Méretezés többtengelyű feszültségi állapot esetén

Feszültségelméletek

↳ Egytengelyű terhelés esetén (húzás/hajlítás)

↳ egyértelmű: $\sigma \leq \sigma_{meg}$ → ellenőrzés → méretezés

↙ anyagjellemző (folyáshatár)

↳ Mi a helyzet akkor, ha az adott P pontban a $\underline{\underline{\sigma}}_{(x, y, z)}$ tenzorral tudjuk csak leírni a fesz. állapotot?

↳ feszültségelméletek:

Mohr: $\sigma_e^{Mohr} = \sigma_1 - \sigma_3$ (a két legnagyobb főfesz. különbsége)

Huber-Mises-Hencky $\sigma_e^{HMH} = \sqrt{\frac{3}{2} \underline{\underline{\sigma}}_d : \underline{\underline{\sigma}}_d}$

Egyszerűsítések: 1 db σ és 1 db τ esetén

pl (hajlítás - csavarás)

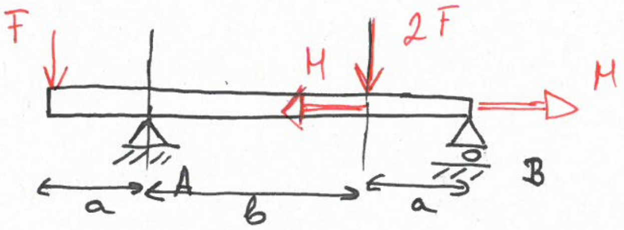
$$\sigma_e^{Mohr} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}$$

$$\sigma_e^{HMH} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

$$\boxed{\sigma_e^{Mohr} \geq \sigma_e^{HMH}}$$

1. Feladat

Mekkora az egyenértékű feszültség a vázolt állandó körkeresztmetszetű tartóban a Mohr-elmélet szerint? (A nyírásból származó feszültség elhanyagolható).



Adatok:

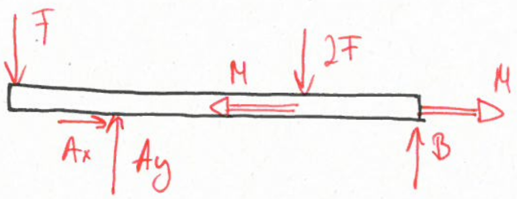
$a = 0{,}4\ m$ $d = 0{,}041\ m = \underline{\underline{41\ mm}}$

$b = 0{,}6\ m$

$F = 1\ kN$

$M = 200\ Nm$

① Reakciók meghatározása



$\sum F_x = 0:\ \boxed{A_x = 0}$

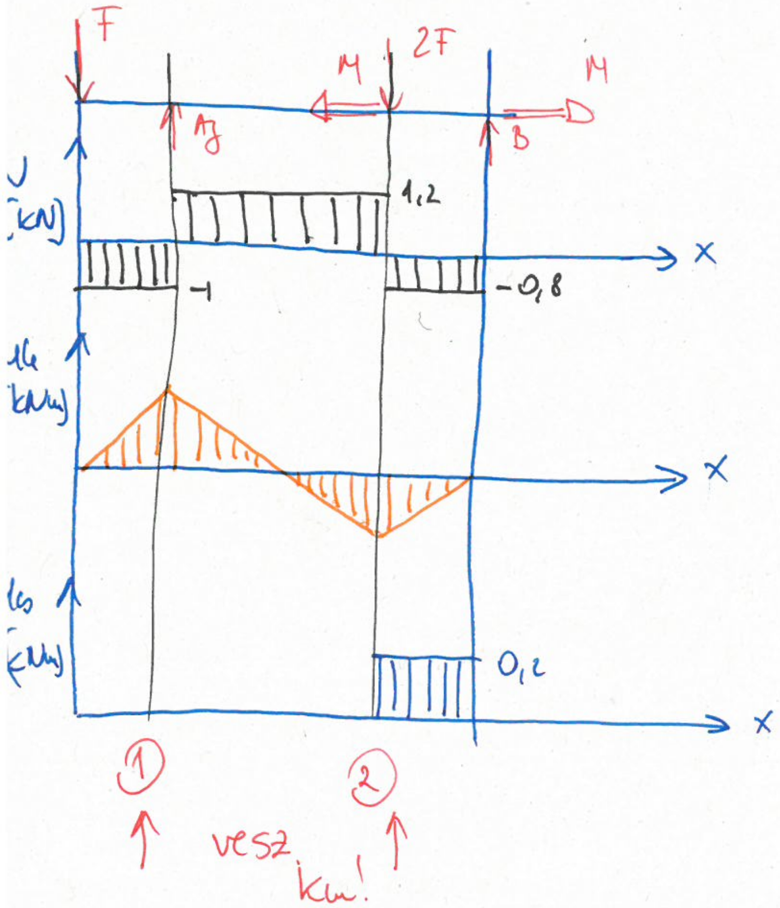
$\sum F_y = 0:\ A_y + B - 2F - F = 0$

$\sum M_A = 0:\ F a - 2Fb + (a+b) B = 0$

$\hookrightarrow B = \dfrac{2Fb - Fa}{(a+b)} = \underline{\underline{800 N}}$

$\hookrightarrow A_y = 3F - B = \underline{\underline{2200 N}}$

② Igénybevételi ábrák



Igénybevételi függvények

	$0<x<a$	$a<x<a+b$	$a+b<x<2a+b$
V	$-F$	$A_y - F$	$-B$
Mh	Fx	$Fx - A_y(x-a)$	$-B(2a+b-x)$
Mc	0	0	M

