített kés pontosan a kapilláris kifolyónyílásánál vágja el a kifolyó polimerömladékot, amikor a dugattyú a beállított kezdő- és végmagasságokat eléri ([videó](#)).

*A szabványos körülmények között elvégzett vizsgálat kiértékelése:*

A berendezés önállóan az **MVR** (Melt Volume Rate) **térfogatra vonatkoztatott folyási mutatószám** meghatározására képes, de ha megmérjük a kifolyt polimerömladék tömegét, annak segítségével kiszámítható a **tömegre vonatkoztatott folyási mutatószám** (**MFI**, Melt Flow Index):

$$MVR_{(T, m_{nom})} = \frac{V \cdot s}{t} \quad \text{és} \quad MFI_{(T, m_{nom})} = \frac{m \cdot s}{t} \quad (12, 13)$$

ahol: MVR	[cm <sup>3</sup> /10 perc];	térfogatra vonatkoztatott folyási mutatószám,
MFI	[g/10 perc];	tömegre vonatkoztatott folyási mutatószám,
<i>T</i>	[°C];	vizsgálati hőmérséklet,
<i>m<sub>nom</sub></i>	[kg];	terhelő tömeg,
<i>s</i>	[s/10 perc];	a szabványos időnek (10 perc = 600 s) megfelelő váltószám, <i>s</i> = 600 s/10perc
<i>V</i>	[cm <sup>3</sup> ];	két vágás közt kisajtott polimerömladék térfogata,
<i>t</i>	[s];	két vágás közt eltelt idő,
<i>m</i>	[g];	két vágás közt kisajtott polimerömladék tömege.

A kapilláris plasztométer lehetővé teszi a vizsgált polimerömladék folyási mutatószámainak tetszés szerinti (a készülék lehetőségeinek határain belüli) hőmérséklet és terhelőerő melletti meghatározását. **A folyási mutatószámok ismeretében a polimer ömladék reológiai jellemzői kiszámíthatók.** Így ezzel a viszonylag egyszerű és gyors mérési eljárással lehetőségünk van **a folyási mutatószámok meghatározása mellett a vizsgált anyag folyási és viszkozitási görbéjének a felvételére** is. A kapilláris plasztométerrel történő mérés előnye – más viszkozitásmérési módszerekhez képest – egyszerűsége és gyorsasága, ezért **széles körben használják a gyakorlatban, főként minőségellenőrzés céljára.**

Az MFI értékének megadási módját szabvány írja elő, így például az MFI<sub>(190; 2,16)</sub>=4,0 azt jelenti, hogy 190°C hőmérsékleten, 2,16 kg-os súly alkalmazásával az adott anyag folyási mutatószáma 4 g/10 perc.

## 2.4. Az MFI mérés kiértékelése

Az MFI készülék önállóan az MVR [cm<sup>3</sup>/10 perc] térfogatáram mérésére alkalmas. A kapillárison két vágás közt kisajtott polimerömladék tömegét mérleggel kell lemérnünk. Így a mérést követően az alábbi adatok állnak rendelkezésünkre: MVR [cm<sup>3</sup>/10 perc], *t* [s], *m* [g].

Felhívjuk a figyelmet arra, hogy az MFI mérés során élünk azzal az egyszerűsítéssel, hogy a polimer ömledék pszeudoplasztikus jellegét nem vesszük figyelembe, hanem **ideális newtoni közegként kezeljük** (lásd a 2.1. és 2.2. fejezetet).

A folyásgörbe megrajzolásához szükséges adatokat az alábbi módon lehet kiszámítani:

A  $\dot{V}$  [m<sup>3</sup>/s] térfogatáramot az MVR értékéből az alábbi összefüggéssel lehet meghatározni:

$$\dot{V} = \frac{\text{MVR}}{s \cdot 10^6} \quad (14)$$

ahol:  $\dot{V}$  [m<sup>3</sup>/s]; térfogatáram,  
 MVR [cm<sup>3</sup>/10 perc]; térfogatra vonatkoztatott folyási mutatószám,  
 $s$  [s/10 perc]; a szabványos időnek (10 perc=600 s) megfelelő váltószám,  $s = 600 \text{ s}/10\text{perc}$ .

