



A1

Változat: 4.05

Kiadva: 2021. február 4.

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

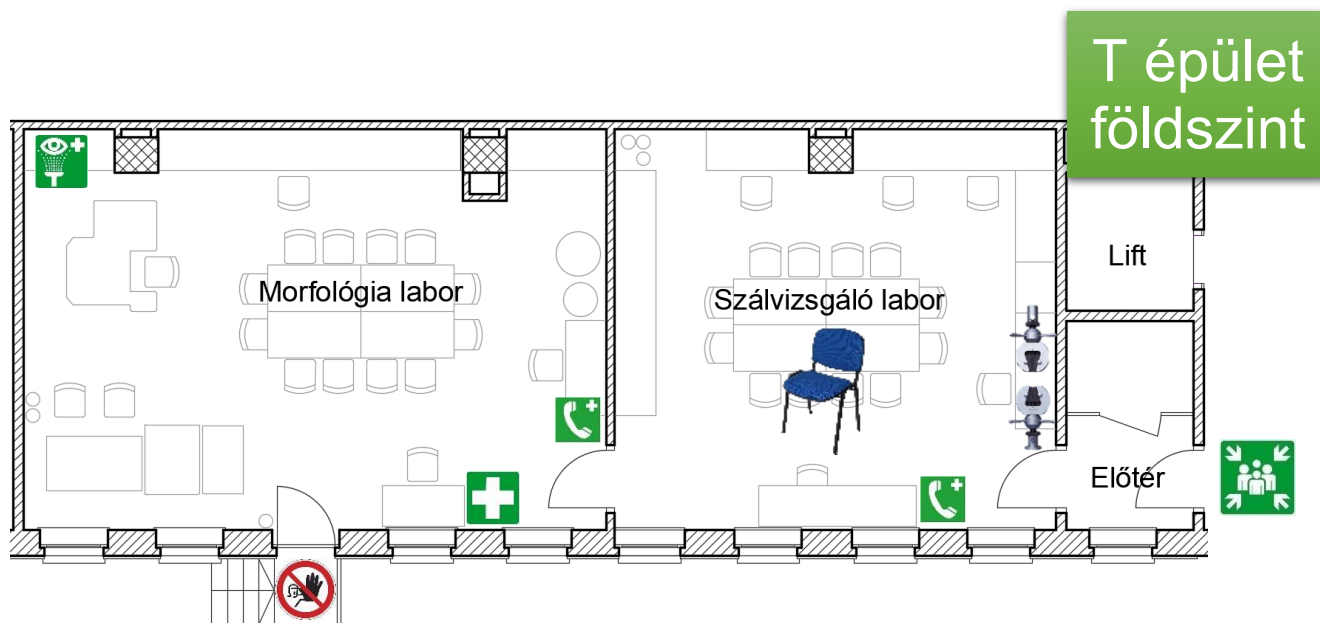
T épület földszint

Szakítás

POLIMEREK SZAKÍTÓVIZSGÁLATA

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

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.	A GYAKORLAT CÉLJA	3
2.	ELMÉLETI HÁTTÉR	3
2.1.	A PRÓBATEST	3
2.2.	A SZAKÍTÓVIZSGÁLATBÓL MEGHATÁROZHATÓ MECHANIKAI JELLEMZŐK	4
2.3.	MÉRÉSI KÖRÜLMÉNYEK HATÁSA	8
2.4.	A MÉRÉS SORÁN HASZNÁLT GÉPEK, BERENDEZÉSEK	10
3.	A TÉMÁHOZ KAPCSOLÓDÓ FONTOSABB SZAVAK ANGOLUL, NÉMETÜL	11
4.	AJÁNLOTT IRODALOM	11

1. A gyakorlat célja

A mérés célja, hogy a hallgatók különböző polimer anyagú próbatestek példáján keresztül megismerjék a kvázi-statikusszakítóvizsgálat módszerét és a szakítóvizsgálattal meghatározható főbb mechanikai tulajdonságokat, továbbá betekintést nyerjenek a szakítóvizsgálat során a polimer anyagok esetén tapasztalható különleges, a fémek viselkedésétől eltérő jelenségeket (pl. nyakképződés).