$Mh(a) = F \cdot a = 0{,}4\ kNm$

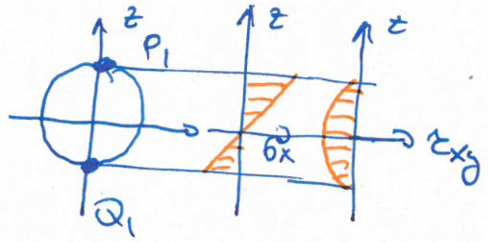
$Mh(a+b) = F(a+b) - A_y \cdot b = 0{,}32\ kNm$

① es veszélyes pont:

$$x = a;\quad V_{max} = 1{,}2\,kN,\quad M_h = 0{,}4\,kNm,\quad M_{cs} = 0 \;\Bigg\}\qquad I_y = \frac{d^4\pi}{64} = 138\,709\ mm^4,\quad I_p = \frac{d^4\pi}{32} = 277\,418\ mm^4$$

$$\sigma_x = \frac{M_h}{I_y}\cdot z$$

$$\tau_{xy} = -\frac{V}{I_y}\frac{S_y(z)}{a(z)} = \dots \text{ bonyolult}$$



$$\sigma_{x_{P,Q}} = \frac{M_h}{I_y}\cdot\frac{d}{2} = \underline{\underline{59{,}1165\ MPa}}$$

$$\underline{\underline{\sigma}}_{(x,y,z)} = \begin{bmatrix} 59{,}1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} MPa$$

$$\left.\begin{matrix}\sigma_1 = 59{,}1\ MPa \\ \sigma_2 = \sigma_3 = 0\ MPa\end{matrix}\right\} \Rightarrow \sigma_e^{Mohr} = \sigma_1 - \sigma_3 = \underline{\underline{59{,}1\ MPa}}$$

$$\underline{\underline{\sigma}}_d = \underline{\underline{\sigma}} - \underline{\underline{\sigma}}_g = \underline{\underline{\sigma}} - \frac{1}{3}\big(\underbrace{Tr(\underline{\underline{\sigma}})}_{\sigma_I = 59{,}1}\,\underline{\underline{E}}\big) = \begin{bmatrix} 59{,}1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} - \frac{1}{3}\cdot 59{,}1\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{2}{3}\sigma_x & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{3}\sigma_x & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{3}\sigma_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 39{,}41 & 0 & 0 \\ 0 & -19{,}7 & 0 \\ 0 & 0 & -19{,}7 \end{bmatrix}$$

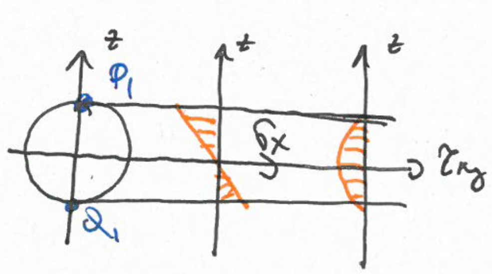
$$\sigma_e^{HMH} = \sqrt{\frac{3}{2}\underline{\underline{\sigma}}_d : \underline{\underline{\sigma}}_d} = \sqrt{\frac{3}{2}\sigma_x^2\Big(\underbrace{\frac{4}{9}+\frac{1}{9}+\frac{1}{9}}_{\frac{6}{9}=\frac{2}{3}}\Big)} = \sqrt{\sigma_x^2} = \boxed{\sigma_x} = \underline{\underline{59{,}1\ MPa}}$$

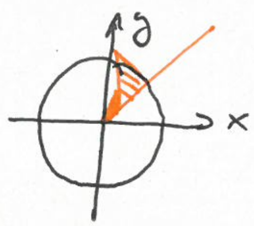
tiszta húzás/hajlítás esetén

$$\underline{\underline{\sigma_e^{HMH} = \sigma_e^{Mohr}}}$$

② es veszélyes pont

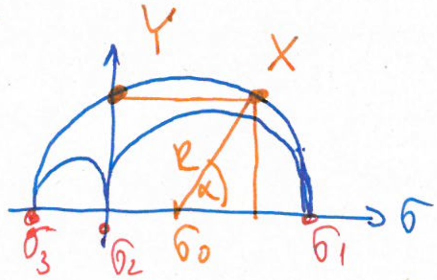
$$V = 1{,}2\,kN,\quad M_h = -0{,}32\,kNm,\quad M_{cs} = 0{,}2\,kNm \;\Bigg\}$$





$$\left.\begin{aligned} \sigma_{max} &= \frac{Mh}{I_y} \cdot \frac{d}{2} = 47{,}3\ MPa \\ \tau_{xt_{max}} &= \frac{Mt}{I_p} \cdot \frac{d}{2} = 14{,}77\ MPa \end{aligned}\right\} \underline{\underline{\sigma}}^{B}_{(x,y,t)} = \begin{bmatrix} 47{,}3 & 0 & 14{,}77 \\ 0 & 0 & 0 \\ 14{,}77 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

↓ Mohr → sajátértékek / Mohr kör



$$\sigma_0 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} = \underline{\underline{23{,}6\ MPa}}$$

$$R = \sqrt{(\sigma_x - \sigma_0)^2 + \tau_{xt}^2} = 27{,}88\ MPa$$

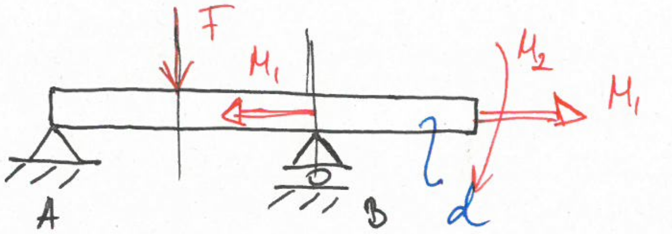
$$\sigma_1 = 51{,}53\ MPa$$
$$\sigma_2 = 0\ MPa$$
$$\underline{\underline{\sigma_3 = -4{,}23\ MPa}}$$

$$\sigma_e^{Mohr} = \sigma_1 - \sigma_3 = \underline{\underline{55{,}76\ MPa}}$$

$$\sigma_e^{Mohr} = \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau_{xt}^2} = \underline{\underline{55{,}76\ MPa}}$$

$$\sigma_e^{HMH} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xt}^2} = \underline{\underline{53{,}775\ MPa}}$$

