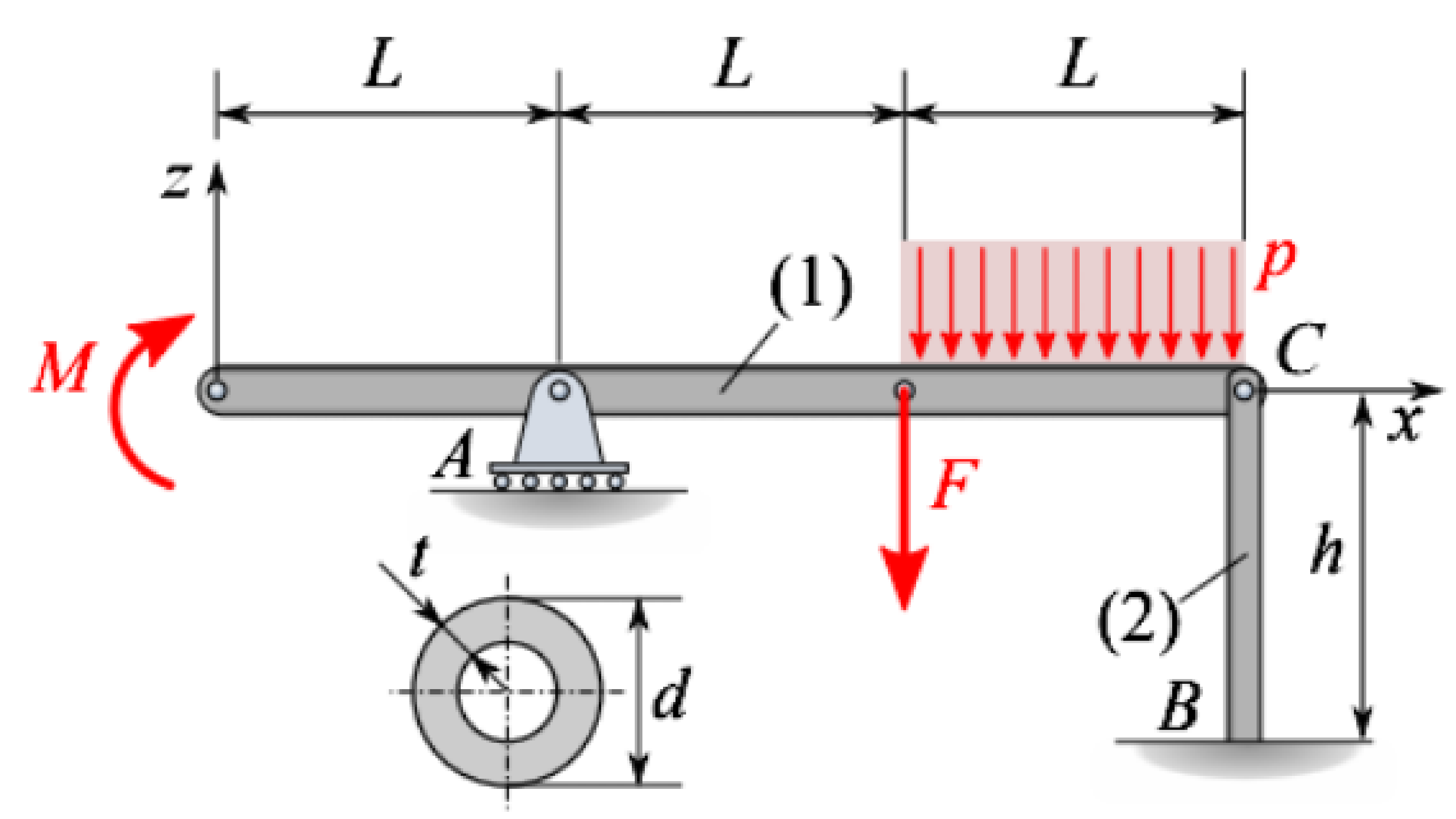
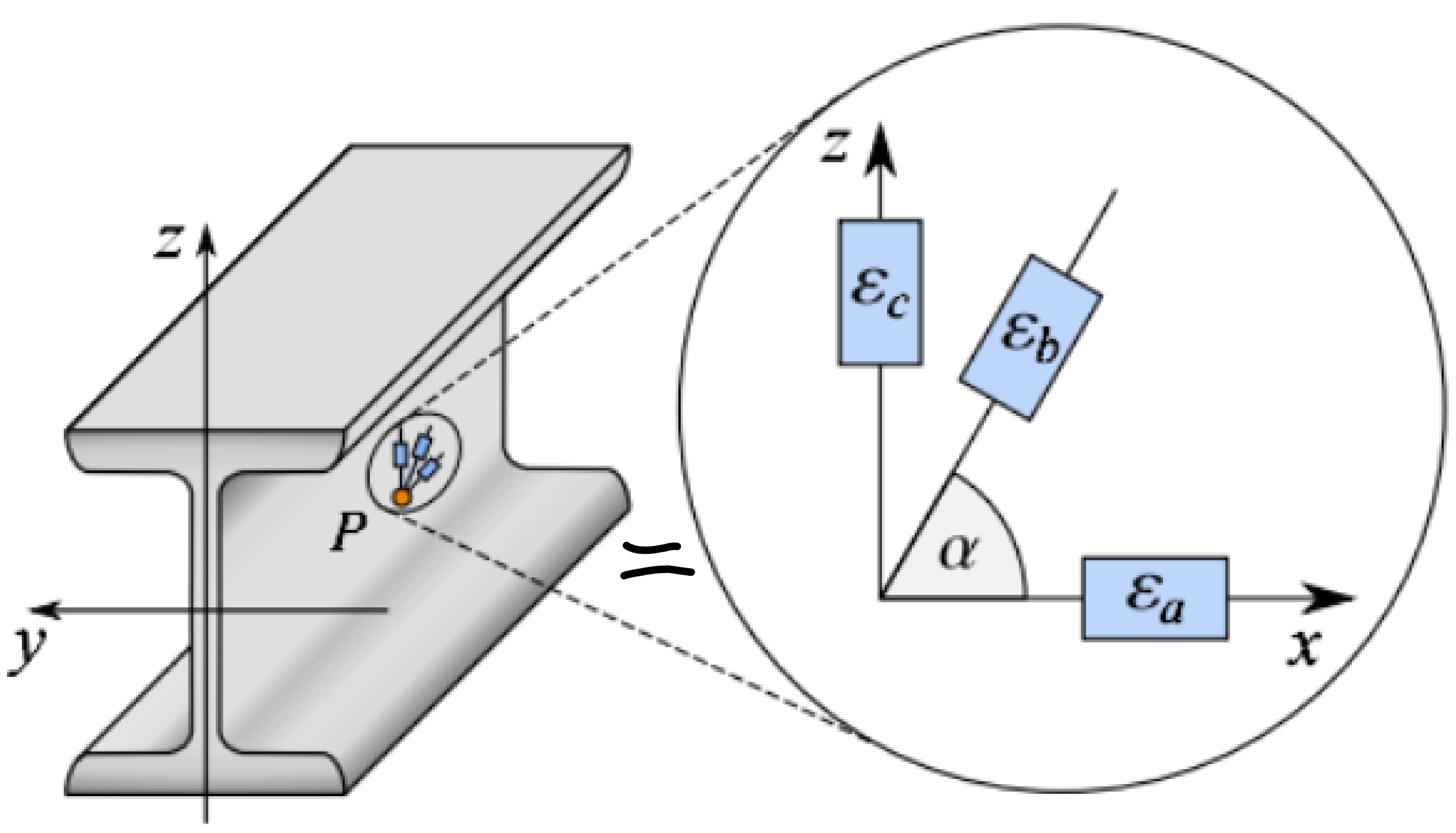
Feladatkitűzés

