

MéRNÖKI anyagok alkalmazástechnikája

Esettanulmányok 2.

Dr. Orbulov Imre Norbert
rbulov.imre.norbert@gpk.bme.hu
MS Teams: orbulovi@edu.bme.hu

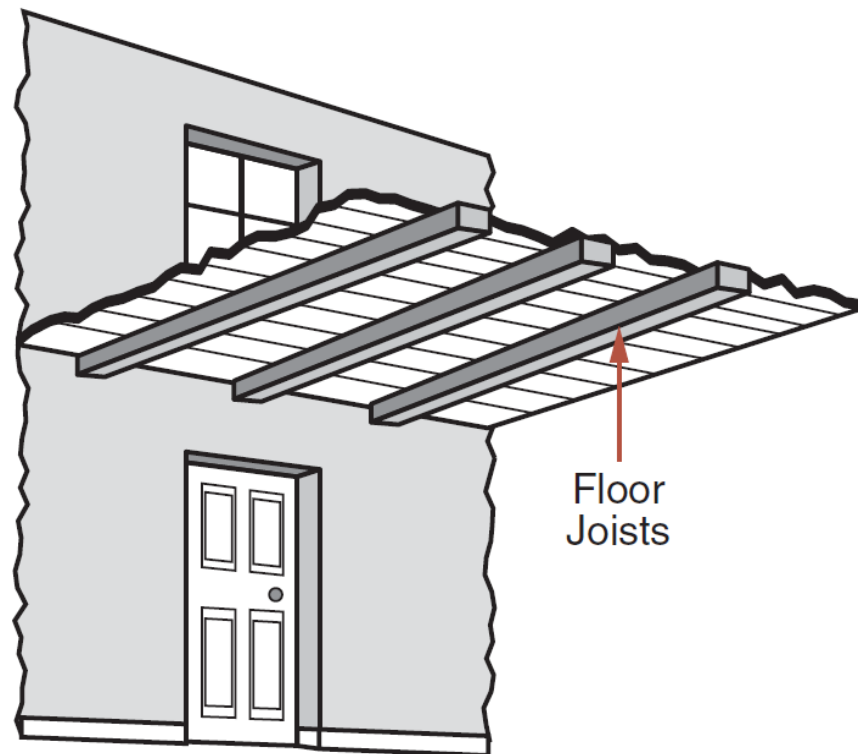
- Esettanulmányokról, amelyekkel az anyagválasztás stratégiáját gyakoroljuk
- Födém gerenda
- Lendkerék
- Rugó
- Rugalmas csukló

Födém gerenda

- A legdrágább dolog, amit egy ember az életében megvásárol általában a lakás / ház, amelyben él
- Egy ház árának fele kb. az építőanyag árából áll
 - Családi ház, kb. 200 t
 - Apartmanház, kb. 20 000 t
- Fontosak a szerkezeti elemek (borítás, belső részek, szigetelés stb.)
- A földem gerenda szerkezeti elem, követelmények
 - Merevség, szilárdság, kis költség

- Mechanikai szempontból merev hajlított rúd
- El kell viselje a hajlítást
- Nem görbülhet el (még rugalmasan se nagyon)
- Könnyűnek kell lennie
- Olcsónak kell lennie
- Merevségre méretezik
- Ilyet már láttunk...

$$M = \frac{E^{1/2}}{\rho}$$



A mérnöki gyakorlatban a hajlítás sokkal gyakoribb, mint a húzás. Tekintsünk egy négyszög keresztmetszetű (b oldalú) L hosszú rudat.

- Funkció: merev, hajlított rúd

- Megkötés

- L adott

- Merevség (S) adott

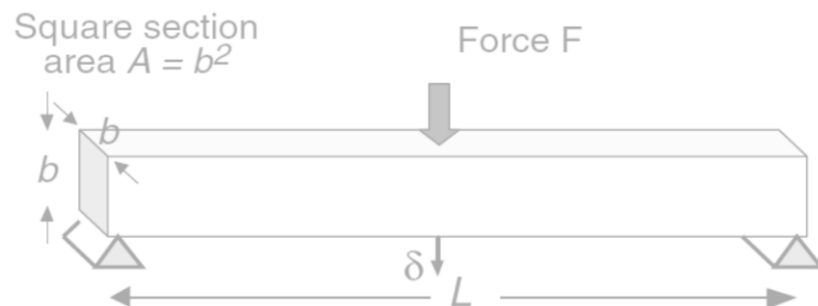
- F erő hatására a lehajlás nem lehet nagyobb, mint δ

- Rangsor: minimális tömeg

- Szabad változó

- Keresztmetszet, A

- Anyag



$$S = \frac{F}{\delta} \geq \frac{C_1 EI}{L^3}$$

$$I = \frac{b^4}{12} = \frac{A^2}{12}$$

$$m = AL\rho$$

$$m \geq \left(\frac{12S}{C_1 L} \right)^{1/2} (L^3) \left(\frac{\rho}{E^{1/2}} \right)$$

$$m \downarrow \Leftrightarrow \rho/E^{0,5} \downarrow$$

Cél: $E^{0,5}/\rho$ maximálása

ANYAGINDEX

Funkció

- Födém gerenda = könnyű, olcsó merev hajlított rúd

Megkötések

- A hossz (L) adott
- A hajlítómerevség (S) adott
- Szilárdság (előírt teherbírás)

