



Nagy László

## 3D nyomtatott próbatestek szakítógépes vizsgálata

Jelen tananyag a Szegedi Tudományegyetemen készült az Európai Unió támogatásával.

Projekt azonosító: EFOP-3.4.3-16-2016-00014



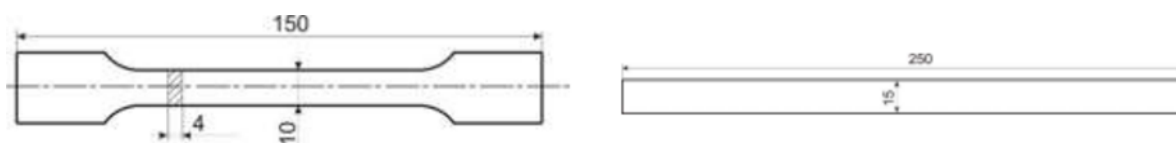
## Javasolt feldolgozási idő: 90 perc

### Elméleti alapok

Fémek és polimerek esetében az egyes anyagok mechanikai tulajdonságairól szakítópróba során kaphatunk információkat. A szakítópróbát mindig azonos körülmények között (hőmérséklet, páratartalom, húzás sebessége) kell végezni egytengelyű húzó igénybevétel mellett.

### A próba test

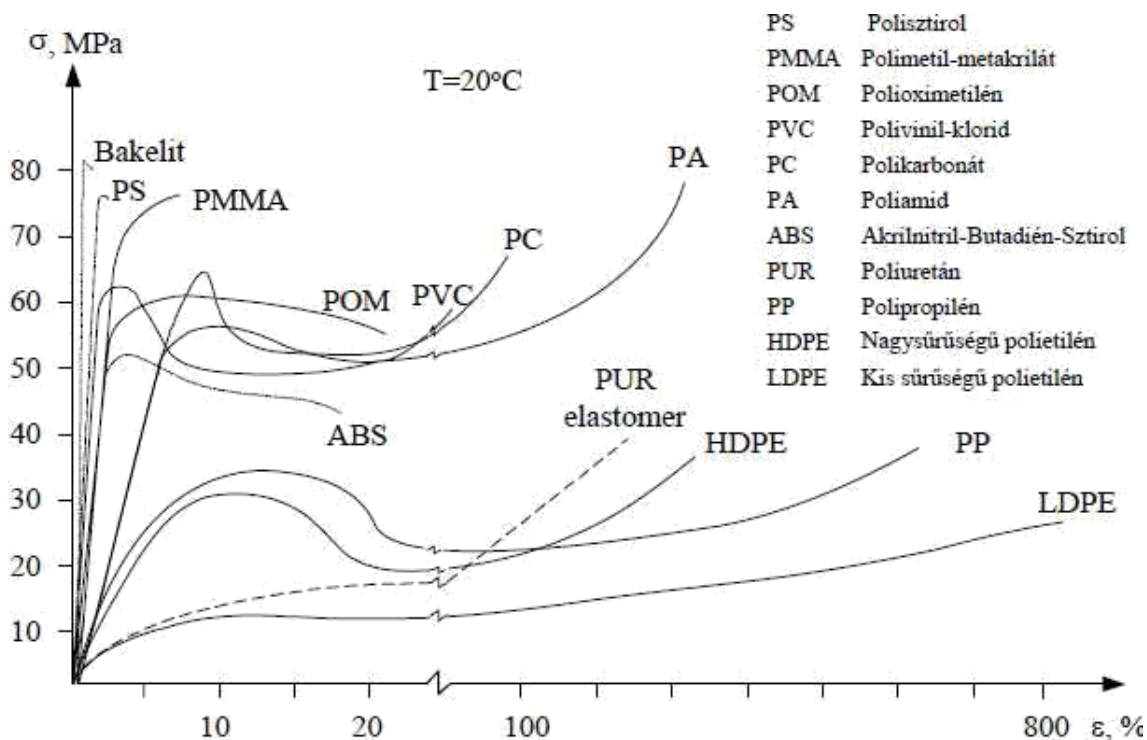
Szakító próba során az EN ISO 527-es szabványban leírt próbatestet kell alkalmazni, mely az 4. ábrán látható



4. ábra: Próbatest típusai; a: hőre lágyuló, b: hőre keményedő polimerek esetén

### Mérési körülmények

Napjainkban a legnagyobb mennyiségben felhasznált tömeg és műszaki célú polimerek tipikus szakítógörbéit mutatja a 5. ábra. Jól látható, hogy mennyire eltérő viselkedést mutatnak az egyes polimer típusok. Vannak olyanok, amelyek azonos körülmények mellett ridegen törnek, de akadnak olyanok is, amelyek több száz %-os nyúlást képesek elviselni teljes tönkremenetel nélkül.