A 10<sup>6</sup>-nal való osztás a [cm<sup>3</sup>]-ről [m<sup>3</sup>]-re való átszámítás miatt szükséges.

A beömlési keresztmetszetenél ébredő nyomást jól közelíthetjük a készülék dugattyújának  $D$  átmérője és az alkalmazott pótsúly  $F$  súlyereje alapján számított nyomással:  $p_{\text{be}} = \frac{4}{D^2 \pi} F$ , azaz:

$$\Delta p = \frac{4}{D^2 \pi} F \quad (15)$$

ahol:  $\Delta p$  [Pa]; nyomáskülönbség a kapilláris beömlési és kiömlési keresztmetszete között,  
 $D$  [m]; dugattyú átmérője,  
 $F$  [N]; alkalmazott pótsúly súlyereje.

A falnál ébredő maximális  $\tau_{\text{max}}$  nyírófeszültséget a (8) összefüggés alapján számítjuk.

A **Hagen-Poiseuille összefüggés** (10) átrendezésével kiszámítható az  $\eta$  dinamikai viszkozitás:

$$\eta = \frac{\pi \cdot \Delta p \cdot R^4}{8 \cdot l \cdot \dot{V}} \quad (16)$$

A  $\dot{\gamma}_{\text{max}}$  deformációsebességet  $\tau_{\text{max}}$  nyírófeszültségből a Newton-egyenlet (3) alapján számítjuk:

$$\dot{\gamma}_{\text{max}} = \dot{\gamma}_{r=R} = \frac{\tau_{\text{max}}}{\eta} \quad (17)$$

Az egyes hőre lágyuló polimerek reológiai tulajdonságainak ismerete szükséges ahhoz, hogy kiválaszthassuk az adott feldolgozási technológiához megfelelő anyagot. **A dinamikai viszkozitás**

**szoros összefüggésben van az átlagos molekulatömeggel.** Kisebb/rövidebb molekulákból álló polimer ömledékének kisebb a dinamikai viszkozitása, mint az ugyanolyan ismétlődő egységeket tartalmazó, de hosszabb láncokból álló polimerének. **Növekvő deformációsebesség,** illetve **igénybevétel mellett** történő feldolgozás esetén a polimer ömledék **viszkozitása tovább csökkenthető.**

Tájékoztatásul a 2. táblázatban néhány feldolgozási technológiára vonatkozóan a fellépő alakváltozási sebességek tartománya található, természetesen csak durva, nagyságrendi arányokat jelölve. A nyilak a növekedés irányát jelzik.

Feldolgozási technológia	Nyírósebesség	Dinamikai viszkozitás	Átlagos molekulatömeg	Folyási mutatószám
	$\dot{\gamma}$ [1/s]	$\eta$ [Pa·s]	$M_w$ [g/mol]	MFI [g/10min]
Sajtolás	10	10 000	$>10^6$	↓
Kalanderezés	$10^2$	1000	$10^5$	
Extrudálás	$10^3-10^4$	100-1000	$10^5$	
Fröccsöntés	$10^4-10^6$	10-100	$10^4$	
Szálgyártás	$>10^6$	10	$10^3$	

