BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
POLIMERTECHNIKA TANSZÉK

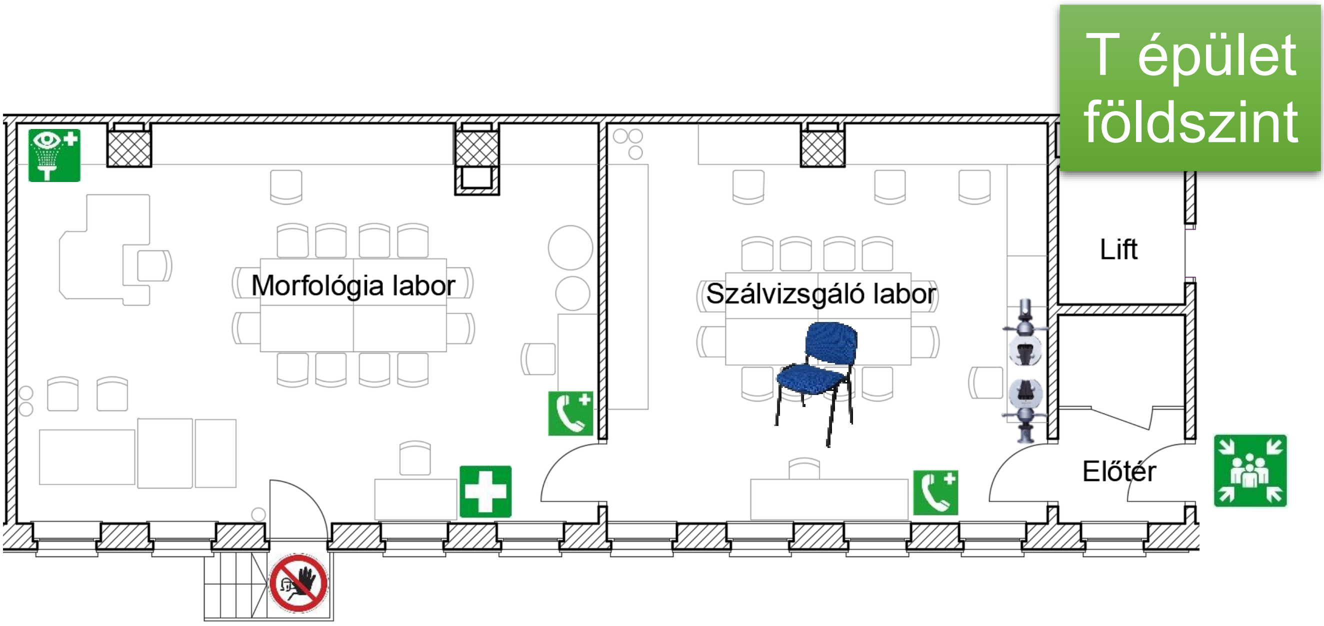
T épület földszint

Kúszás

POLIMEREK IDŐFÜGGŐ MECHANIKAI TULAJDONSÁGAI

A LABORGYAKORLAT HELYSZÍNE

FIGYELEM! EZ A LABORGYAKORLAT A T ÉPÜLET FÖLDSZINTJÉN TALÁLHATÓ LABORATÓRIUMBAN LESZ! GYÜLEKEZŐ A T ÉPÜLETBEN A LÉPCSŐHÁZBAN A LIFT MELLETT!



TARTALOMJEGYZÉK

1. Elméleti háttér

A mindennapi életben használt polimer termékek, alkatrészek a rendeltetésszerű használatuk során valamilyen terhelésnek vannak kitéve, és erre folyamatos alakváltozással reagálnak. Gondoljunk például a műanyag bevásárlószatyor esetére, amelynek a füle a szatyorban lévő teher hatására folyamatosan nyúlik, és ez a nyúlás egészen a fül szakadásáig tarthat, miközben akár órák is eltelhetnek (ezalatt a teher nagysága nem változik). Ez a folyamat minden polimer terméknél tapasztalható és kúszásnak nevezzük. A műszaki életben használt polimerek alkalmazásánál gondot jelenthet ez az állandó méretváltozás, ezért a polimer anyagokból készült szerkezeteket – erő jellegű igénybevétel esetén – nem feszültségcsúcsra, hanem maximális deformációra kell méretezni.

