

MéRNÖKI anyagok alkalmazástechnikája

Esettanulmányok 1.

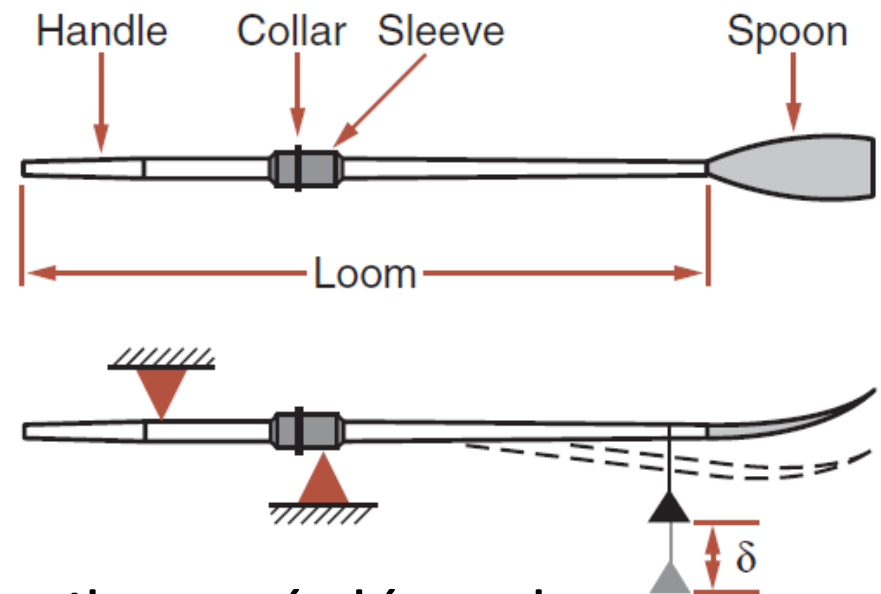
Dr. Orbulov Imre Norbert
orbulov.imre.norbert@gpk.bme.hu
MS Teams: orbulovi@edu.bme.hu

- Esettanulmányokról, amelyekkel az anyagválasztás stratégiáját gyakoroljuk
- Evező
- Óriásteleszkóp tükör
- Asztalláb

Evező

- Az evezős csónak feltalálását az egyiptomiaknak tulajdonítják (i.e. 3300-3000).
- A gőzgépek feltalálása előtt a csónakok irányítása történhetet
 - Vitorlával,
 - Rúddal lökve (velencei gondola),
 - Evezőkkel (jobb irányíthatóság → csatatéri előny).
- Az 1700-as évek elején kezdett sporttá válni (Temze)
- Igazi lökést az evezők fejlesztése 1900-ban kapott, amikor az evezés olimpiai szám lett.

- Mechanikai szempontból hajlított rúd.
- El kell viselje a hajlítást.
- Nem görbülhet el (még rugalmasan se nagyon).
- Könnyűnek kell lennie.
- Merevségre méretezik.
 - 10 kg terhelés 2.05 m-re a csatlakozási ponttól.
 - Lágy (50 mm) és kemény (30 mm) evező.



- Ilyet már láttunk...

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

- Emellett nem lehet rideg

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

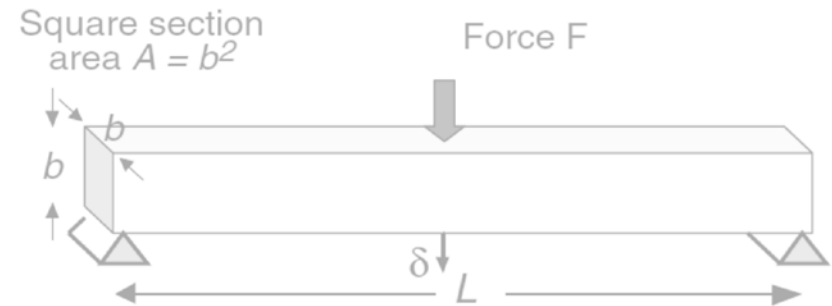
- F erő hatására a lehajlás nem lehet nagyobb, mint δ

- 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

- Evező = könnyű, merev hajlított rúd

Megkötések

- A hossz (L) adott
- A hajlítómerevség (S) adott
- Törési szívósság (K_{IC}) minimum adott ($>20 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$)