Rangsorolás

- Tömeg és költség (minimum) alapján

Szabad változó

- A keresztmetszet
- Anyag

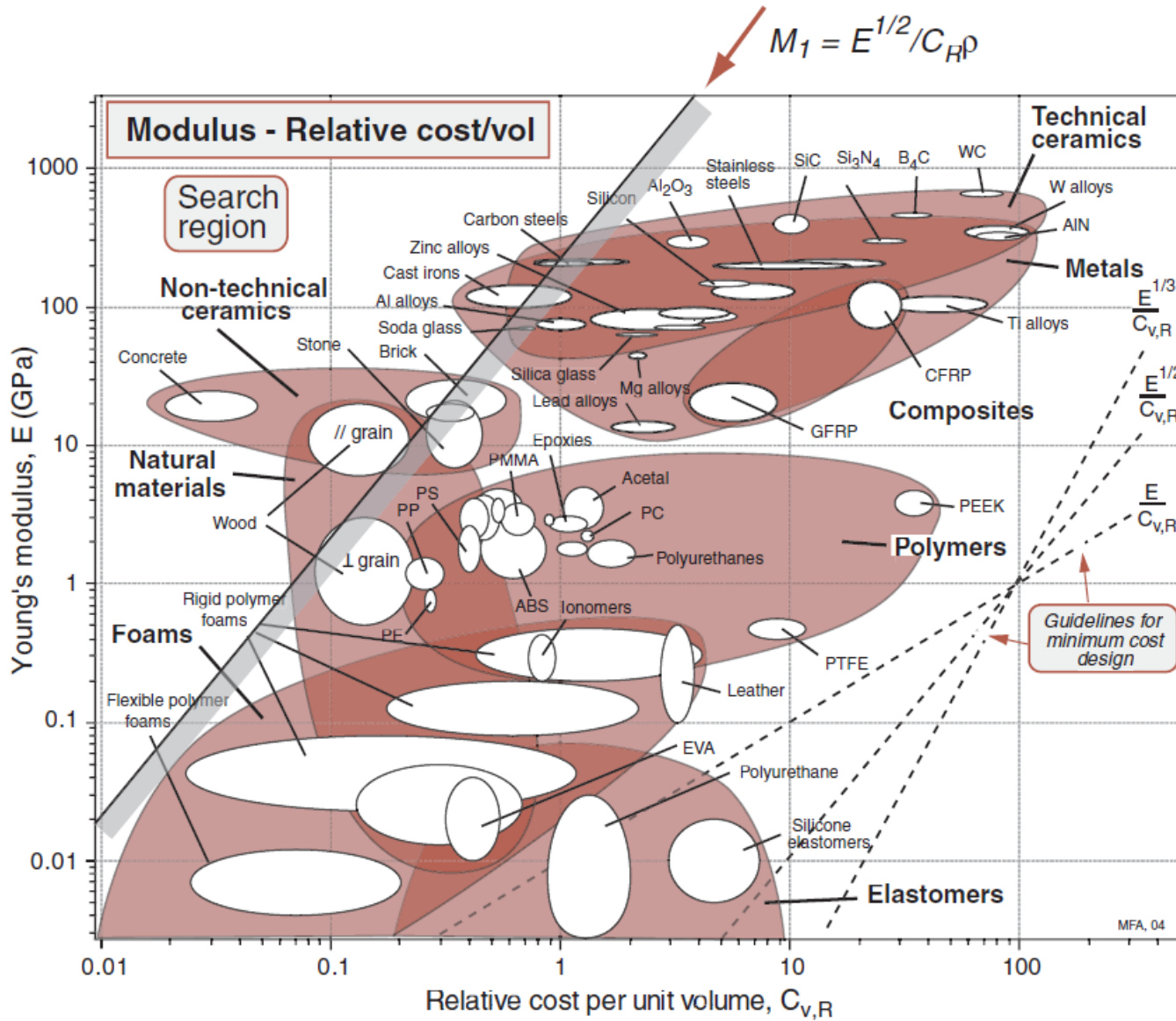
$$C = mC_m = AL\rho C_m$$

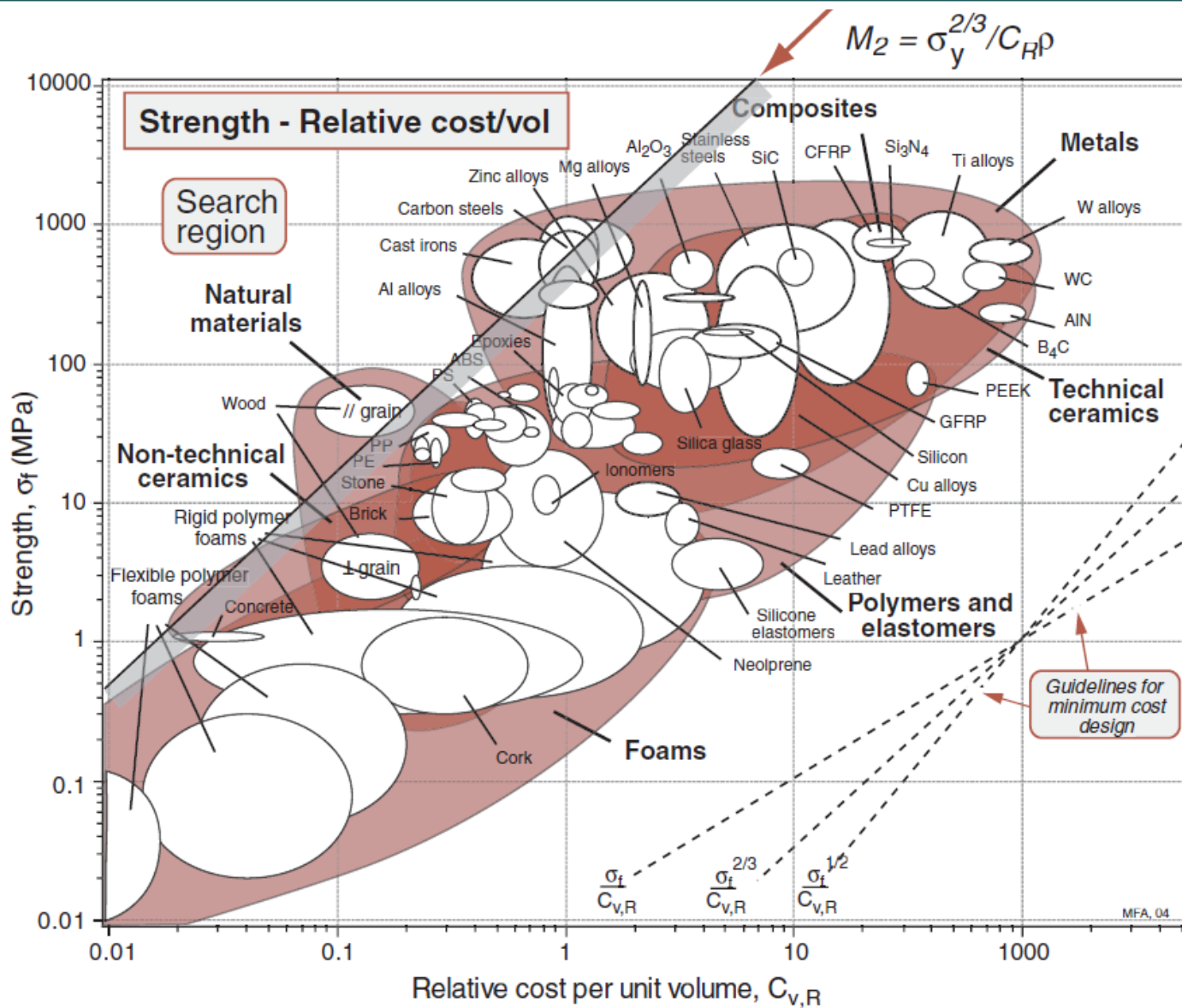
$$M_1 = \frac{E^{1/2}}{pC_m}$$

$$F_f = C_2 \frac{I\sigma_f}{y_m L}$$

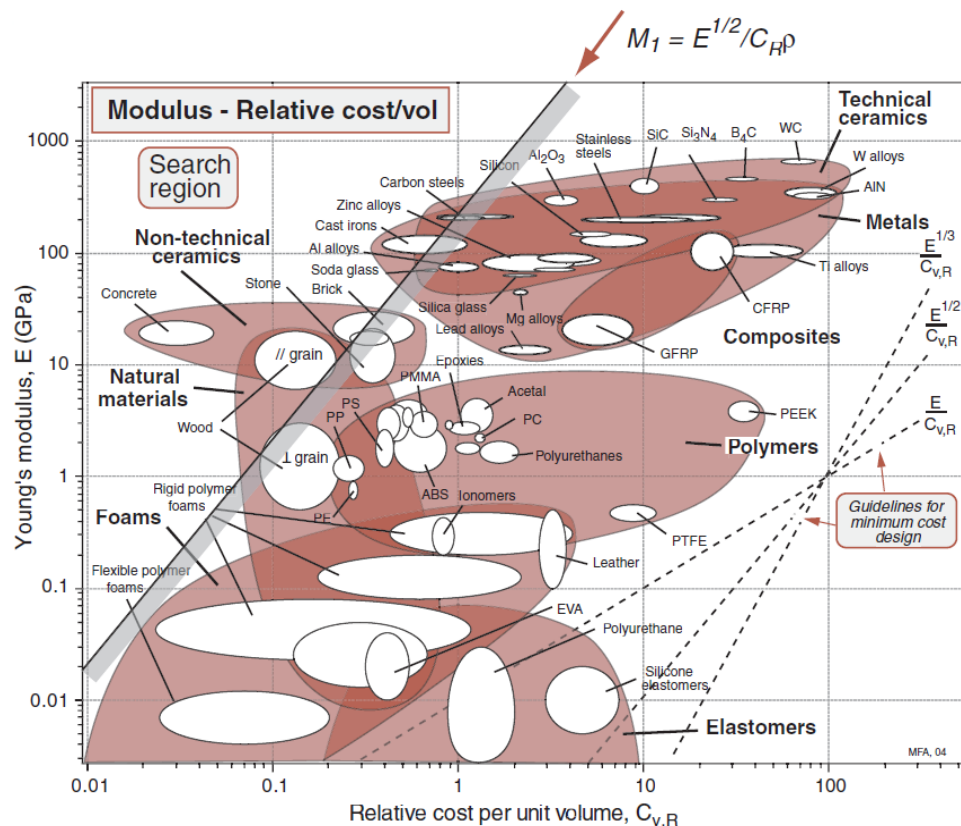
$$I = bd^3/12$$

$$M_2 = \frac{\sigma_f^{2/3}}{\rho C_m} \leftarrow C = \left(\frac{6\sqrt{\alpha} F_f}{C^2 L^2} \right)^{2/3} (L^3) \left[\frac{\rho C_m}{\sigma_f^{2/3}} \right]$$





- Az előírt anyagindexszel párhuzamos tolása minél távolabb
- Reális anyagválasztási lehetőségek:
 - Beton
 - Téglá
 - Kő
 - Fa
 - Öntött vas
 - Acél



- Más lehetőség
 - GFRP, Al, acél, 5...20x ár

- Beton
 - $M_1=160 \text{ GPa}^{1/2}/(\text{kg}/\text{m}^3)$, $M_2=14 \text{ MPa}^{2/3}/(\text{kg}/\text{m}^3)$
- Téglá
 - $M_1=12 \text{ GPa}^{1/2}/(\text{kg}/\text{m}^3)$, $M_2=12 \text{ MPa}^{2/3}/(\text{kg}/\text{m}^3)$
 - Csak nyomás
- Kő
 - $M_1=9,3 \text{ GPa}^{1/2}/(\text{kg}/\text{m}^3)$, $M_2=12 \text{ MPa}^{2/3}/(\text{kg}/\text{m}^3)$
- Fa
 - $M_1=21 \text{ GPa}^{1/2}/(\text{kg}/\text{m}^3)$, $M_2=90 \text{ MPa}^{2/3}/(\text{kg}/\text{m}^3)$
 - Húzás és nyomás, keresztmetszet változhat
- Öntöttvas
 - $M_1=17 \text{ GPa}^{1/2}/(\text{kg}/\text{m}^3)$, $M_2=90 \text{ MPa}^{2/3}/(\text{kg}/\text{m}^3)$