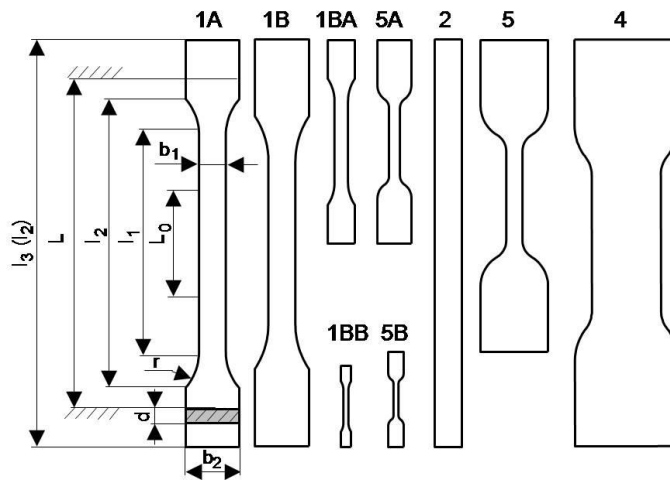
2. Elméleti háttér

A húzóvizsgálat során a szabványban leírt geometriájú próbatestet két végénél befogva, meghatározott mérési körülmények (hőmérséklet, nedvességtartalom) mellett egytengelyű húzó igénybevétel mellett állandó sebességgel nyújtjuk, eközben mérjük és regisztráljuk a hosszváltozás függvényében fellépő húzóerőt ([videó](#)). A vizsgálat rendszerint a próbatest szakadásáig (szakítóvizsgálat) tart. Az eredmények értékelése során, a próbatest méreteit figyelembe véve fajlagos anyagjellemzőket határozunk meg, amelyek lehetővé teszik például bonyolultabb geometriájú alkatrészek műszaki tervezését és méretezését is.

2.1. A próbatest

A szakítóvizsgálatoknál cél, hogy az eredmények jól reprodukálhatóak legyenek. Ennek megfelelően egyszerű geometriájú, könnyen és pontosan gyártható (pl. fröccsöntött) próbatestekre van szükség. Szakítóvizsgálatok céljára polimerek esetében téglalap keresztmetszetű próbatesteket alkalmaznak (fémeknél ezen kívül a kör keresztmetszet is elterjedt).

A szabványos próbatestek az anyag típusától függően eltérő kialakításúak lehetnek (1. ábra). Arra, hogy egy adott anyagtípusnál melyik típusú próbatestet kell használni, az MSZ EN ISO 527-es szabvány tartalmaz előírásokat és ajánlásokat [1], a pontos méreteket szintén szabványok rögzítik. Hőre lágyuló polimer anyagok esetében az 1A típusú (általános) fröccsöntött próbatestet szokták használni. Amennyiben nem az alapanyagot általánosságban, hanem egy konkrét gépelemet, alkatrész anyagát szeretnénk jellemezni, akkor a próbatest kimunkálható belőle forgácsolással is (1B, 1BA, 1BB típusok). Hőre keményedő mátrixú polimer kompozitoknál (*részletesebben A5 gyakorlat*) rendszerint a 2-es típust használják.



1. ábra Próbatest húzóvizsgálati típusok

A polimer próbatestek általános jellegzetessége, hogy piskóta alakúak. Teljes hosszúságuk $l_3 \geq 150$ mm, a befogási hossz, vagyis a befogó szerkezetek kezdeti távolsága 115 mm. A próbatestek keresztmetszete tipikusan 4×10 mm ($d \times b_1$), míg a végeiken kiszélesednek. A piskóta alak segít elkerülni, hogy a próbatest a merev befogások közvetlen közelében szakadjon el. Polimer mátrixú kompozitoknál (2-es típus) gyakran utólag ragasztanak fel ún. végfüleket (tabokat) hasonló célból.

A fröccsöntött termékeknél a gazdaságos előállítás érdekében általában ún. többfészkés szerszámokat használnak, így egyszerre több terméket (itt próbatest) tudnak előállítani. A fröccsöntés módja és a meglövés iránya jelentős hatással lehet a próbatest tulajdonságaira.

2.2. A szakítóvizsgálatból meghatározható mechanikai jellemzők

A szakítóvizsgálat során az erőt folyamatosan mérjük és regisztráljuk egészen a szakadásig (amit jellemzően hirtelen erőcsökkenés is jelez). A próbatest megnyúlását legegyszerűbb esetben a szakítógéppel létrehozott elmozdulásból számolhatjuk. Ennél sokkal pontosabb eredményt kapunk, ha a próbatest középső részén két párhuzamos jelölést alkalmazunk egymástól megfelelő távolságra (például 50 vagy 75 mm-re) és tapintóval, nyúlásmérő bélyeggel, vagy optikai úton folyamatosan mérjük és regisztráljuk ennek a megváltozását.