Az ábrán vázolt szerkezet két rúdja csuklósan kapcsolódik, anyaguk homogén, izotrop, lineárisan rugalmas (rugalmassági modulusz: $E = 210$ GPa; Poisson-tényező: $\nu = 0{,}3$). Az (1)-es rúd keresztmetszete az ábrán látható I-szelvény (I-80-MSZ-325), míg a (2)-es rúdé d külső átmérőjű körgyűrű.





Adatok

L [m]	h [m]	d [mm]	F [kN]	M [kNm]	p [kN/m]	ε_a [10^{-4}]	ε_b [10^{-4}]	ε_c [10^{-4}]	α [°]
1.50	2.50	58	4	2	1.75	-5.20	-4.50	3	45

(Rész)eredmények

A_z [kN]	$x_{\max}$ [m]	$w_{\max}$ [mm]	$t_{\min}$ [mm]	ε_y [10^{-4}]	γ_{xz} [10^{-4}]	σ_x [MPa]
1,98958	0	60,699	2,5	0,943	-6,8	-99,231
σ_z [MPa]	τ_{xz} [MPa]	σ_1 [MPa]	σ_2 [MPa]	σ_3 [MPa]	$\Delta\sigma_e$ [MPa]	u_d [J/cm^3]
33,231	-54,923	53,041	0	-119,041	19,445	0,048

e_{1x} [-]	e_{1y} [-]	e_{1z} [-]	e_{2x} [-]	e_{2y} [-]	e_{2z} [-]	e_{3x} [-]	e_{3y} [-]	e_{3z} [-]
0,3393	0	-0,941	0	1	0	0,941	0	0,3393

Pontozás

Minimumfeladat	Feladatok						Dokumentáció	Összesen
	2.	3.	4.	5.	6.	7.		
	/5	/3	/4	/4	/2	/2	/5	**/25**

1. Készítsen léptékhelyes ábrát a szerkezetről! Rajzolja meg a rudak szabadtest ábráit, majd ezek alapján határozza meg az A és B kényszerekben ébredő reakció komponenseket, valamint a rudak közt a C pontban átadódó erőket! – **Minimumfeladat**

2. Határozza meg az (1)-es rúd $w(x)$ lehajlásfüggvényét a rugalmas szál differenciálegyenletének felhasználásával, amennyiben a (2)-es rúd hosszváltozásától eltekintünk:
   - Szerkessze meg a hajlítónyomatéki igénybevételi függvényt (parabolaívek esetén az érintőket is)!
   - Írja fel a rugalmas szál differenciálegyenletét és a megoldáshoz szükséges peremfeltételeket, majd a jellegzetes értékek feltüntetésével ábrázolja a kapott lehajlás- és szögelfordulásfüggvényt. A szabványos I-szelvény y-tengelyre számított másodrendű nyomatéka $I_y = 77{,}8\ \text{cm}^4$!
   - Adja meg az abszolút értelemben maximális elmozdulás x_{max} helyét és w_{max} előjelhelyes értékét!

3. Méretezze a (2)-es rudat kihajlásra:
   - Rajzolja meg a (2)-es rúdra jellemző σ_{kr} kritikus feszültség $-$ λ karcsúság diagramot a jellegzetes értékek feltüntetésével, ha a folyáshatár $\sigma_F = 240$ MPa, $\lambda_0 = 105$, valamint a Tetmajer-egyenes képlete $\sigma_{\text{kr}} = 308 - 1{,}14\lambda$ MPa.
   - Adja meg a t_{min} minimális falvastagságot tized mm-re kerekítve, hogy a (2)-es rúd háromszoros biztonsággal megfeleljen kihajlásra! Mekkora lesz ekkor a λ karcsúság?

Egy másik, ismeretlen terhelési esetben az (1)-es rúd alakváltozási állapotát vizsgáljuk az I-szelvény gerincére az ábrán látható módon felhelyezett nyúlásmérő bélyegekből álló ”rozetta” segítségével. A vizsgált, terheletlen felületen az ε_a, ε_b és ε_c fajlagos nyúlásokat mérjük.