2. Feladat Méretezzük a vázolt tartót!



$a = 0{,}5\,m$

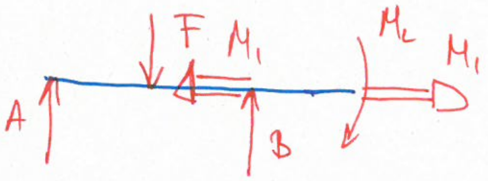
$F = 7\,kN$

$M_1 = 1{,}4\,kNm$

$M_2 = 0{,}5\,kNm$

$\sigma_{meg} = 140\,MPa$

① Reakciók



$\sum F_x = 0$ ✓

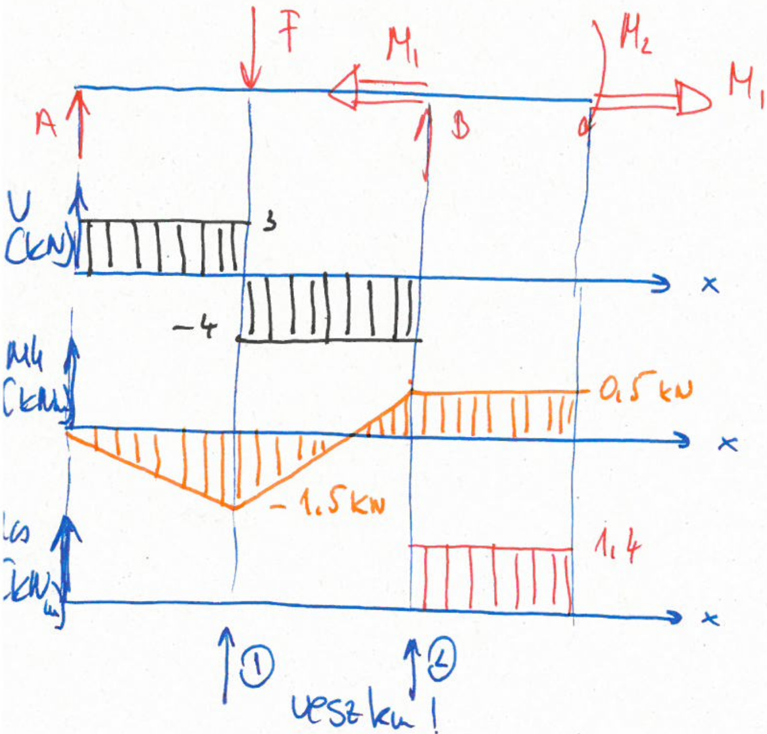
$\sum F_y = 0 \quad A + B - F = 0$

$\sum M_A = 0 \quad -Fa + B \cdot 2a - M_2 = 0$

$\Rightarrow B = \frac{M_2 + Fa}{2a} = \underline{\underline{4000\,N}}$

$\Rightarrow A = F - B = \underline{\underline{3000\,N}}$

② Igénybevételek



veszk!

	$0<x<a$	$a<x<2a$	$2a<x<3a$
V	A	$-B$	0
Mh	$-Ax$	$-Ax + F(x-a)$	M_2
Mcs	0	0	M_2

$M_h(a) = -1{,}5\,kN$

① cs km

$M_h = -1{,}5\,kNm \rightarrow \sigma_x = \frac{M_h}{I_y} z \Rightarrow \frac{M_h}{K_y} = \sigma_{max}$

$\sigma_{max} < \sigma_{meg}$

$$\frac{M_h}{\frac{d^3 \pi}{32}} \leq \sigma_{meg} \rightarrow d_{min} = \sqrt[3]{\frac{32\,M_h}{\pi\,\sigma_{meg}}} = 47{,}8\,mm$$

2) ks km

$M_h = 0{,}5\ kNm$
$M_{cs} = 1{,}4\ kNm$ }

veszt. km. a felső szál

$$\sigma_{x\,max} = \frac{M_h}{\frac{d^3\pi}{32}} \quad ; \quad \tau_{xt} = \frac{M_{cs}}{\frac{d^3\pi}{16}}$$

$$\sigma_e^{Mohr} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} = \sqrt{\left(\frac{M_h}{\frac{d^3\pi}{32}}\right)^2 + 4\left(\frac{M_{cs}}{\frac{d^3\pi}{16}}\right)^2} \leq \sigma_{meg}$$

$$\sigma_e^{HMH} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{\left(\frac{M_h}{\frac{d^3\pi}{32}}\right)^2 + 3\left(\frac{M_{cs}}{\frac{d^3\pi}{16}}\right)^2} \leq \sigma_{meg}$$