- Acél
 - $M_1=14 \text{ GPa}^{1/2}/(\text{kg}/\text{m}^3)$, $M_2=45 \text{ MPa}^{2/3}/(\text{kg}/\text{m}^3)$

Lendkerék

- A lendkerék energiát tárol
- Készülhetnek ólomból öntöttvasból, acélból, műanyag alapú kompozitból...
 - Mi ez a különös változatosság???
 - Mi a legjobb választás egy lendkerékhez?
- Az ideális lendkerék a lehető legtöbb energiát tárolja tömegegységenként
- A lendkereket felpörgetik (mozgási energiát tárol)
 - Határ a szilárdság (centrifugális erő)
- A válasz az alkalmazástól függ
 - Maximális tárolt energiára tervezés (energiamaximum / kg)
 - Megadott szögsebességre tervezés (energiamaximum / ω)

- Mechanikai szempontból egy forgó tárcsa

- Paraméterek

- R ,
- t ,
- ω

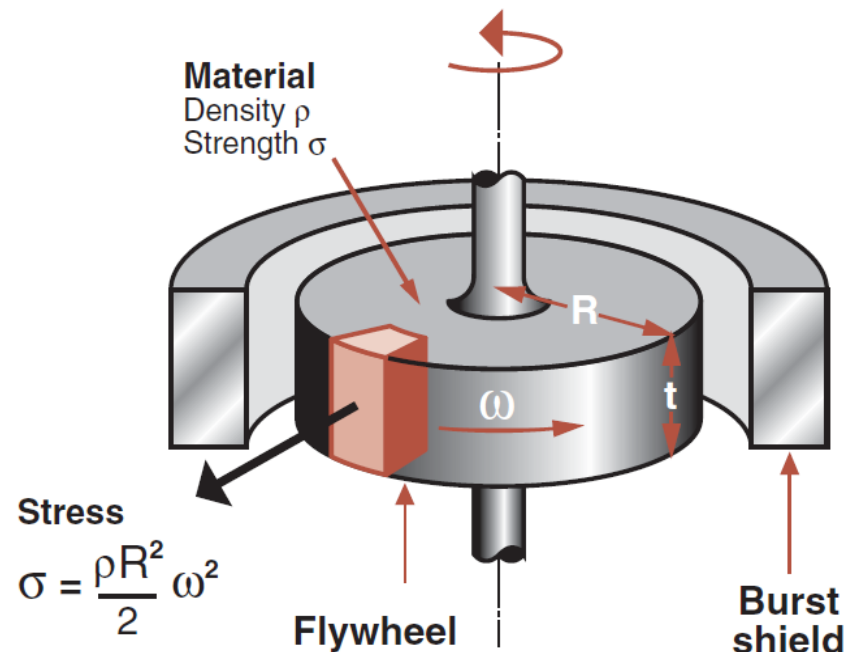
- Tárolt energia

$$U = \frac{1}{2} J \omega^2$$

- Tehetetlenségi nyomaték

$$J = (\pi/2) \rho R^4 t$$

$$U = \frac{\pi}{4} \rho R^4 t \omega^2$$



Funkció

- Lendkerék energiatároláshoz

Megkötések

- A sugár (R) adott
- Nem robbanhat szét
- Megfelelő szívósság

Rangsorolás

- Maximális kinetikai energia tömegegységenként

Szabad változó

- Szögsebesség
- Anyag

$$\sigma_{\max} = \left(\frac{3 + \nu}{8} \right) \rho R^2 \omega^2 \approx \frac{1}{2} \rho R^2 \omega^2$$