Így a szakítóvizsgálat eredményeként az adott mérési körülményekre (hőmérséklet, páratartalom, mérési sebesség) vonatkozóan megkapjuk az anyag erő-nyúlás (F - Δl) görbéjét. A műszaki életben általában annak van nagyobb jelentősége, hogy a fajlagos anyagjellemzőket ismerjük. A szakítógörbét ennek megfelelően át lehet paraméterezni mérnöki feszültség-relatív nyúlás (σ - ε) görbévé.

Az erő tengely helyén a **mérnöki húzófeszültséget** (σ [MPa]) megkapjuk, ha az erőt (F [N]) osztjuk a próbatest (középső részének) kiindulási keresztmetszetével (A_0 [mm²]):

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \text{ [MPa]}, \quad (1)$$

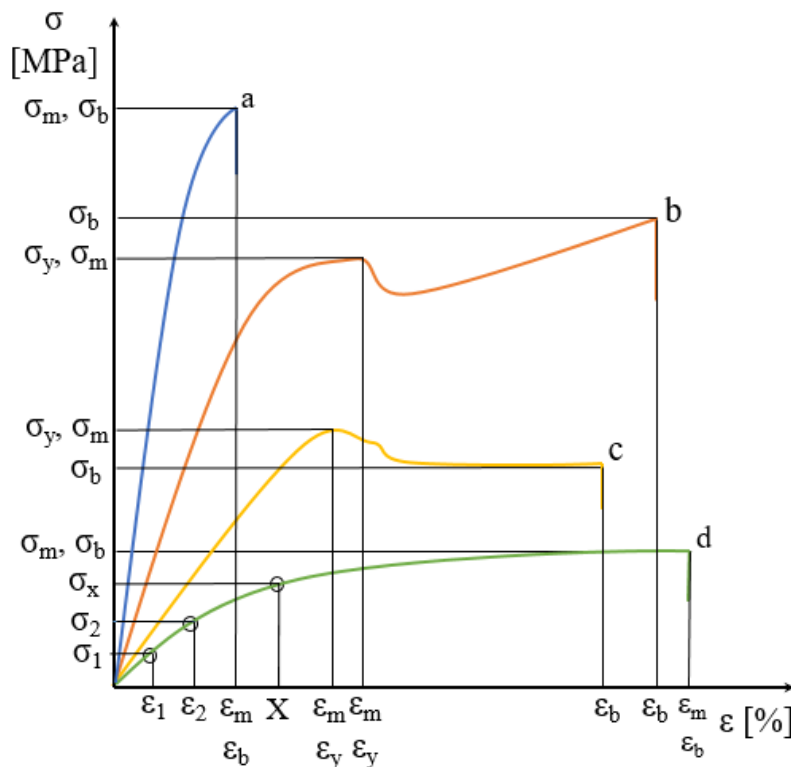
A mérnöki húzófeszültség [MPa] azt fejezi ki, hogy a próbatest 1 mm² – húzási irányral megegyező normálvektorú – keresztmetszetében mekkora erő [N] ébred. (Kétszer akkora keresztmetszetű, de azonos anyagú próbatestnél kétszer akkora erőt mérnénk a vizsgálat során, az ébredő feszültség viszont ugyanakkora lenne mindkét esetben, mert az magát az anyagot jellemzi).

A relatív nyúlás (ε) a próbatest megnyúlásának (Δl [mm]; $\Delta l = l - L_0$, ahol l a próbatest aktuális hossza) és a kezdeti mérési hosszának (L_0 [mm]) a hányadosa:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{L_0} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (2)$$

A relatív nyúlást általában százalékban (pl. 5%), vagy mértékegység nélkül (pl. 0,05) fejezzük ki (azt mutatja meg, hogy a próbatest a mérés adott pillanatában éppen hány százalékkal hosszabb, mint terheletlen állapotban volt).

Néhány tipikus, polimerekre jellemző viselkedést mutat be a 2. ábra.