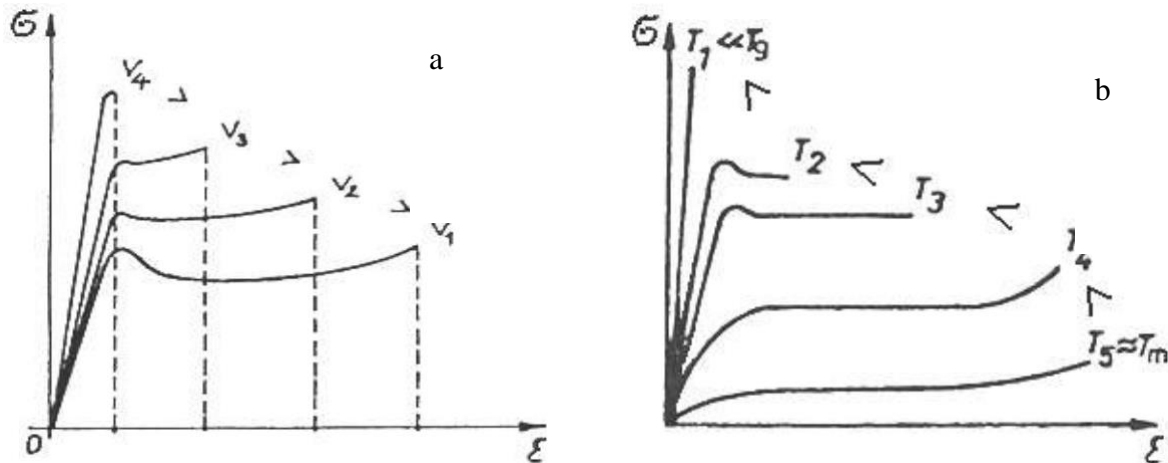


5. ábra: Különböző polimerek szakító diagramja

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

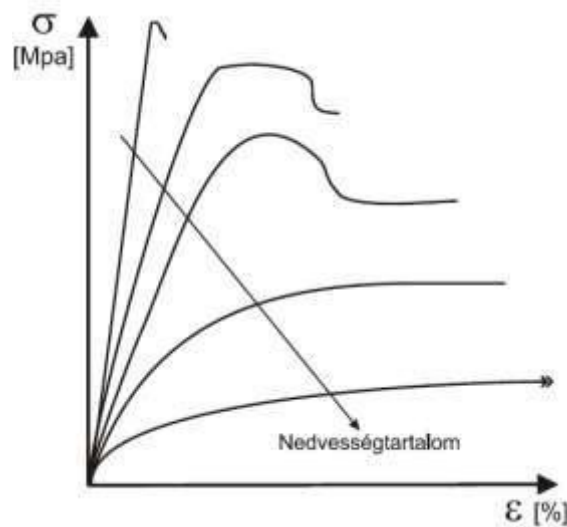
**Szakítási sebesség:** nagyobb szakítási sebességek esetén a viszkoelasztikus tulajdonságokkal rendelkező anyagok (polimerek) merevebben viselkednek, általában a szilárdságuk is nagyobb értékre adódik. (6/a ábra).

**Vizsgálati hőmérséklet:** a polimerek esetén már kis hőmérsékletváltozás is jelentősen befolyásolja a merevséget, a szilárdságot, illetve a tönkremeneteli folyamat jellegét. A polimerek az ún. üvegesedési hőmérsékletük ( $T_g$ ) alatt üvegszerű állapotban ridegen, míg e felett az ún. nagyrugalmas állapotban szívósabban viselkednek, valamint nagyobb a szakadási nyúlásuk is (6/b ábra).



6. ábra: Eltérő sebességgel (a) és eltérő hőmérsékleten (b) felvett szakító diagrammok

**Nedvességtartalom:** vannak olyan polimerek, amelyek képesek a tulajdonságaikat befolyásoló mennyiségű (1-4%) nedvesség abszorbeálására (pl.: poliamidok, poliészterek, természetes polimerek, egyes szálerősített kompozitok). A nedvességnek lágyító hatása van, azaz csökkenti a rugalmassági moduluszt, szilárdságot, növeli a szakadási nyúlást (7. ábra).