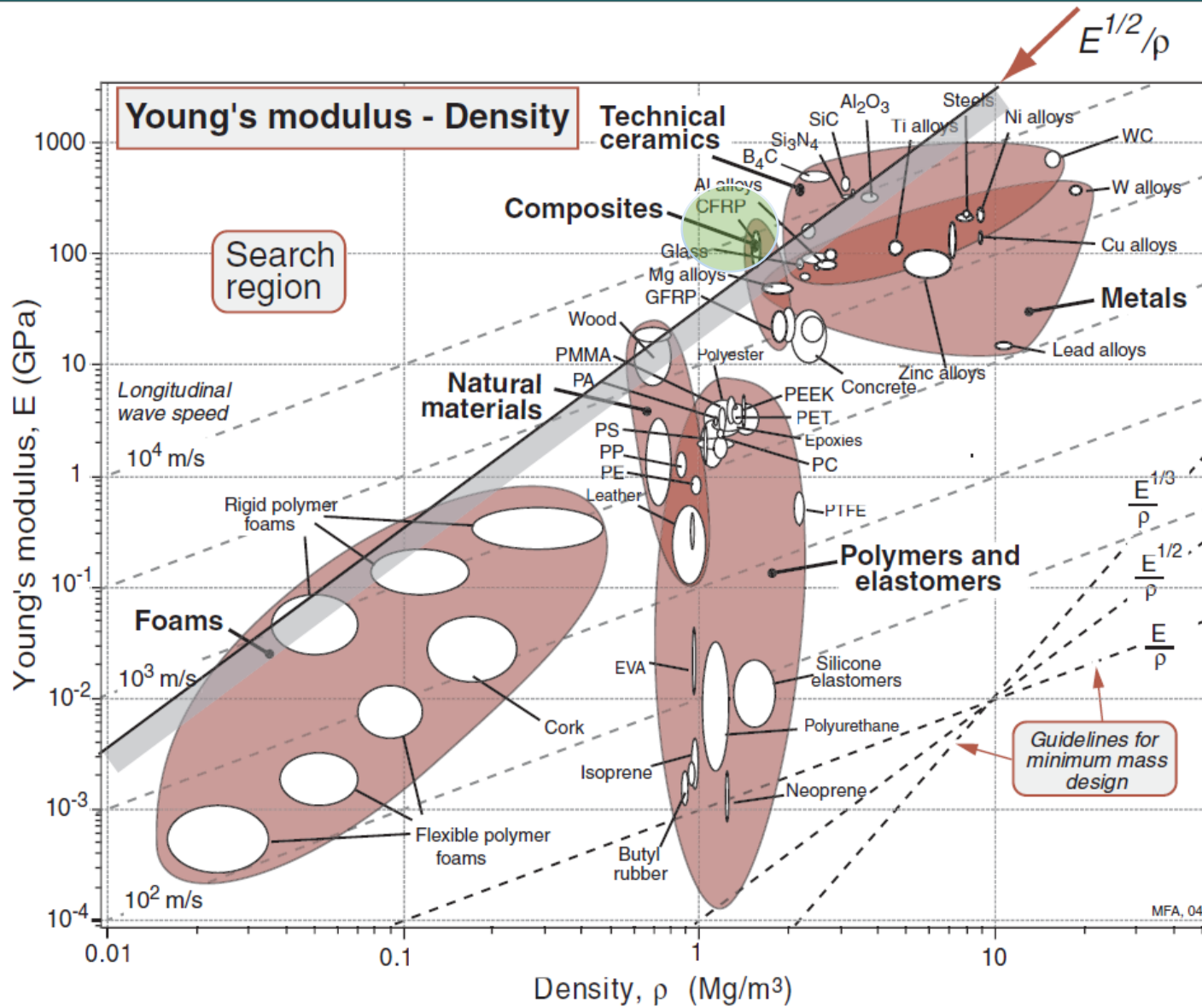
Rangsorolás

- Tömeg (minimum) alapján

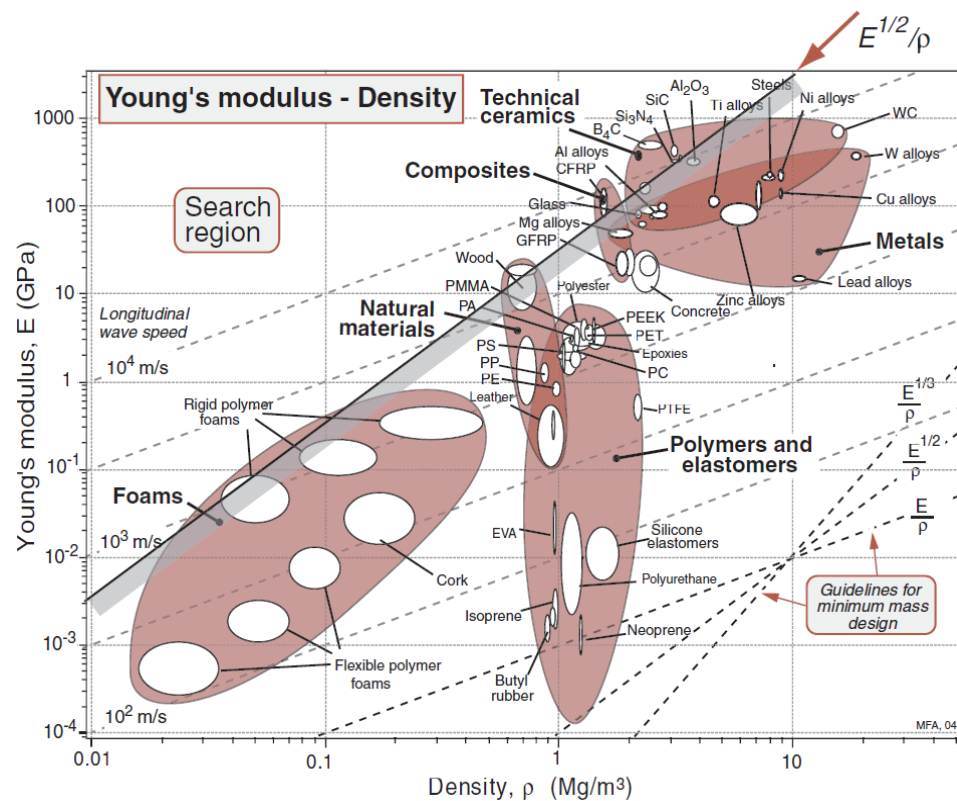
Szabad változó

- Az evező átmérője
- Anyag

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



- Az előírt anyagindexszel párhuzamos tolása minél távolabb
- Reális anyagválasztási lehetőségek:
 - Fa
 - CFRP
 - ~~Technikai kerámiák~~
- Marad a fa és a még jobb CFRP (ahogyan van is...)
 - Fa: 4-4,5 kg, laminált
 - CFRP: ~3,9 kg, tervezett E



- Más lehetőség
 - vékony falú cső, könnyű merevítőanyaggal???