2. táblázat Alapvető polimerfeldolgozási technológiák alakváltozási sebessége

### 3. A mérés leírása, elvégzendő feladatok

*A mérés menete:*

A granulátumot az MFI mérő készülék felfűtött hengerébe töltjük, közben tömörítjük a légzárványok kihajtása céljából. A töltést akkor fejezzük be, amikor a polimer granulátum szintje a henger felső pereme alatt kb. 5-10 mm-re van. A dugattyúrúdat a hengerbe helyezük, majd a terhelő súlyokat tartó állványt mérő helyzetbe fordítjuk és rögzítjük. Elindítva az MFI berendezéshez kapcsolt számítógépen a vezérlőprogramot, a berendezés egy előre meghatározott előmelegítési idő elteltével (ennek célja, hogy a hengerben lévő granulátum teljes egészében ömledékállapotba kerüljön) előtömörítést végez (az ömledéket összenyomva kiszorítja a levegőbuborékokat), majd a súlyokat a dugattyúrúdra helyezi. Ennek hatására a kapillárison keresztül megkezdődik a polimerömledék kiáramlása. Akkor kezdődik a mérés, amikor a készüléken található vágószerkezet kése levágja az extrudátumot (ezt a kezdeti darabot nem használjuk). A mérés végeztével, miután a dugattyúrúd megtett egy előre meghatározott hosszúságú utat a hengerben, a készüléken található

vágószerkezet kése ismét levágja az extrudátumot. A levágott extrudátumot csipesszel (még meleg!) a mérleg tányérjára helyezük, és leolvassuk a tömegét. Mivel a berendezés csak térfogatáramot mér, az extrudátum tömegét nekünk kell lemérni, de az összes többi szükséges paramétert (térfogatáram, eltelt idő) le lehet olvasni a berendezésről.

A mérés során két különböző típusú polipropilén alapanyagot vizsgálunk, mindkettő a MOL Petrolkémia ZRt. gyártmánya. Az egyik, kisebb viszkozitású anyag, elsősorban fröccsöntésre használatos, míg a másik, nagyobb molekulatömegű és ennél fogva nagyobb viszkozitású extrúziós alapanyag.

*A mérésen elvégzendő feladatok:*

- A vizsgált anyagok térfogatra és tömegre vonatkoztatott folyási mutatószámának meghatározása kapilláris plasztométerrel állandó hőmérséklet és terhelés mellett. (MÉRÉS)
- Az MVR alapján az adott terhelés mellett érvényes  $\eta$ ,  $\tau_{max}$  és  $\dot{\gamma}_{max}$  kiszámítása az útmutatóban leírtak szerint. (MÉRÉS KIÉRTÉKELÉSE)
- A vizsgált anyagok folyásgörbéjének ábrázolása.

#### 4. A mérés során használt gépek, berendezések

- Kapilláris plasztométer: CEAST Modular Melt Flow 7027.000
- 0,001 g pontosságú mérleg: Radwag PS 200/2000.R1

#### 5. A témához kapcsolódó fontosabb szavak angolul, németül

Magyar	Angol	Német
Folyásgörbe	Flow curve	die Fließkurve
Folyási mutatószám, MFI	Melt Flow Index (MFI) Melt Flow Rate (MFR)	der Schmelzindex
Nyírófeszültség	Shear stress	die Schubspannung
Nyírósebesség	Shear rate	die Schergeschwindigkeit das Schergefälle

#### 6. Felhasznált irodalom

1. Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J.: A polimertechnika alapjai, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000, 115-166. old.

## FÜGGELÉK

Prefixumok összefoglaló táblázata

Prefixum:	Jele:	Szorzó, amellyel a mértékegységet meg kell szorozni:
exa	E	1 000 000 000 000 000 000 = $10^{18}$
peta	P	1 000 000 000 000 000 = $10^{15}$
tera	T	1 000 000 000 000 = $10^{12}$
giga	G	1 000 000 000 = $10^9$
mega	M	1 000 000 = $10^6$
kilo	k	1 000 = $10^3$
hekto	h	100 = $10^2$
deka	da	10 = $10^1$
deci	d	0,1 = $10^{-1}$
centi	c	0,01 = $10^{-2}$
milli	m	0,001 = $10^{-3}$
mikro	$\mu$	0,000 001 = $10^{-6}$
nano	n	0,000 000 001 = $10^{-9}$
piko	p	0,000 000 000 001 = $10^{-12}$
femto	f	0,000 000 000 000 001 = $10^{-15}$
atto	a	0,000 000 000 000 000 001 = $10^{-18}$

A segédletben szereplő, a tananyag megértését segítő videó QR-kódja:

MFI mérés







## MÉRÉSI JEGYZŐKÖNYV

Név: ..... Jegy: .....