2. ábra Polimerek szakítógörbéi. a) rideg (üvegszerű) viselkedés, b) és c) nyakképződést mutató viselkedés d) lágy, gumiszerű viselkedés nagy (>50%) szakadási nyúlással

A szakítóvizsgálat során regisztrált erő-nyúlás görbéből (illetve az ebből képezhető feszültség-relatív nyúlás görbéből) számos mechanikai mennyiséget lehet leolvasni, illetve számítani. A legáltalánosabb szakítógörbe alak az ábrán a „b”-vel jelölt görbe, érdemes azt tanulmányozni a következő fogalmak megértéséhez:

σ_M húzószilárdság: A szakítógörbe első lokális maximumánál ébredő (mérnöki) feszültség. Ez a feszültség egybeeshet a folyási feszültséggel (σ_Y , „b” és „c” görbe), vagy a szakítószilárdsággal (σ_B , „a” görbe).

σ_B szakítószilárdság: közvetlenül a szakadás (próbatest kettéválása) előtt mért erő és a kezdeti keresztmetszet hányadosa.

σ_Y folyási feszültség: az az első feszültség, amelynél a nyúlás a feszültség növekedése nélkül növekszik (szakítógörbe nyúlás szerinti deriváltja itt nulla). Fémes szerkezeti anyagoknál a folyási feszültség egy éles határ (folyáshatár): alatta rugalmas, míg felette képlékeny alakváltozás jelentkezik. A viszkoelasztikus viselkedésű polimereknél már rendszerint kis feszültségeknél is maradó alakváltozások alakulnak ki (kúszás, *bővebben BI gyakorlat*), vagyis egyfajta folyási jelenség már hamarabb is fellép, tehát folyáshatár nincsen. A gyakorlatban bizonyos polimereknél fel sem lép a folyási jelenség, másoknál több száz %-os folyási alakváltozás következhet be, amelyet a próbatesten nyakképződés és szerkezeti átalakulás kísérhet. A folyást bizonyos polimerek esetén az ún. feszültség fehéredés jelezheti.

σ_X feszültség x% nyúlásnál: A gumyszerűen viselkedő, lágy anyagoknál a műszaki felhasználást általában a deformáció (tolerálható) mértéke korlátozza. Ekkor egy előre megválasztott, százalékban kifejezett nyúlásnál adjuk meg a feszültség értékét (pl. 50%-nál $\sigma_{50}=20$ MPa), „d” görbe.

A feszültség-relatív nyúlás diagram segítségével az alakváltozási mutatószámok is meghatározhatók. Ezek közül a legfontosabbak a következők:

ε_M húzószilárdsági nyúlás: a húzó nyúlás a próbatest húzószilárdságának megfelelő pontban:

$$\varepsilon_M = \frac{L_M - L_0}{L_0} \cdot 100 \quad [\%], \quad (3)$$

ahol L_0 a próbatest vizsgált szakaszának eredeti terheletlen hossza, L_M a próbatest vizsgált szakaszának az első lokális erőmaximumnál mért megnyúlt hossza.

ε_B szakadási nyúlás: a húzó nyúlás a próbatest szakítószilárdságának megfelelő pontban:

$$\varepsilon_B = \frac{L_B - L_0}{L_0} \cdot 100 \text{ [%]}, \quad (4)$$

ahol L_B : a próbatest vizsgált szakaszának a szakadáskor mért megnyúlt hossza.

A $\sigma(\varepsilon)$ szakítógörbe karakterisztikája jól jellemzi az anyag viselkedését. A nagy szakadási nyúlású anyagok szívósan viselkednek, míg a kis szakadási nyúlásúak ridegek. Ha a görbe meredeken „indul”, akkor merev az anyag, kis meredekség esetén pedig lágy.

Ezért nélkülözhetetlen műszaki jellemző a húzási rugalmassági modulus, amely a szakítógörbe meredekségét fejezi ki és ezen keresztül azt, hogy egy adott erőterhelésre mekkora nyúlással reagál az anyag. Van, ahol nagy merevségre van szükség (nagy modulus), míg máshol éppen nagy alakváltozást szeretnénk kis erővel elérni (kis modulus). A $\sigma(\varepsilon)$ görbéből különböző módokon lehet meghatározni az anyag **húzási rugalmassági modulusát** (E). (Megjegyzés: az A2 *hajlítás* gyakorlatnál hasonlóképpen értelmezzük a hajlítási rugalmassági modulusokat).