Óriásteleszkóp tükör

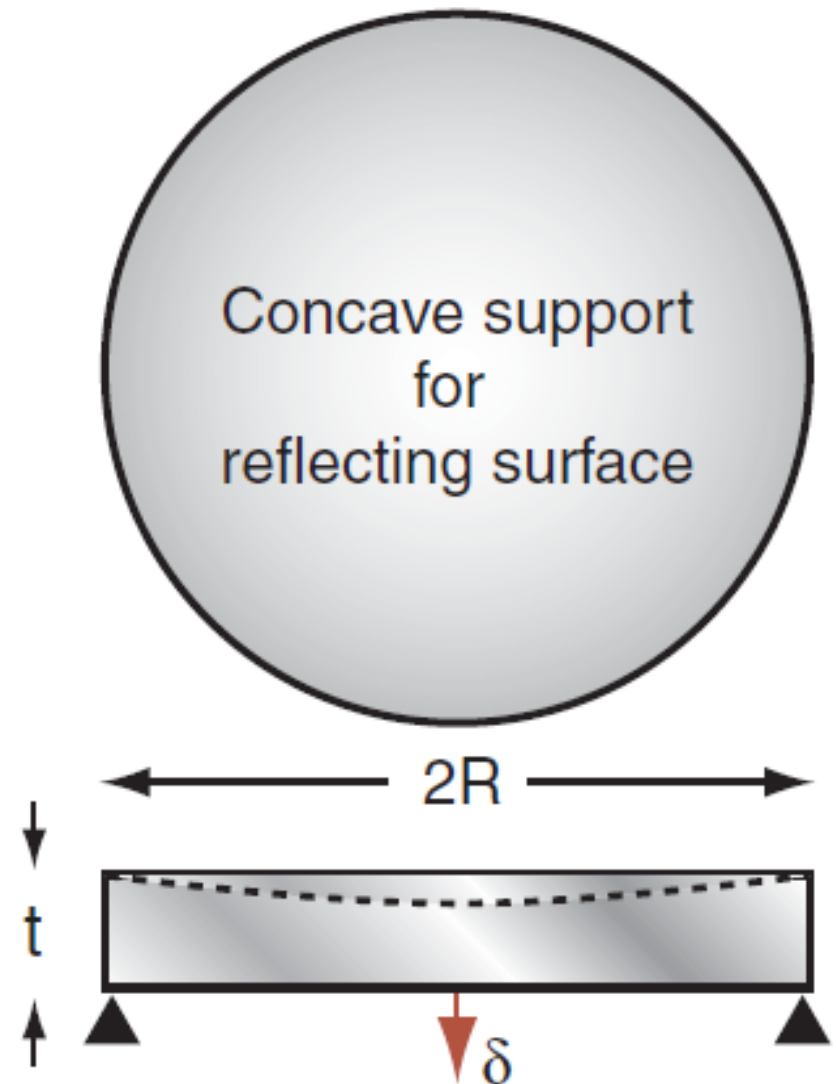
- Van néhány igazán nagy optikai teleszkóp egy darabból készült, merev tükörrel
 - Oroszország, Kaukázus: 6 m átmérőjű főtükör, vastagság 1 m, 70 tonna...
- A tükör a teljes költség $\sim 5\%$ -a.
- A maradék költség a tükröt tartó és mozgató berendezés és a kiszolgáló egységek
- A 20. század fordulója előtt a tükrök tükörbronzból ($2/3$ Cu + $1/3$ Sn), $\rho \sim 8 \text{ gcm}^{-3}$
- Később üveg alapon ezüst réteg (100 nm), $\rho \sim 2,3 \text{ gcm}^{-3}$