↳ Másik út

$$M_{red} = \sqrt{M_h^2 + C \cdot M_{cs}^2}$$

$C = 1$ Mohr
$C = 0{,}75$ HMH

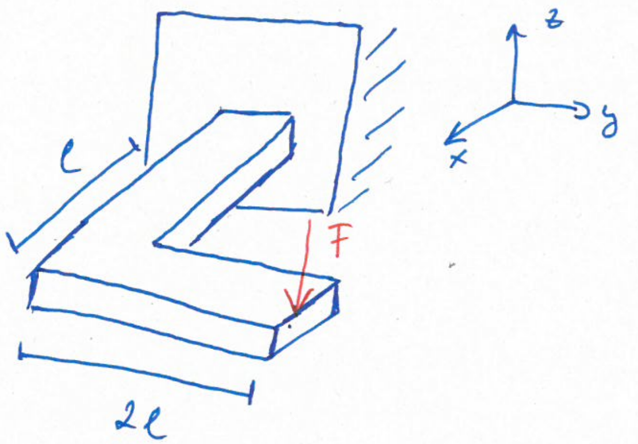
$$\sigma_{egy} = \frac{M_{red}}{K_z}$$

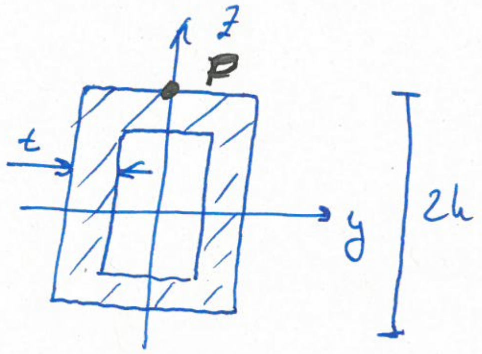
$$M_{red}^{Mohr} = \sqrt{M_h^2 + M_{cs}^2} = 1{,}48\ kNm \rightarrow d_{min} = \sqrt[3]{\frac{32 M_{red}^{M}}{\pi\, \sigma_{meg}}} = \underline{\underline{47{,}65\ mm}}$$

$$M_{red}^{HMH} = \sqrt{M_h^2 + 0{,}75 M_{cs}^2} = 1{,}31\ kNm \rightarrow d_{min} = \sqrt[3]{\frac{32 M_{red}^{HMH}}{\pi\, \sigma_{meg}}} = \underline{\underline{45{,}68\ mm}}$$

1) ks a veszélyesebb: $d = 47{,}8\ mm \approx \underline{\underline{48\ mm}}$

3. feladat Az ábrán vázolt tartót az egyik végén befogjuk, a másik végét $F = 10$ kN koncentrált erővel terheljük. A Mohr-elmélet szerint hányszoros biztonsággal felel meg a tartó.





Adatok:

$l = 0,5$ m
$h = 80$ mm
$t = 4$ mm
$F = 10$ kN
$\sigma_{meg} = 450$ MPa

$$\tau^P = \frac{M_{cs}}{2A_k \cdot v}$$ (Bredt-képlet)

A_k ↳ középfelület!

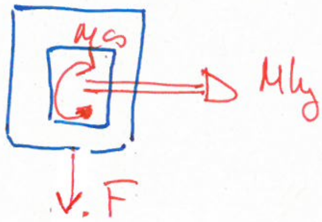
Igénybevételek a befogásnál

↳ veszt. km

$V = F = 10$ kN

$M_{cs} = -F \cdot 2l = -10$ kNm

$M_{hy} = Fl = 5$ kNm



Átredukálva a rúd végéről

$$\sigma_x^P = \frac{M_{hy}}{I_y} \cdot z_{max} = \underline{\underline{64,15 \text{ MPa}}}$$

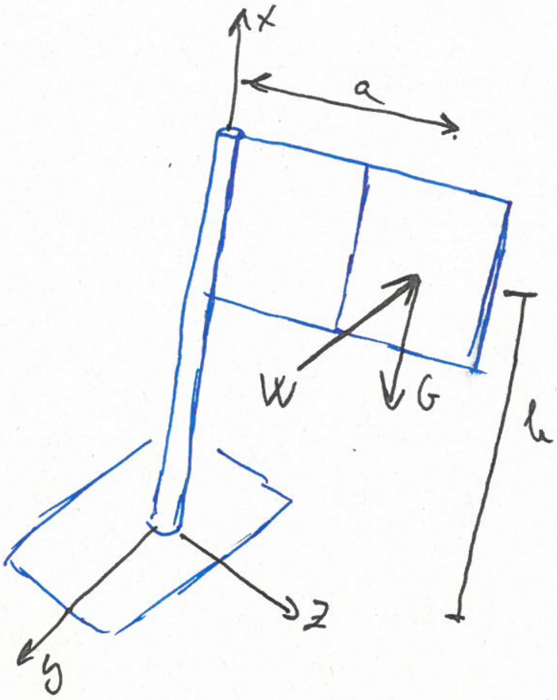
$$I_y = \frac{h \cdot (2h^3)}{12} - \frac{(h-2t)(2h-2t)^3}{12} = 6,23 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_{xy} = \frac{+M_{cs}}{2 \cdot (h-t)(2h-t)\, t} = 105,43 \text{ MPa}$$ (y irányban mutat)

$$\sigma_e^{Mohr} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} = \underline{\underline{220,405 \text{ MPa}}}$$

$$n = \frac{\sigma_{meg}}{\sigma_e} = 2,0417$$ (Biztonsági tényező > 1)!

4. feladat Egy G súlyú axa keresztmetszetű reklámtáblát t vastagságú rúdra rögzítenek. A táblát W szélnyomó terheli. Ellenőrizzük HMH szerint!