$R\omega$

$$m = \pi R^4 t \rho \longrightarrow \frac{U}{m} = \frac{1}{4} R^2 \omega^2$$

$$M = \frac{\sigma_f}{\rho} \longleftarrow \frac{U}{m} = \frac{1}{2} \left(\frac{\sigma_f}{\rho} \right)$$

Funkció

- Lendkerék adott szögsebességhez

Megkötések

- A sugár (R) adott

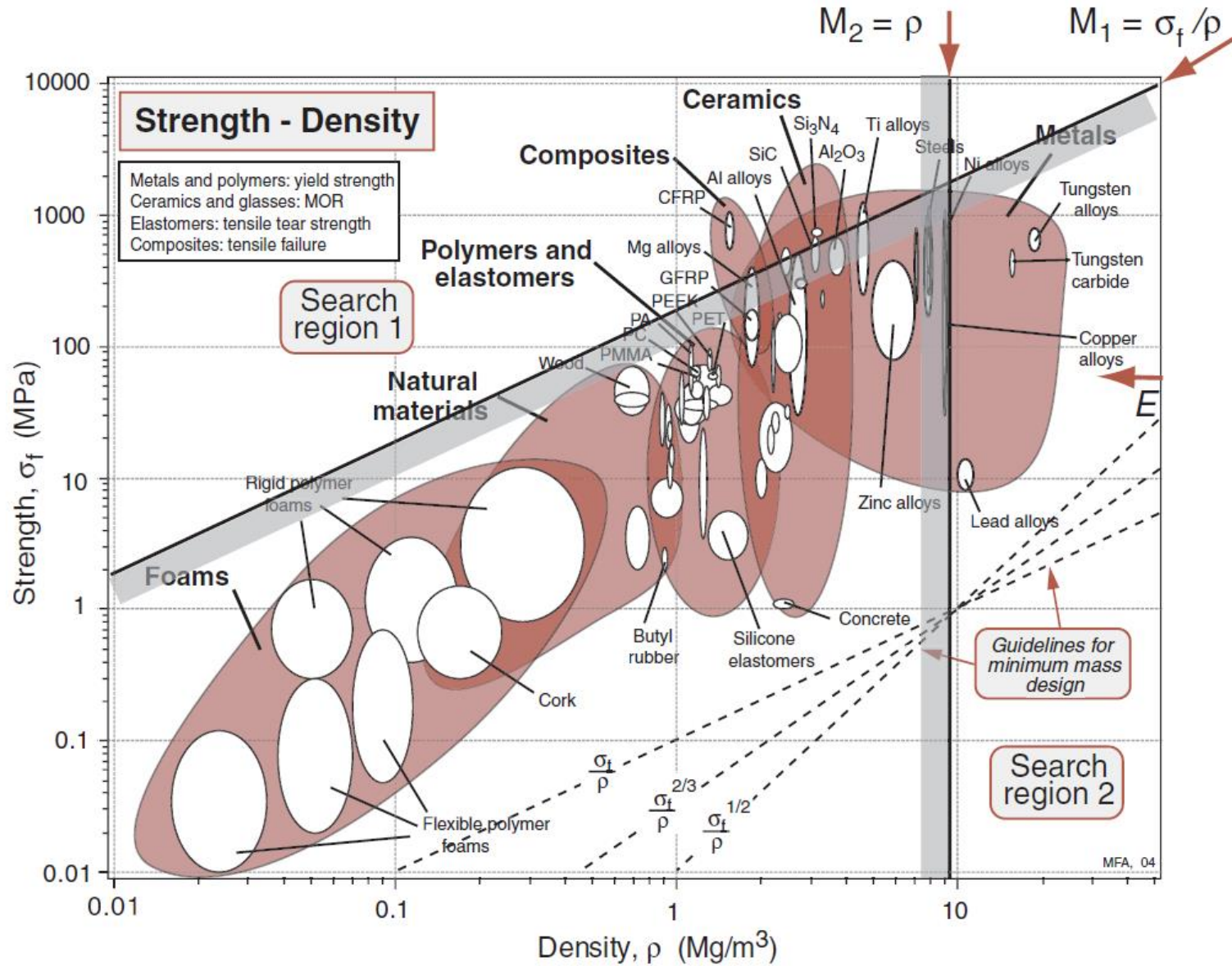
Rangsorolás

- Maximális kinetikai energia térfogategységenként

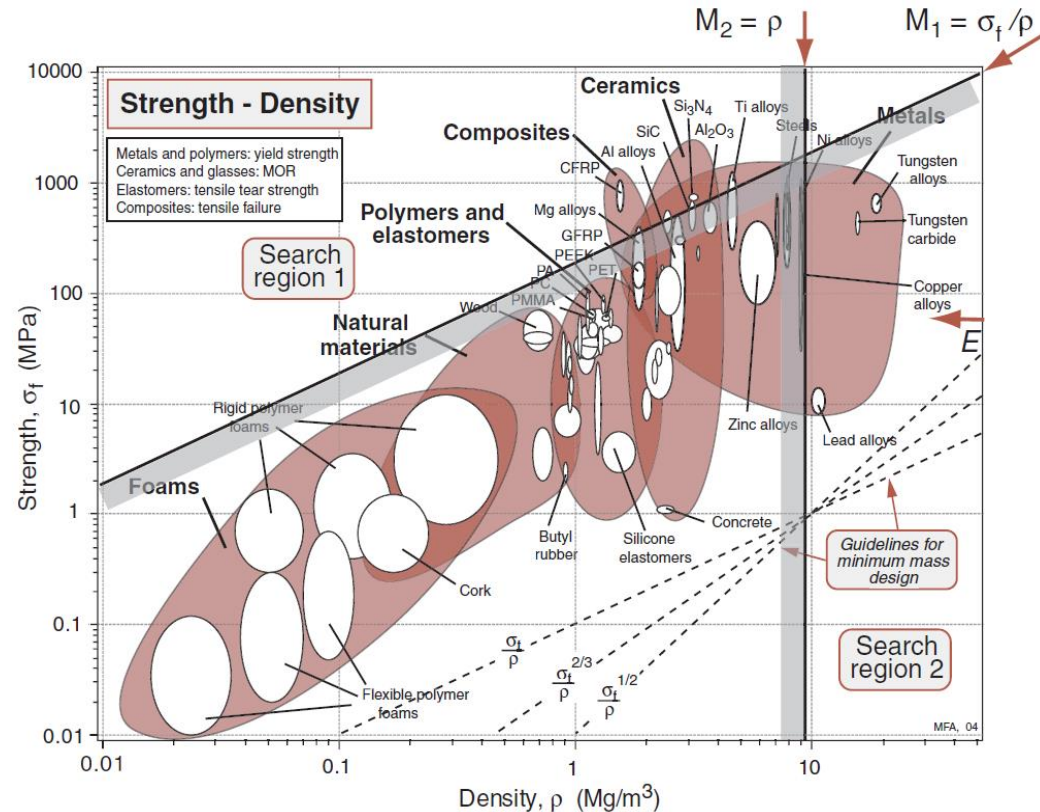
$$\frac{U}{V} = \frac{1}{4} \rho R^2 \omega^2 \longrightarrow M_2 = \rho$$

