

Felhívjuk szíves figyelmüket, hogy a jelen videófelvétel teljes tartalma szerzői jogvédelem alatt áll.

A videófelvétel a szerző kizárólag oktatási céllal bocsájtja a jogosultak rendelkezésére.

A videófelvétel egészének és/vagy bármely részének sokszorosítása, közzététele, bármely egyéb módon történő felhasználása kizárólag a szerző írásbeli engedélyével lehetséges.

Gépelemek mechatronikai mérnököknek

7. témakör

Rugók

Mi a rugó?

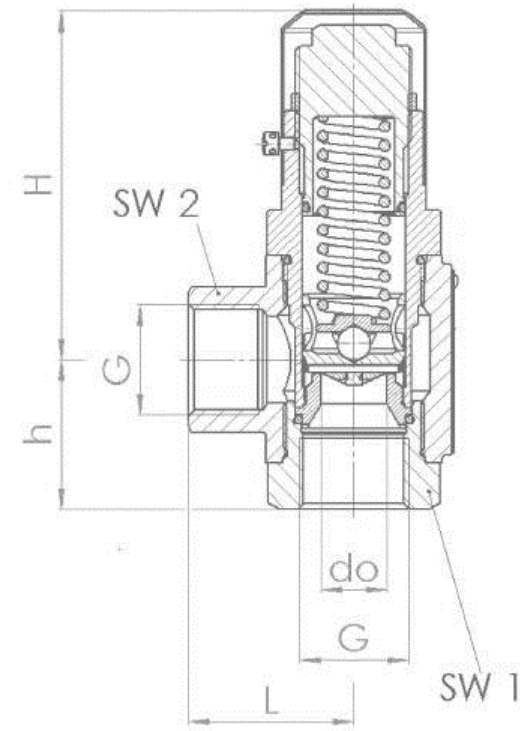
Rugóknak azokat a szerkezeti elemeket tekintjük, amelyek jellemzője, hogy terhelés hatására alakjukat károsodás nélkül nagymértékben változtatják, az alakváltozás létrehozása során befektetett munkát tárolják és azt szükség szerint részben vagy egészben leadják.

Rugók feladata

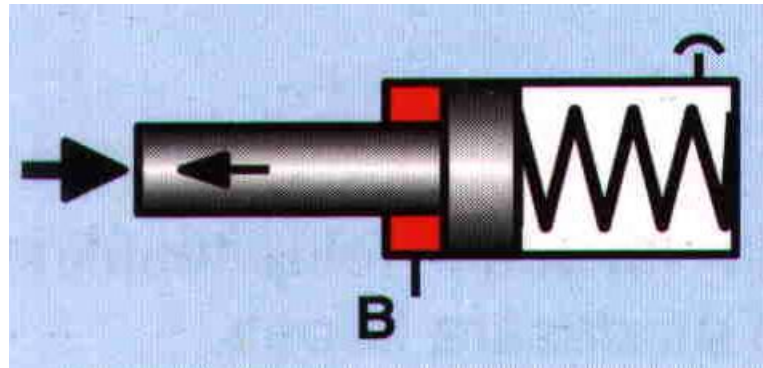
- Rugalmas szorítás, erő fenntartás.
(pl. motorszelep-rugó, bútorrugó, stb.)
- Energiatárolás, elnyelés, visszaadás.
(pl. ütközők, lökhárítók, órarugók, stb.)
- Rendszerek dinamikai illesztése: elhangolás, ráhangolás.
(pl. rugalmas tengelykapcsolók, vibrátorok, stb.)
- Rezgés csillapítás.
(pl. gépalapozás, lengés csillapítók, stb.)
- Erő/nyomaték határolás.
(pl. biztonsági szelep, biztonsági tengelykapcsolók, stb.)
- Erő/nyomaték mérése, szabályozása.
(pl. rugós mérlegek)
- Egyebek: kötések, ágyazások, erőkiegyenlítés, stb.

Példák rugókra

1. Rugalmas szorítás
szeleptányér rugója
lefúvatószelep



2. Energiatárolás, pl.
egyszeres működésű munkahengerek

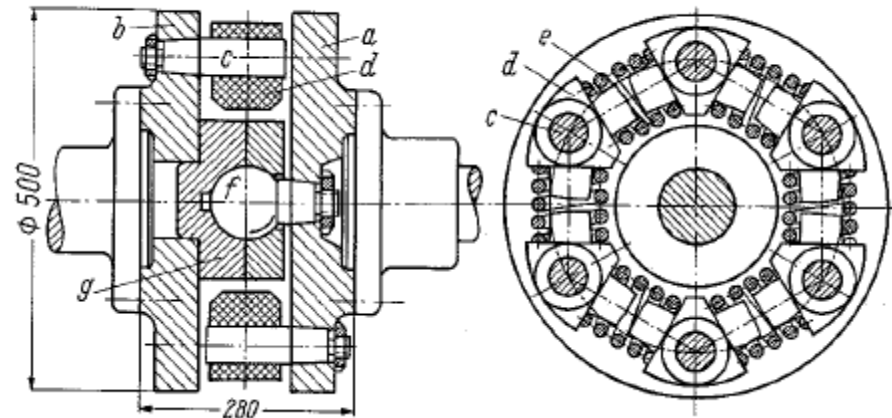


Példák rugókra

3. Mozgási energia elnyelése, pl. ütközők



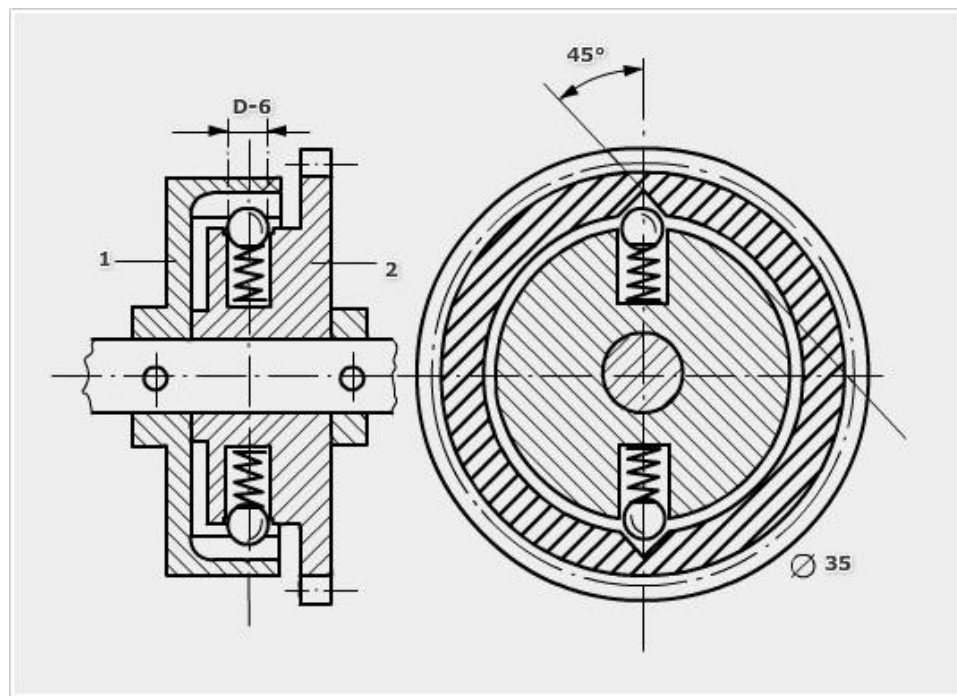
4. Rendszer dinamikai illesztése: ráhangolás/elhangolás



Példák rugókra

Erő/nyomaték

Határolás

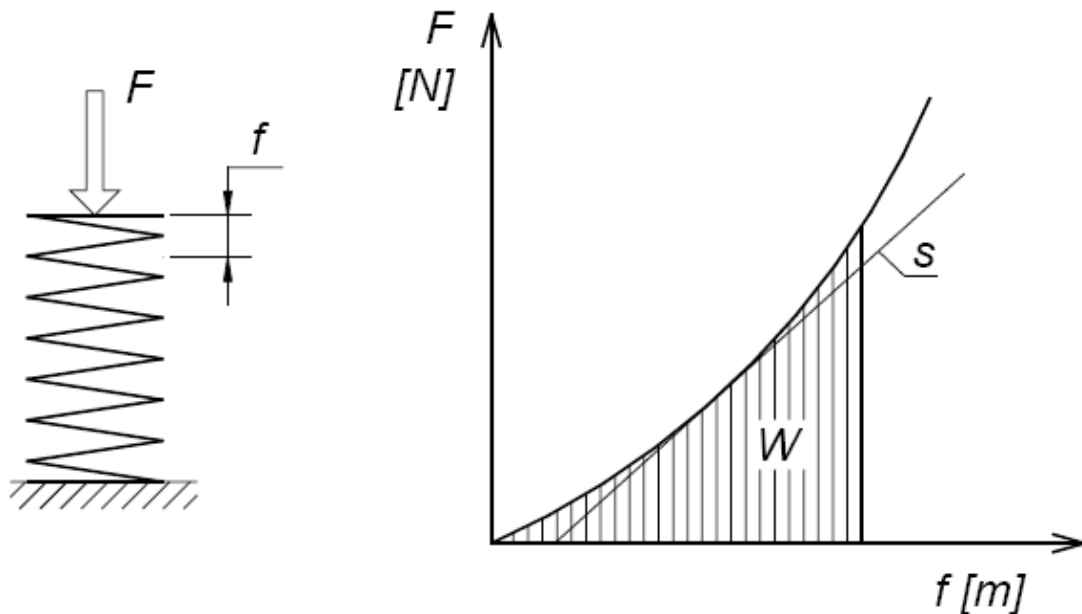


Erő/nyomaték mérés



A terhelési állapot jellemzői

Rugókarakterisztika



Torziós rugók esetén
(analógia)

$$F \rightarrow M_t$$

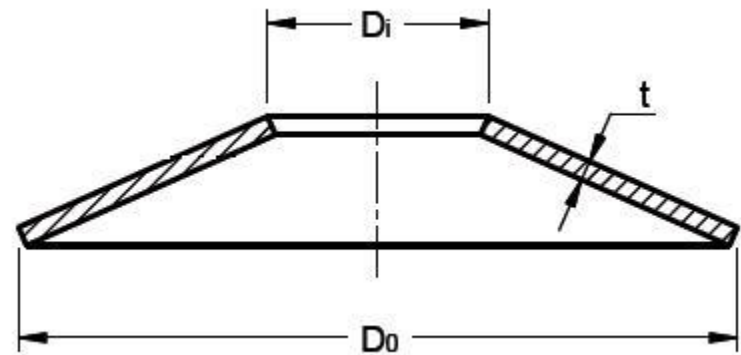
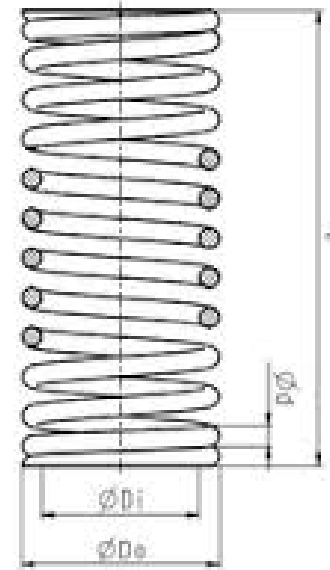
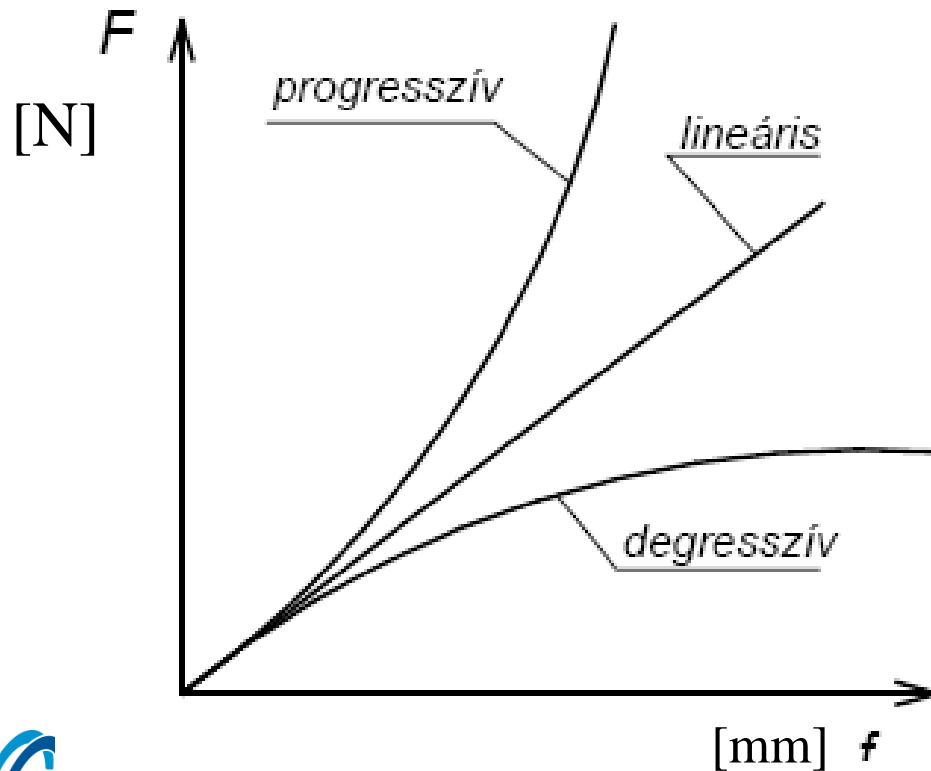
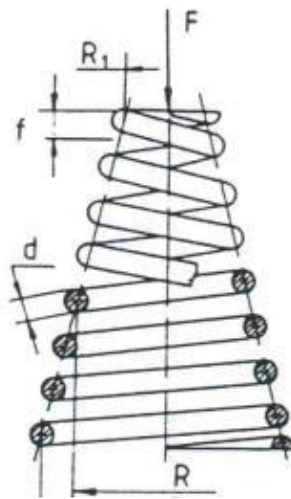
$$s \rightarrow \varphi$$

$$\text{Rugómerevség: } s = \frac{dF}{df} = \frac{F}{f} \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}} \right]$$

$$\text{Rugóállandó: } c(d) = \frac{1}{s} = \frac{f}{F} \left[\frac{\text{mm}}{\text{N}} \right]$$