1.1. Kúszás és feszültségrelaxáció

A kúszás során a (polimer) anyag deformációja, állandó mechanikai feszültség-terhelés mellett, az időben folyamatosan nő. Nagyon hosszú időskálán (évszázadok/évmilliók) minden anyag kúszik. A kúszásvizsgálatnál többnyire ugrásszerűen terhelik az anyagot, majd a terhelést állandó értéken tartják. Az anyag válasza erre az ún. kúszás-gerjesztésre a kezdeti ugrásszerű deformációt követő, az időben folyamatosan növekvő deformáció (ld. 3.a és 3.e ábra). A kúszásvizsgálat alkalmas az adott terhelési szinthez tartozó deformációkomponensek meghatározására is (ld. 1.2. pont).

A feszültségrelaxáció a kúszással rokon jelenség (mindkettő az anyag viszkoelasztikus tulajdonságának következménye). A feszültségrelaxáció vizsgálatához az anyagot ugrásszerűen megnyújtják, majd a nyúlást állandó értéken tartják. Az anyag válasza erre szintén ugrásszerű feszültségnövekedés, majd az ún. relaxáció-, azaz konstans nyúlás-gerjesztés esetén a feszültség az időben folyamatosan csökken (az anyag relaxál, lásd 6. ábra).

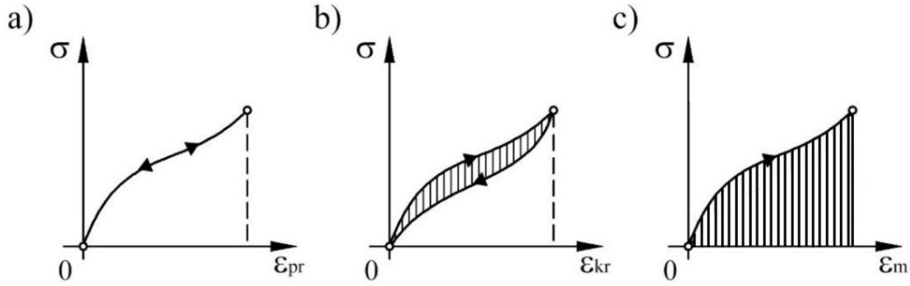
1.2. A polimer anyagok deformációkomponensei

A viszkoelasztikus polimer anyagok feszültség-deformáció kapcsolata sok tekintetben eltér a rugalmassági határig ideálisan rugalmasnak, a felett elaszto-plasztikusnak tekinthető fémekétől. Az eltérés elsősorban a nemlineáris feszültség-deformáció kapcsolatban, továbbá a hőmérséklettől, a terhelési szinttől és az igénybevétel időtartamától való függésben jelentkezik.

Polimer anyagok esetében e meglehetősen bonyolult kapcsolatrendszer leírási módjai közül az egyik irányzat az, hogy az összetett viselkedést olyan ideális tulajdonságok kombinációjaként kezelik, amelyek mindig egyszerre érvényesülnek. Az egyik legegyszerűbb ilyen közelítés szerint azt feltételezzük, hogy az adott igénybevétel hatására kialakuló ε-összdeformáció egy ún. ε_{pr}-pillanatnyi rugalmas, egy ε_{kr}-késleltetett rugalmas és egy ε_m-maradó deformációkomponensből tevődik össze:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_{pr} + \varepsilon_{kr}(t) + \varepsilon_m(t)$$

Ezekre az idealizált deformációkomponensekre nézve a fel- és leterhelésekre vonatkozó feszültség-deformáció kapcsolatokat az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra A polimerek deformációkomponensei

(a) A **pillanatnyi rugalmas** deformációkomponens - amely mikroszerkezetileg az atomtávolságok és vegyértékszögek megváltozásához kapcsolódik - pillanatszerűen, késleltetés nélkül alakul ki a terhelés pillanatában, és ugyancsak késleltetés nélkül alakul vissza a terhelés megszűntével, azaz az időtől független, és a fel- és leterhelés görbéje egybeesik (1.a ábra). A terhelés során kialakult deformáció és a befektetett deformációs munka is teljes mértékben visszaalakul, ezért e komponens mechanikailag és termodinamikailag is reverzibilis.

A deformációkomponens legegyszerűbb mechanikai modellje a Hooke-törvényt követő rugó (1. táblázat), amely - lineáris karakterisztikája révén – az 1.a ábrához képest további egyszerűsítést, idealizálást jelent.