Kezdeti húzási rugalmassági modulusnak (E_0): a feszültség - relatív nyúlás görbe origójába húzott érintőjének meredeksége. Ha a görbe kezdőpontjához nem pontosan húzzuk be az érintőt, akkor a pontos érintőtől való kis eltérés is nagy pontatlanságot eredményez a húzási rugalmassági modulus értékében, ezért ezt a gyakorlatban ritkán használjuk.

$$E_0 = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} \text{ [MPa]} \quad (5)$$

Húr modulus (E_h): a görbe tetszés szerinti (de jellemzően a kezdeti szakaszon megválasztott) két pontját összekötő egyenes meredeksége (vö. 2. ábra, d görbén felvett két pont). A vonatkozó szabvány szerint a 0,05% és 0,25% relatív nyúlásértékhez tartozó görbepontokon átmenő egyenesnek a meredekségét kell meghatároznunk, vagyis az általános érvényű

$$E_h = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \text{ [MPa]} \quad (6)$$

összefüggésbe a $\sigma_2 = \sigma_{0,0025}$ és $\sigma_1 = \sigma_{0,0005}$ mért értékeket helyettesítjük, valamint az $\varepsilon_2 - \varepsilon_1$ kifejezés értéke ebben az esetben 0,002. A húr modulus egyik esete, amikor a görbe tetszés szerinti pontját az origóval összekötő egyenes meredekségét határozzuk meg, ez természetesen pontról pontra változik.

Érintő modulus (E_e): a görbe tetszőleges pontjához húzott érintő meredeksége. Mivel a szakítógörbe általában már a kezdeti szakaszban sem lineáris (ellentétben a fémekével), így érintőjének meredeksége is pontról pontra változik.

Törési munka (W_B): Az $F(\Delta l)$ szakítógörbe alatti terület a szakításra fordított munka:

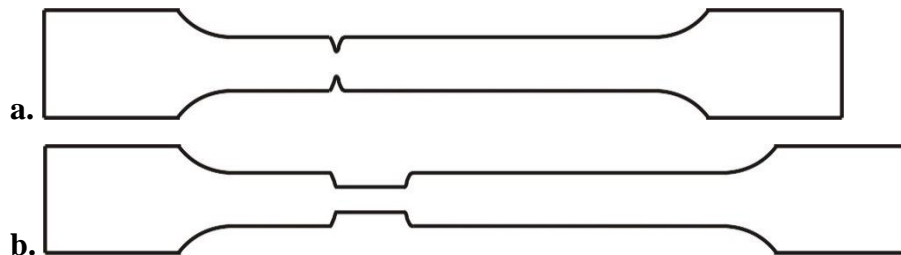
$$W_B = \int_0^{\Delta l} F \cdot dl \text{ [J]}, \quad (7)$$

A törési munka rideg anyagoknál kisebb, szívós anyagoknál nagyobb. A törési munka és a rugalmassági modulus általában egymással fordítottan arányos. Mivel a gépészeti alkalmazások többségénél egyaránt nagy rugalmassági modulusú, ugyanakkor nagy szívósságú anyagokra van szükség, ezért a tervezésnél kompromisszumot kell kötni, és az adott szerkezetre optimálva kell megválasztani az adott mechanikai tulajdonságokkal rendelkező anyagot.

Amint láttuk, a feszültségek számításánál az aktuális erőt mindig a kezdeti keresztmetszettel osztjuk. Ekkor az ún. látszólagos, vagy mérnöki feszültségeket kapjuk. A nyúlás során azonban a próbatest keresztmetszete csökken. Ha a pillanatnyi erőt a pillanatnyi keresztmetszettel osztjuk, akkor a valódi feszültséget kapjuk. A pillanatnyi keresztmetszet (A_p) közelítőleg számítható a térfogatmegmaradás elvét feltételezve a következő összefüggéssel:

$$A_0 \cdot L_0 = A_p \cdot L_p \Rightarrow A_p = \frac{A_0 \cdot L_0}{L_p} = \frac{A_0 \cdot L_0}{L_0 + \Delta l_p}, \quad (8)$$

ahol: A_0 a kezdeti keresztmetszet, L_0 a kezdeti mérési hossz, L_p a pillanatnyi hossza az L_0 kezdeti mérési hosszhoz, $L_p = L_0 + \Delta l_p$, Δl_p az erő-nyúlás görbéről leolvasható pillanatnyi nyúlása a kezdeti mérési hosszhoz. Ez a számítási mód a próbatest szakítóvizsgálatának csak addig a szakaszáig használható, amíg a sűrűség állandó, illetve a próbatest keresztmetszete a hossz mentén azonosan csökken, azaz a helyi kontrakció megindulásától (3.a ábra), illetve a [nyakképződés](#) (videó) szakaszában (3.b ábra) már nem. Az összefüggés elhanyagolja a piskóta alakú próbatest két végénél levő keresztmetszet változást is.