- Mechanikai szempontból a kerülete mentén megtámasztott korong
- A saját súlya alatt lehajlik
 - $\delta < \text{fény hullámhossza}$

$$\delta = \frac{3}{4\pi} \frac{mgR^2}{Et^3}$$

- Mérettartósság (nem kúszik)
- Kis hőtagulás
- Legyen könnyű

$$m = \pi R^2 t \rho$$



Funkció

- Precíziós tükör

Megkötések

- A sugár (R) adott
- Saját súlyánál fogva nem hajolhat jobban le, mint δ ($10 \mu\text{m}$)
- Nem kúszhat ($T_m > 500^\circ\text{C}$), kis hőtágulás ($20 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$)
- Nem lehet vízfelvétel

Rangsorolás

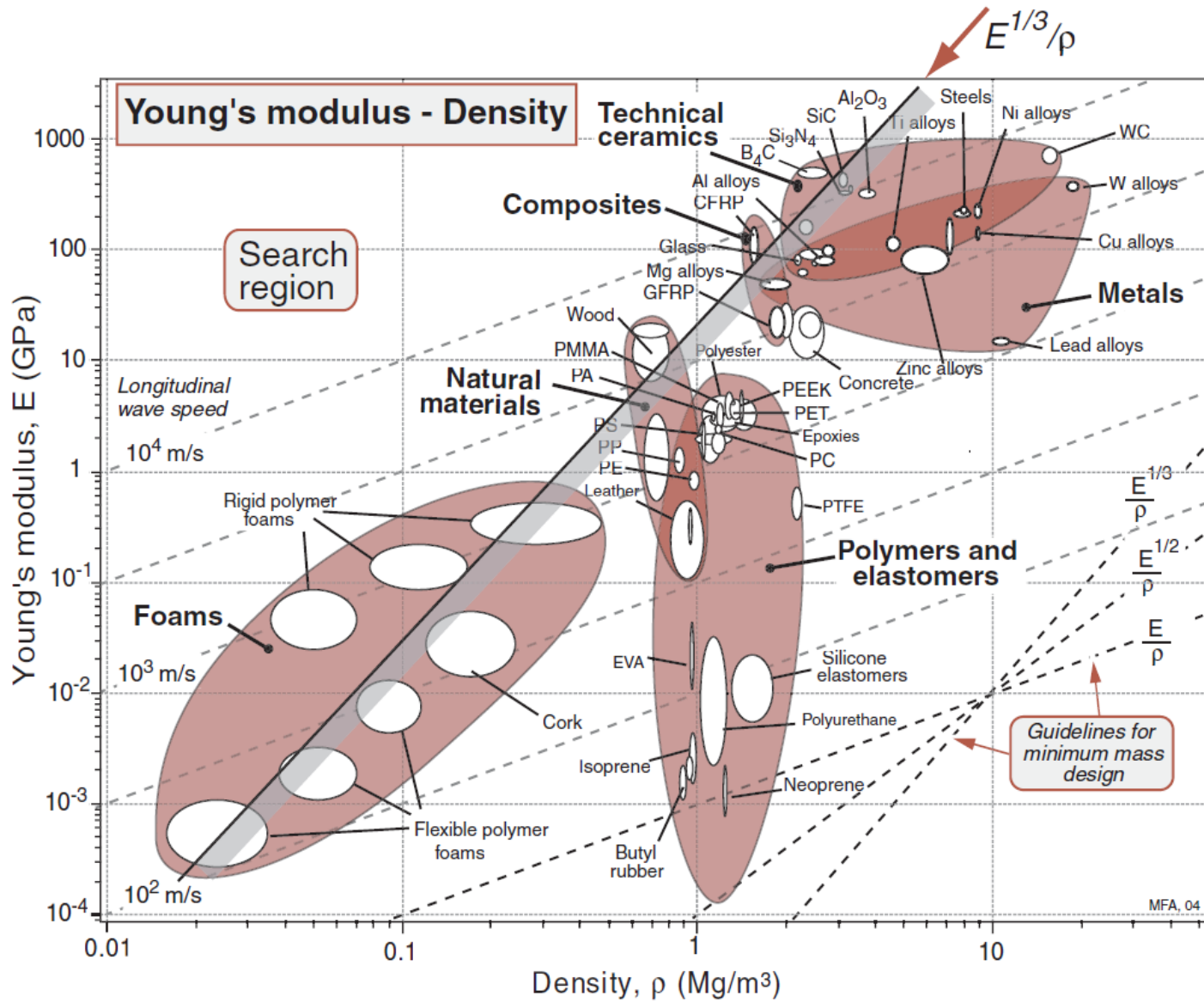
- Tömeg (minimum) alapján

$$m = \left(\frac{3g}{4\delta}\right)^{1/2} \pi R^4 \left[\frac{\rho}{E^{1/3}}\right]^{3/2}$$