(b) A **késleltetett rugalmas** komponens, amely mikroszerkezetileg a feszültség hatására a molekulaláncok kigöngyölődéséhez, illetve visszagöngyölődéséhez kapcsolódik, a terhelés folyamán késleltetve alakul ki, és a terhelés megszűnte után késleltetve alakul vissza, azaz időfüggő, és a fel- illetve leterhelés görbéi nem esnek egybe (ún. hiszterézis jelentkezik). A hiszterézis-hurok területe a hővé alakult, veszteségi deformációs munkahányaddal arányos (1.b ábra). E komponens ezért mechanikailag reverzibilis, de termodinamikailag irreverzibilis.

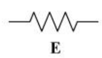
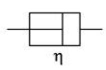
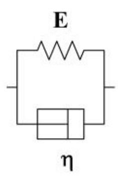
E deformációkomponens legegyszerűbb modellje egy rugó és egy - szintén további idealizálási lépést jelentő – Newton-törvényt követő viszkózus elem párhuzamos kapcsolásával kapható ún. Kelvin-Voigt elem (1. táblázat).

(c) A **maradó deformációkomponens**, amely mikroszerkezetileg a molekula-láncok egymáshoz képesti elcsúszásához, maradó elmozdulásához kapcsolódik, a terhelés folyamán folyamatosan alakul ki, időben halmozódik és a terhelés megszüntetése után a kialakult deformáció érték megmarad. A fel- és leterhelés görbéi nem esnek egybe, sőt az utóbbi elfajul, és a befektetett deformációs munka teljes egészében hővé alakul (1.c ábra). Következésképpen, e komponens mind mechanikailag, mind termodinamikailag irreverzibilis.

E deformációkomponens legegyszerűbb modellje a Newton-törvényt követő viszkózus elem (1. táblázat).

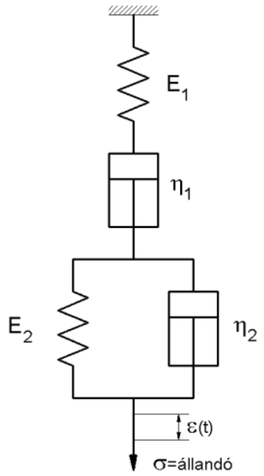
Összefoglalva: a viszkoelasztikus polimer anyagok mechanikai tulajdonságait különböző mechanikai modell-elemekkel írhatjuk le (ld. 1. táblázat). Az egyik ilyen alapmodell a Hooke-törvényt ($\sigma = E \cdot \varepsilon$) követő ideálisan rugalmas rugó, amely a pillanatnyi rugalmas deformációkomponenst modellezi. A Newton-törvényt ($\sigma = \eta \cdot \frac{d\varepsilon}{dt}$) követő ideálisan viszkózus folyadékkal töltött dugattyús henger a maradó deformációkomponenst modellezi. Az ideális rugót az E rugalmassági modulussal, míg a viszkózus elemet a hengerben lévő folyadék η dinamikus viszkozitási tényezőjével jellemezhetjük. Ezek a mechanikai modellek paraméterei. Az előbbi két modell párhuzamos kapcsolásával kapható a Kelvin-Voigt elem, amely a polimer anyagok egy sajátos jellemzőjét, a késleltetett rugalmas deformációkomponenst modellezi.

1. táblázat. A deformációkomponensek modellezéséhez használt elemek

Deformációkomponens neve	Jele	Modell	Ábrázolás, paraméter(ek)
pillanatnyi rugalmas deformáció	ε_{pr}	Hooke-törvényt követő rugó	
maradó deformáció	ε_m	Newton-törvényt követő viszkózus elem	
késleltetett rugalmas deformáció	ε_{kr}	Kelvin-Voigt elem (rugó és viszkózus elem párhuzamosan kapcsolva)	

1.3. A kúszás

A fenti modellelemek sorba kapcsolásával kapjuk a **Burgers-féle négyparaméteres modellt** (2. ábra), amely a legkisebb elemszámú modell az amorf termoplasztikus polimerek **kúszási viselkedésének** minőségi leírásához (videó).