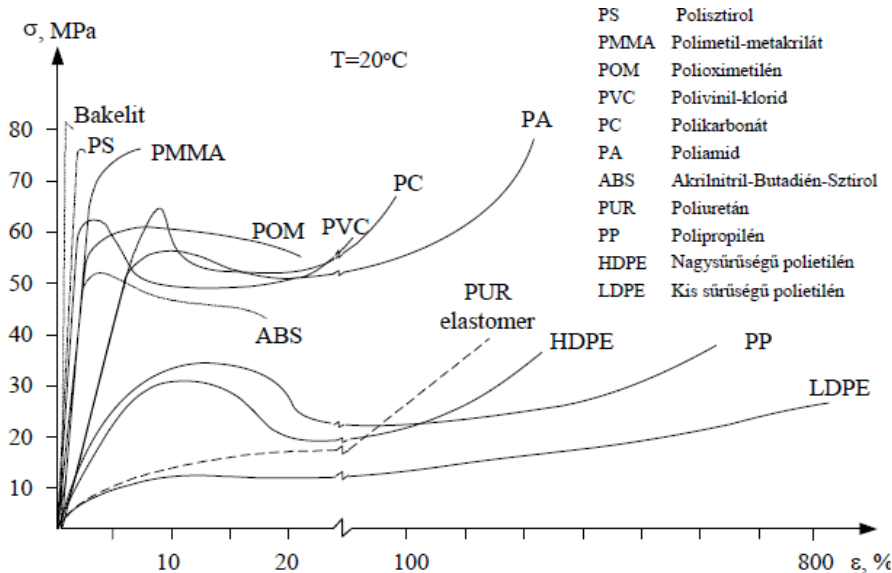


3. ábra Kontrakció: helyi keresztmetszet csökkenés (a) és nyakképződés, vagyis a kontrakció terjedése (b)

2.3. Mérési körülmények hatása

Napjainkban a legnagyobb mennyiségben felhasznált tömeg és műszaki célú polimerek tipikus szakítógörbéit mutatja az 4. ábra. Jól látható, hogy mennyire eltérő viselkedést mutatnak az

egyres polimer típusok. Vannak olyanok, amelyek azonos körülmények mellett ridegen törnek (PMMA, videó), de akadnak olyanok is, amelyek több száz %-os nyúlást képesek elviselni tönkremenetel nélkül (EPDM, videó), ennek megfelelően felhasználásuk is széleskörű.



4. ábra Egyes mesterséges polimer típusok tipikus szakítógörbéi

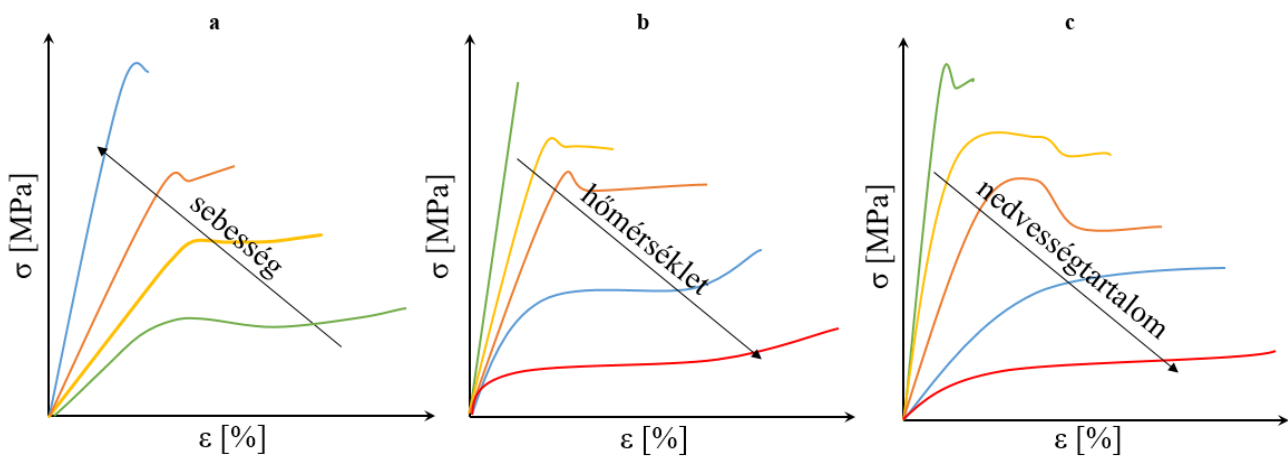
A polimerekre jellemző, hogy a vizsgálati körülmények megváltozása jelentősen befolyásolja az anyag mechanikai tulajdonságait. A következőkben a főbb befolyásoló paraméterek és azok hatásai kerülnek áttekintésre.