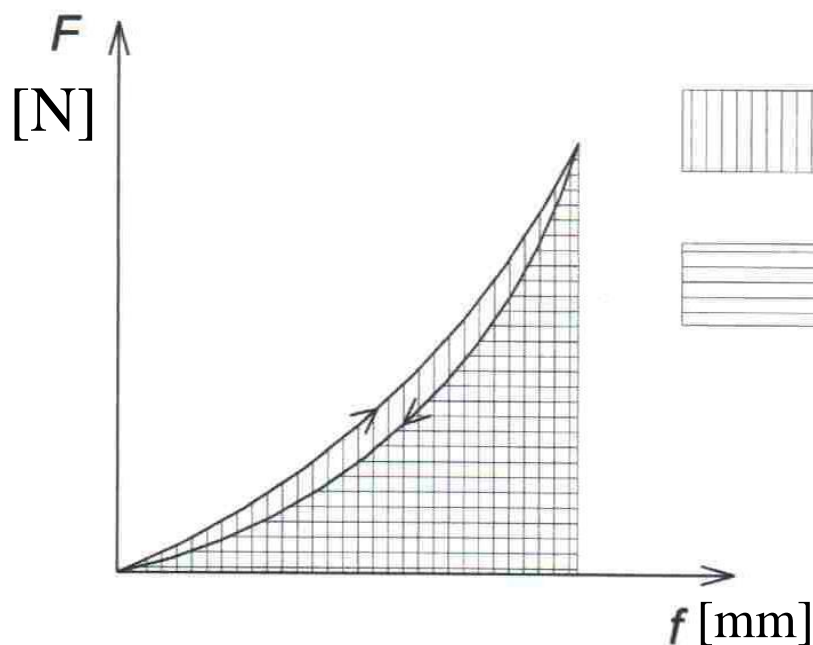
$$W = \int_0^f F \cdot df$$

Különféle karakterisztikák



Csillapítás

Ha egy rugó tehermentesítésekor nem kapjuk vissza teljes egészében a befektetett (tárolt) energiát, akkor annak egy része elvész, általában hővé alakul. Ez a csillapítás fizikai tartalma.



W_1 befektetett energia



W_2 visszanyert energia

W_s veszteség v. csillapítás

$$W_s = W_1 - W_2$$

A csillapítás mérőszáma

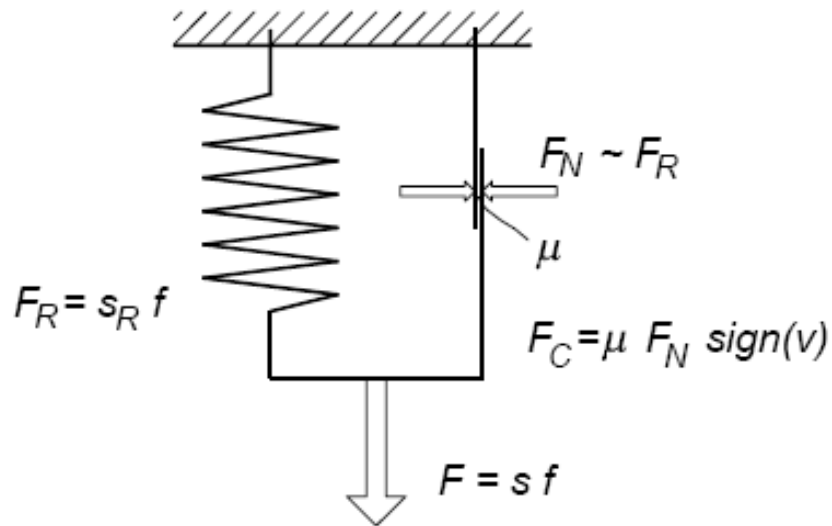
$$\Psi = \frac{W_{\text{veszteség}}}{W_{\text{befektetett}}}$$

A csillapítás fizikai oka

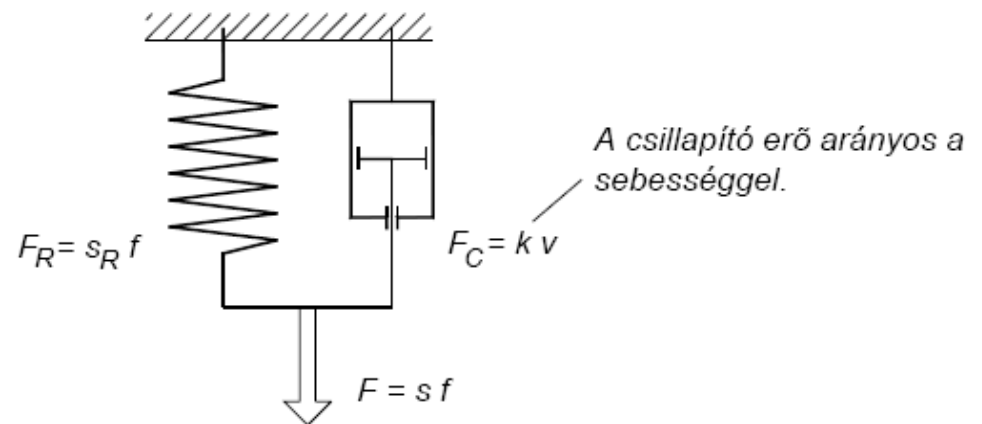
- külső u.n. Coulomb-féle súrlódás (szerkezeti csillapítás),
(pl. laprugóköteg, gyűrűs rugóoszlop)
- belső, a rugó anyagában rejlő tulajdonság (viszkózus csillapítás),
(pl. gumi-, polimer rugók)
- áramlási veszteségek,
(pl. kapilláris cső)
- állandó vagy elektromos visszatérítő erőhatás,
(pl. indukciós tengelykapcsoló)
- egyéb fizikai hatások.

Csillapítások

Külső csillapítás
(Coulomb-csillapítás)



Belső csillapítás
(Viszkózus csillapítás)

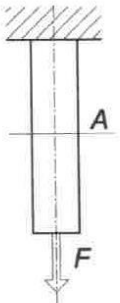
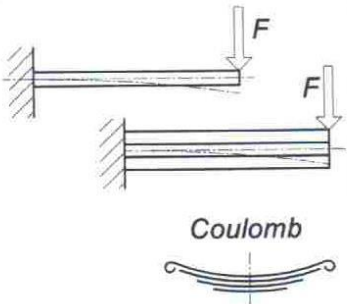
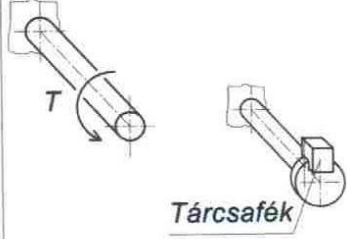
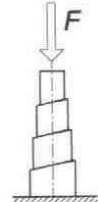
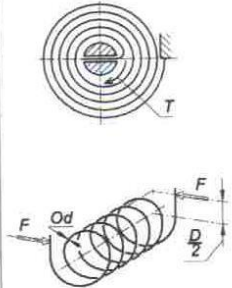
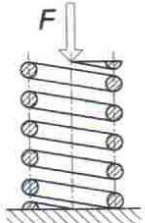

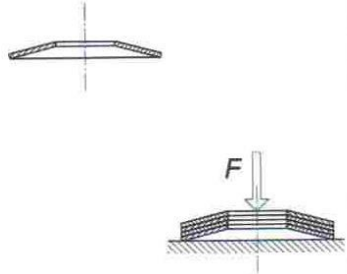
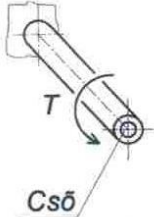


Rugók osztályozása anyaguk szerint

Főcsoportok:

- fémrugók,
- gumi (polimer) rugók,
- lég-és gázrugók,
- folyadékrugók,
- egyéb fizikai erőkterek (pl. mágnesesség) alkalmazása.

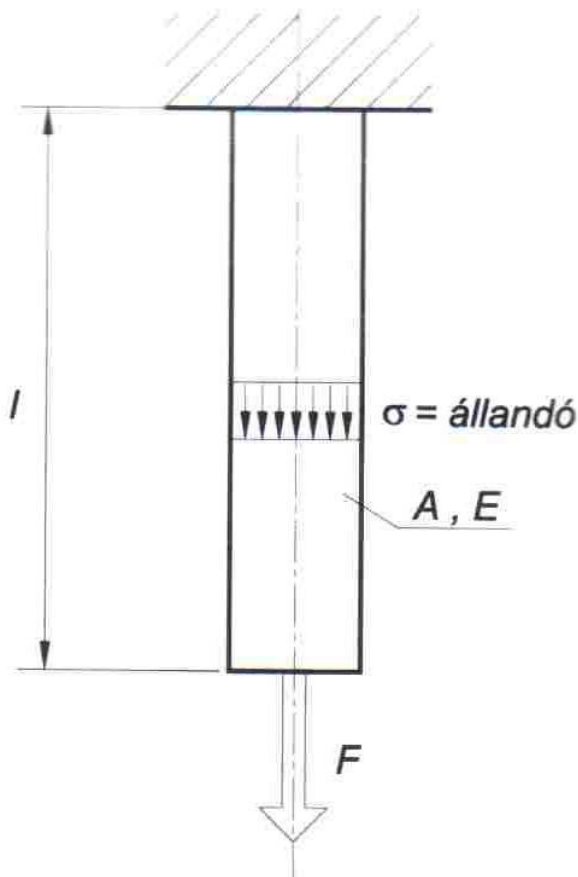
Fémrugók osztályozása

Igénybe- vétel Alak	Húzás - nyomás		Hajlítás		Csavarás	
	$\psi=0$	$\psi < 0$	$\psi=0$	$\psi < 0$	$\psi=0$	$\psi < 0$
Rúd- lemez						
Tekercs						
Lapok, gyűrűk, cső, tárcsák						

Rugó alapfogalmak

Rugó kihasználtsági fok: egységnyi térfogatban tárolt energia.

Húzott (nyomott) rúd esete (homogén feszültségi állapot).



a megnyúlás

$$f = \frac{Fl}{AE}$$

az ébredő feszültség

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

a tárolt energia

$$W = \frac{1}{2} Ff$$

a térfogat

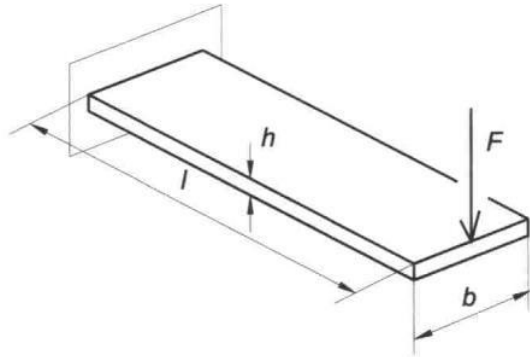
$$V = Al$$

a kihasználtsági fok

$$\frac{W}{V} = \frac{1}{2} \frac{\sigma^2}{E}$$

Ez a kihasználtsági fok maximuma, mivel a keresztmetszetben mindenütt ugyanakkora a feszültségi állapot.