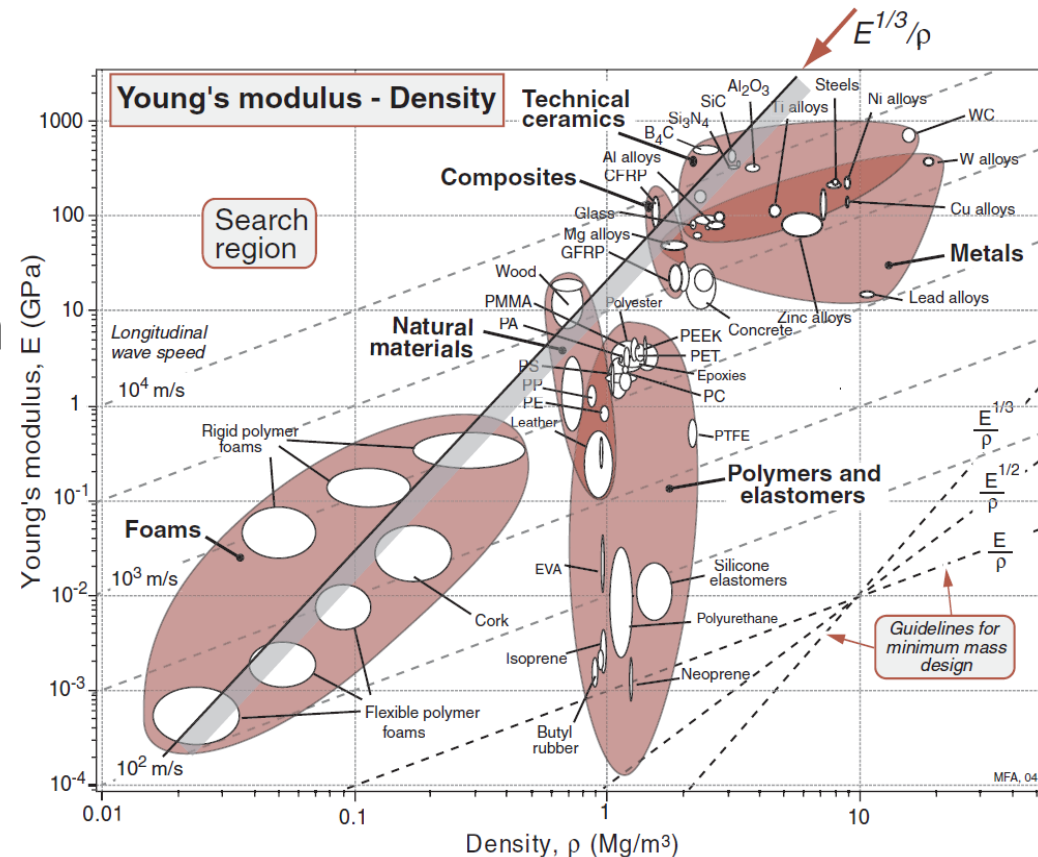
Szabad változó

- A tükör vastagsága
- Anyag

$$M = \frac{E^{1/3}}{\rho}$$



- Az üvegek jobbák az acéloknál és a tükörbronznál
- Az üvegek rosszabbak a Mg ötvözeteknél
- Az Al ötvözetek is jók lehetnek
- A CFRP-k és GFRP-k is a környéken vannak
- A merev polimerhabok is nagyon jók



- Más lehetőség
 - Aktív szabályozás
 - Folyékony fémek

- Acél (és tükörbronz), $M=0,74$; $m=73,6$ t
 - Nagyon nehéz, eredeti változat
- GFRP, $M=1,5$, $m=25,5$ t
 - Nem elég mérettartó, rádióteleszkóp...
- Al ötvözetek, $M=1,6$, $m=23,1$ t
 - az üvegnél nehezebb, nagy hőtágulás
- Üveg, $M=1,7$; $m=21,6$ t
 - Jelenlegi választás
- Mg ötvözetek, $M=1,9$, $m=17,9$ t
 - az üvegnél könnyebb, nagy hőtágulás