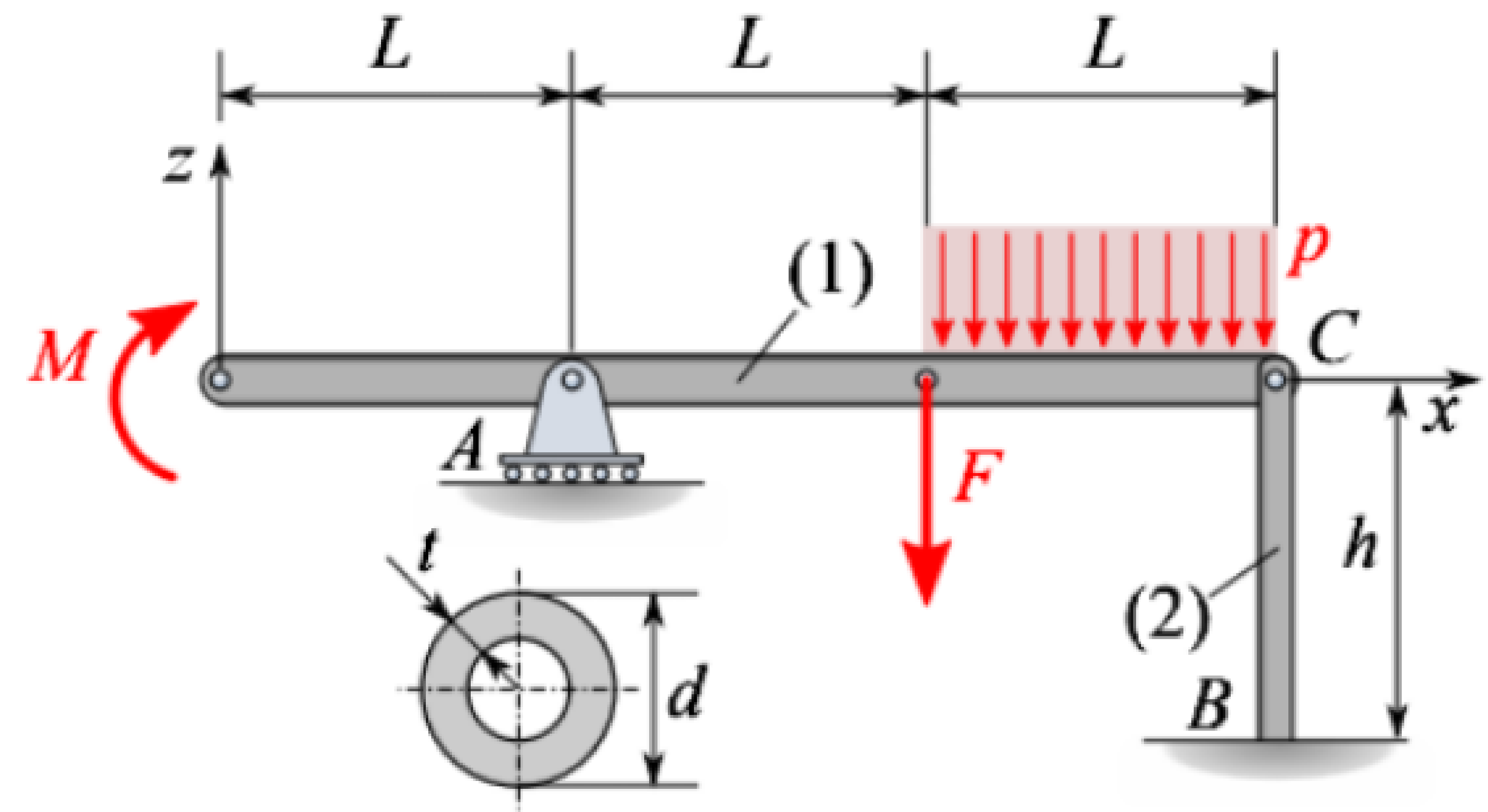
4. Értékelje ki a nyúlásmérés eredményét:
   - Határozza meg az $\boldsymbol{\varepsilon}$ alakváltozási tenzor mátrixát a P pontbeli x-y-z koordináta rendszerben! Adja meg a vizsgált P pontban a $\Delta V/V$ fajlagos térfogatváltozás értékét!
   - A Hooke-törvény segítségével adja meg a $\boldsymbol{\sigma}$ feszültségi tenzor mátrixát (az x-y-z koordináta rendszerben), valamint adja meg a skalár invariánsai értékét! Ábrázolja a feszültségi állapotot feszültségi kiskockán!

5. Határozza meg a főfeszültségeket és a főirányokat a Mohr-féle feszültségi kördiagram szerkesztésével! Adja meg a főirányok $\mathbf{e}_1$, $\mathbf{e}_2$, $\mathbf{e}_3$ egységvektorait úgy, hogy jobbsodrású rendszert alkossanak és az e_{1x} komponens ne legyen negatív értékű! Ellenőrizze számítását, sajátérték-sajátvektor számítással!