Hajlított laprugók



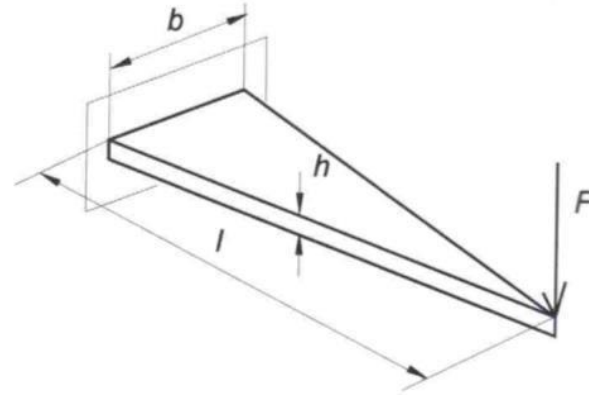
Egyszerű laprugó

$$\text{Lehajlás : } f = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot I \cdot E}$$

$$\text{Hajlító feszültség : } \sigma = \frac{M}{K}$$

$$\text{Kihasználtsági fok : } \frac{W}{V} = \frac{1}{9} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma^2}{E}$$

$$\text{vagyis } \eta = \frac{1}{9} \text{ 11\%-os kihasználás}$$



Egyenszilárdságú laprugó

$$\eta = \frac{1}{3} \text{ javított változat; 33\%-os kihasználás}$$

Laprugó alkalmazása

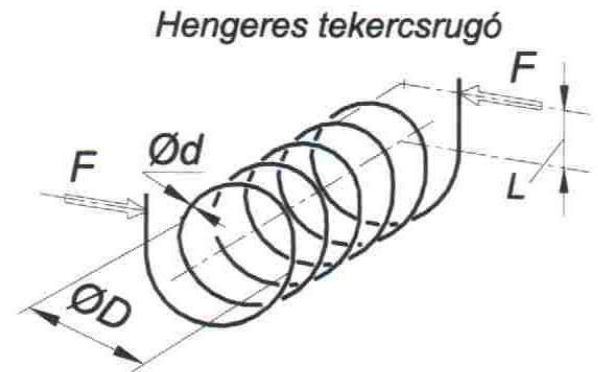
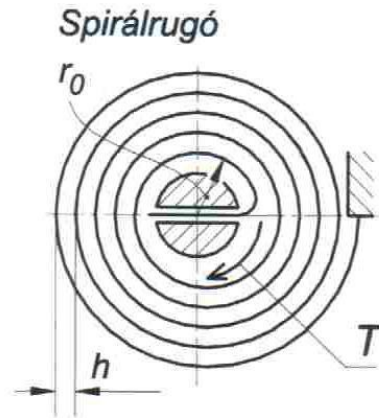


Tekercsrugó

Igénybevételük: hajlítás

$$\text{Szögelfordulás: } \varphi = \frac{M_t \cdot l}{IE}$$

$$\text{Rugómerevség: } s_t = \frac{M_t}{\varphi} = \frac{IE}{l}$$



A rugó kiterített hossza: $l \approx D\pi i$

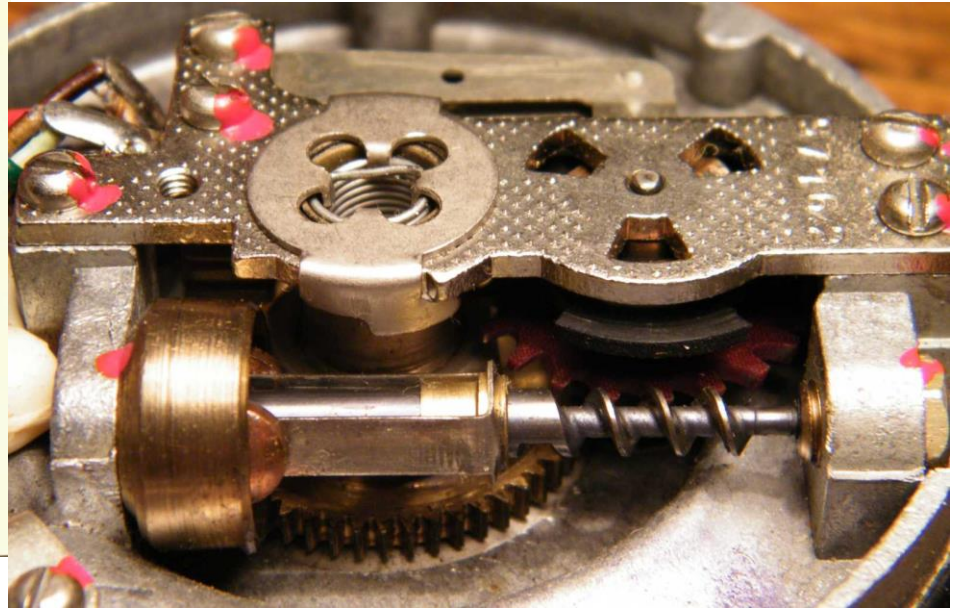
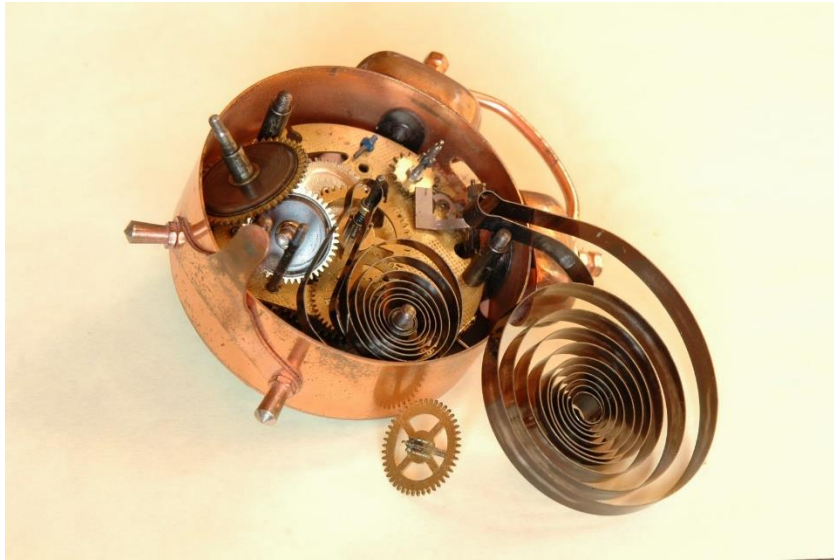
$$\text{A hajlítófeszültség: } \sigma = k_t \frac{M_t}{I} z$$

Ahol k_t a tekercselési viszonyoktól függő állandó

$$\text{Kihasználsági fok: kör keresztmetszetre: } \eta = \frac{1}{4}$$

$$\text{téglalapra : } \eta = \frac{1}{3}$$

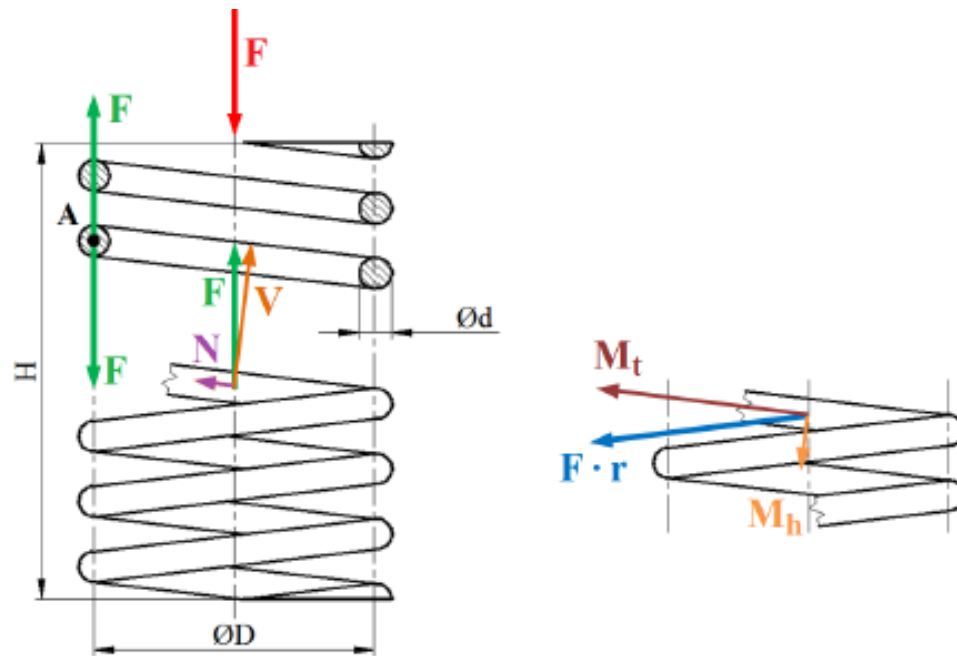
Tekercsrugó példák



Hengeres csavarrugó

Igénybevétele: csavarás (és nyírás,
amit általában elhanyagolunk).

Csillapítóképessége: nincs



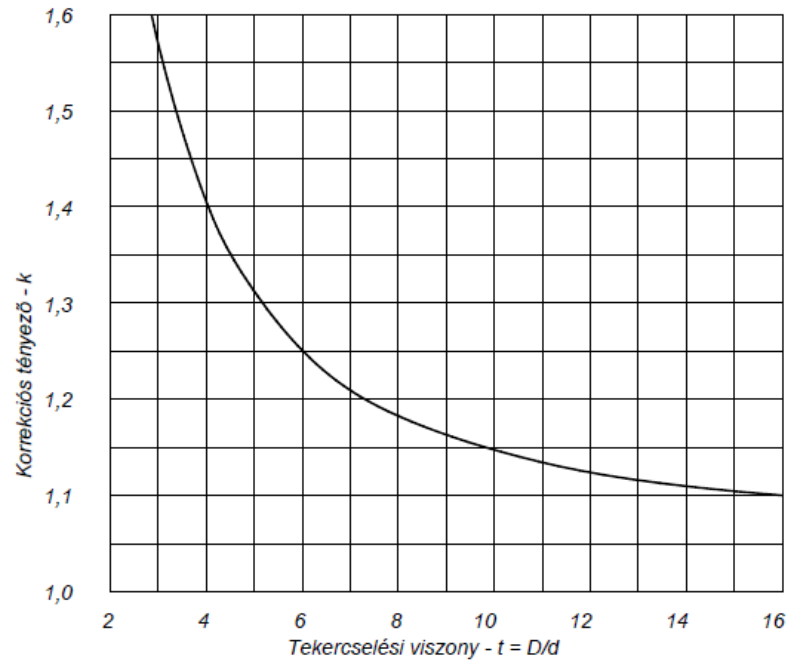
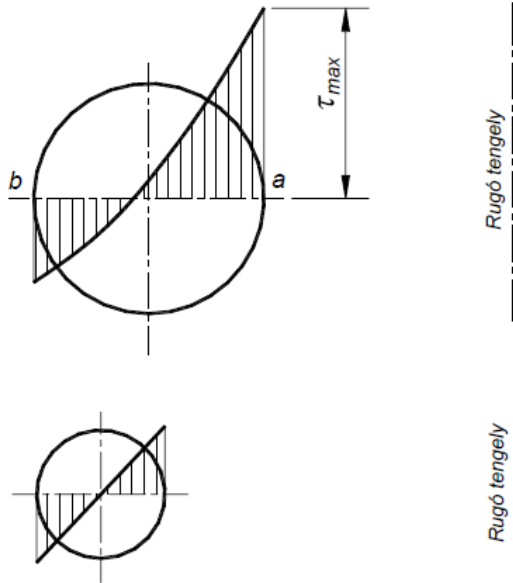
$$M_h = F \cdot r \cdot \sin \alpha$$

$$M_t = F \cdot r \cdot \cos \alpha$$

$$N = F \cdot \sin \alpha$$

$$V = F \cdot \cos \alpha$$

Hengeres csavarrugó méretezése



A rugómerevség: $s = \frac{F}{f} = \frac{d^4 \cdot G}{8 \cdot D^3 \cdot n_m}$

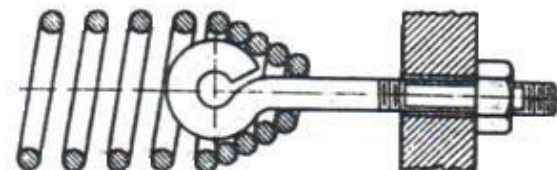
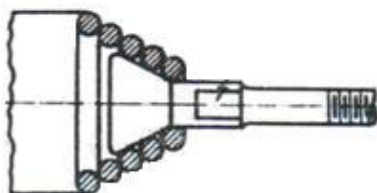
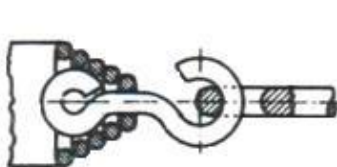
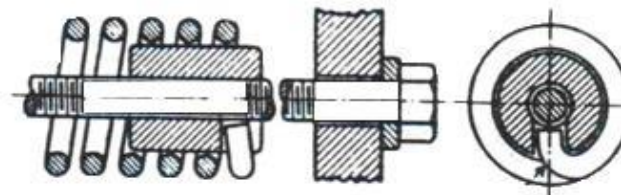
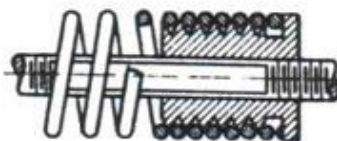
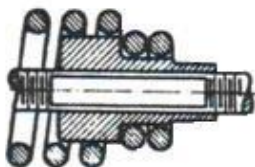
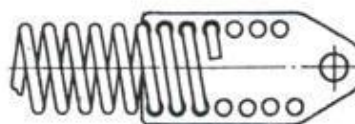
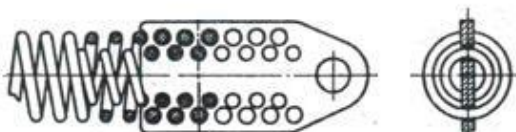
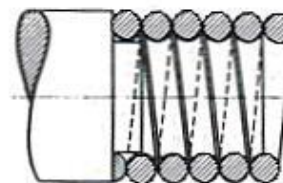
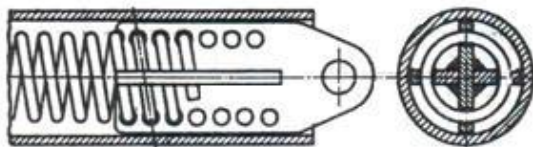
$M_t = F \frac{D}{2} \quad \varphi = \frac{M_t \cdot l}{I_p \cdot G} \quad \frac{1}{2} F f = \frac{1}{2} M_t \varphi$