7. ábra: Eltérő nedvességtartalom mellett felvett szakító diagram

### Szakítóvizsgálatból meghatározható mechanikai jellemzők

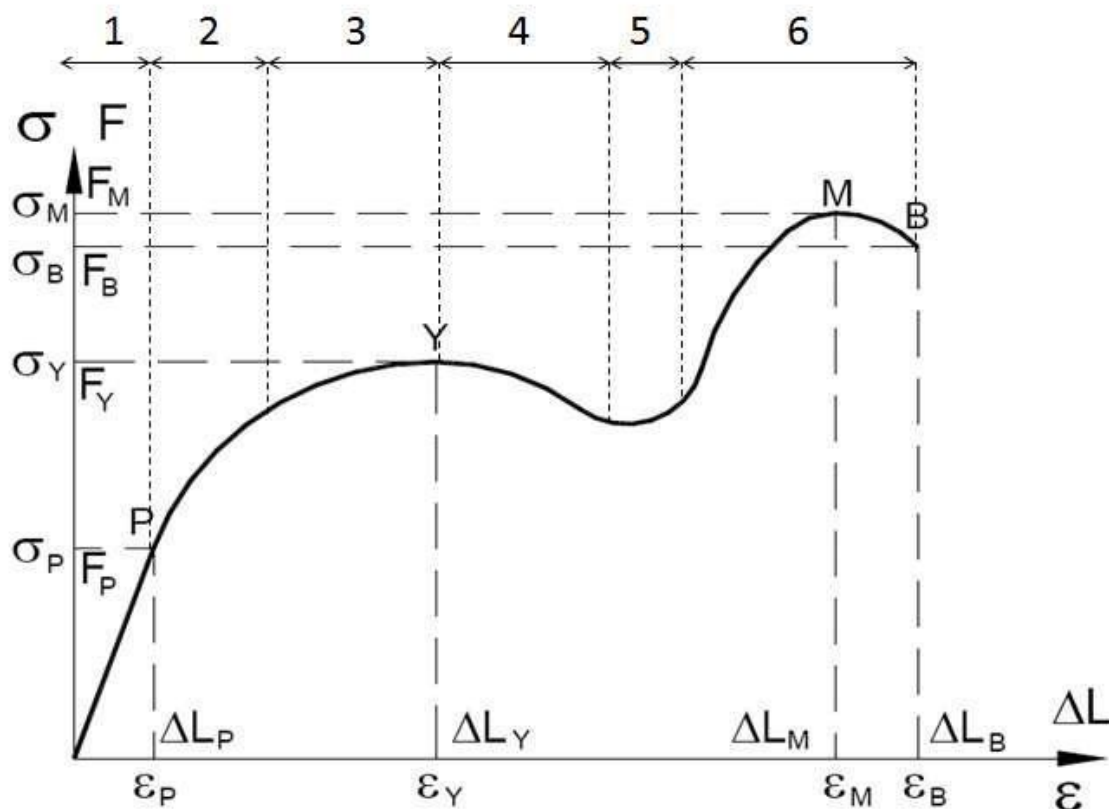
A szakítóvizsgálat eredményeként az adott mérési körülményekre vonatkozóan megkapjuk az anyag erő-nyúlás ( $F - \Delta l$ ) görbéjét. Ezt át lehet paraméterezni mérnöki feszültség-relatív nyúlás ( $\sigma - \epsilon$ ) görbévé (8. ábra): az erő tengely helyén a mérnöki feszültséget ( $\sigma$  [MPa]) megkapjuk, ha az erőt ( $F$  [N]) osztjuk a

próbatest kiindulási keresztmetszetével ( $A_0$  [mm<sup>2</sup>]):

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \text{ [MPa]} \tag{1}$$

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

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{L_0} \times 100 \text{ [%]} \tag{2}$$



8. ábra: Általános szakító diagram és azok jellegzetes szakaszai

A szakító diagramot az alábbi hat nevezetes szakaszra lehet felosztani:

- 1. szakasz:** kis terheléseknél, lineáris rugalmas alakváltozás
- 2. szakasz:** terhelés növelésével megindul a lineárisan viszkoelasztikus deformáció (idő függvényében visszaalakul)
- 3. szakasz:** nagyobb terheléseknél, nemlineáris viszkoelasztikus deformáció
- 4. szakasz:** nyakképződés szakasza, csökken a mérnöki feszültség, elkezdődik a makromolekulák lokális rendeződése
- 5. szakasz:** nyakképződés kiterjedése= állandósult folyás szakasza

**6. szakasz:** a globális rendeződés hatására nő a szakítószilárdság alakváltozási keményedés. Ebben a szakaszban a rendeződött szálak a szakítószilárdsági értéküket elérve egymás után elszakadnak

A szakítóvizsgálat során regisztrált erő-nyúlás görbéből (illetve az ebből képezhető feszültség-relatív nyúlás görbéből) a következő mechanikai mennyiségeket lehet leolvasni, illetve számítani:

**$\sigma_Y$  folyás határ:** az az első feszültség, amelynél a nyúlás a feszültség növekedése nélkül növekszik. A gyakorlatban bizonyos polimereknél fel sem lép a folyás jelensége, másoknál több 100 %-os folyási alakváltozás következhet be, amelyet a próbatesten nyakképződés és szerkezeti átalakulás kísérhet. A folyást bizonyos polimerek esetén az ún. feszültség fehéredés jelezheti.