Szabad változó

- Anyag

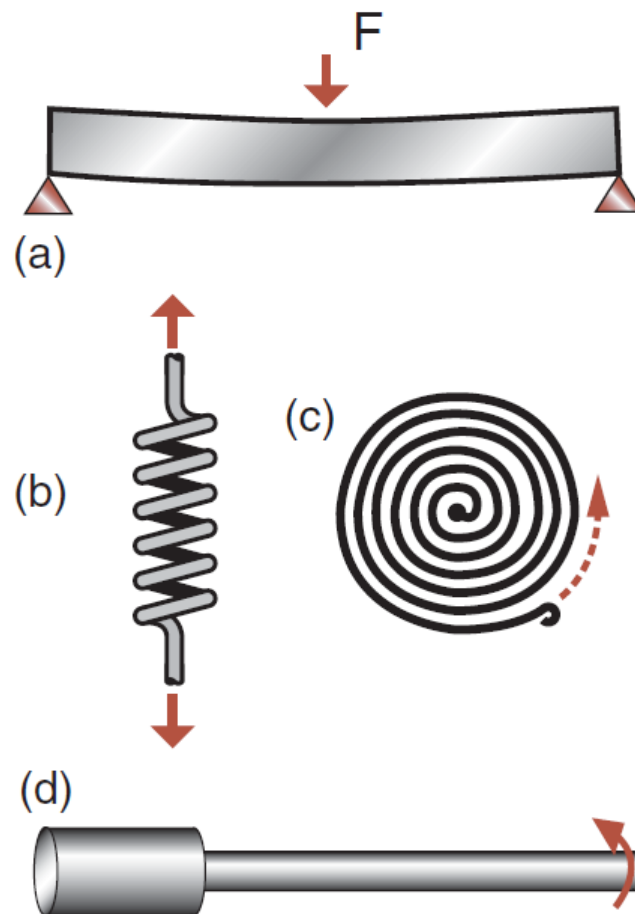


- Legjobb választás:
 - CFRP
 - Nagy szilárdságú Ti ötvözetek
 - Néhány kerámia
- Utóbbiak szívóssága minimális
- Adott szögsebességhez:
 - Ólom, ω nagyon limitált
- Más lehetőség
 - Gázolaj (20 000 kJ/kg)
 - Lendkerék (400 kJ/kg)



Rugó

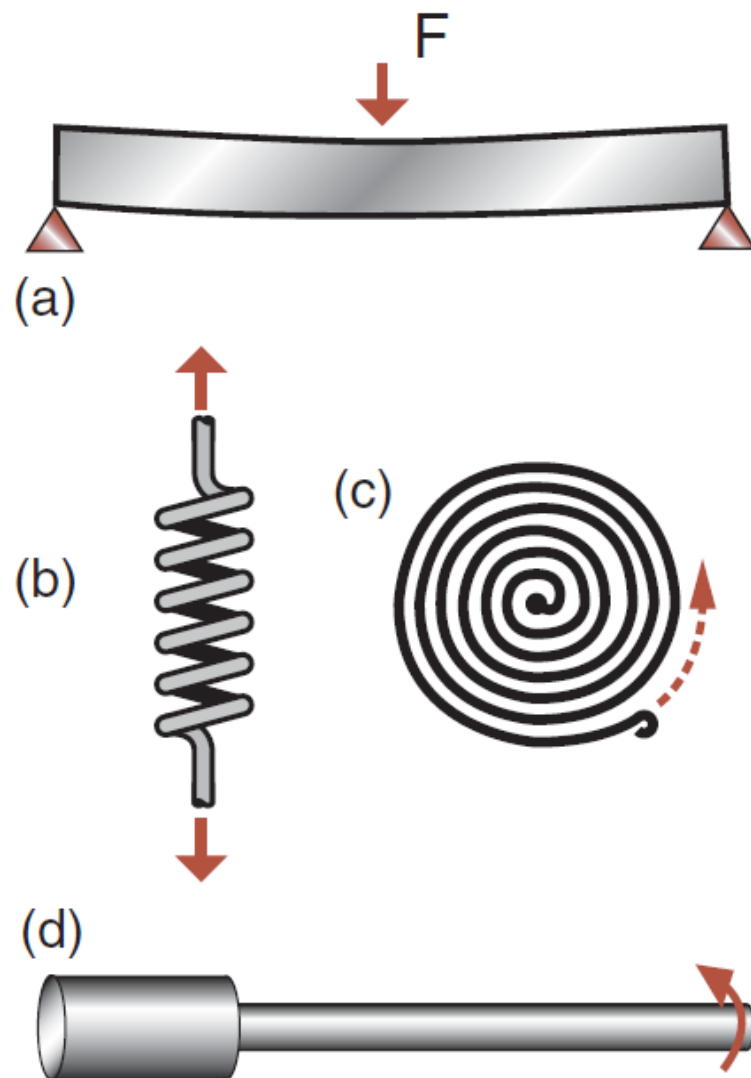
- A rugók feladata az energiátárolás (és visszaadás a kellő pillanatban...)
- A leggyakrabban típusok a
 - hajlított rugók (a, c)
 - és a csavart rugók (b, d)
- Rengeteg alkalmazási terület
 - órák,
 - lengéscsillapítók,
 - lengőajtók
 - stb.



- Mechanikai szempontból általában hajlított vagy csavart rúd
- A tárolt energia σ terhelés hatására E modulusú anyagban

$$W_v = \frac{1}{2} \frac{\sigma^2}{E}$$
- Ez növelhetjük a tönkremeneteli feszültségig (σ_f)

$$W_v = \frac{1}{2} \frac{\sigma_f^2}{E}$$
- Geometriától változhat (1/2)



Funkció

- Rugó – reverzibilis energiatárolás

Megkötések

- Nem folyhat meg ($\sigma < \sigma_f$)