2. ábra Burgers-modell

$\sigma = \sigma_0 = áll.$ terhelés esetén érvényes a nyúláskomponensek szuperpozíciójának elve (3. ábra), ezért a Burgers-féle összetett modell nyúlás-válaszfüggvénye az azt alkotó modellelemek válaszfüggvényeinek szuperpozíciójával a 3.e ábrán látható módon összegezve szerkeszthető meg.

Ebből adódóan - indirekt módon - a mért kúszásgörbéből meghatározhatóak az arra illesztett Burgers-modell (Burgers-függvény) paraméterei (együtthatói).

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

Deformációkomponensek modellezése

a, A kúszásgerjesztés egy ugrásszerű feszültséggerjesztés, ahol:

$$\sigma = \sigma_0 = áll.$$

b, A Hooke-törvényt követő rugó válaszfüggvénye:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \rightarrow \varepsilon_{pr}(t) = \frac{\sigma_0}{E_1}$$

c, A Newton-törvényt követő viszkózus elem válaszfüggvénye:

$$\sigma = \eta \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} \rightarrow \varepsilon_m(t) = \frac{\sigma_0}{\eta_1} \cdot t$$

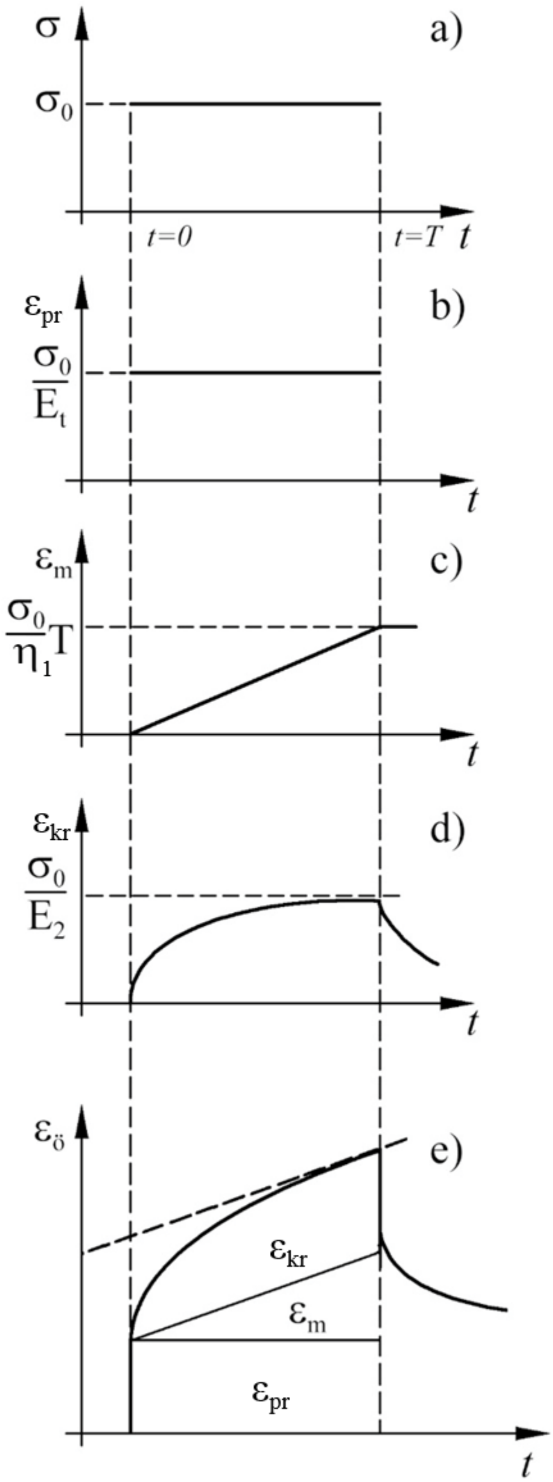
d, A Kelvin – Voigt elem válaszfüggvénye:

$$\varepsilon_{kr}(t) = \frac{\sigma_0}{E_2} \cdot \left(1 - e^{-\frac{E_2}{\eta_2} \cdot t}\right)$$

e, A Burgers-modell eredő válaszfüggvénye, vagyis a b), c) és d) ábrán lévő függvények összege :

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{E_1} + \frac{\sigma_0}{\eta_1} \cdot t + \frac{\sigma_0}{E_2} \cdot \left(1 - e^{-\frac{E_2}{\eta_2} \cdot t}\right)$$

(Az előző két egyenlet levezetése nem a gyakorlati jegyzőkönyv anyaga.)