**$\sigma_M$  húzószilárdság:** a maximális erő és a kezdeti keresztmetszet hányadosa. A maximális erő elérésekor az anyag a leggyengébb pontjában helyileg instabil állapotba kerül, ezen a helyen megkezdődik a keresztmetszet kontrakciója, helyi keresztmetszet csökkenése. A folyamat folytatódhat nyakképződéssel, vagy hirtelen szakadással.

**$\sigma_B$  szakító szilárdság:** a szakadáskor mért erő és a kezdeti keresztmetszet hányadosa. A feszültség-relatív nyúlás diagram segítségével az alakváltozási mutatószámok is meghatározhatók. Ezek közül a legfontosabbak a következők:

**Nyúlás a maximális erőnél ( $\epsilon_M$ ):**

$$\epsilon_M = \frac{L_M - L_0}{L_0} \times 100 [\%] \quad (3)$$

ahol  $L_0$  a próbatest vizsgált szakaszának eredeti terheletlen hossza,  $L_M$  a próbatest vizsgált szakaszának a maximális erőnél mért megnyúlt hossza.

**Szakadási nyúlás ( $\epsilon_B$ ):**

$$\epsilon_B = \frac{L_B - L_0}{L_0} \times 100 [\%] \quad (4)$$

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

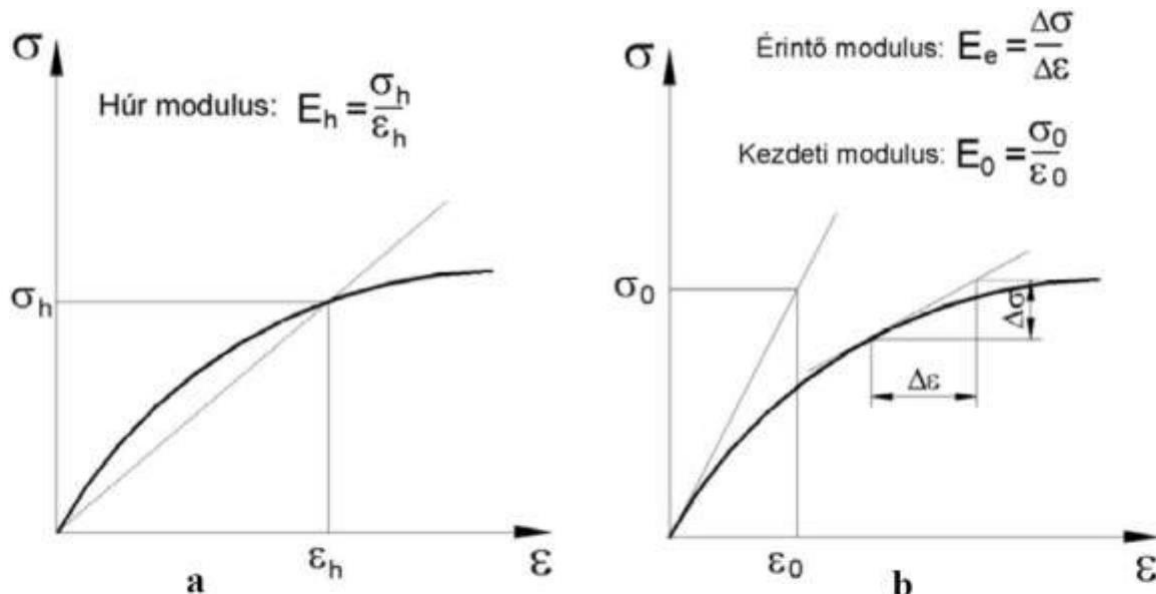
A  $\sigma$ - $\epsilon$  görbéből a vizsgált anyagra nézve különböző rugalmassági modulusok határozhatók meg ( $E$ ). Kétféle típusú rugalmassági modulusról beszélhetünk:

**Húr modulus ( $E_h$ ):** a görbe tetszés szerinti pontját az origóval összekötő egyenes meredeksége, természetesen pontról pontra változik (6. ábra).