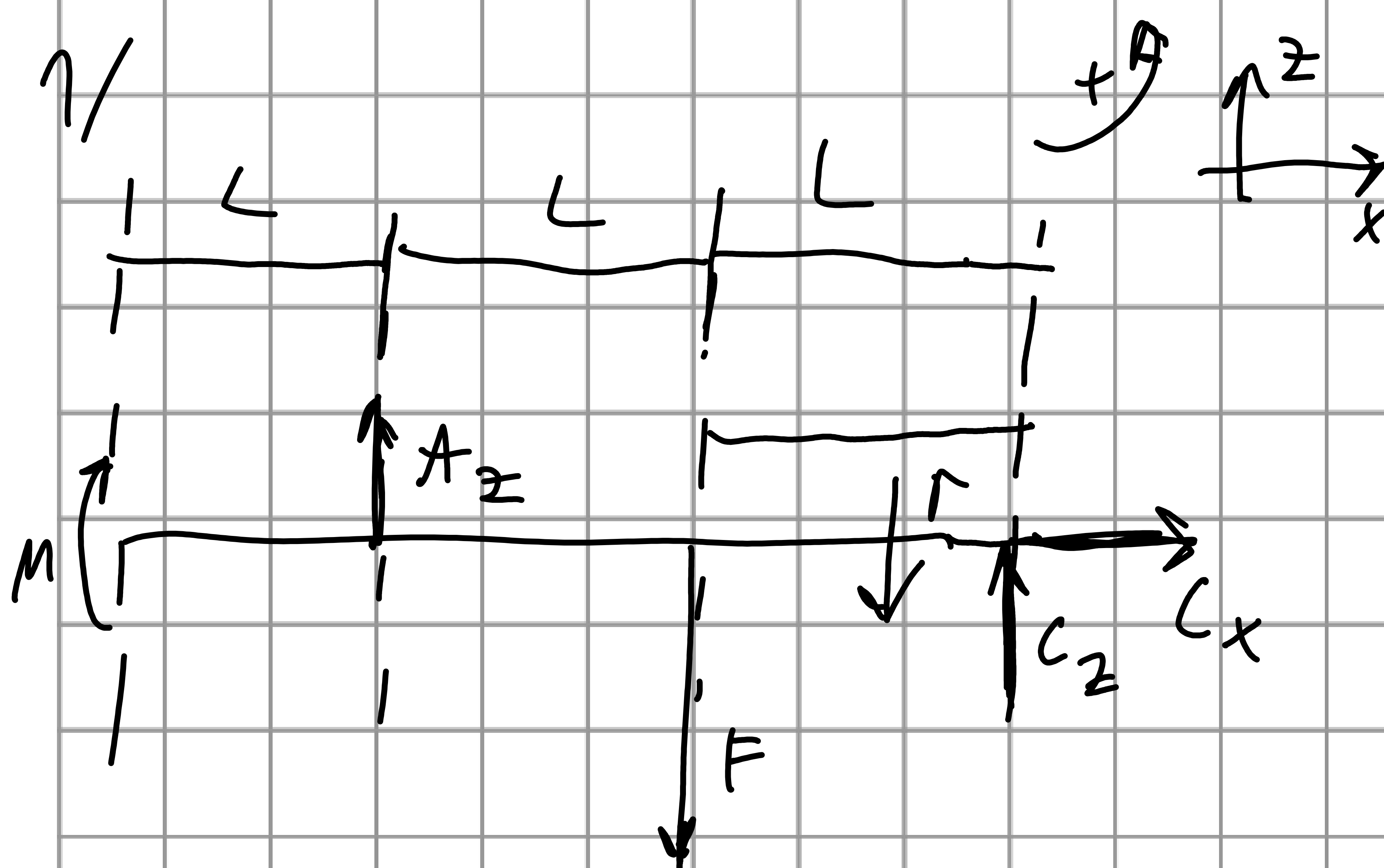
6. Számítsa ki a P pontbeli feszültségi állapothoz tartozó $\sigma_{\text{e}}^{\text{Mohr}}$ Mohr-féle, valamint a $\sigma_{\text{e}}^{\text{HMH}}$ HMH-féle egyenértékű feszültségeket! Adja meg a két elmélet $\Delta\sigma_{\text{e}} = \sigma_{\text{e}}^{\text{Mohr}} - \sigma_{\text{e}}^{\text{HMH}}$ abszolút eltérését!

7. Számítsa ki a P pontbeli u alakváltozási energiasűrűség értékét! Adja meg ennek az u_h térfogatváltozásra, és az u_d alaktorzulásra forduló részét!

1. Készítsen léptékhelyes ábrát a szerkezetről! Rajzolja meg a rudak szabadtest ábráit, majd ezek alapján határozza meg az A és B kényszerekben ébredő reakció komponenseket, valamint a rudak közt a C pontban átadódó erőket! – **Minimumfeladat**



1/



1/:

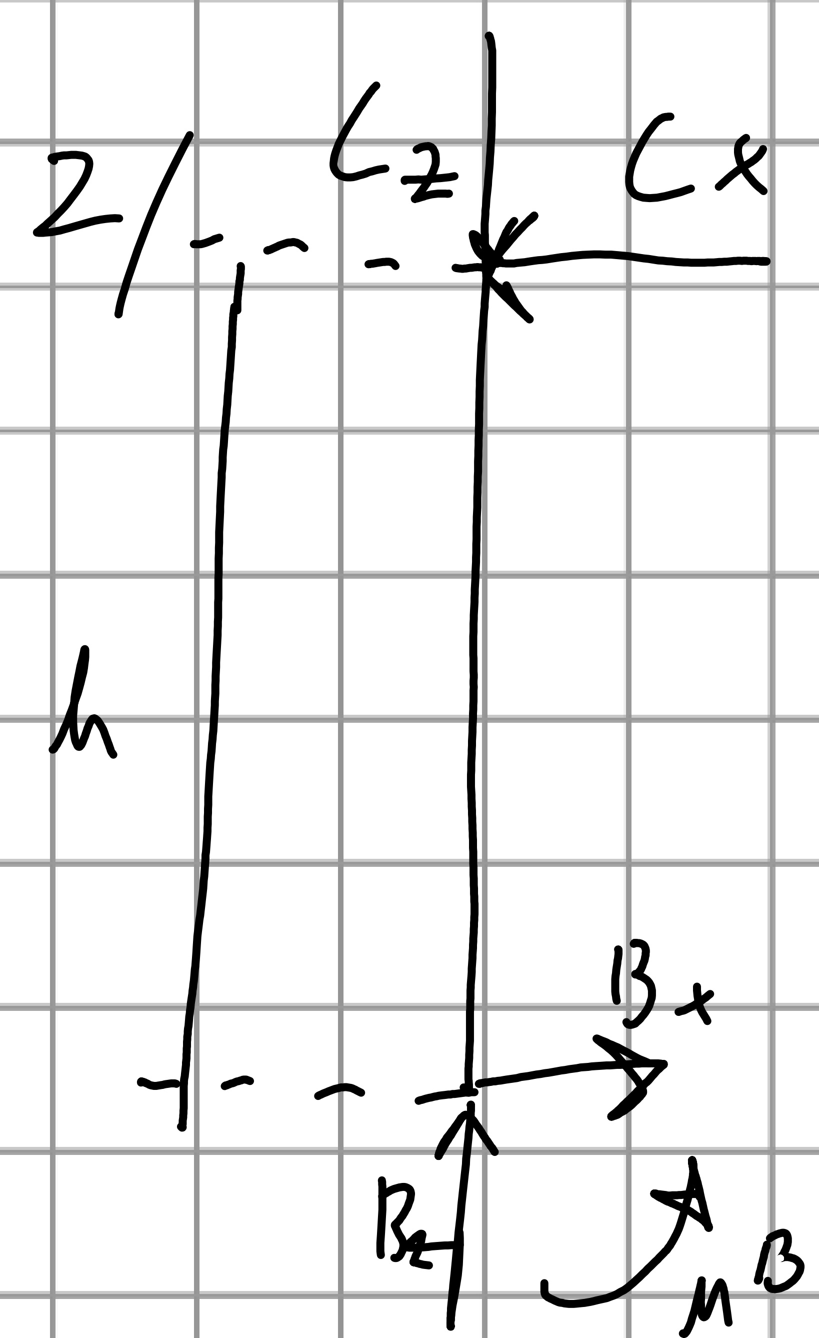
$$(1)\ \sum F_x := 0 = C_x \Rightarrow C_x = 0$$