Rangsorolás

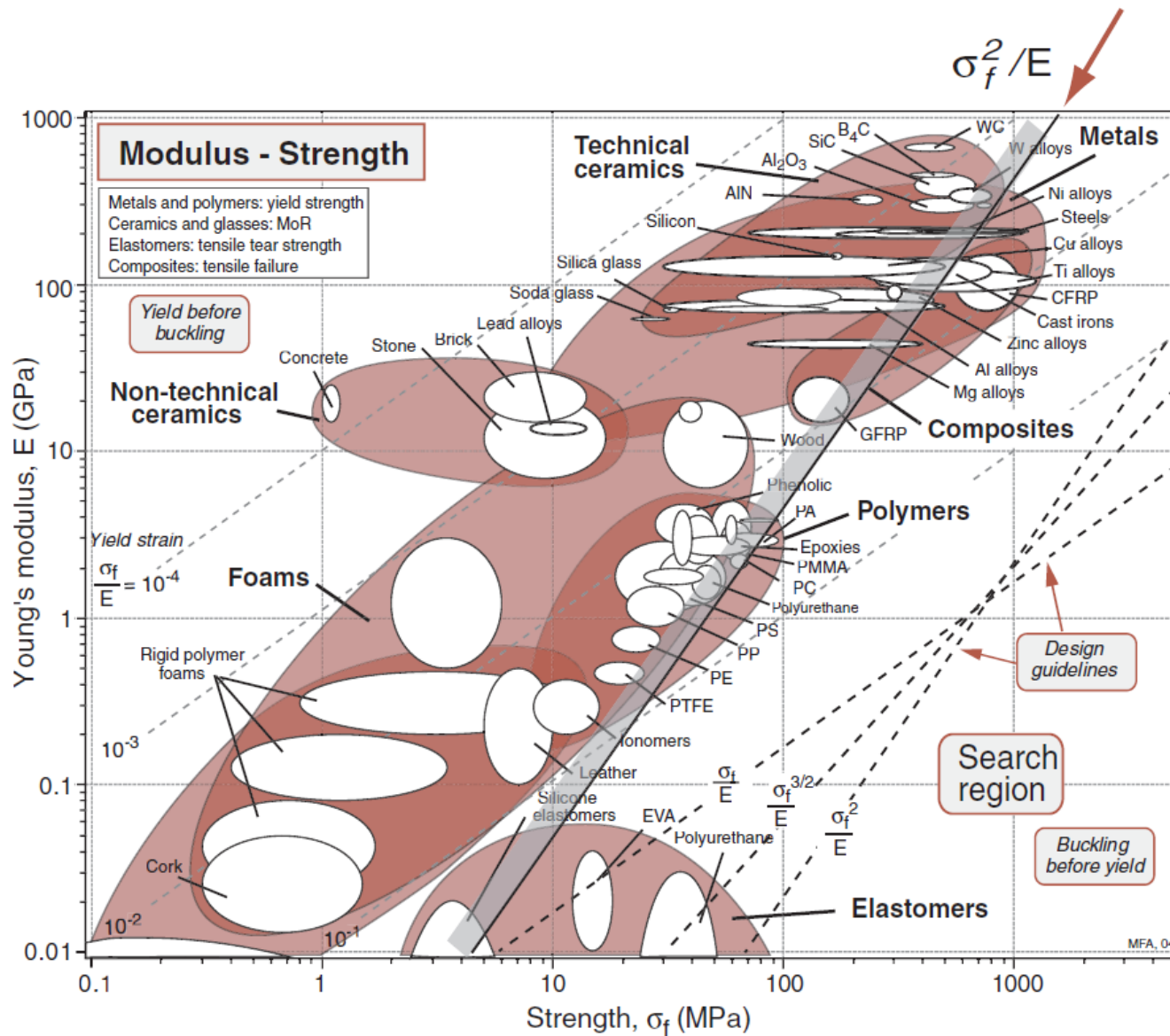
- Maximális térfogategységben tárolt energia
- Maximális tömegegységben tárolt energia