3. ábra A kúszásgerjesztés, illetve az egyes modellelemek és az összetett modell válaszfüggvénye

A fenti terhelés esetén érvényes a nyúláskomponensek **szuperpozíciójának elve**, ezért **a Burges-féle összetett modell nyúlás-válaszfüggvénye** az azt alkotó modellelemek válaszfüggvényeinek szuperpozíciójával a 3.e ábrán látható módon összegezve szerkeszthető meg, illetve az alábbi képlettel írható fel:

$$\varepsilon_{ö}(t) = \varepsilon_{pr}(t) + \varepsilon_m(t) + \varepsilon_{kr}(t) \Rightarrow \varepsilon_{ö}(t) = \frac{\sigma_0}{E_1} + \frac{\sigma_0}{\eta_1} t + \frac{\sigma_0}{E_2}\left(1 - e^{-\frac{E_2}{\eta_2} \cdot t}\right) \tag{1}$$

Mindezek ismeretében egy viszonylag rövid mérés alapján nagyságrendekkel hosszabb időtartamú terhelés hatására bekövetkező deformációkra következtethetünk, egy 2-3 perces mérésből akár napokra is. A valóságban egy mérés napokig-hetekig is eltarthat, ebből azonban már a polimer alkatrész kúszási viselkedését évekre előre (gyakorlatilag a teljes életciklusra) megbecsülhetjük.

1.4. A polimer kúszási görbéjének felvétele

A valóságos anyag kúszási viselkedését leíró modell kiválasztása után meg kell határoznunk a modell mechanikai elemeinek paramétereit, azaz a rugókat jellemző E_1 és E_2 [MPa] rugalmassági modulusokat és a viszkózus elemeket (dugattyúkat) jellemző η_1 és η_2 [Pas] dinamikai viszkozitási tényezőket.

A keresett paramétereket a vizsgált, valóságos anyag **kúszási görbéjéből**, azaz az anyagnak egy állandó nagyságú ugrásszerű feszültségterhelésre ($\sigma = \sigma_0$=konstans) adott, és az idő függvényében regisztrált nyúlásválaszából lehet a legegyszerűbben meghatározni.

A kúszási görbe felvételéhez a vizsgálandó anyagból készített piskóta alakú próbatestet két végén l_0 távolságra befogjuk, és egy szakítógépen állandó erőterhelést adunk rá és az idő függvényében rögzítjük a próbatest Δl nyúlását μm-ben.

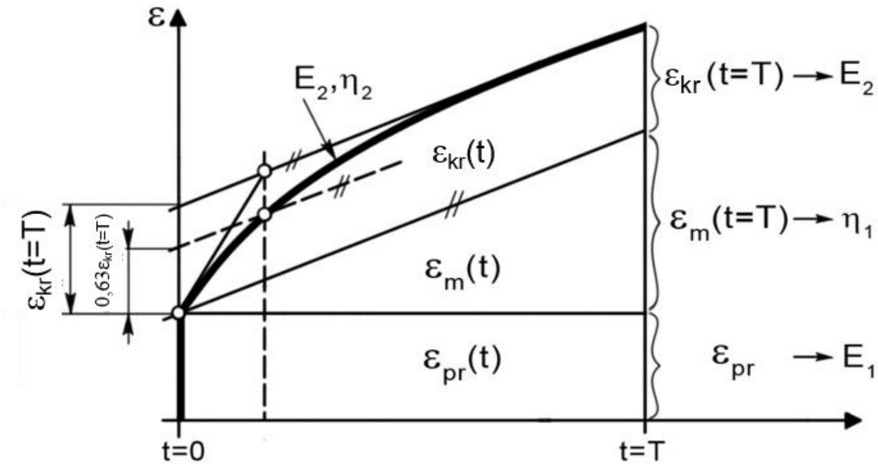
A mérést T időtartamon keresztül végezzük. A terhelés kezdete a t=0 a mérés vége pedig a $t=T$ időpillanat.

A kapott $\Delta l(t)$ nyúlás-idő diagram függőleges (nyúlás) tengelyét a (2) összefüggésnek megfelelően a további számításokhoz szükséges $\varepsilon(t)$ relatív nyúlásra léptékezzük át:

$$\varepsilon(t) = \frac{\Delta l(t)}{l_0} \tag{2}$$

1.5. A modellparaméterek meghatározása a kúszási görbe alapján

A felvett és $\Delta l(t)$-ről $\varepsilon(t)$-re átskálázott kúszási görbéből (4. ábra) a vizsgált anyagra vonatkozó modellparaméterek a következő gondolatmenet alapján határozhatók meg.