Adatok

$G = 1200\ N$

$W = 3G = 3600 N$

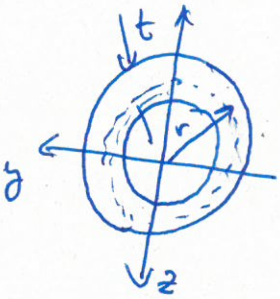
$a = 0{,}4\ m$

$h = 1{,}6\ m$

$r = 50\ mm$

$t = 6\ mm$

$\sigma_{meg} = 150\ MPa$



$D = 2r + t = 106\ mm$

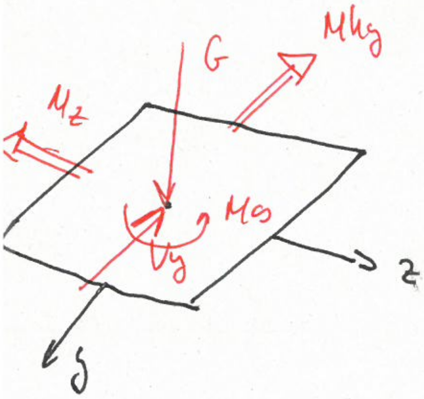
$d = 2r - t = 94\ mm$

$I_y = I_z = \frac{D^4 - d^4}{64}\pi = 2{,}365 \cdot 10^6\ mm^4$

$I_p = 2 \cdot I_y = 4{,}73 \cdot 10^6$

$A = \frac{D^2 - d^2}{4}\pi = 1884{,}96\ mm^2$

Veszélyes km.: befogás



$N = -G = -1200 N$

$Mh_y = -G \cdot a = -480\ Nm$

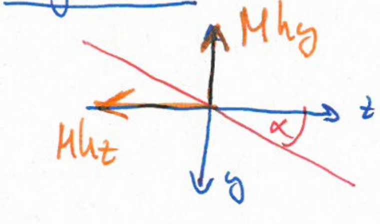
$V_y = -W = -3600 N$

$Mh_z = -W \cdot h = -5760\ Nm$

$M_{cs} = W \cdot a = 1440\ Nm$

Feszültségek: • $\sigma_x^N = \frac{N}{A} = \underline{-0{,}637\ MPa}$

hajlításból



$Mh = \sqrt{Mh_z^2 + Mh_y^2} = -5779{,}37\ Nm$

$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{Mh_y}{Mh_z} = \underline{\underline{4{,}76°}}$

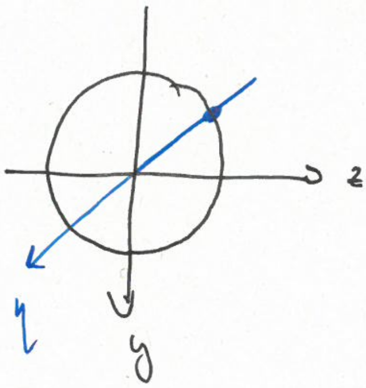
$$\left.\begin{aligned} I_\zeta &= I_x \\ I_\eta &= I_y \end{aligned}\right\}$$ ezek is főirányok (körszimmetria)

$$\sigma_x^{Mh} = \pm \frac{M_h}{I_\eta} \cdot \frac{D}{2} = \pm \underline{\underline{129,53 \text{ MPa}}}$$

$$\sigma_{x\,max} = \sigma_x^{Mh} + \sigma_x^{N} = \underline{\underline{-130,167 \text{ MPa}}}$$

Csavarásból

$$\tau_{xt} = \frac{M_{cs}}{I_p} \cdot \frac{D}{2} = \underline{\underline{-16,14 \text{ MPa}}} = \tau_{x\zeta}$$



$$\sigma_e^{HMH} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{x\zeta}^2} = \underline{\underline{133,135 \text{ MPa}}}$$

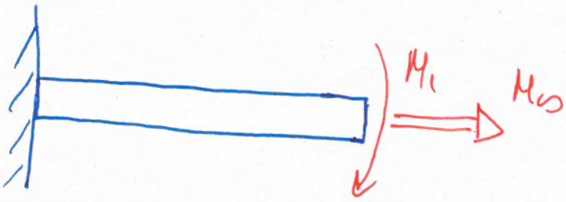
$$\sigma_e^{HMH} < \sigma_{meg} = 150 \text{ MPa}$$

✓ megfelel

$\boxed{\text{5. feladat}}$ Egy $l = 1\,m$ hosszú rudat $M_1 = 2,5\,Nm$ hajlítónyomaték és $M_2 = 2,192\,Nm$ csavarónyomaték terheli. $(d = 10\,mm)$ Határozzuk meg a fesz. mátrixot, a deviátoros és a gömbi feszültségtenzorokat a veszélyes pontban. Mekkora a HMH-féle egyenértékű feszültség?

$E = 200\,GPa$

$\nu = 0,3$



Minden km-ben

$$\left.\begin{aligned} M_h &= M_1 = 2,5\,Nm \\ M_{cs} &= M_2 = 2,192\,Nm \end{aligned}\right\}\ \text{minden km. egyformán veszélyes}$$

↳ Adott km-ben a szélső szál a veszélyes

$$\sigma_{x\,max} = \frac{M_1}{I_y}\cdot\frac{d}{2} = \frac{M_1}{\frac{d^3\pi}{32}} = \underline{\underline{25,47\,MPa}}$$

$$\tau_{xt\,max} = \frac{M_{cs}}{I_p}\cdot\frac{d}{2} = \underline{\underline{11,17\,MPa}}$$

$$\underline{\underline{\sigma}}_{(x,r,t)} = \begin{bmatrix} 25,47 & 0 & 11,17 \\ 0 & 0 & 0 \\ 11,17 & 0 & 0 \end{bmatrix} (MPa)$$