$$M_1 = \frac{\sigma_f^2}{E}$$

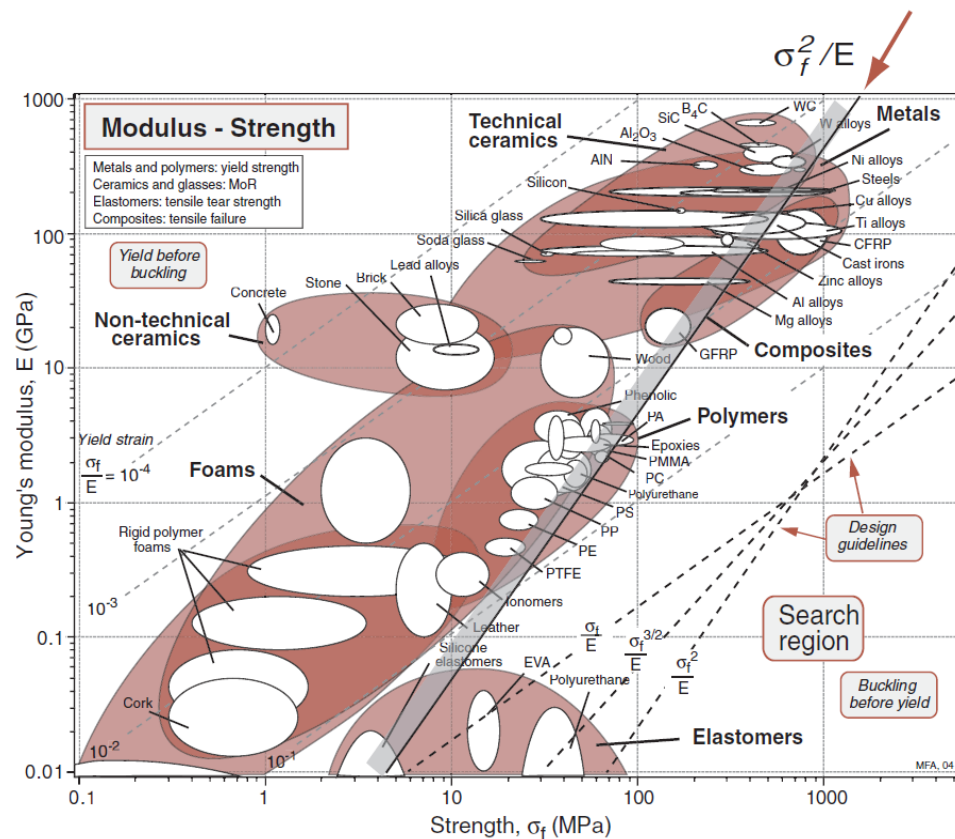
$$M_2 = \frac{\sigma_f^2}{\rho E}$$

Szabad változó

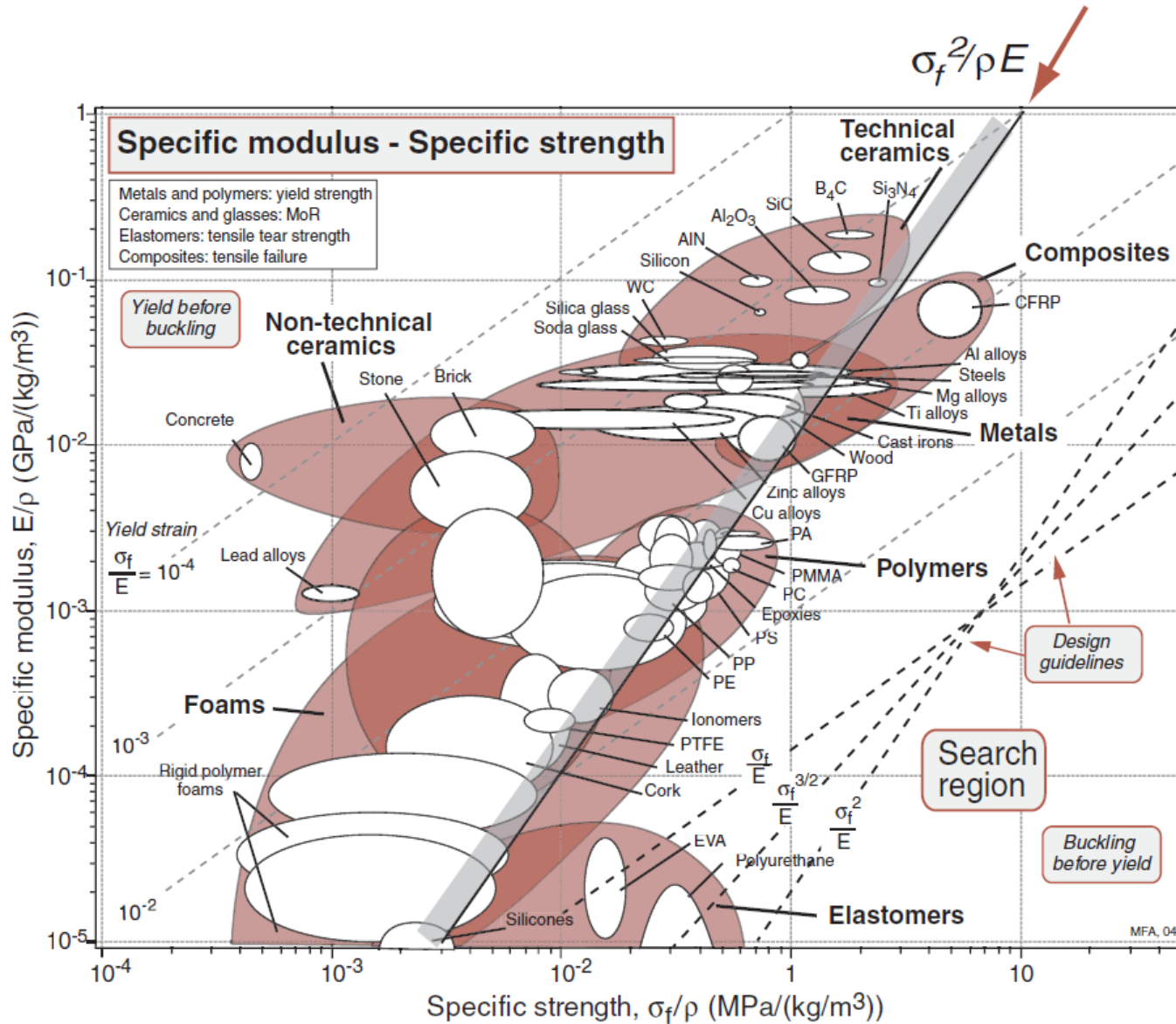
- Anyag



- Titán ötvözetek, $M_1=4-12$
 - Drága, korrózióálló
- CFRP, $M_1=6-10$
 - Drága, acéllal összevethető
- Rugóacél, $M_1=3-7$
 - Tradicionális, könnyen alakítható, hőkezelhető
- Nylon, $M_1=1,5-2,5$
 - Olcsó, könnyen alakra hozható, nagy veszteségi tényező



- Gumi, $M_1=20-50$
 - Acélnál jobb, nagy veszteségi tényező



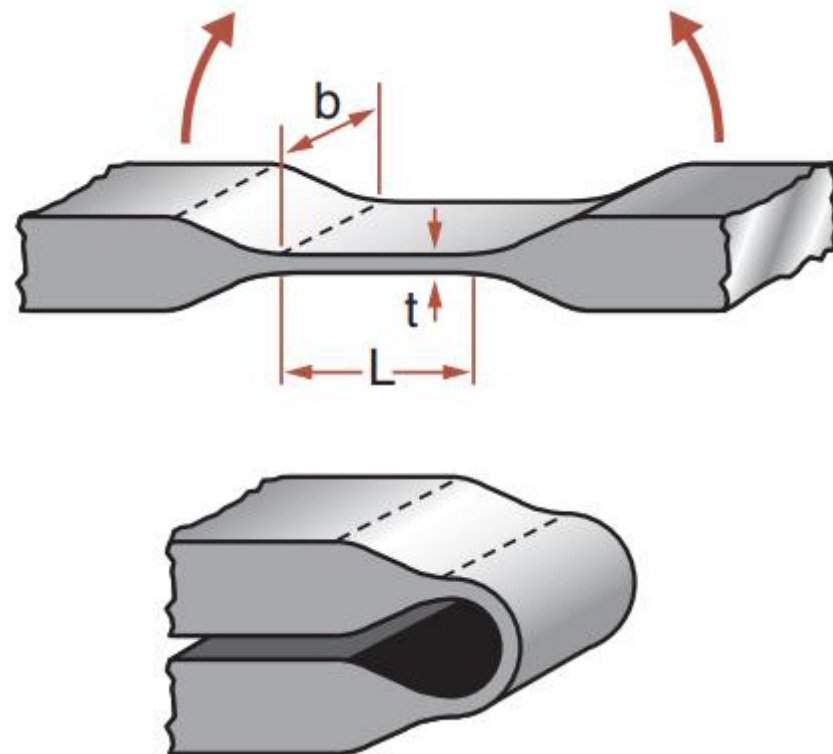
Rugalmas csukló

- Rugalmas csuklók a természetben számos helyen előfordulnak
 - Bőr, izom, porcok
- Közös bennük, hogy nagy rugalmas (reverzibilis) alakváltozást engednek meg
- Nagy relatív elmozdulás rugalmas alakváltozás segítségével
- Ismételt igénybevétel (például műanyag flakonok teteje)

- Mechanikai szempontból vékony (t) hajlított lemez
- El kell viselje a hajlítást rugalmas állapotban
- Kritikus a hajlítás sugár (legyen kicsi)
- Alakváltozás
- Feszültség – határ a folyás

$$\varepsilon = \frac{t}{2R}$$

$$\sigma = E \frac{t}{2R}$$



Funkció

- Rugalmas csukló – rugalmas alakváltozás

$$\varepsilon = \frac{t}{2R}$$

Megkötések

- Ne legyen képlékeny alakváltozás ($\sigma < \sigma_f$)