- CFRP, $M=3,0$; $m=9$ t
 - Nagyon könnyű, nem elég mérettartó, rádióteleszkóp...
- Habosított polisztirol, $M=4,5$, $m=5$ t
 - Nagyon könnyű, nem elég mérettartó... habosított üveg???

M



Asztalláb

- Nagyon régi alkalmazás
- Számos stílusnak megfelelő „újrarendelés”
- Modern, minimalista stílus: a lehető legvékonyabb lábak edzett üveg asztallappal (Luigi Tavolino)
 - A lábaknak tömörnek kell lenniük (hogy minél vékonyabbak lehessenek)
 - A lábaknak könnyűeknek kell lenniük.

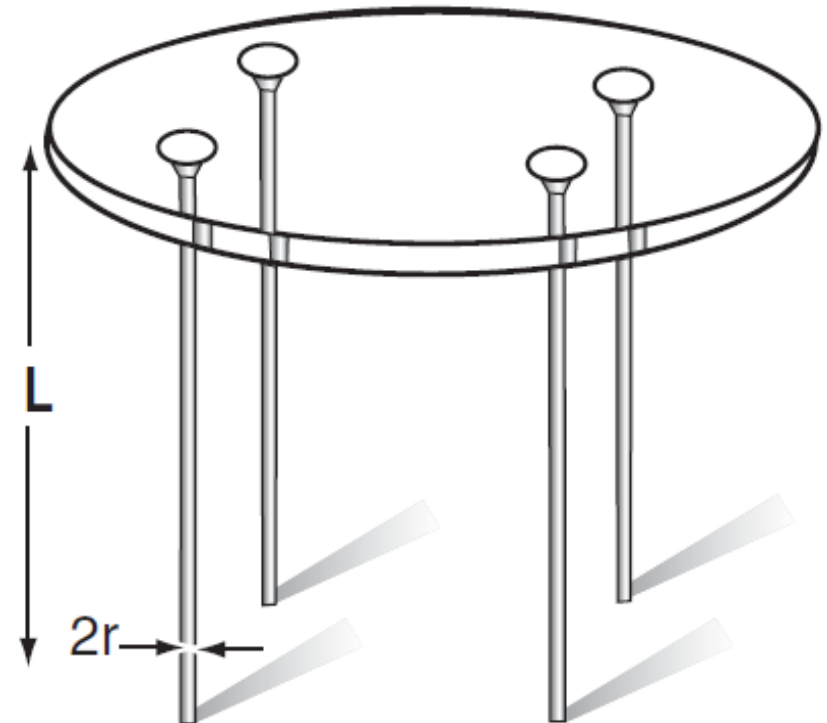
- Mechanikai szempontból nyomott rúd

- Legyen könnyű

$$m = \pi r^2 L \rho$$

- Nem hajolhat ki

$$F_{\text{crit}} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} = \frac{\pi^3 E r^4}{4 L^2}$$