$n_m = n - 1,5$

A feszültség: $\tau = k \frac{M_t}{I_p} \cdot \frac{d}{2} = k \frac{8 \cdot F \cdot D}{d^3 \pi}$

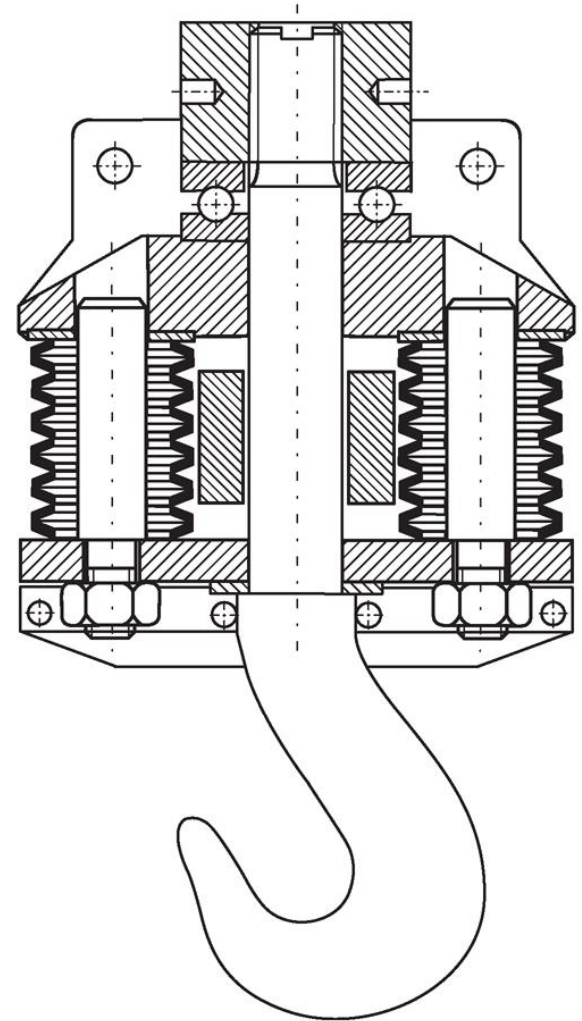
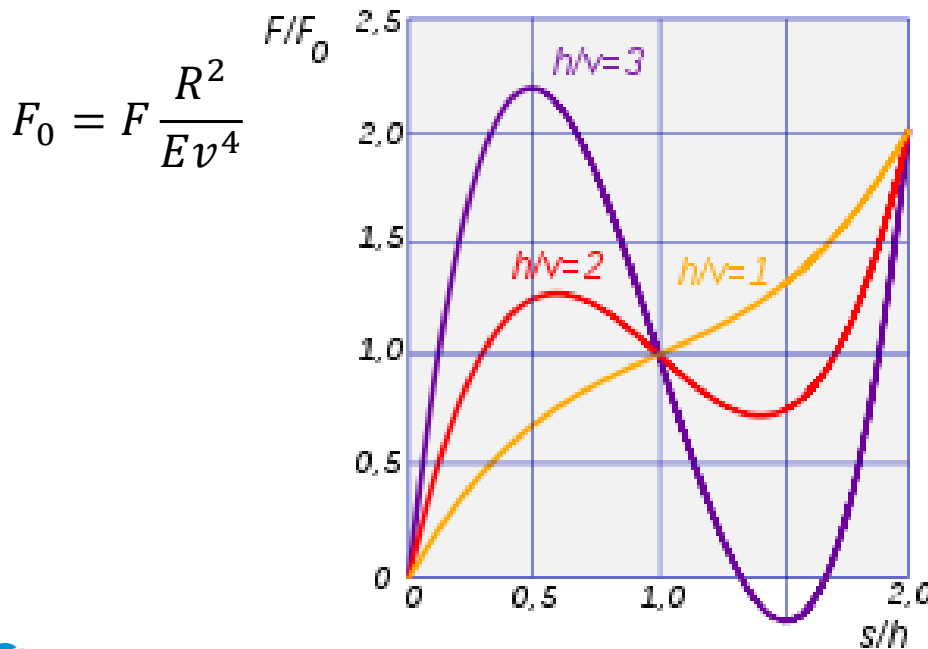
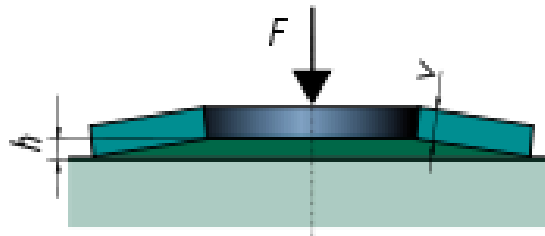
$\eta = \frac{1}{2}$

Rugós megfogások



Tányérrugó

A **tányérrugó** összetett igénybevételű,
de alapjában hajlított rugó.

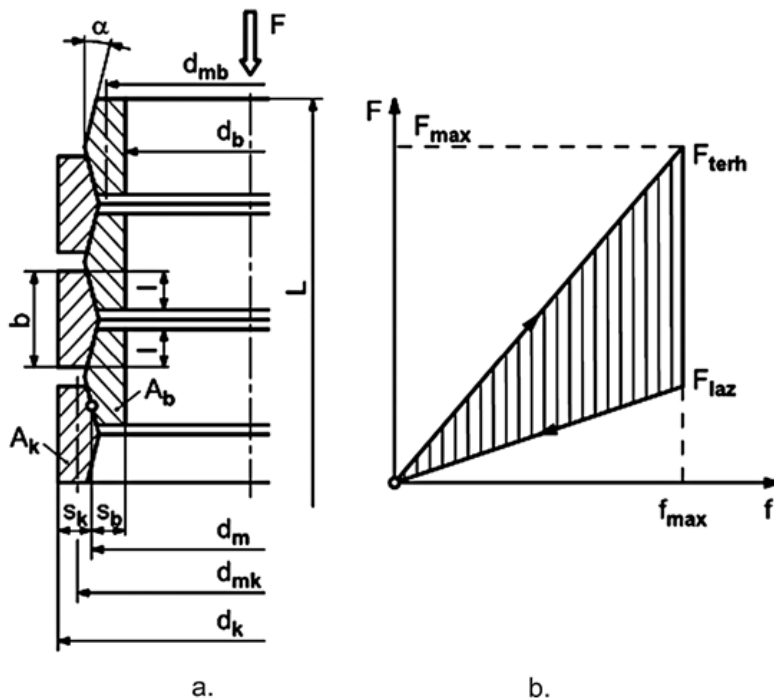


Gyűrűs rugó

Több tagból álló, egymáshoz külső, illetve belső, zárt kúpfelületeken kapcsolódó rugóoszlop a gyűrűs rugó.

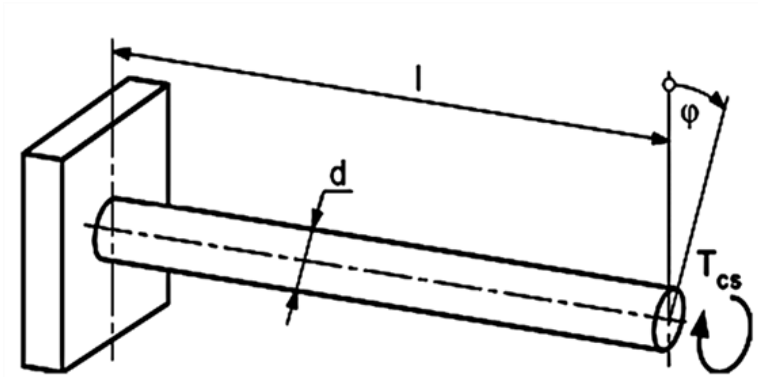
Igénybevétele: nyomás.

Önzárásra figyelni kell, szennyeződésre érzékeny.

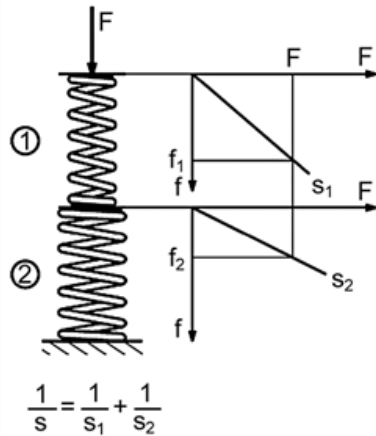


Torziós rugó

Igénybevétel: csavarás



Rugórendszerek

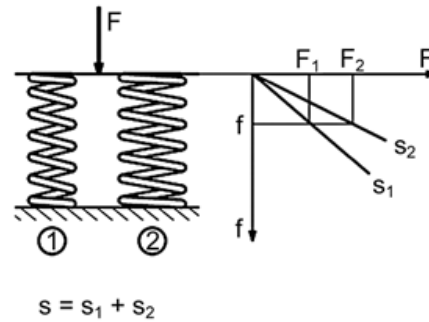


a.

Soros

$$F_e = F_1 = F_2$$

$$f = f_1 + f_2$$

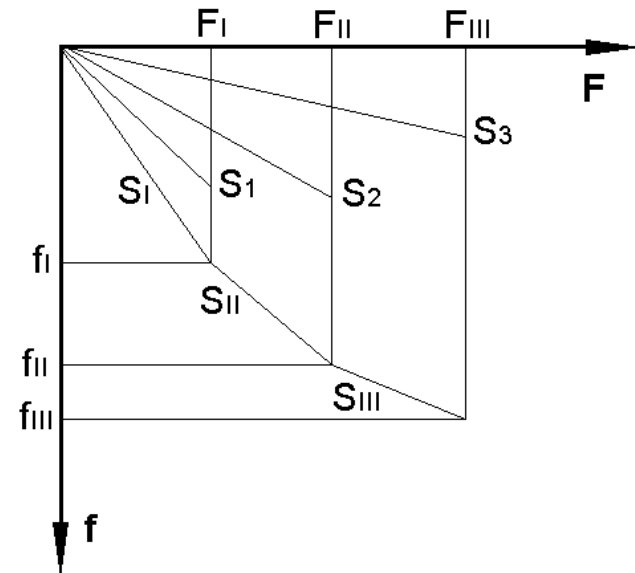
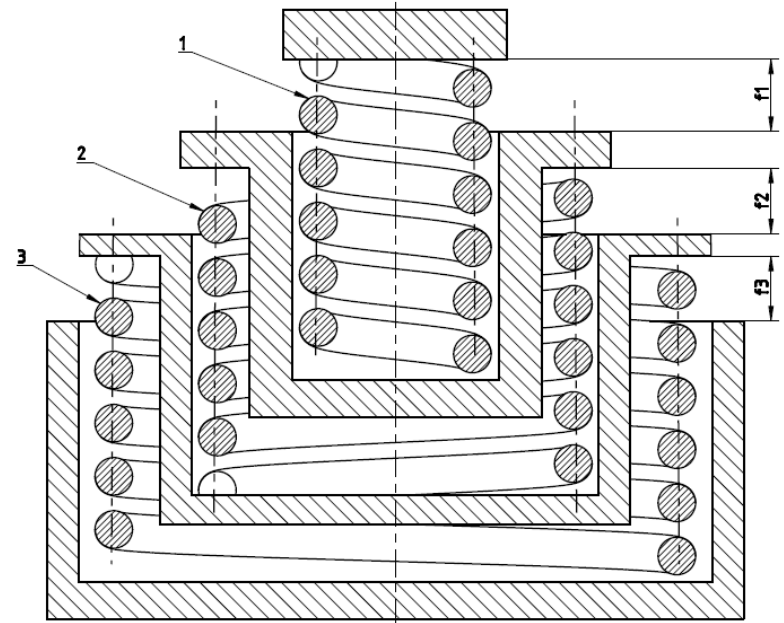


b.