Vizsgálati (szakítási) sebesség: Amíg a fémek illetve polimer mátrixú kompozitok esetén 1 mm/perc nagyságrendű a szakítási sebesség, addig a hőre lágyuló polimerek illetve elasztomerek esetén, ahol több száz %-os relatív nyúlás jöhet létre, az alkalmazott szakítási sebességek is akár nagyságrendekkel nagyobbak lehetnek. A vizsgálati sebesség értékére az ISO 527-es szabvány szintén előírásokat tesz. Nagyobb szakítási sebességek esetén a viszkoelasztikus tulajdonságokkal rendelkező anyagok (polimerek) merevebben és ridegebben viselkednek, általában a szilárdságuk is nagyobb értékre adódik (5.a ábra). Ez a jelenség azért lép fel polimereknél, mert a nagy vizsgálati sebesség mellett a hosszú molekuláknak nincsen elég idejük, hogy a húzás irányába rendeződjenek.

Vizsgálati hőmérséklet: a polimerek esetén már kis hőmérsékletváltozás is jelentősen befolyásolja a merevséget, a szilárdságot, illetve a tönkremeneteli folyamat jellegét. A polimerek fontos jellemzője az üvegesedési hőmérséklet (T_g). Ez alatt a hőmérséklet alatt üvegszerű viselkedést mutatnak, azaz kicsi a deformabilitás, és a feszültség-deformáció között közel lineáris a kapcsolat. Ennek oka, hogy a molekulaláncok és a főágak merevek, és mikro-Brown mozgások sem jellemzők. Növelve a hőmérsékletet, a szegmensmozgás megkezdődik, azaz az egyes láncszakaszok

összegombolyodnak, vagy kiegyenesednek, illetve a molekulalánc térbeli szerkezete véletlenszerűen, de folyamatosan változik, ennek köszönhetően szívósabban, rugalmasabban viselkednek (5.b ábra).

Nedvességtartalom: vannak olyan polimerek, amelyek képesek a tulajdonságaikat befolyásoló mennyiségű (1-5 tömeg%) nedvesség abszorbeálására (pl.: poliamidok, poliészterek, természetes polimerek, egyes szálerősített kompozitok). Ezeket a polimereket hidofil polimereknek nevezzük. A nedvességnek lágyító hatása van, azaz csökkenti a rugalmassági modult, szilárdságot és növeli a szakadási nyúlást (5.c ábra).



5. ábra A szakítási sebesség (a) és a hőmérséklet hatása (b) a szakítógörbékre, valamint hidofil polimer szakítógörbéi különböző nedvességtartalom mellett (c)

2.4. A mérés során használt gépek, berendezések

ZWICK Z005 típusú számítógép vezérlésű univerzális szakítógép (6. ábra)

A gép méréshatára: 5 kN

Vizsgálati sebesség tartománya: 0,001..3000 mm/min.



6. ábra ZWICK Z005 típusú számítógép vezérlésű univerzális szakítógép

3. A témához kapcsolódó fontosabb szavak angolul, németül

Magyar	Angol	Német
Erő	Force	e Kraft
Elmozdulás	Elongation	e Bewegung
Feszültség	Stress	e Spannung
Hőmérséklet	Temperature	e Temperatur
Húzószilárdság	Tensile strength	e Zugfestigkeit
Nedvességtartalom	Moisture content	s Feuchtigkeitsgehalt
Nyúlás	Strain	e Dehnung
Rugalmassági modulus	Young's modulus	r Elastizitätsmodul
Szakítószilárdság	Breaking strength	r Bruchspannung
Szakítóvizsgálat	Tensile test	e Zugprüfung
Szívósság	Toughness	e Zähigkeit
Vizsgálati sebesség	Test speed	e Prüfungsgeschwindigkeit

4. Felhasznált irodalom

1. MSZ EN ISO 527:2012 szabvány: Szakítóvizsgálat
2. Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J.: A polimertechnika alapjai, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000
3. Hütte: A mérnöki tudományok kézikönyve, Springer-Verlag, 1993