4. ábra A felvett kúszási görbe kiértékelése

A $t=0$ időpillanatban mérhető ugrás nagysága ε_{pr}, amelyből az $\boldsymbol{E_1}$ **paraméter** kiszámítható:

$$\varepsilon(t=0) = \varepsilon_0 = \frac{\sigma_0}{E_1} \rightarrow E_1 = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} \; [MPa] \tag{3}$$

ahol $\sigma_0 = \dfrac{F}{A}$.

Tekintsük ezután a $t=T$ időpillanatot és vezessük be a következő egyszerűsítést:

$$\tau_2 = \frac{\eta_2}{E_2} \; [\mathrm{s}] \tag{3}$$

ahol τ_2 idő jellegű állandó. Mivel a mérési időt (***T***) megválaszthatjuk úgy, hogy $\boldsymbol{T \gg \tau_2}$ legyen, az (1) összefüggésben szereplő exponenciális kifejezés értéke:

$$e^{-\frac{T}{\tau_2}} \approx 0 \tag{5}$$

így az (1) összefüggés $\boldsymbol{t = T}$ **esetén** a következőképpen alakul:

$$\varepsilon(t) \approx \frac{\sigma_0}{E_1} + \frac{\sigma_0}{\eta_1} \cdot T + \frac{\sigma_0}{E_2} \cdot \tag{6}$$

Ebből következik továbbá, hogy a felvett $\varepsilon(t)$ nyúlásgörbe $t = T$ ponthoz tartozó érintője jó közelítéssel megegyezik az $\varepsilon(t)$ görbe $t \rightarrow \infty$-re vett aszimptotájával.

Rajzoljuk meg tehát az $\varepsilon(t)$ görbe $t = T$ ponthoz tartozó érintőjét, majd a (0, ε_{pr}) ponton keresztül húzzunk párhuzamost ezzel az érintővel, és ugyanezen ponton keresztül húzzunk párhuzamost a vízszintes tengellyel is. **Az így megrajzolt vonalak az $\varepsilon(t)$ görbe alatti területet az $\varepsilon_{pr}(t)$, az $\varepsilon_m(t)$, és az $\varepsilon_{kr}(t)$ nyúláskomponenseknek megfelelő mezőkre osztják** (lásd: 4. ábra)**,** hasonló felosztást adva, mint a 3.e ábrán a Burgers-modell összegzett nyúlás-válaszfüggvénye esetén.

Ennek a szerkesztésnek az eredményeként az ábráról **lemérhető az ε_{kr} (t = T) és az ε_m (t = T) értéke**, melyekből az E_2 és az η_1 paraméterek számíthatók.

Az (6) egyenlet alapján írhatjuk:

$$\varepsilon_{kr}(t=T) \approx \frac{\sigma_0}{E_2} \rightarrow \boxed{E_2 \approx \frac{\sigma_0}{\varepsilon_{kr}(t=T)}} \tag{7}$$

$$\varepsilon_m(t=T) = \frac{\sigma_0}{\eta_1} \cdot T \rightarrow \boxed{\eta_1 = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_m(t=T)} \cdot T} \tag{8}$$

A hiányzó **η_2 paraméter** kiszámításához ki kell szerkesztenünk a τ_2 időállandót: az $\varepsilon(t)$ görbe t=0 időpontjához tartozó, kezdeti érintőjének (lásd: 4. ábra) és a $t = T$ időponthoz tartozó érintőjének a metszéspontját merőlegesen levetítve a t tengelyre, közelítőleg a τ_2 időállandót kapjuk. A görbe kezdeti érintője azonban csak igen pontatlanul szerkeszthető meg, ezért **τ_2 meghatározására** nem ezt, hanem a következő módszert alkalmazzuk:

Számítsuk ki $\varepsilon_{kr}(t)$ értékét a $t = \tau_2$ időpillanatra:

$$\varepsilon_{kr}(t=\tau_2) = \frac{\sigma_0}{E_2}(1 - e^{-\frac{E_2}{\eta_2}\cdot\tau_2}) \tag{9}$$

A (4) összefüggés behelyettesítésével kapjuk:

$$\varepsilon_{kr}(t=\tau_2) = \frac{\sigma_0}{E_2}(1 - e^{-1}), \tag{10}$$

ahol a zárójelben lévő kifejezés közelítő értéke 0,63.