Párhuzamos

$$F_e = F_1 + F_2$$

$$f = f_1 = f_2$$

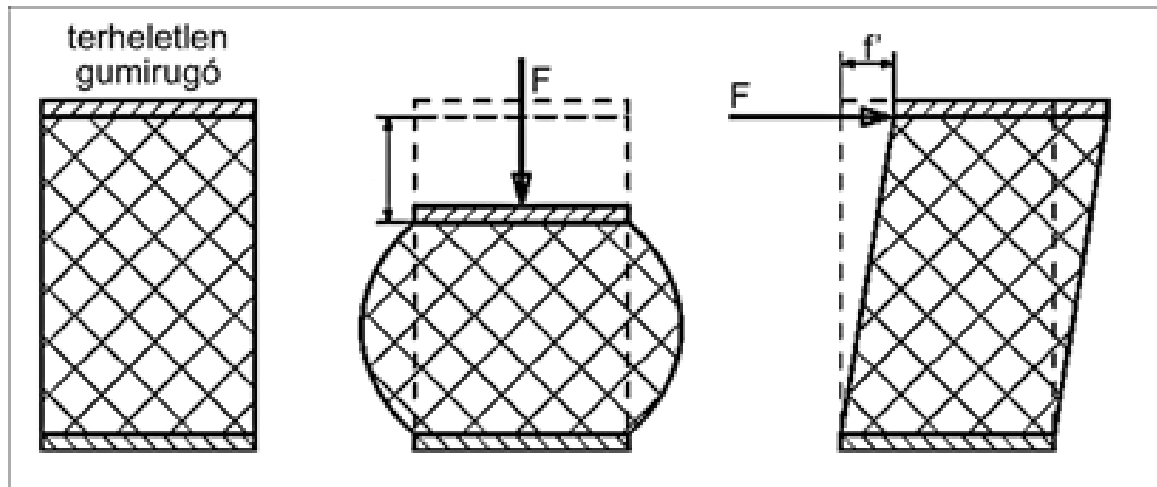


Mi a gumirugó?

A gumirugók kialakításukat tekintve többnyire fémlemezek között, vulkanizálással rögzített, tömör vagy üreges kivitelű gomitömbök vagy gumigyűrűk.

Jellemzően nyomásra és nyírásra terheltek.

(Húzó ill. csavaró igénybevételre a kis teherbírás és az igen nagy alakváltozás a jellemző.)



Gumirugó anyagok 1.

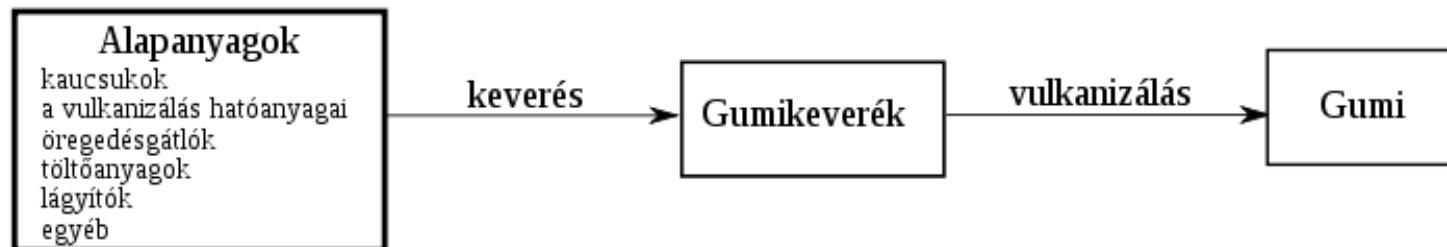
- NR természetes gumi: nagyon jó dinamikus tulajdonságokkal rendelkezik, kicsi hiszterézisű, jó kopásállóságú, nem olaj- és vízálló.
- IR izoprén gumi: dinamikus tulajdonságok kicsit elmaradnak a természetes kaucsukétól, a kopásállóság még inkább. Olajállósága a természetes kaucsukhoz hasonlóan rossz.
- BR butadién gumi: nagyon rugalmas, jó dinamikus tulajdonságokkal rendelkezik, kicsi a súrlódási együtthatója, és nagyon jó a kopásállósága.
- SBR butadién-sztirol gumi A sztirolnak köszönhetően erősebb a molekulák közti kölcsönhatás, ezért nagy a szakítószilárdsága, jobb a hőállósága. A dinamikus tulajdonságok nem kimagaslóak, de a jó súrlódási együttható, így nagy kopásállóságú. Elég olcsó is.

Gumirugó anyagok 2.

- NBR (akril)nitril-butadién gumi: Butadién és akril-nitril kopolimerje. Nő a modulusz, szakítószilárdság, romlik a rugalmasság, de nő az olajállóság.
- IIR izobutilén-izoprén gumi (butilkaucsuk) Szakítószilárdsága kicsi, maradó nyúlása nagy. Nagyon tömör szerkezetű, ezért nagyon alacsony a légáteresztő-képessége. Kiválóan olajálló.
- CR kloropréngumi (Neoprene) tulajdonságai hasonlóak az NBR-hez. Üzem közben a kloroprén alapú gumiból klór szabadulhat fel, különösen melegedés hatására, (a klór eloltja a tüzet, ezért enyhébb tűzveszélynek kitett gumitermékek előállításakor előnyös.)
- EPDM Etilén és propilén kopolimerje. Sokkal magasabb hőmérsékletet kibír, mint a többi gumi. Szakítószilárdsága és a rugalmas tulajdonságai jók. Kicsi a légáteresztő-képessége.

Gumirugók készítése

A gumirugók általában gumigyárban készülnek; gyakrabban úgy, hogy a gumikeverékből készített nyers gumialkatrészeket rögzítik a többihez és utána vulkanizálják, ritkábban úgy, hogy a kivulkanizált gumit építik össze a többi alkatrésszel (ragasztás).



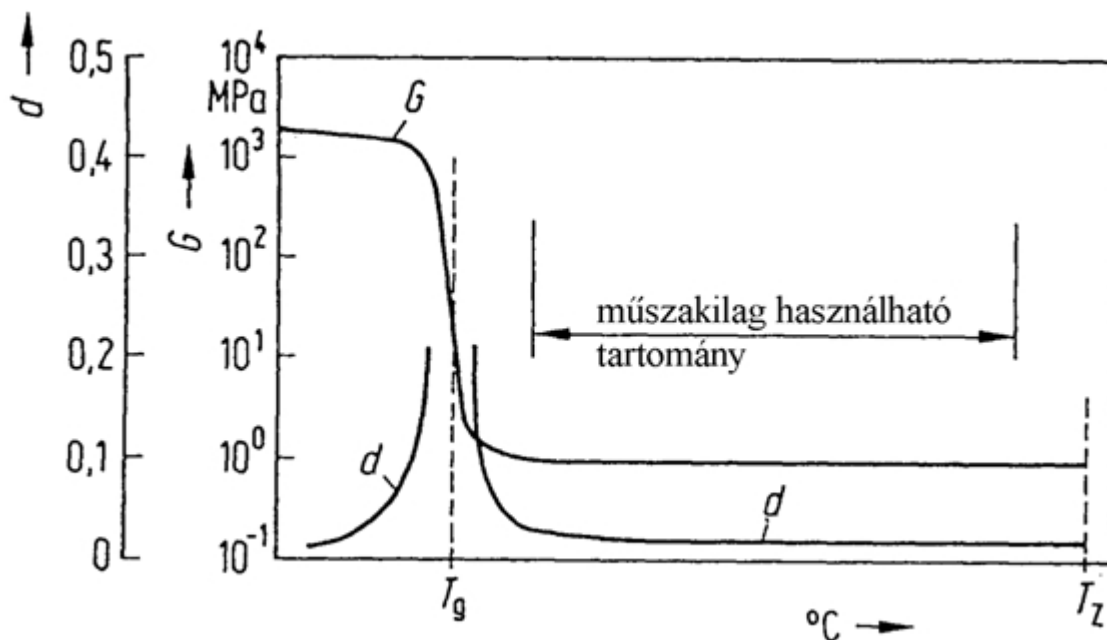
Gumi(rugó) tulajdonságok

A gumirugók anyaga: viszkoelasztikus, vagyis szilárdsági és alakváltozási állapotuk hőmérséklet és időfüggő.

Megjelenik:

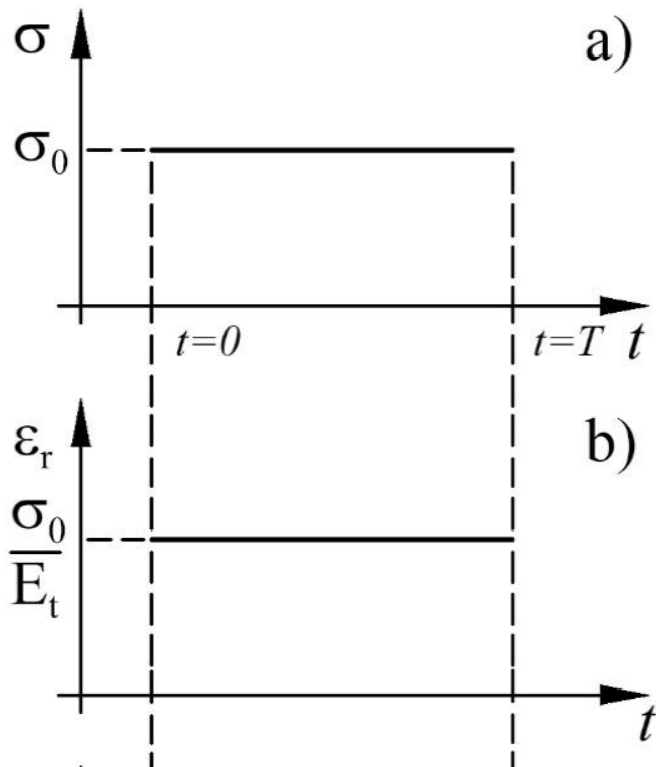
- a kúszás,
- a feszültség-relaxáció,
- a viszkoelasztikus utóhatás (visszaalakulás).

Előnyös tulajdonság:
anyagukban „rejlik” a
csillapító-képesség
(u.n. belső súrlódás)