Funkció

- Asztalláb, nyomott rúd

Megkötések

- A hossz (L) adott
- Ne hajolhat ki
- Nem törhet el

Rangsorolás

- Tömeg (minimum) alapján
- Karcsúság alapján

Szabad változó

- A láb sugara
- Anyag

$$m = \pi r^2 L \rho \quad F_{\text{crit}} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} = \frac{\pi^3 E r^4}{4L^2}$$

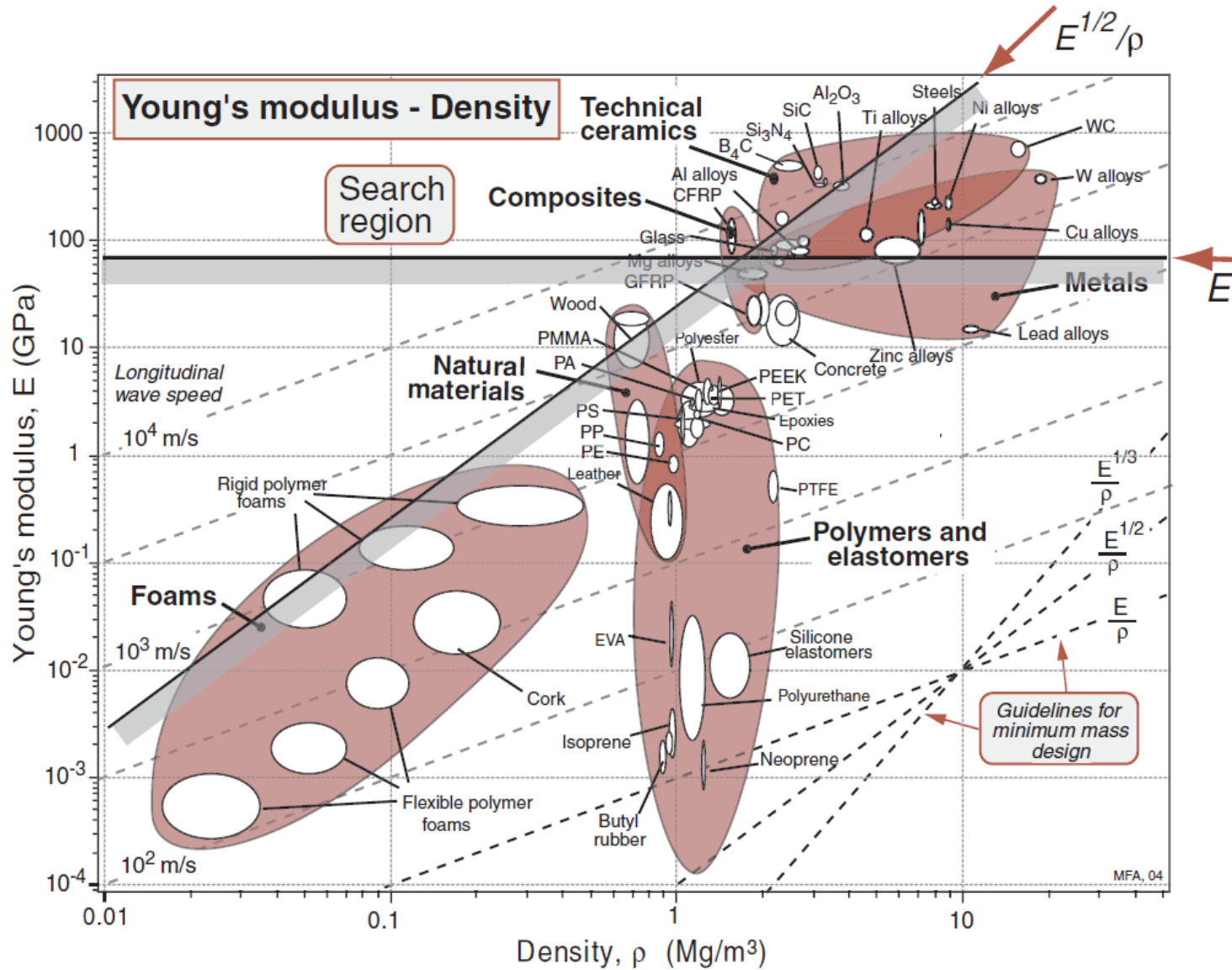
$$m \geq \left(\frac{4F}{\pi}\right)^{1/2} (L)^2 \left[\frac{\rho}{E^{1/2}}\right]$$