$$\sigma = E \frac{t}{2R}$$

Rangsorolás

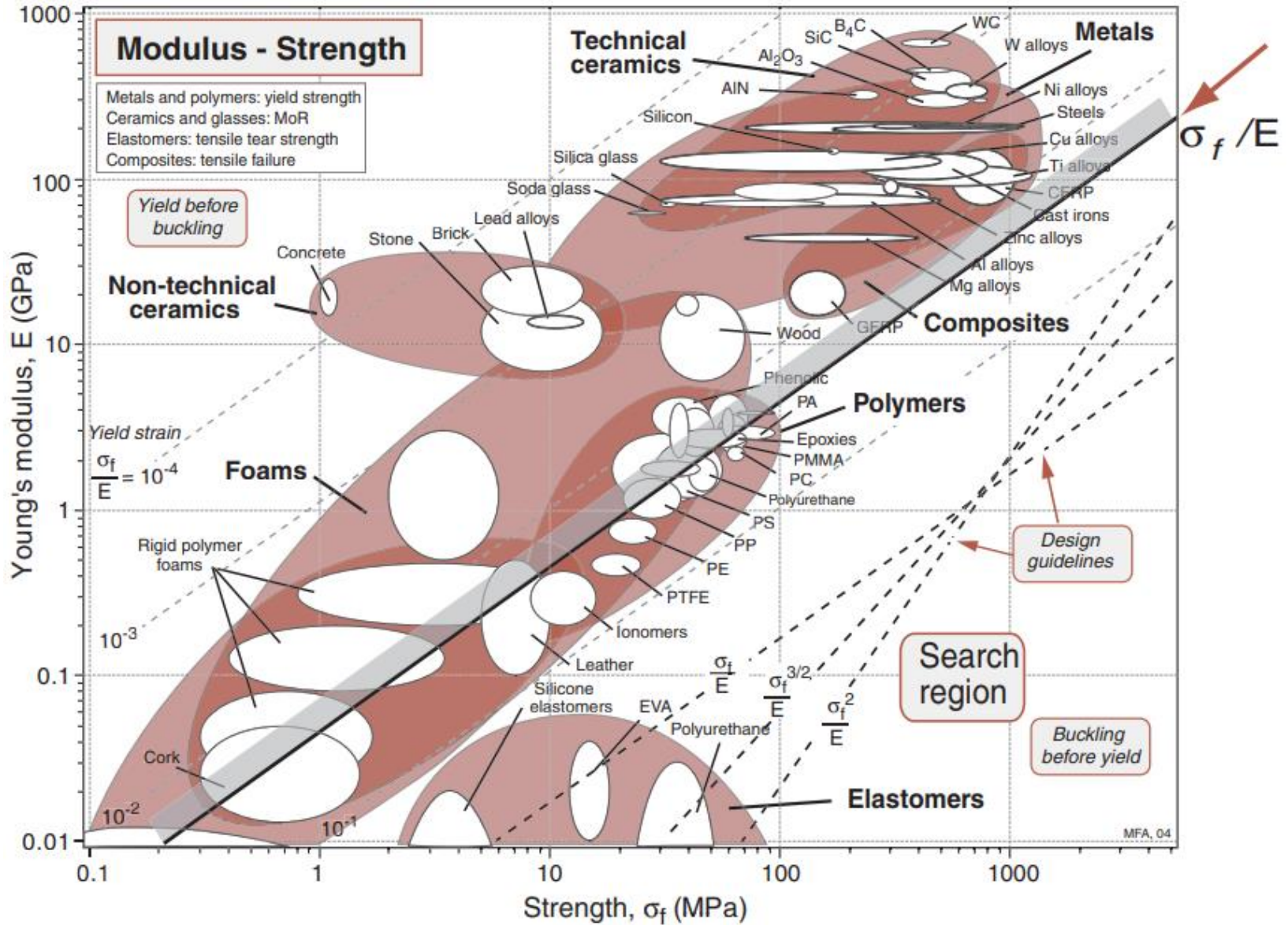
- Hajlíthatóság alapján

$$R \geq \frac{1}{2} \left[\frac{E}{\sigma_f} \right]$$

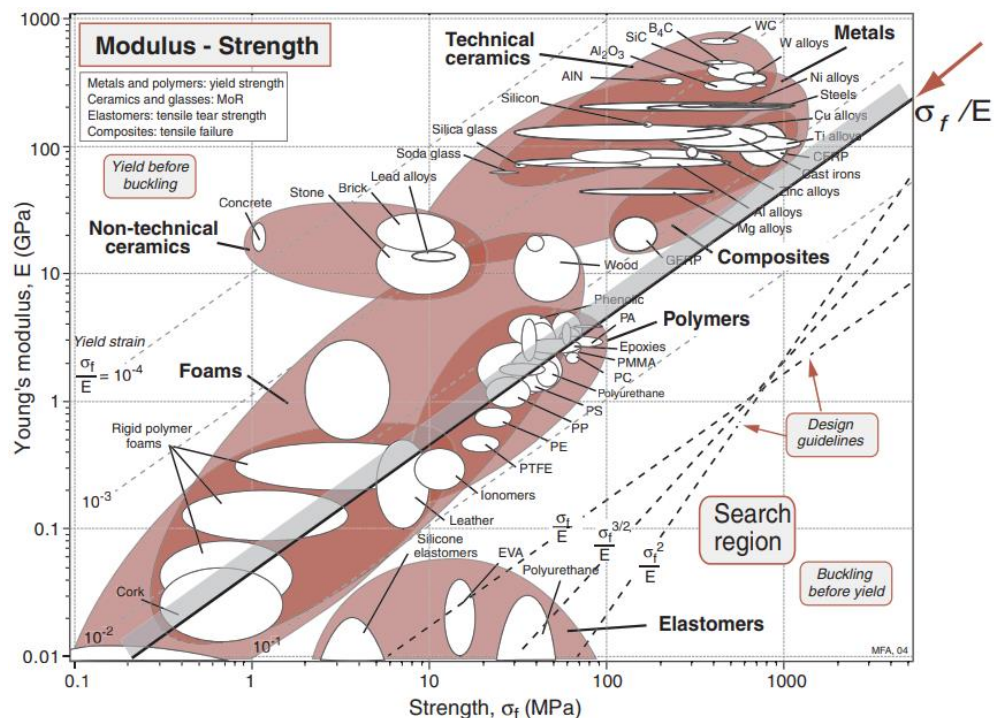
Szabad változó

- Anyag

$$M = \frac{\sigma_f}{E}$$



- Az előírt anyagindexszel párhuzamos tolása minél távolabb
- A legjobb a legnagyobb σ_f/E hányados
- Polimerek
 - Polietilén (PE)
 - Polipropilén (PP)
 - Nylon (PA)
 - Teflon (PTFE)
 - Elasztomerek
- Jól alakítható, egyszerűsít



- Más lehetőség
 - Nagy szilárdságú rézötvezetek
 - Rugóacélok

- Polietilén (PE), $M=32$
 - Széleskörű alkalmazás, fedelek, tetők
- Polipropilén (PP), $M=30$
 - A PE-nél merevebb, jól fröccsönthető
- Nylon (PA), $M=30$
 - A PE-nél merevebb, jól fröccsönthető
- Teflon (PTFE), $M=35$
 - Nagyon tartós, drágább, mint PE, PP, ...
- Elasztomerek, $M=100-1000$
 - Kiemelkedőek, de nagyon kis modulusz
- Nagyszilárdságú rézötvözetek, $M=4$
 - Az anyagindex gyengébb, nagy húzó merevség esetén
- Rugóacélok, $M=6$

Dr. Orbulov Imre Norbert – orbulov@eik.bme.hu

Köszönöm a figyelmet!