Felhasználva a (7) összefüggést, azt kapjuk, hogy:

$$\varepsilon_{kr}(t=\tau_2) \approx 0{,}63 \cdot \varepsilon_{kr}(t=T) \tag{11}$$

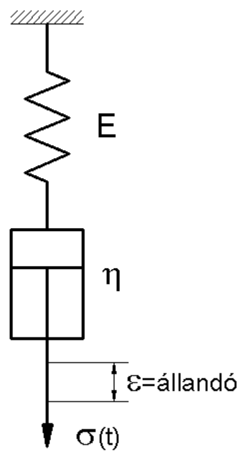
Ennek alapján, a $t = 0$ helyen az **$\varepsilon = \varepsilon_{pr}$ + 0,63 · ε_{kr} (t = T)** pontból a görbe $t = T$ időponthoz tartozó érintőjével párhuzamost húzunk és megkeressük a görbével való metszéspontját. (lásd: 4. ábra) A metszéspontot merőlegesen levetítve a t tengelyre megkapjuk τ_2 értékét. Ezután a (4) összefüggésből **η_2 számítható**:

$$\boxed{\eta_2 = E_2 \cdot \tau_2} \qquad (12)$$

A modellparaméterek ismeretében lehetőség nyílik arra, hogy a vizsgált anyag várható deformációját - bizonyos határokon belül - más σ* feszültségugrás terhelés és/vagy T* más terhelési idő esetére a modell pontosságának megfelelően kiszámítsuk.

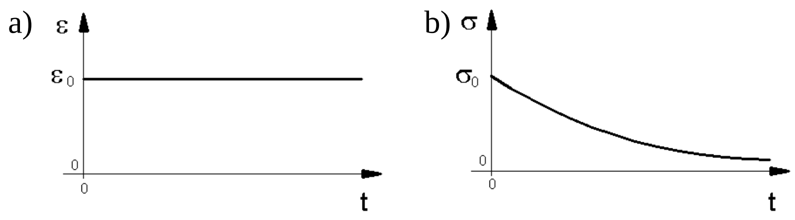
1.6. Feszültségrelaxáció

A lineáris polimerek esetében, ha az anyagot ugrásszerűen, állandó ε_0 deformációnak tesszük ki, akkor a mért feszültség a kezdeti maximális értékéhez képest az időben csökken és tart 0-hoz. Eközben a terhelés kezdeti pillanatában még teljes egészében rugalmas ε_0 alakváltozás fokozatosan elkezd késleltetett rugalmas és maradó alakváltozássá átalakulni. Elegendően hosszú T idő alatt az ε_0 alakváltozás teljes egészében maradóvá alakulhat, miközben a feszültség teljesen 0-ra csökken. A jelenség egyszerű modellezésére az úgynevezett Maxwell-modell alkalmas (5. ábra), amelyet egy rugó és egy viszkózus elem sorba kapcsolásával kaphatunk.



5. ábra Maxwell-modell

A feszültségrelaxációnál alkalmazott ugrásszerű nyúlásgerjesztés hatására a terhelés ráadásának pillanatában a rugó megnyúlik, majd a deformációt folyamatosan a viszkózus elem veszi fel, amellyel párhuzamosan természetesen a gerjesztés hatására kialakuló feszültség időben csökken, feloldódik (6. ábra).



6. ábra A relaxációgerjesztés (a), és válaszfüggvénye (b)

Az ε_0 terhelési szintű relaxációs vizsgálattal kapott $\sigma(t)$ válaszból egy adott időpillanatban kiszámolhatjuk az $E_R(t)$ ún. relaxációs modulust:

$$E_R(t) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon_0} \tag{13}$$

A relaxációs modulus időfüggő jellemző, ezért két anyag összehasonlításánál csak az azonos időszakra vonatkozó értékek alkalmasak összehasonlításra.

2. A mérés leírása, elvégzendő feladatok

A mérés célja a polimerek kúszásának vizsgálata, a Burgers-modell paramétereinek meghatározása, valamint a feszültségrelaxáció vizsgálata.