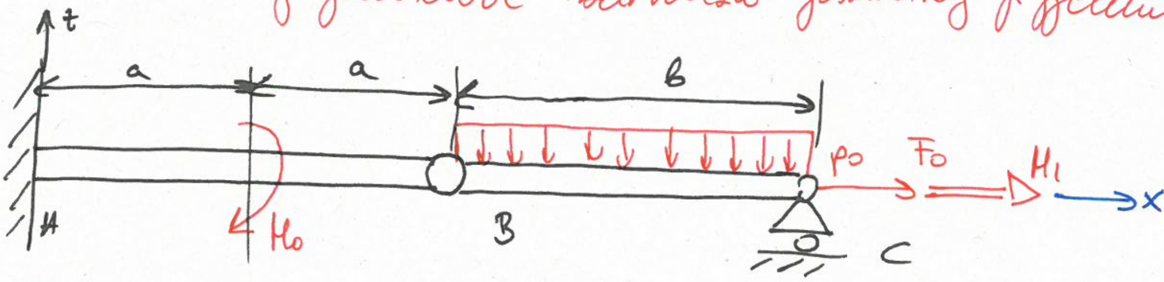
$$\sigma_I = \sigma_x = 25,47 \rightarrow \underline{\underline{\sigma}}_g = \frac{1}{3}\underbrace{Tr(\underline{\underline{\sigma}})}_{\sigma_I}\underline{\underline{E}} = \begin{bmatrix} 8,49 & 0 & 0 \\ 0 & 8,49 & 0 \\ 0 & 0 & 8,49 \end{bmatrix} \underline{\underline{MPa}}$$

$$\underline{\underline{\sigma}}_d = \underline{\underline{\sigma}} - \underline{\underline{\sigma}}_g = \begin{bmatrix} 16,97 & 0 & 11,17 \\ 0 & -8,49 & 0 \\ 11,17 & 0 & -8,49 \end{bmatrix} \underline{\underline{MPa}}$$

$$\underline{\underline{\sigma}}_d : \underline{\underline{\sigma}}_d = 16,97^2 + 2(8,49)^2 + 2\cdot 11,17^2 = 681,68$$

$$\sigma_e^{HMH} = \sqrt{\frac{3}{2}\,\underline{\underline{\sigma}}_d : \underline{\underline{\sigma}}_d} = \underline{\underline{31,98\,MPa}}$$

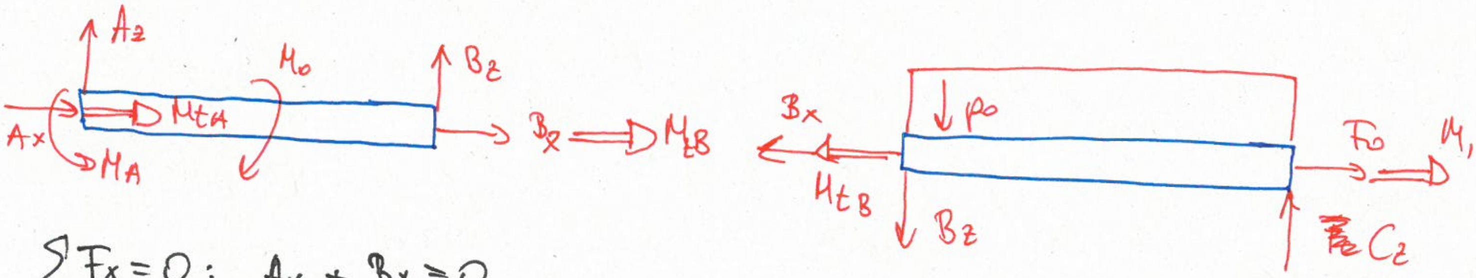
6. feladat Méretezzük az alábbi kör keresztmetszetű tartót Mohr és HMH elmélet alapján! Ellenőrizzük az eredményt a normáligénybevételből származó feszültség figyelembevételével



Adatok:

$a = 1\,m$
$b = 2\,m$
$F_0 = 2\,kN$
$p_0 = 1{,}5\,kN/m$
$M_0 = 2\,kNm$
$M_1 = 2\,kNm$
$\sigma_{meg} = 100\,MPa$