**Érintő modulus ( $E_e$ ):** a görbe tetszőleges pontjához húzott érintő meredeksége (9. ábra).

Mivel a szakítógörbe nem lineáris, így érintőjének meredeksége is pontról pontra változik. A feszültség - relatív nyúlás görbe origójába húzott érintőjének meredekségét kezdeti rugalmassági modulusnak nevezzük ( $E_0$ ). Ha a görbe kezdőpontjához nem pontosan húzzuk be az érintőt, akkor a pontos érintőtől való

kis eltérés is nagy pontatlanságot eredményez a rugalmassági modulus értékében. Ezért a gyakorlatban a 0,05 % és 0,25 % relatív nyúlásértékhez tartozó görbepontokon átmenő egyenesnek a meredekségét tekintjük az anyag rugalmassági modulusának.



9. ábra: Rugalmassági modulusok meghatározása a: húr modulus b: érintő modulus

A szakítógörbe alatti terület a szakításra fordított munka, azaz a törési munka ( $W_B$ ). A törési munka rideg anyagoknál kisebb, szívós anyagoknál nagyobb. A törési munka és a rugalmassági modulus általában egymással fordítottan arányos. Mivel a gépészeti alkalmazásokban egyaránt nagy rugalmassági modulusú, ugyanakkor nagy szívósságú anyagokra van szükség, ezért a tervezésnél kompromisszumot kell kötni, és az adott szerkezetre optimalizálva kell megválasztani az adott mechanikai tulajdonságokkal rendelkező anyagot.

$$W_B = \int_0^{\Delta l} F \times dl \quad [J] \tag{5}$$

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 térfogat-megmaradás elvét feltételezve a következő összefüggéssel:

$$A_0 \times L_0 = A_p \times L_p \rightarrow A_p = \frac{A_0 \times L_0}{L_p} = \frac{A_0 \times L_0}{L_0 + \Delta l_p} \tag{6}$$

ahol:  $A_0$  a kezdeti keresztmetszet,  $L_0$  a kezdeti mérési hossz,  $L_p$  a pillanatnyi hossza az  $L_0$  kezdeti mérési hossz,  $L_p = L_0 + l_p$ ,  $l_p$  az erő-nyúlás görbéről leolvasható pillanatnyi nyúlása a kezdeti mérési hossz. 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, illetve a nyakképződés szakaszában már nem. Az összefüggés továbbá elhanyagolja a piskóta alakú próbatest két végénél levő keresztmetszet-változást.

### Elvégzendő feladatok

A 3D nyomtatás gyakorlat során kinyomtatott próbatestek szakítógéppel történő elszakítása. A szakításokat az alábbi paraméterekkel kell elvégezni:

Test speed: 10 mm/min  
Pre-load: 20 N  
Pre-load speed: 15 mm/min

### Jegyzőkönyv

A jegyzőkönyvben szerepelnie kell:

1. A gyakorlat célja
2. A gyakorlat során elszakított próbatestek pontos megnevezése és mérete
3. A szakítások során készült szakító diagrammok (az azonos próbatestek egy diagrammon)
4. Táblázatos formában a maximális és szakadási erők, a szakadási és maximális megnyúlás (átlag és szórás)
5. Ábrázolja a nyomtatás során változtatott érték függvényében a maximális és szakadási erőket, a szakadási és maximális megnyúlásokat
6. Gyakorlat összefoglalása, értékelése

### Ellenőrző kérdések

- 1; Mi a húzószilárdság és a szakító szilárdság?
- 2; Mi a folyás határ és a szakadási nyúlás?
- 3; Milyen paraméterek befolyásolják a szakítópróba során kapott eredményeket?
- 4; Hogyan befolyásolja a hőmérséklet a szakítási diagramot (ábra és magyarázat).
- 5; Hogyan befolyásolja a szakítás sebessége a szakítási diagramot (ábra és magyarázat).
- 6; Hogyan befolyásolja a páratartalom a szakítási diagramot (ábra és magyarázat).
- 7; Rajzoljon fel egy általános szakító diagrammot és jelölje be rajta a jellemző szakaszokat és a jellemző pontokat.

### Segédanyag a jegyzőkönyvhöz

Mellékelt MS EXCEL fájlban.



**Források**

<https://slideplayer.hu/slide/2193817/>

<https://slideplayer.hu/slide/1881333/>

<https://ural-store.ru/hu/investiciyami/metody-ispytanii-na-rastyazhenie-dlya-polimerov-ispytaniya-polimerov.html>

<http://www.sze.hu/~hargitai/2013%20Polimertechnika/gy%2001%20mechanikai%20vizsgalatok.pdf>