$$(2)\ \sum F_z := 0 = A_z - F - p \cdot L + C_z$$

$$(3)\ \sum M^A := 0 = -M - F(L) - pL\left(\tfrac{3}{2}L\right) + C_z(2L)$$

$$(3) \Rightarrow C_z = \frac{M + FL + \frac{3}{2}pL^2}{2L} \left(= \frac{445}{96}\right) = 4{,}63542 \ // \ [kN]$$

$$(2) \Rightarrow A_z = F + p \cdot L - C_z \left(= \frac{197}{96}\right) = 1{,}98958 \ // \ [kN]$$



2/:

(4) $\Sigma F_x := 0 = -C_x + B_x$

(5) $\Sigma F_z := 0 = B_z - C_z$

(6) $\Sigma M^B := 0 = C_x \cdot h$

$$\boxed{\begin{aligned} &(4) \Rightarrow B_x = C_x = 0 \\ &(5) \Rightarrow B_z = C_z = 4{,}63542\,[kN] \end{aligned}}$$

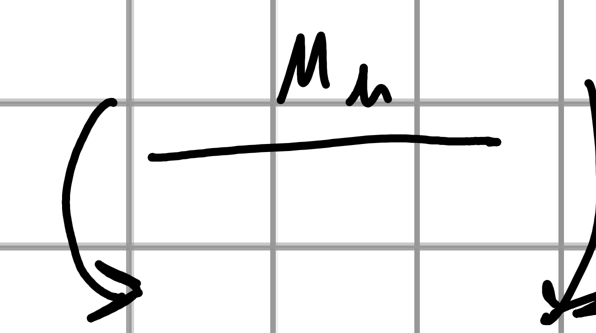
//

~~2~~. Határozza meg az (1)-es rúd $w(x)$ lehajlásfüggvényét a rugalmas szál differenciálegyenletének felhasználásával, amennyiben a (2)-es rúd hosszváltozásától eltekintünk:

a) • Szerkessze meg a hajlítónyomatéki igénybevételi függvényt (parabolaívek esetén az érintőket is)!

b) • Írja fel a rugalmas szál differenciálegyenletét és a megoldáshoz szükséges peremfeltételeket, majd a jellegzetes értékek feltüntetésével ábrázolja a kapott lehajlás- és szögelfordulásfüggvényt. A szabványos I-szelvény y-tengelyre számított másodrendű nyomatéka $I_y = 77{,}8\ \text{cm}^4$!

c) • Adja meg az abszolút értelemben maximális elmozdulás $x_{\max}$ helyét és $w_{\max}$ előjelhelyes értékét!



a)

	$0 < x < L$	$L < x < 2L$	$2L < x\ 3L$
$M_h(x)$	$-M$	$-M - A_z\cdot(x-L)$	$-M - A_z(L) + F(x-2L) + p(x-2L)\frac{x-2L}{2}$
	$-M$	$-M - A_z(x-L)$	$-M - A_z(L) + F(x-2L) + p\frac{(x-2L)^2}{2}$ $= \sum -p\frac{(3L-x)^2}{2} + C_z(3L-x)$

$M_{h_1}(x) = -M$

$M_{h_2}(x) = -M - A_z(x-L)$

$M_{h_3}(x) = -M - A_z(L) + F(x-2L) + p\frac{(x-2L)^2}{2}$

h) • Írja fel a rugalmas szál differenciálegyenletét és a megoldáshoz szükséges peremfeltételeket, majd a jellegzetes értékek feltüntetésével ábrázolja a kapott lehajlás- és szögelfordulásfüggvényt. A szabványos I-szelvény y-tengelyre számított másodrendű nyomatéka $I_y = 77{,}8\ \mathrm{cm}^4$!

$M = 2\,[kNm]$
$= 2\cdot 10^3\,[N]$

$A_z = 1{,}98958\,[kN]$
$= 1989{,}58\,[N]$

$F = 4\,[kN] = 4\cdot 10^3\,[N]$

$q = 1{,}75\,[kN/m] = 1750\,[N/m]$

$I = I_y = 77{,}8\,[cm^4] = 7{,}78\cdot 10^{-7}\,[m^4]$

$E = 210\,[GPa] = 2{,}1\cdot 10^{11}\,[Pa]$

$IE = 163380\,[Nm^2]$

$$w_i''(x) = \frac{-M_{h_i}(x)}{IE}$$

$$w_1''(x) = \frac{M}{IE} = 0{,}0122414$$

$$w_2''(x) = \frac{M + A_z(x-L)}{IE} = -0{,}00602503 + 0{,}0121776\,x$$

$$w_3''(x) = \left[-q\frac{(3L-x)^2}{2} + C_z(3L-x)\right]/IE$$
$$= -0{,}00535561\,x^2 + 0{,}0198285\,x + 0{,}0192229$$

Peremfeltételek:

(1) $w_1(L) = 0$

(2) $w_2(L) = 0$

(3) $w_3(3L) = 0$

(4) $w_1'(L) = w_2'(L)$

(5) $w_2'(2L) = w_3'(2L)$

(6) $w_2(2L) = w_3(2L)$

$$\Downarrow$$

$c_1 = -0{,}049647$

$c_2 = 0{,}0606989$

$c_3 = -0{,}0359472$

$c_4 = 0{,}053849$

$c_5 = 0{,}0979794$

$c_6 = 0{,}127372$

$$\Rightarrow$$

$w_1(0) = 0{,}0606989$

$w_1(L) = 0$

$w_2(L) = 0$

$w_2(2L) = -0{,}0263059$

$w_3(2L) = -0{,}0263059$

$w_3(3L) = 0$

$w_{max} = 0{,}06\,[m] = 60\,[mm]$

$x_{max} = 0\,[m]$

$$f_i(x) = w_i'(x)$$

$$f_1(0) = -0{,}049647$$

$$f_2(L) = -0{,}0312849$$

$$f_2(2L) = 0{,}000777027$$

$$f_3(3L) = 0{,}0266705$$

3. Méretezze a (2)-es rudat kihajlásra:

a) • Rajzolja meg a (2)-es rúdra jellemző σ_{kr} kritikus feszültség − λ karcsúság diagramot a jellegzetes értékek feltüntetésével, ha a folyáshatár $\sigma_F = 240$ MPa, $\lambda_0 = 105$, valamint a Tetmajer-egyenes képlete $\sigma_{kr} = 308 - 1{,}14\lambda$ MPa.

b) • Adja meg a t_{min} minimális falvastagságot tized mm-re kerekítve, hogy a (2)-es rúd háromszoros biztonsággal megfeleljen kihajlásra! Mekkora lesz ekkor a λ karcsúság?

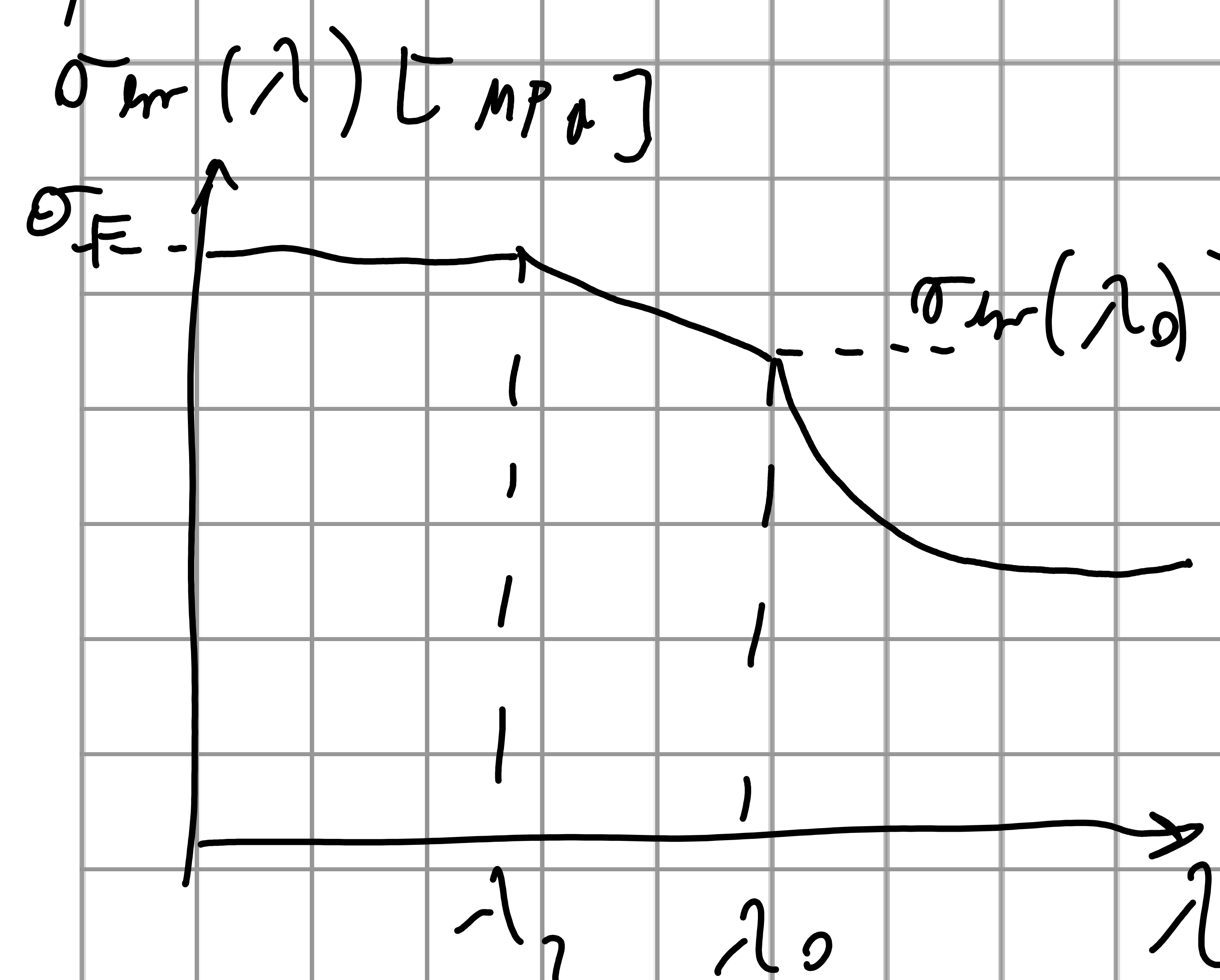
$\sigma_F = 240$ [MPa]

$\lambda_0 = 105$ [−]

$d = 58$ [mm]

$\sigma_{kr} = 308 - 1{,}14\lambda$; $E = 210$ [GPa] $= 2{,}1 \cdot 10^5$ [MPa]

a)



$\sigma_F = 240$

$\sigma_{kr}(\lambda_1) = \sigma_F$

$\Rightarrow \lambda_1 = 59{,}65$

$\sigma_{kr}(\lambda_0) = 188{,}3$

$\lambda_0 = 105$

b)