Neptun kód: .....

Dátum: ..... Ellenőrizte: .....

Gyakorlatvezető: .....

### 1. A feladat

- A vizsgált anyag tömeg- és térfogatáramának meghatározása kapilláris plasztométerrel állandó hőmérséklet és különböző terhelések mellett.
- A tömeg- és térfogatáram alapján az adott terhelés mellett érvényes MFI, MVR,  $\eta$ ,  $\tau_{max}$  és  $\dot{\gamma}_{max}$  kiszámítása.
- A vizsgált anyag folyásgörbéjének ábrázolása.

### 2. Alapadatok, mért és számított eredmények

A készülék típusa:	<b>CEAST Modular Melt Flow 7027.000</b>
Kapilláris hossza, $l$	<b>8 mm</b>
Kapilláris sugara, $R$	<b>1 mm</b>
Dugattyú átmérője, $D$	<b>9 mm</b>
Vizsgálati hőmérséklet, $T$	.....°C

A mérés során két különböző típusú polipropilén alapanyagot vizsgálunk. Az egyik, kisebb viszkozitású anyag, elsősorban fröccsöntésre használatos, a másik, nagyobb molekulatömegű és ennél fogva nagyobb viszkozitású extrúziós alapanyag.



### 3. A mért és számított eredmények

Anyag megnevezése: .....

Mért adatok				Számított adatok					
F [N]	MVR [cm <sup>3</sup> /10 perc]	t [s]	m [g]	$\dot{V}$ [m <sup>3</sup> /s]	MFI [g/10 perc]	$\Delta p$ [MPa]	$\tau_{max}$ [MPa]	$\eta$ [Pa·s]	$\dot{\gamma}_{max}$ [1/s]
12									
21,6									
38									
50									
100									
150									

Anyag megnevezése: .....

Mért adatok				Számított adatok					
F [N]	MVR [cm <sup>3</sup> /10 perc]	t [s]	m [g]	$\dot{V}$ [m <sup>3</sup> /s]	MFI [g/10 perc]	$\Delta p$ [MPa]	$\tau_{max}$ [MPa]	$\eta$ [Pa·s]	$\dot{\gamma}_{max}$ [1/s]
12									
21,6									
38									
50									
100									
150									

A mérésvezető utasítása alapján minden hallgató egy sort számol végig, majd a hallgatók a kiértékelés végén megosztják egymással a folyásgörbe felvételéhez szükséges  $\tau_{max}$  és  $\dot{\gamma}_{max}$  számolt értékeit.

Ezt az oldalt  
kinyomtatva  
hozza  
magával!

Képletgyűjtemény a számításokhoz:

$$\dot{V} = \frac{\text{MVR}}{\text{s} \cdot 10^6} =$$

$$\text{MFI} = \frac{m \cdot s}{t} =$$

$$\text{Ellenőrzés: } \rho = \frac{\text{MFI}}{\text{MVR}} =$$

$$\Delta p = \frac{4}{D^2 \pi} F =$$

$$\tau_{\max} = \frac{\Delta p}{2l} R =$$

$$\eta = \frac{\pi \cdot \Delta p \cdot R^4}{8 \cdot l \cdot \dot{V}} =$$

$$\dot{\gamma}_{\max} = \frac{\tau_{\max}}{\eta} =$$

### A vizsgált anyagok folyásgörbéje

Ezt az oldalt  
kinyomtatva  
hozza  
magával!

folyásgörbe