Szétbontjuk a szerkezetet



$\Sigma F_x = 0: \quad A_x + B_x = 0$

$\Sigma F_z = 0: \quad A_z + B_z = 0$

$\Sigma M_A = 0: \quad M_A - M_0 + B_z \cdot 2a = 0$

$\Sigma M_t = 0 \quad M_{tA} + M_{tB} = 0$

↳ $A_x = -2\,kN$

↳ $A_z = +1{,}5\,kN$

↳ $M_{tA} = -2\,kNm$

↳ $M_A = 5\,kNm$

$\Sigma F_x = 0: \quad F_0 - B_x = 0$

$\Sigma F_z = 0: \quad -p_0 \cdot b - B_z + C_z = 0$

$\Sigma M_B = 0: \quad -\frac{p_0 b^2}{2} + C_z \cdot b = 0$

$\Sigma M_t = 0 \quad M_1 - M_{tB} = 0$

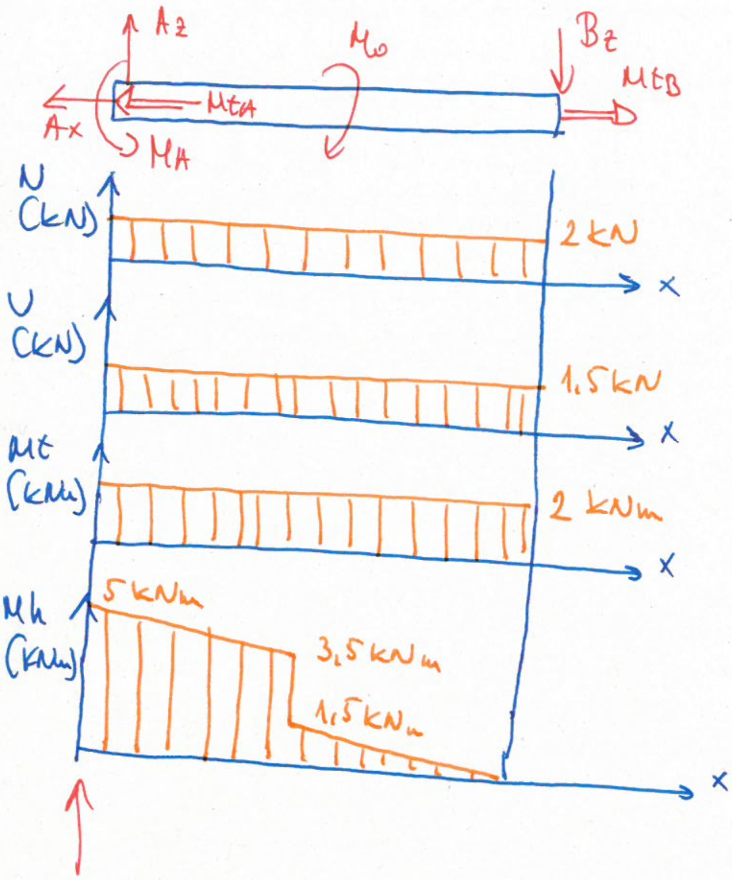
↳ $\underline{\underline{M_{tB} = 2\,kNm}}$

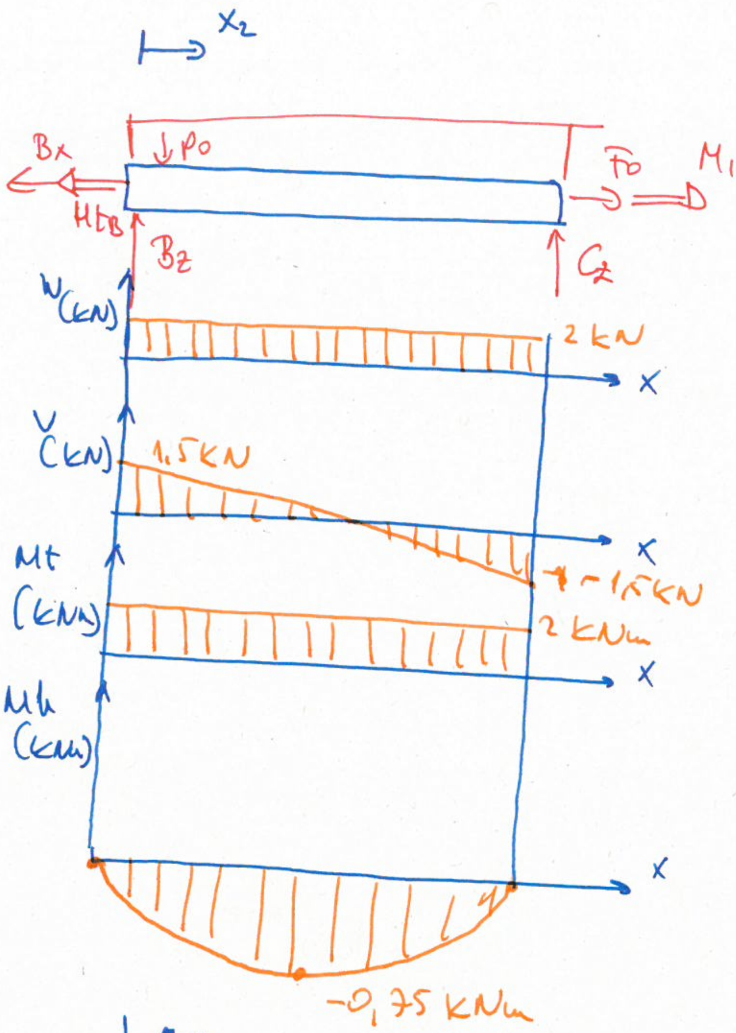
↳ $C_z = \frac{p_0 b}{2} = \underline{\underline{1{,}5\,kN}}$

↳ $B_z = \underline{\underline{-1{,}5\,kN}}$

↳ $B_x = \underline{2\,kN}$

Igénybevételek





	$0<x<\frac{a}{2}$	$\frac{a}{2}<x<2a$
N	A_x	A_x
V	A_z	A_z
Mt	M_{tA}	M_{tA}
Mh	$M_A - A_z x$	$M_A - M_0 - A_z x$

	x_2
N	B_x
V	$B_z - p_0 x_2$
Mt	M_{tB}
Mh_2	$-B_z x + \frac{p_0 x^2}{2}$

$$Mh_{2\,max} = Mh_2\left(\frac{b}{2}\right) = -0{,}75 \text{ kNm}$$

Veszélyes km: „A" és a szélső szál $\quad M_A = 5\text{kNm} \quad N_A = 2\text{kN}$
$M_{tA} = 2\text{kNm}$

$$\sigma_{x\,max}^{Mh} = \frac{M_A}{\frac{d^3\pi}{32}} \; ; \quad \tau_{xt\,max} = \frac{M_{tA}}{\frac{d^3\pi}{16}} \qquad \underline{\underline{\sigma}}_{(x,y,z)} = \begin{bmatrix} \sigma_x & 0 & \tau_{xt} \\ 0 & 0 & 0 \\ \tau_{xt} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Ha elhagyjuk a nyomóerőt: $\quad M_{red} = \sqrt{Mh^2 + C \cdot Mt^2} \qquad C = 1$ Mohr
$C = 0{,}75$ HMH

$$M_{red}^{Mohr} = \sqrt{M_A^2 + \cancel{\bullet} \cdot Mt_A^2} = \underline{\underline{5{,}38\ kNm}}$$