$c = 2$

$l_0 = c \cdot l = 5 \cdot 10^3$ [mm] ; $F_t = 3|B_z| = 13{,}90625$ [kN] $= 13906{,}25$ [N]

$= \left(\frac{\pi}{l_0}\right)^2 \cdot I_2 \cdot E$

$$I_2 = \frac{F_t}{\left(\frac{\pi}{l_0}\right)^2 E} = \frac{d^4 \pi}{64} - \frac{(d-2t)^4 \pi}{64}$$

$$\Rightarrow \boxed{t_{min} = 2{,}49254 \approx 2{,}5 \text{ [mm]}} //$$

$I_2 = 167737{,}8226$

$\lambda = \frac{l_0}{i_2} = 254{,}886$ //

$A = \frac{[d^2 - (d-2t)^2]\pi}{4}$

$i_2 = \sqrt{\frac{I_2}{A}}$

4. Értékelje ki a nyúlásmérés eredményét:

- Határozza meg az $\boldsymbol{\varepsilon}$ alakváltozási tenzor mátrixát a P pontbeli x-y-z koordináta rendszerben! Adja meg a vizsgált P pontban a $\Delta V/V$ fajlagos térfogatváltozás értékét!
- A Hooke-törvény segítségével adja meg a $\boldsymbol{\sigma}$ feszültségi tenzor mátrixát (az x-y-z koordináta rendszerben), valamint adja meg a skalár invariánsai értékét! Ábrázolja a feszültségi állapotot feszültségi kiskockán!

a)

$$\nu = 0{,}3 \qquad \varepsilon_a = -5{,}2\cdot 10^{-4}$$
$$\varepsilon_b = -4{,}5\cdot 10^{-4}$$
$$\varepsilon_c = 3\cdot 10^{-4}$$
$$\alpha = 45^\circ$$

$$\varepsilon_x = \varepsilon_a \qquad \varepsilon_b = \varepsilon_x\cdot\cos^2\alpha + \varepsilon_z\cdot\sin^2\alpha + \gamma_{xz}\sin\alpha\cdot\cos\alpha$$
$$\varepsilon_z = \varepsilon_c \qquad \Downarrow$$
$$\gamma_{xz} = \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_x\cdot\cos^2\alpha - \varepsilon_z\sin^2\alpha}{\sin\alpha\cdot\cos\alpha} = \gamma_{zx}$$
$$= -6{,}8\cdot 10^{-4}$$

$$\varepsilon_y = \frac{-\nu}{1-\nu}(\varepsilon_x+\varepsilon_z) = 9{,}42857\cdot 10^{-5}$$
$$= 0{,}942857\cdot 10^{-4}$$

$$\underline{\underline{\varepsilon}} = \begin{bmatrix} \varepsilon_x & 0 & \frac{1}{2}\gamma_{xz} \\ 0 & \varepsilon_y & 0 \\ \frac{1}{2}\gamma_{zx} & 0 & \varepsilon_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -5{,}2\cdot 10^{-4} & 0 & -3{,}4\cdot 10^{-4} \\ 0 & 9{,}42857\cdot 10^{-5} & 0 \\ -3{,}4\cdot 10^{-4} & 0 & 3\cdot 10^{-4} \end{bmatrix}$$

$$\varepsilon_I = \frac{\Delta V}{V} = tr(\underline{\underline{\varepsilon}}) = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = -1{,}257143\cdot 10^{-4}$$

h) • A Hooke-törvény segítségével adja meg a $\boldsymbol{\sigma}$ feszültségi tenzor mátrixát (az x-y-z koordináta rendszerben), valamint adja meg a skalár invariánsai értékét! Ábrázolja a feszültségi állapotot feszültségi kiskockán!

$$E = 2{,}1 \cdot 10^5 \, [MPa]$$

h)

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_x & 0 & \tau_{xz} \\ 0 & 0 & 0 \\ \tau_{zx} & 0 & \sigma_z \end{bmatrix} = \frac{E}{1+\nu}\left(\underline{\underline{\varepsilon}} + \frac{\nu}{1-2\nu} \cdot \varepsilon_I \cdot \underline{\underline{E}}\right)$$

$$\sigma_x = \frac{E}{1+\nu}\left(\varepsilon_x + \frac{\nu}{1-2\nu} \cdot \varepsilon_I\right) = -99{,}231 \, [MPa]$$

$$\sigma_z = \frac{E}{1+\nu}\left(\varepsilon_z + \frac{\nu}{1-2\nu} \cdot \varepsilon_I\right) = 33{,}231 \, [MPa]$$

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = \frac{E}{1+\nu} \cdot \frac{1}{2}\gamma_{xz} = -54{,}9231 \, [MPa]$$

$$\sigma = \begin{bmatrix} -99{,}231 & 0 & -54{,}9231 \\ 0 & 0 & 0 \\ -54{,}9231 & 0 & 33{,}231 \end{bmatrix} [MPa]$$

$$\sigma_I = \mathrm{tr}\, \underline{\underline{\sigma}} = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z = -66 \, [MPa]$$

$$\sigma_{II} = \sigma_x \sigma_y + \sigma_x \sigma_z + \sigma_y \sigma_z - \tau_{xy}^2 - \tau_{xz}^2 - \tau_{yz}^2$$
$$= -6314{,}092275 \, [MPa^2]$$

$$\sigma_{III} = \det \underline{\underline{\sigma}} = 0$$

8. Határozza meg a főfeszültségeket és a főirányokat a Mohr-féle feszültségi kördiagram szerkesztésével! Adja meg a főirányok $\mathbf{e}_1$, $\mathbf{e}_2$, $\mathbf{e}_3$ egységvektorait úgy, hogy jobbsodrású rendszert alkossanak és az e_{1x} komponens ne legyen negatív értékű! Ellenőrizze számítását, sajátérték-sajátvektor számítással!