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

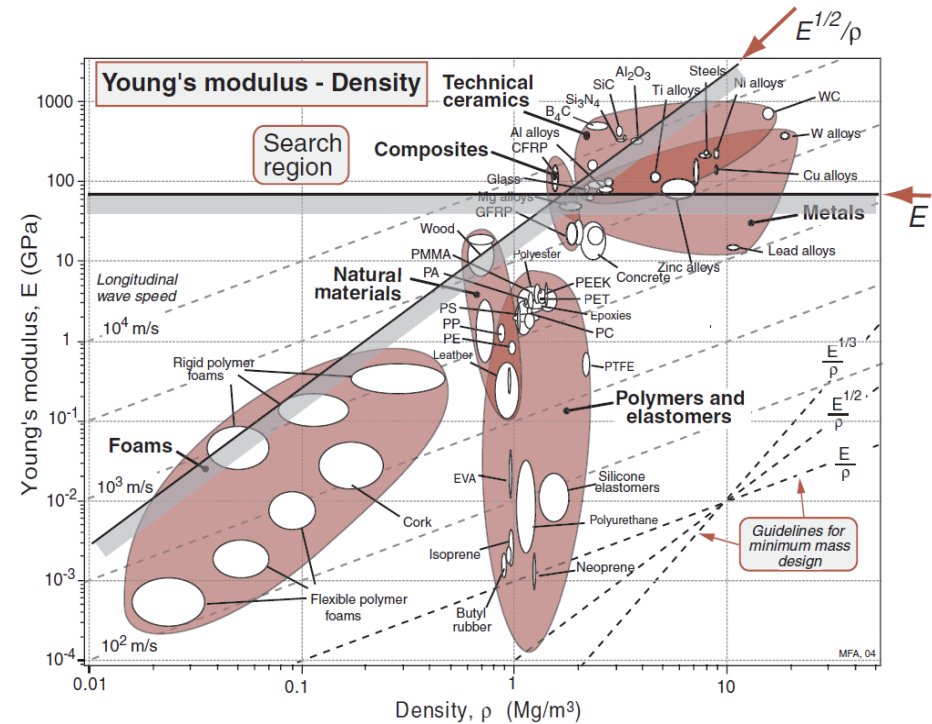
$$F_{\text{crit}} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} = \frac{\pi^3 E r^4}{4L^2}$$

$$r \geq \left(\frac{4F}{\pi^3}\right)^{1/4} (L)^{1/2} \left[\frac{1}{E}\right]^{1/4}$$

$$M_2 = E$$



- $M_1 = 5 \text{ GPa}^{1/2} / (\text{Mg}/\text{m}^3)$
 - Fa, kompozitok, technikai kerámiák
 - A polimerek nem elég merevek
 - A fémek túl nehezek (Mg is)
- $M_2 = 100 \text{ GPa}$
 - Kiesik a fa és a GFRP
 - Marad a CFRP és a kerámiák
- Rugdosás, ütés
 - Szívósság, CFRP, ár...?



- Más lehetőség
 - Csőláb...? Könnyű, de vaskos...

- GFRP
 - $M_1=2,5 \text{ GPa}^{1/2}/(\text{Mg}/\text{m}^3)$, $M_2=20 \text{ GPa}$
 - CFRP-nél olcsóbb, de kisebb M_1 és M_2
- Fa
 - $M_1=4,5 \text{ GPa}^{1/2}/(\text{Mg}/\text{m}^3)$, $M_2=10 \text{ GPa}$
 - Jó M_1 , gyenge M_2 , olcsó, tradicionális, megbízható
- Kerámiák
 - $M_1=6,3 \text{ GPa}^{1/2}/(\text{Mg}/\text{m}^3)$, $M_2=300 \text{ GPa}$
 - Kiemelkedő M_1 és M_2 , szívósság miatt esik ki
- CFRP
 - $M_1=6,6 \text{ GPa}^{1/2}/(\text{Mg}/\text{m}^3)$, $M_2=100 \text{ GPa}$
 - Kiemelkedő M_1 és M_2 , de drága

Dr. Orbulov Imre Norbert – orbulov.mre.norbert@gpk.bme.hu

Köszönöm a figyelmet!