$$\sigma_e^{Mohr} = \frac{M_{red}^{Mohr}}{\frac{d^3 \pi}{32}} \leq \sigma_{meg}$$

$$\hookrightarrow d_{min}^{Mohr} = \sqrt[3]{\frac{32\, M_{red}^{Mohr}}{\pi\, \sigma_{meg}}} = \underline{\underline{81{,}86\ mm}}$$

$$M_{red}^{HMH} = \sqrt{M_A^2 + 0{,}75 \cdot Mt_A^2} = 5{,}29\ kNm$$

$$\sigma_e^{HMH} = \frac{M_{red}^{HMH}}{\frac{d^3 \pi}{32}} \leq \sigma_{meg}$$

$$\hookrightarrow d_{min}^{HMH} = \sqrt[3]{\frac{32\, M_{red}^{HMH}}{\pi\, \sigma_{meg}}} = \underline{\underline{81{,}38\ mm}}$$

$$d = 82\ \underline{\underline{mm}}$$

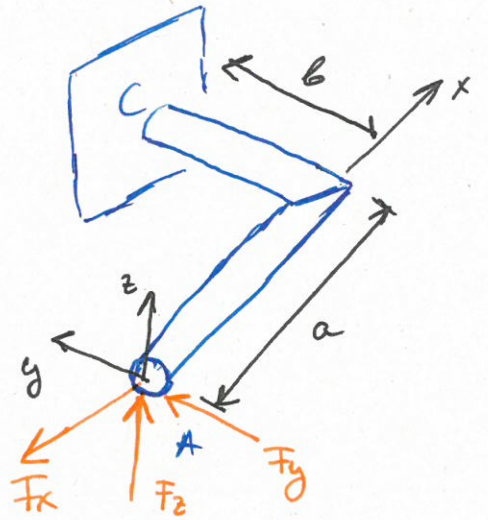
$$\sigma_x^{max} = \frac{M_A}{\frac{d^3 \pi}{32}} + \frac{N}{\frac{d^2 \pi}{4}} = 92{,}37 + 0{,}379 = \underline{\underline{92{,}75\ MPa}}$$

$$\tau_{xt} = \frac{Mt}{\frac{d^3 \pi}{16}} = \underline{\underline{18{,}47\ MPa}}$$

$$\sigma_e^{Mohr} = \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau_{xt}^2} = \underline{\underline{99{,}83\ MPa}} \quad \checkmark\ OK!$$

7. feladat

Ellenőrizzük az alábbi tartót a C keresztmetszetben HMH és Mohr elmélet alapján!



Adatok:

$a = 1m$

$b = 0{,}5 m$

$d = 0{,}05 m = 50 mm$

$F_x = -100 N$

$F_y = 500 N$

$F_z = 1000 N$

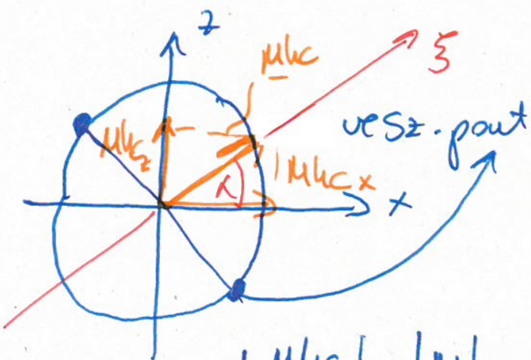
$\sigma_{meg} = 100 MPa$

$$\underline{M}_C = \underline{r}_{AC} \times \underline{F} = \begin{vmatrix} \underline{i} & \underline{j} & \underline{k} \\ a & b & 0 \\ F_x & F_y & F_z \end{vmatrix} = \begin{bmatrix} F_z \cdot b \\ -F_z \cdot a \\ F_y a - F_x b \end{bmatrix} = \underline{\underline{\begin{bmatrix} 500 \\ -1000 \\ 550 \end{bmatrix} Nm}}$$

A „C" km-ben $\underbrace{\underline{M}_{hC} = \begin{bmatrix} 500 \\ 0 \\ 550 \end{bmatrix}}_{\text{hajlítás}} Nm$; $\underbrace{\underline{M}_{tC} = \begin{bmatrix} 0 \\ -1000 \\ 0 \end{bmatrix}}_{\text{csavarás}}$

A nyírást elhanyagoljuk!

$N_C = -F_y = \underline{\underline{-500 N}}$



$M_{hC} = \sqrt{M_{hCx}^2 + M_{hCz}^2} = \underline{\underline{743{,}3 \ Nm}}$

$\alpha = \operatorname{arctg} \dfrac{M_{hCz}}{M_{hCx}} = \underline{\underline{39{,}28°}}$

$I_\xi = I_x = I_z = \dfrac{d^4 \pi}{64}$

$\sigma_{hajl\,max} = \left| \dfrac{M_{hC}}{\frac{d^3\pi}{32}} \right| + \left| \dfrac{N}{A} \right| = 60{,}56 + 0{,}255 = \underline{\underline{60{,}82 \ MPa}}$

$$\tau_{yt_{max}} = \frac{M_{tc}}{\frac{d^3\pi}{16}} = \underline{\underline{40,74\ MPa}}$$

<u>Mohr</u>:

$$\sigma_e^{Mohr} = \sqrt{\sigma_{xy}^2 + 4\tau_{yt}^2} = \underline{\underline{101,67 MPa}} \rightarrow$$ nem felel meg!

HMH

$$\sigma_e^{HMH} = \sqrt{\sigma_y^2 + 3\tau_{yt}^2} = 93,165\ MPa$$ ✓ megfelel!