$$\tau_{xy} = \tau_{yz} = 0 \Rightarrow \sigma_y = 0 \quad \Rightarrow \underline{e}_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\sigma_2 = 0\ [MPa]$$

$$X(\sigma_x ; |\tau_{xz}|) = (-99{,}2311 ; 54{,}9231)$$

$$Y(\sigma_y ; 0) = (0 ; 0)$$

$$Z(\sigma_z ; |\tau_{xz}|) = (33{,}2311 ; 54{,}9231)$$

$$\sigma_K = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} = -33\ [MPa]$$

$$R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}^2} = 86{,}04122\ [MPa]$$

$$\sigma_{1;3} = \sigma_K \pm R = \begin{cases} 53{,}04122 \\ -119{,}04122 \end{cases} \Rightarrow \sigma_1 = 53{,}04122$$

Mohr↑

$$\varphi_1 = \mathrm{arctg}\left(\frac{\sigma_1 - \sigma_x}{\tau_{xz}}\right) = 70{,}166^\circ$$

$$\Rightarrow \underline{e}_1 = \begin{bmatrix} \cos\varphi_1 \\ 0 \\ -\sin\varphi_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0{,}3393 \\ 0 \\ -0{,}947 \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \underline{e}_3 = \underline{e}_1 \times \underline{e}_2 = \begin{bmatrix} 0{,}947 \\ 0 \\ 0{,}3393 \end{bmatrix}$$

$$\boxed{\begin{matrix} e_{1x} = 0{,}3393 \\ e_{1z} = -0{,}947 \end{matrix}}$$

ull: $\det(\underline{\underline{\sigma}} - \lambda \cdot \underline{\underline{E}}) = 0$

$$\begin{bmatrix} \sigma_x - \lambda & 0 & \tau_{xz} \\ 0 & -\lambda & 0 \\ \tau_{xz} & 0 & \sigma_z - \lambda \end{bmatrix}$$

$$= (-\lambda)\left[(\sigma_x - \lambda)(\sigma_z - \lambda) - \tau_{xz}^2\right] = 0$$

$\lambda_1 = 0$

$\underline{\lambda_{2;3}:}$

$(\sigma_x - \lambda)(\sigma_z - \lambda) - \tau_{xz}^2 = 0$

$$\lambda_{2;3} = \begin{cases} 53{,}04122 \\ -119{,}04122 \end{cases}$$

$\lambda_{1;2;3} = \sigma_{1;2;3}$

$$\underline{\underline{\sigma}} - \lambda_1 E = 0$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_x - \sigma_1 & 0 & \tau_{xz} \\ 0 & 0 & 0 \\ \tau_{xz} & 0 & \sigma_z - \sigma_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\varphi \\ 0 \\ \sin\varphi \end{bmatrix} = \underline{0}$$

$$(\sigma_x - \sigma_1)\cos\alpha + \tau_{xz}\sin\alpha = 0$$

$$\tau_{xz}\cos\alpha + (\sigma_z - \sigma_1)\sin\alpha = 0$$

$$(\sigma_x - \sigma_1 + \tau_{xz})\cos\alpha + (\sigma_z - \sigma_1 + \tau_{xz})\sin\alpha = 0$$

$$\frac{\cos\alpha}{\sin\alpha} = -\frac{\sigma_z - \sigma_1 + \tau_{xz}}{\sigma_x - \sigma_1 + \tau_{xz}}$$

$$\tan\alpha = 2{,}77246240 4$$

$$\underline{\underline{\alpha = 70{,}17661^\circ}}$$

$$\varphi \overset{\checkmark}{=} \alpha$$

6. Számítsa ki a P pontbeli feszültségi állapothoz tartozó σ_e^{Mohr} Mohr-féle, valamint a σ_e^{HMH} HMH-féle egyenértékű feszültségeket! Adja meg a két elmélet $\Delta\sigma_e = \sigma_e^{\text{Mohr}} - \sigma_e^{\text{HMH}}$ abszolút eltérését!

$$\sigma_e^{Mohr} = \sigma_1 - \sigma_3 = 172{,}08244\ [MPa]$$

$$\sigma_e^{HMH} = \sqrt{\frac{1}{2}\left[(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_1-\sigma_3)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2\right]} = 152{,}63777\ [MPa]$$

$$\Delta\sigma_e = \sigma_e^{Mohr} - \sigma_e^{HMH} = 19{,}445\ [MPa]$$

7. Számítsa ki a P pontbeli u alakváltozási energiasűrűség értékét! Adja meg ennek az u_h térfogatváltozásra, és az u_d alaktorzulásra forduló részét!

$$u = u_d + u_h \Rightarrow \boxed{u_d = u - u_h = 0{,}0481 \;[J/m^3]}$$

$$u = \frac{1}{2} \underline{\underline{\sigma}} : \underline{\underline{\varepsilon}} = 0{,}04946 \;[J/m^3]$$

$$u_h = \frac{1}{2} \underline{\underline{\sigma}}_I : \underline{\underline{\varepsilon}}_I = \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot \frac{1}{9} \sigma_I \cdot \varepsilon_I$$

$$= \frac{1}{6} \sigma_I \cdot \varepsilon_I = 1{,}3823573 \cdot 10^{-3}$$

$$\underline{\underline{\varepsilon}}_I = \frac{1}{3} \varepsilon_I \underline{\underline{E}}$$

$$\underline{\underline{\sigma}}_I = \frac{1}{3} \sigma_I \underline{\underline{E}}$$

$$\sigma_I = -66$$

$$\varepsilon_I = -1{,}257143 \cdot 10^{-4}$$

$$\underline{\underline{\sigma}} = \begin{bmatrix} -99{,}231 & 0 & -54{,}9231 \\ 0 & 0 & 0 \\ -54{,}9231 & 0 & 33{,}231 \end{bmatrix} \qquad \underline{\underline{\varepsilon}} = \begin{bmatrix} -5{,}2 \cdot 10^{-4} & 0 & -3{,}4 \cdot 10^{-4} \\ 0 & 0{,}942857 \cdot 10^{-4} & 0 \\ -3{,}4 \cdot 10^{-4} & 0 & 3 \cdot 10^{-4} \end{bmatrix}$$