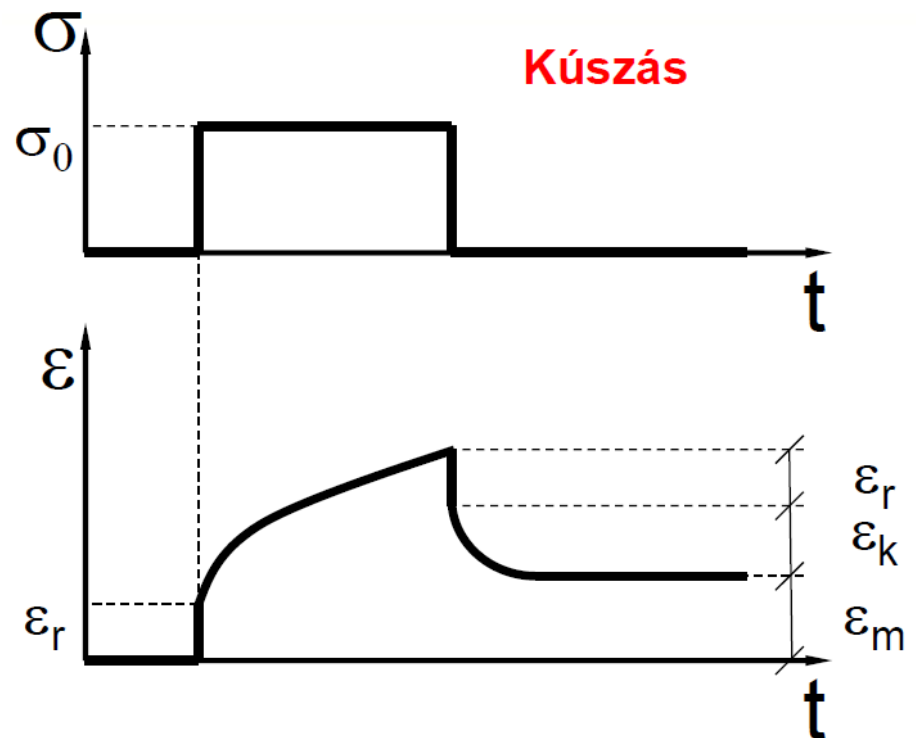


Gumi(rugó) tulajdonságok

Fémek terhelése

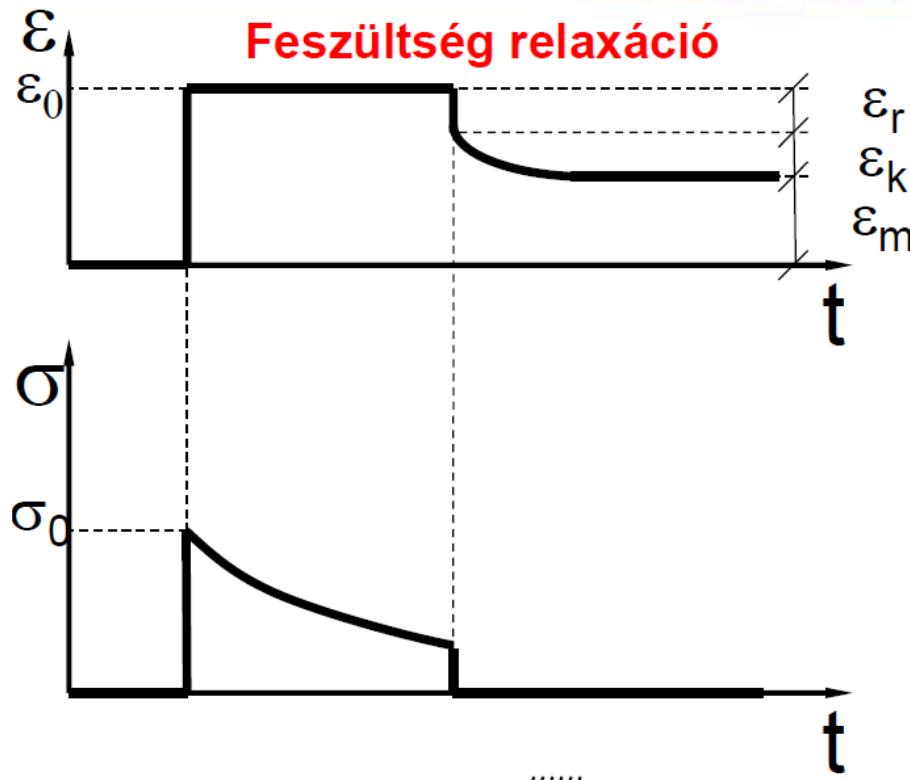


Polimerek terhelése



Gumi(rugó) tulajdonságok

Feszültség relaxáció (feloldódás)

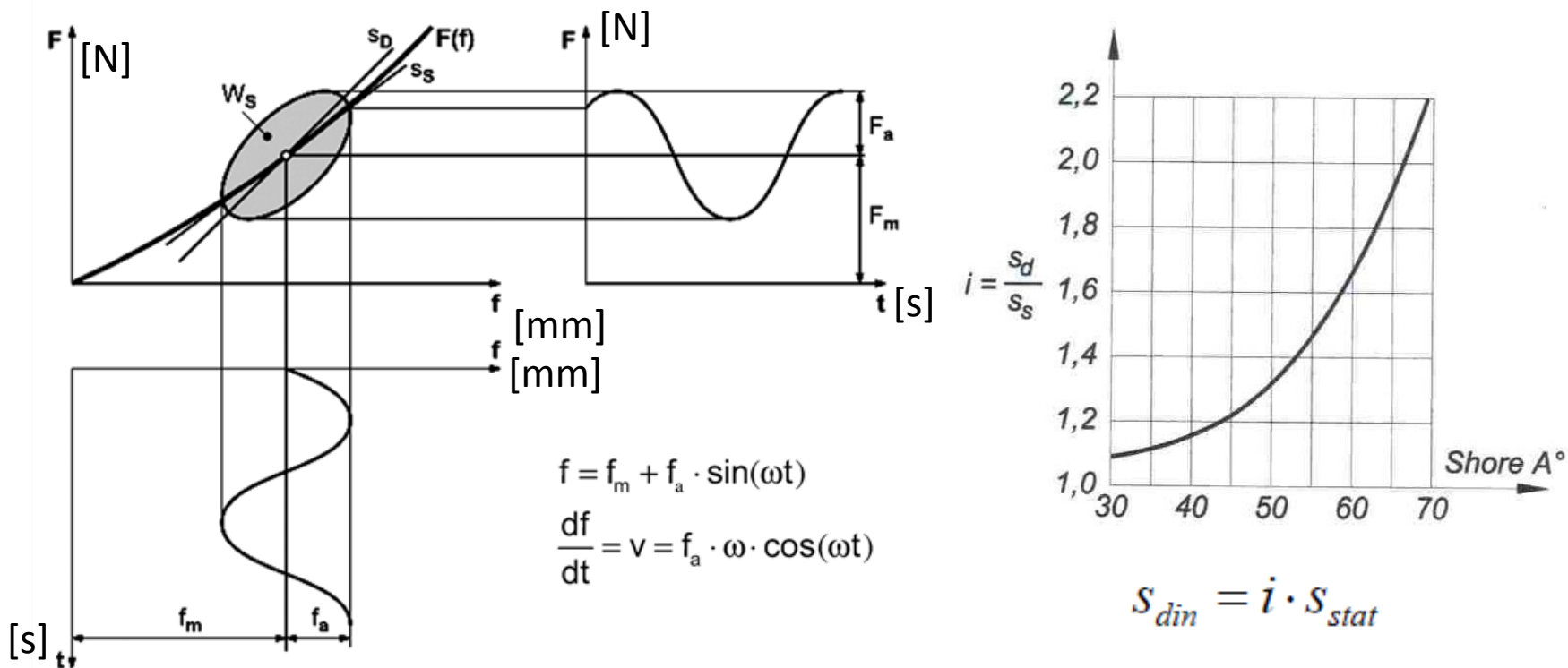


Gumirugók viselkedése ismétlődő terhelésre

Gumi-és polimer rugók –viszkoelasztikus anyagok –merevsége függ a terhelésváltozás sebességétől.

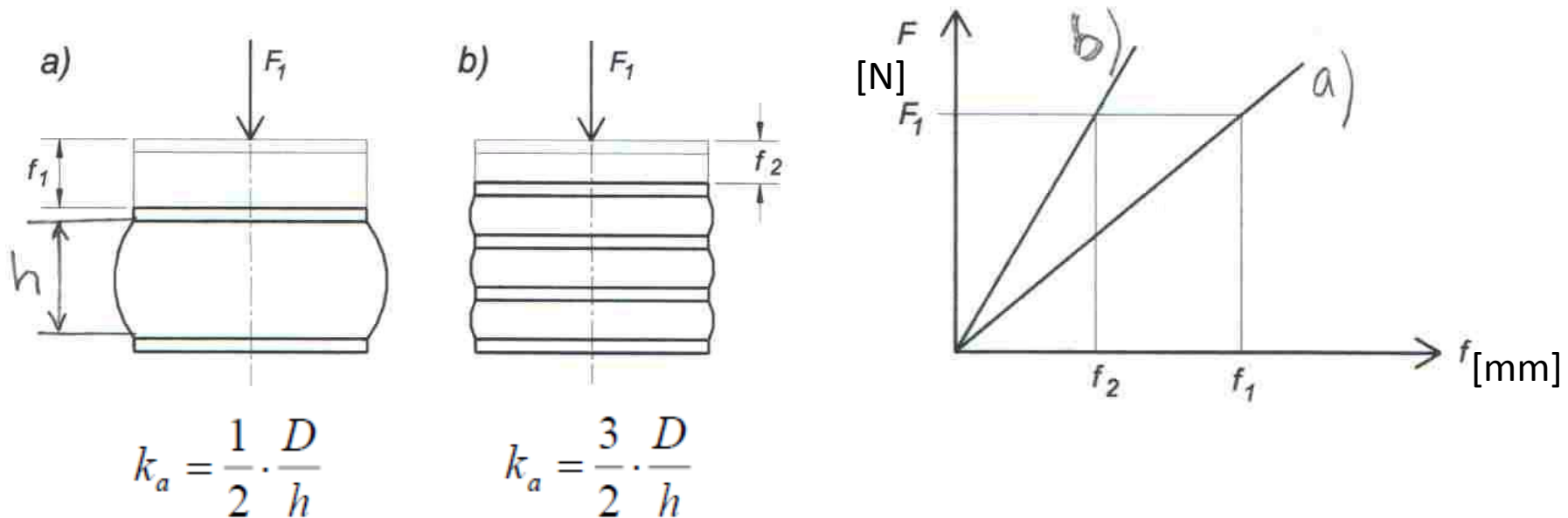
„Gyors” terhelésváltozás esetén „merevebben” viselkedik.

A dinamikus jellegű rugómerevség nagyobb, mint a statikus.



Alakváltozás nyomásra

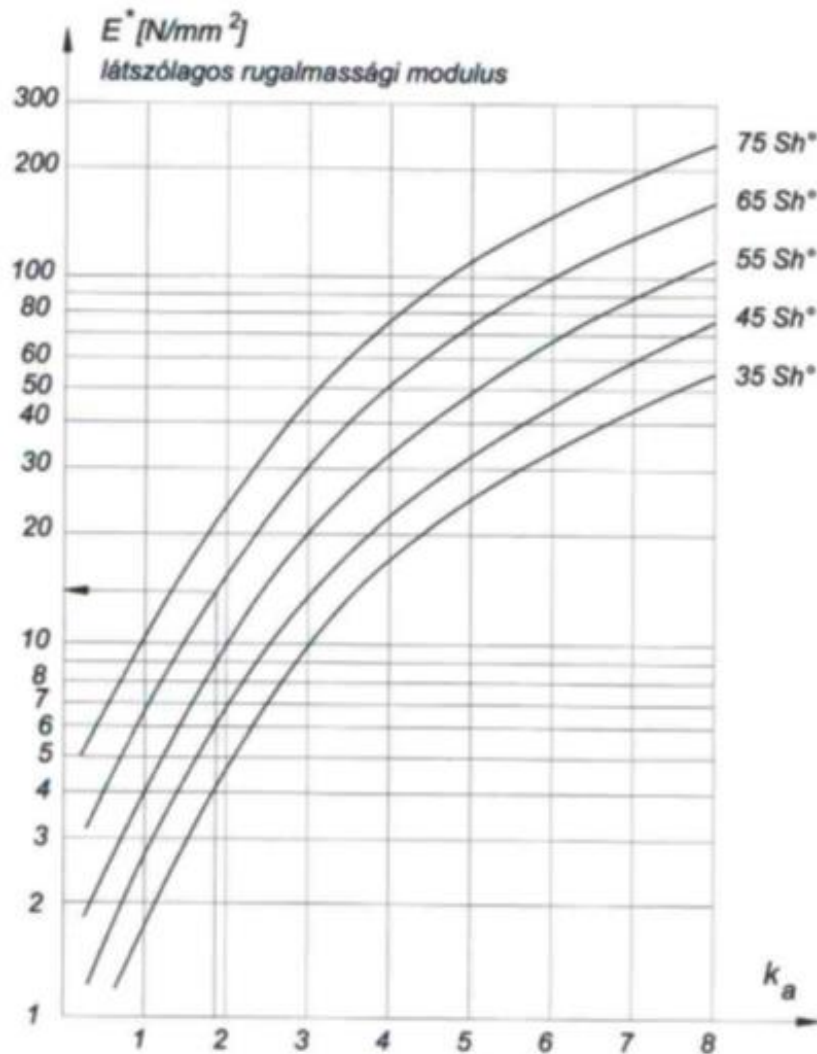
Kísérleti tapasztalat: nyomásra a b kialakítás kedvezőbb, mint a.
Különbség: az alakváltozásban gátolt felületek nagysága.