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

Szakítóvizsgálat



Nyakképződés

PMMA
szakítóvizsgálatEPDM
szakítóvizsgálat

MÉRÉSI JEGYZŐKÖNYV

Név:

Minősítés:

Neptun kód:

Dátum:

Ellenőrizte:

Gyakorlatvezető:

1. Gyakorlaton elvégzendő feladatok

- Hőre lágyuló polimer 1A típusú próbatetek szakítóvizsgálatának elvégzése.
- A regisztrált erő-nyúlás görbék alapján a mechanikai jellemzők kiszámítása.
- A mechanikai jellemzők táblázatokba foglalása.
- Összefoglaló diagram készítése.

Ezt az oldalt
kinyomtatva
hozza
magával!

2. Alapadatok

Környezeti hőmérséklet, T: [°C]

Környezeti relatív légnedvesség: [%]

Befogási hossz: [mm]

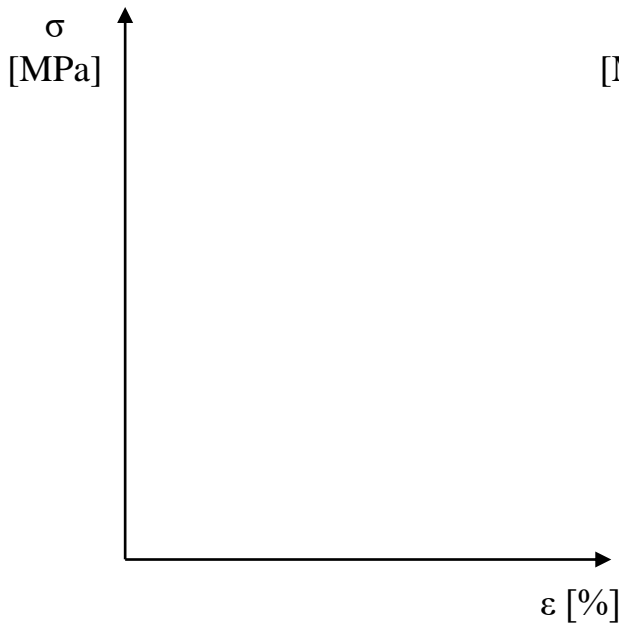
Anyag	A_0	F_{max}	σ_M	ϵ_M
-------	-------	-----------	------------	--------------

Sorszám	Anyag	Vastagság	Szélesség	Szakítási sebesség	Egyéb körülmény
		[mm]	[mm]	[mm/min]	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

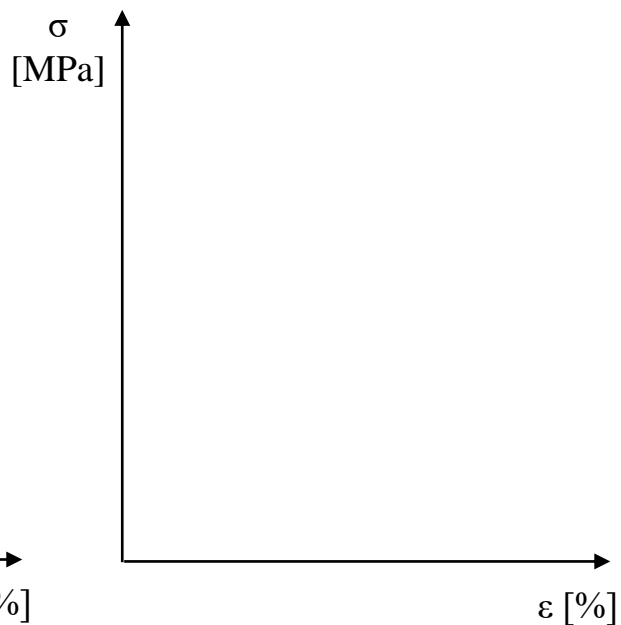
3. Mérések értékelése		[mm ²]	[N]	[MPa]	[%]
Sorszám					
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

Ezt az oldalt
kinyomtatva
hozza
magával!

Jellegre helyesen rajzolja fel a mért szakítógörbéket és egy alkalmas görbén jelölje be a folyási feszültséget, a szakítószilárdságot, a kezdeti modult és a húzószilárdságot! Hogyan befolyásolták a mérési körülmények a mért görbéket?



Vizsgálati sebesség hatása



Nedvesség hatása