A mérés menete:

1. Az adott polimer próbatest kúszási görbéjének felvétele.
2. Az 1.5 részben részletezett szerkesztés elvégzése.
3. A nyúlásdiagram alapján a négyparaméteres modell paramétereinek meghatározása.
4. A modell paramétereinek ismeretében az anyag várható nyúlásának kiszámítása megadott σ^* feszültség és T^* idő esetén. Illesztés a mért görbére.
5. Egy polimer termék relaxációs modulusának meghatározása T=120 s időpillanatban.

3. A mérés során használt gépek, berendezések

ZWICK Z005 TÍPUSÚ UNIVERZÁLIS SZAKÍTÓGÉP (7. ÁBRA)

Maximális terhelhetőség: 5 kN

Visszaállási pontosság: ± 2 µm

Sebességtartomány: 0,0005 – 3000 mm/perc

7. ábra Zwick Z005 típusú univerzális szakítógép

4. A témához kapcsolódó fontosabb szavak angolul, németül

Magyar	Angol	Német
kúszás	creeping	s Kriechen
rugalmassági modulus	elastic modulus	r Elastizitätsmodul
viszkozitási tényező	coefficient of viscosity	r Viskositätsfaktor
pillanatnyi rugalmas deformáció	elastic deformation	elastische Deformation
késleltetett rugalmas deformáció	viscoelastic deformation	viskoelastische Deformation
maradó deformáció	viscous deformation	viskose Deformation
gerjesztés	stimulus	e Erregung
ugrásszerű terhelés	stepwise loading	e sprunghafte Belastung
relatív nyúlás	relative strain	e relative Dehnung
modellparaméter	model parameter	r Modellparameter
válaszfüggvény	model response	s Reaktionsfunktion

5. Felhasznált irodalom

1. **Bodor G., Vas L. M.:** *Polimer anyagszerkezettan,* Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000, 182-188 old.

Ezt az oldalt kinyomtatva hozza magával!

MÉRÉSI JEGYZŐKÖNYV

Név: .... Jegy: ....

Neptun kód: ....

Dátum: .... Ellenőrizte: ....

Gyakorlatvezető: ....

1. Feladat

- Az adott polimer próbatest kúszásgörbéjének felvétele.
- A nyúlásdiagram és az 1.5 részben részletezett szerkesztés elvégzése alapján a Burgers-modell jegyzőkönyvben szereplő paramétereinek meghatározása.
- A modell paramétereinek ismeretében az anyag várható nyúlásának kiszámítása megadott σ^* feszültség és T^* idő esetén.
- Egy polimer termék relaxációs modulusának meghatározása T=120 s időpillanatban.

2. Alapadatok:

A próbatest anyaga:

Terhelés, F = ... [N]

A próbatest szélessége, a .... [mm]

A próbatest vastagsága, b .... [mm]

Feszültség, σ_0 = ... [MPa]

A próbatest mérési hossza, l_0 = ... [mm]

3. Mért és számított eredmények

$\Delta l_ö(T)$=	[mm]	$\varepsilon_ö(T)$=	T= [s]	-	-
$\Delta l_{pr}(T)$=	[mm]	$\varepsilon_{pr}(T)$=	-	E_1= [MPa]	-
$\Delta l_m(T)$=	[mm]	$\varepsilon_m(T)$=	-	-	η_1= [Pas]
$\Delta l_{kr}(T)$=	[mm]	$\varepsilon_{kr}(T)$=	-	E_2= [MPa]	-
-		-	τ_2= [s]	-	η_2= [Pas]
		$\varepsilon_ö(T^*)$=			

$\varepsilon_ö(T^*)$ számításakor az (1) összefüggésbe t helyére helyettesítse be T^* időt.

Ezt az oldalt kinyomtatva hozza magával!

4. Feszültségrelaxációs vizsgálat:

A próbatest anyaga:		....	
A próbatest mérési hossza, l_0	=	....	[mm]
A próbatest szélessége, a	=	....	[mm]
A próbatest vastagsága, b	=	....	[mm]
Megnyúlás	=	....	[mm]
Erő T=0 pillanatban	=	....	[N]
Feszültség T=0 pillanatban	=	....	[MPa]
Erő T=120 s-nál	=	....	[N]
Feszültség T=120 s-nál	=	....	[MPa]
Relaxációs modulus 120 s-nál	=	....	[MPa]