Bevezethető : a formatényező fogalma :

$$k_a = \frac{A_t}{A_{sz}} = \frac{\text{terhelt (befogott) felület}}{\text{szabad felület}}$$

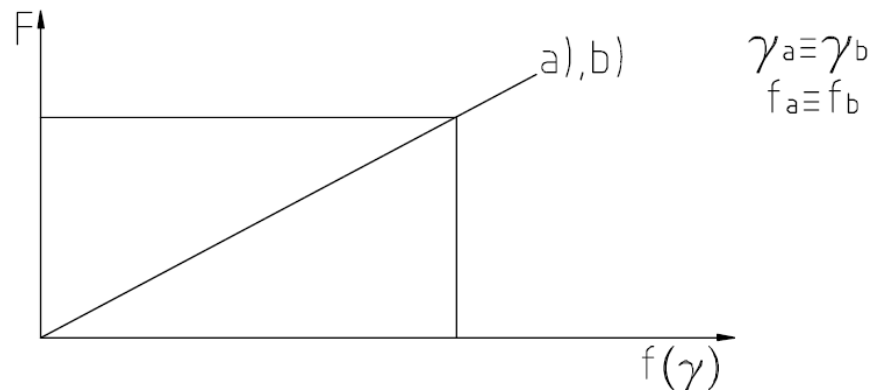
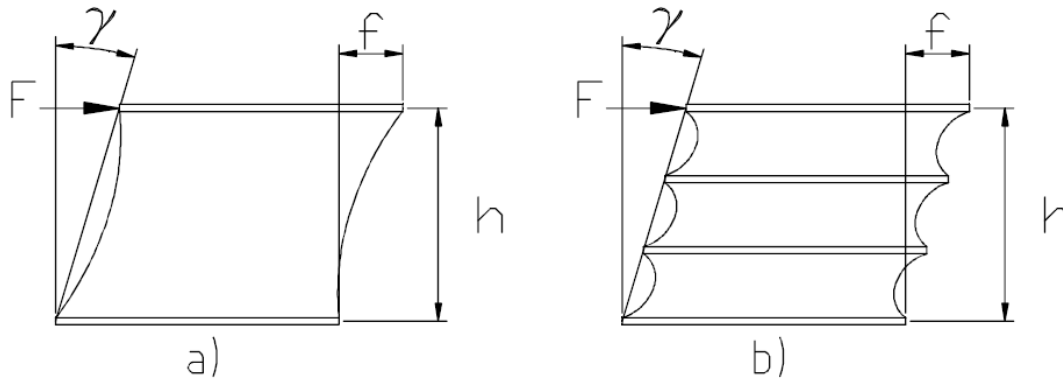
Látszólagos rugalmassági modulus (E^*)



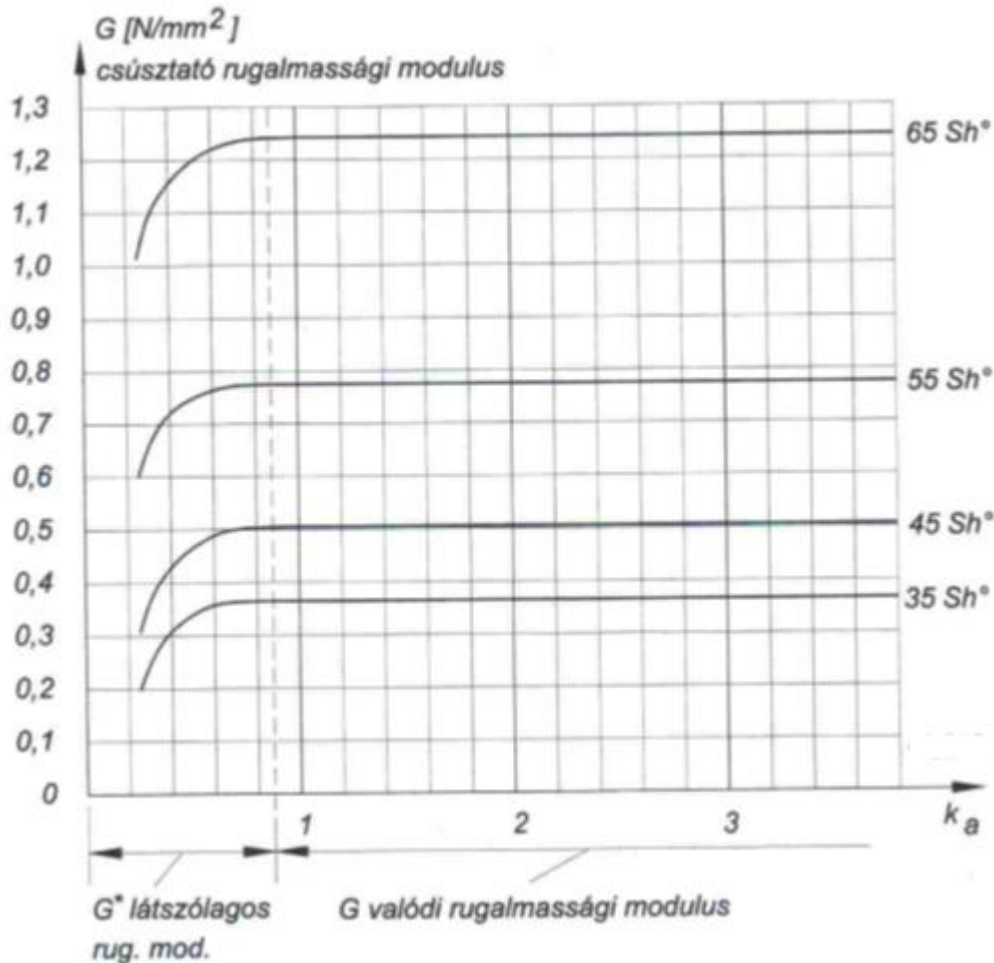
Gumirugók esetén alkalmazhatjuk a rugalmasságtanban megismert összefüggéseket úgy, hogy a rugalmassági modulus helyére a látszólagosat (E^*) helyettesítjük.

Alakváltozás nyírásra

Nyíró igénybevételkor –a szokásos rugóméretek esetén –a kétféle kialakítás között gyakorlatilag nincs különbség.

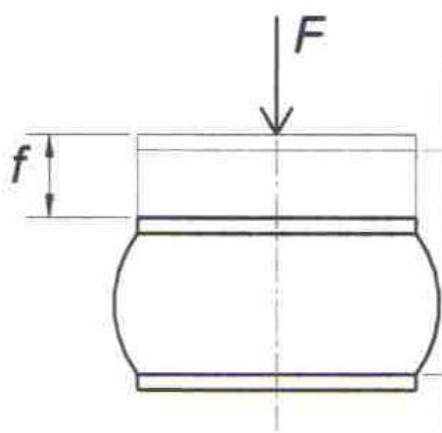
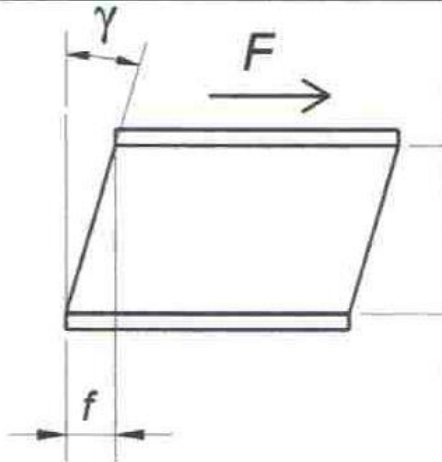


Látszólagos rugalmassági modulus (G^*)

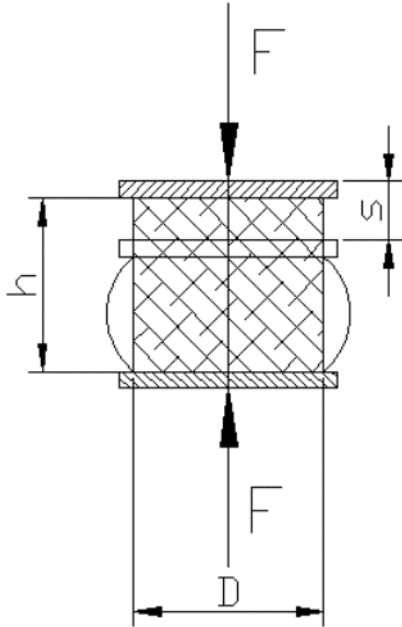


Egy adott formatényezőnél nagyobb arányok esetén a nyíró rugalmassági modulus állandó, vagyis valódi anyagállandónak tekinthető (G).

Javasolt határállapotok

Igénybevétel jelle- ge	Statikus	Dinamikus	Ext- rém
	$\varepsilon = \frac{f}{h}$ $\varepsilon_{max} = 0,1 - 0,2$	$\varepsilon_{max} = 0,2 - 0,3$	$\varepsilon_{max} = 0,4$
	$\operatorname{tg} \gamma = 0,3 - 0,4$ $\operatorname{tg} \gamma = \frac{f}{h}$	$\operatorname{tg} \gamma_{max} = 1$	$\operatorname{tg} \gamma_{max} = 1$

Nyomott gumirugó méretezése



A feszültség: $\sigma = \frac{F}{A}$ $A = \frac{D^2\pi}{4}$

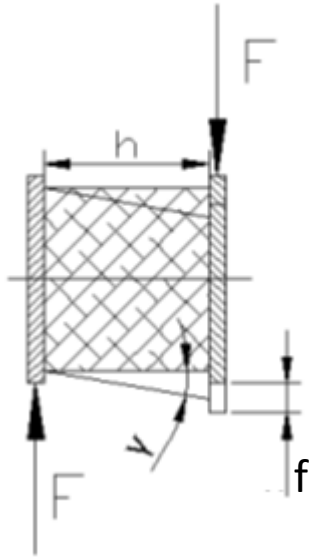
A formatényező: $k = \frac{\text{gátolt felület}}{\text{szabad felület}} = \frac{2 \cdot \frac{D^2\pi}{4}}{D \cdot \pi \cdot h} = \frac{D}{2h}$

Az összenyomódás: $f = \frac{Fh}{AE^*}$ $A = \frac{D^2\pi}{4}$

$$f = \varepsilon \cdot h$$

Rugómerevség $s = \frac{F}{f} = \frac{AE^*}{h} = \frac{D^2\pi E^*}{4h}$

Nyírt hasáb gumirugó méretezése



$$\text{A feszültség } \tau = \frac{F}{A} = \frac{F}{ab} = G^* \cdot \gamma = G^* \cdot \operatorname{tg} \gamma$$

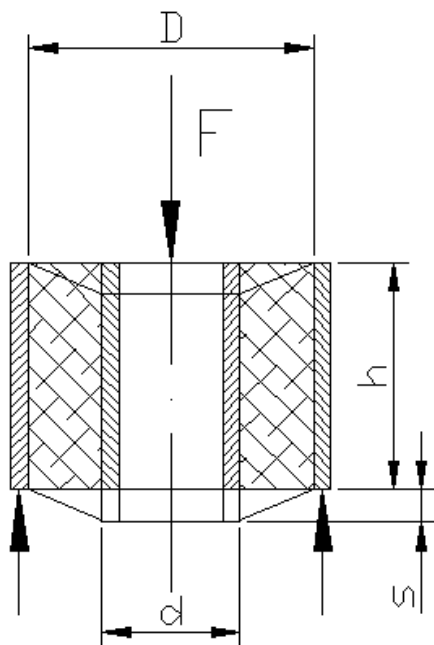
$$\operatorname{tg} \gamma \cong \gamma$$

$$\text{A formatényező: } k = \frac{\text{gátolt felület}}{\text{szabad felület}} = \frac{2 \cdot a \cdot b}{2(a+b)h} = \frac{1}{(a+b)h}$$

$$\text{A lehajlás: } f = h \cdot \operatorname{tg} \gamma \qquad \operatorname{tg} \gamma = \frac{f}{h}$$

$$\text{Rugómerevség } s = \frac{F}{f} = \frac{F}{h \cdot \operatorname{tg} \gamma} =$$

Nyírt hüvelyes gumirugó méretezése

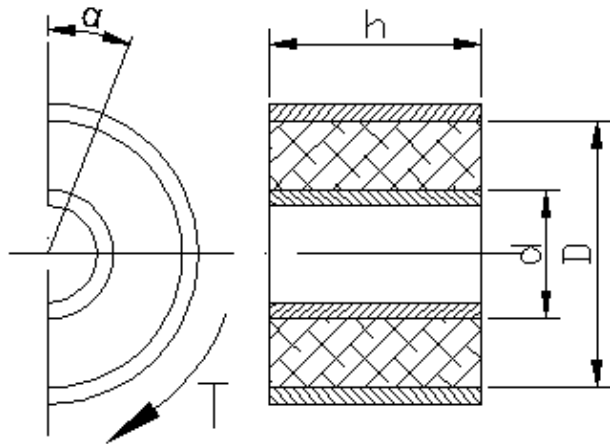


A feszültség: $\tau = \frac{F}{A} = \frac{F}{D\pi h}$

A lehejlás: $f = \frac{2F}{2\pi h G^*} \ln \frac{D}{d}$

A rugómerevség: $s = \frac{F}{f} = \frac{2\pi h G^*}{\ln \frac{D}{d}}$

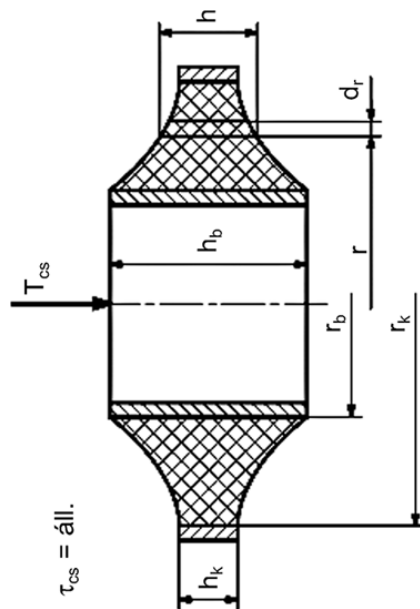
Csavart hüvelyes gumirugó méretezése



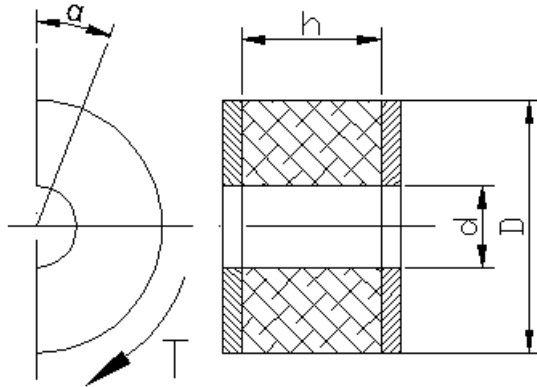
A feszültség: $\tau = \frac{2T}{D^2\pi h}$

A szögelfordulás: $\varphi = \frac{T}{\pi h G^*} \cdot \left(\frac{1}{d^2} - \frac{1}{D^2} \right)$

A rugómerevség: $s = \frac{T}{\varphi} = 4\pi h G^* \frac{1}{\left(\frac{1}{d^2} - \frac{1}{D^2} \right)}$



Csavart tárcsás gumirugó méretezése



A feszültség: $\tau = G^* \frac{D}{2h} \varphi = \frac{12T}{\pi(D^3 - d^3)}$

A szögelfordulás: $\varphi = \frac{2Th}{G^* \pi \left(\frac{D^4}{16} - \frac{d^4}{16} \right)}$

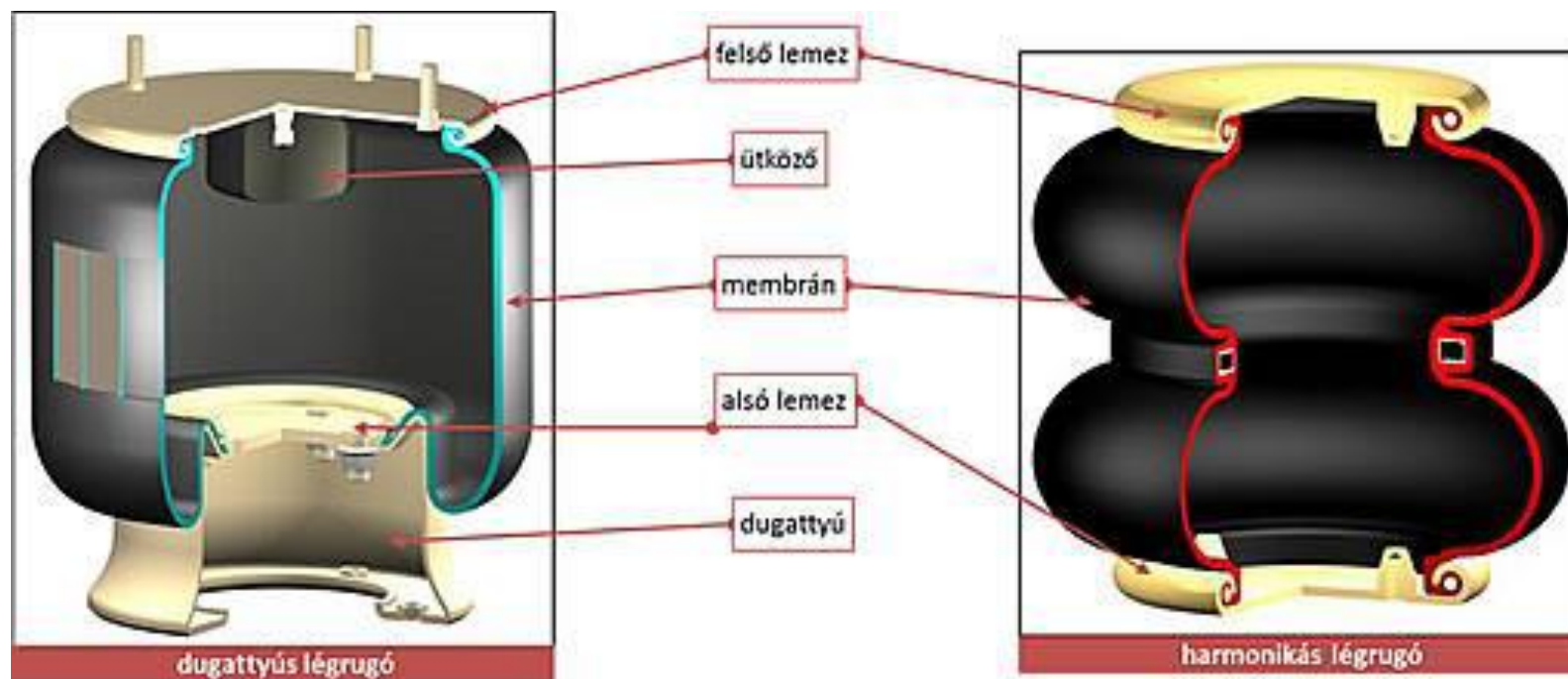
A rugómerevség: $s = \frac{T}{\varphi} = \frac{G^*}{h} \frac{\left(\frac{D^4}{16} - \frac{d^4}{16} \right)}{2}$

Lég és gázrugók

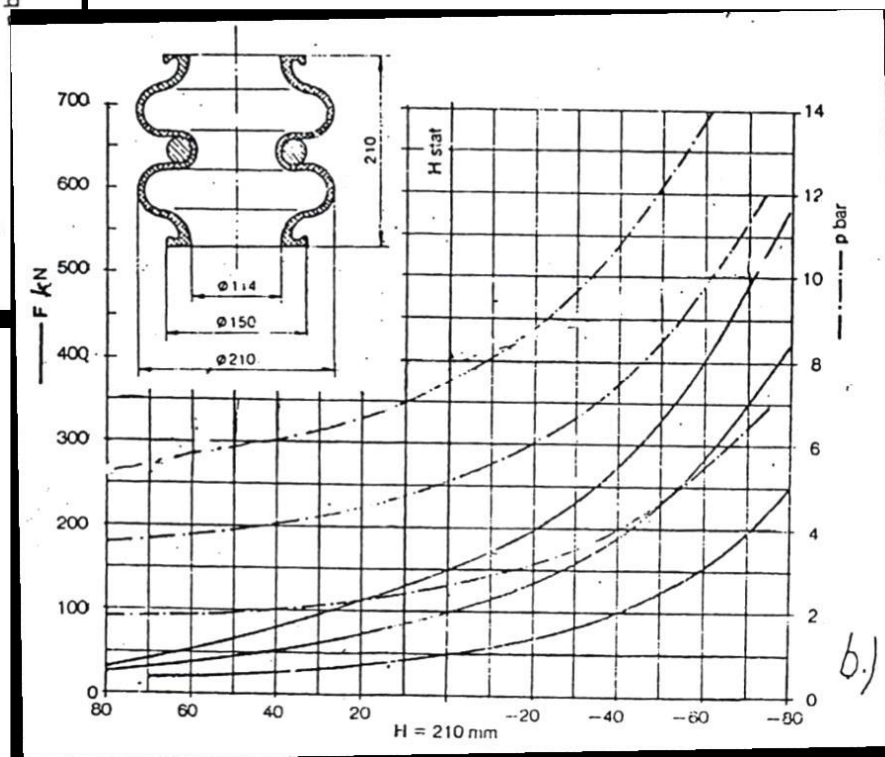
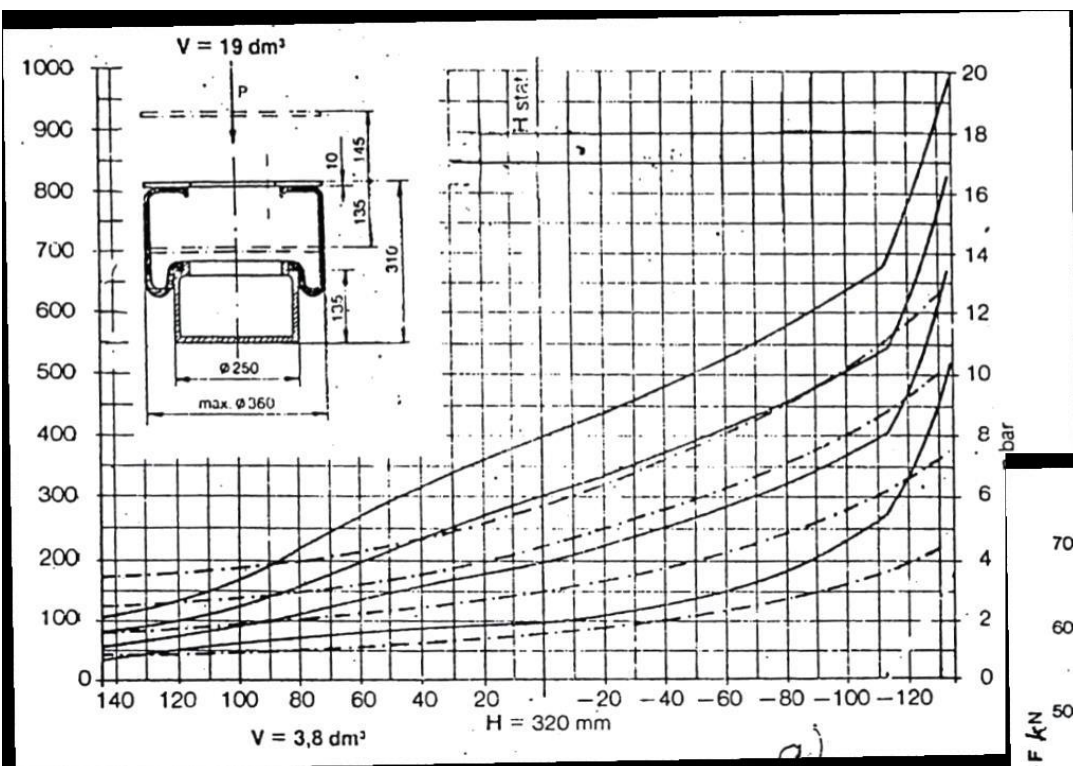
E rugók fizikai elve a gázok összenyomhatóságán (rugalmasságán) alapszik.

Jellemzőjük: a kezdetben lágy, majd progresszív karakterisztika.

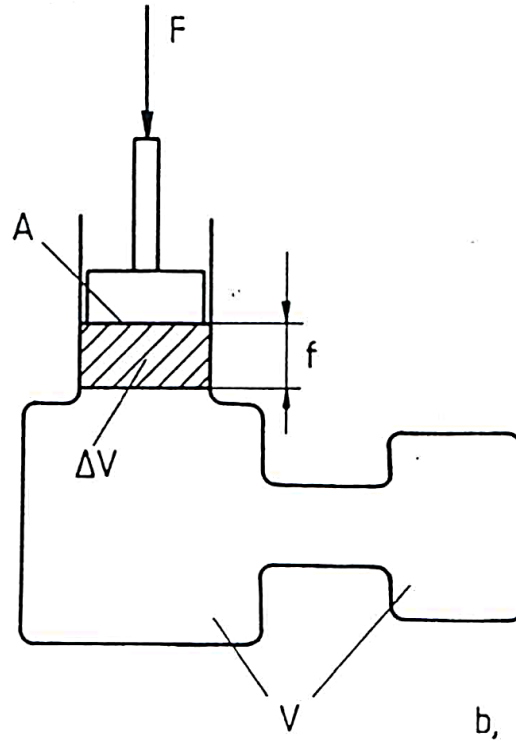
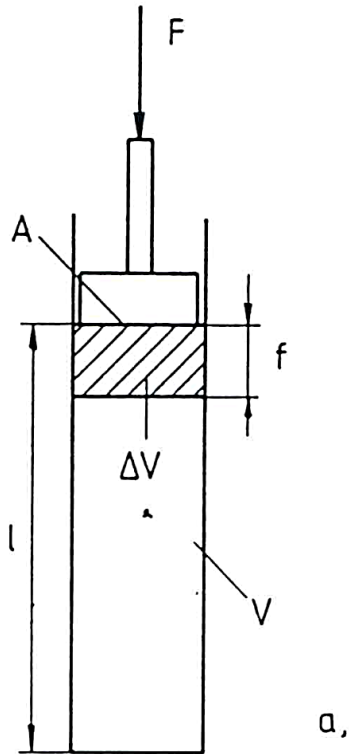
Működési határ: 10 bar



Légrugó karakterisztikák



Folyadékrugó elve



$$E = \frac{\Delta p}{\Delta V / V} = V \frac{\Delta p}{\Delta V}$$

$$f = \frac{Fl}{AE}$$

Köszönöm a figyelmet!