

5. RUDAK IGÉNYBEVÉTELEI, IGÉNYBEVÉTELI ÁBRÁI

5.1. Rudak igénybevételei

a) Alapfogalmak:

Rúd: olyan test, amelynek egyik mérete lényegesen nagyobb, mint a másik kettő.

Rúd modell: a rudat egy vonallal helyettesítjük és mechanikai viselkedésére jellemző mennyiségeket ehhez a vonalhoz kötjük.

Keresztmetszet: a rúd legnagyobb méretére merőleges metszet.

Középvonal / súlyponti szál: a keresztmetszetek S pontjai által alkotott vonal.

Egyenes rúd: a rúd középvonala egyenes.

Görbe rúd: a rúd középvonala görbe.

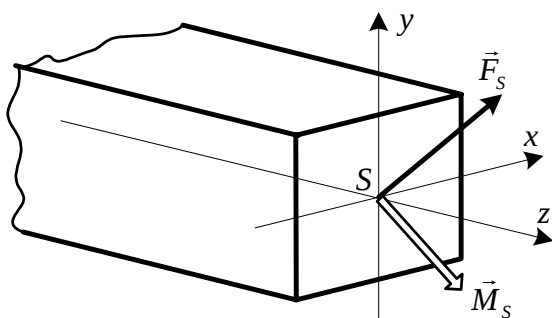
Prizmatikus rúd: keresztmetszetei azonos alakúak és térbeli elhelyezkedésük (leegyszerűsítve: állandó keresztmetszetű rúd).

Feszültség: a felületen megoszló belső erőrendszer sűrűségvektora: $\vec{\rho} \left[\text{N/m}^2 = \text{Pa} \right]$.

b) Az igénybevételek értelmezése:

Értelmezés: a rúd keresztmetszetén megoszló belső erőrendszer S pontba redukált vektorkettősének skaláris koordinátái.

A fogalomalkotás gondolatmenete:

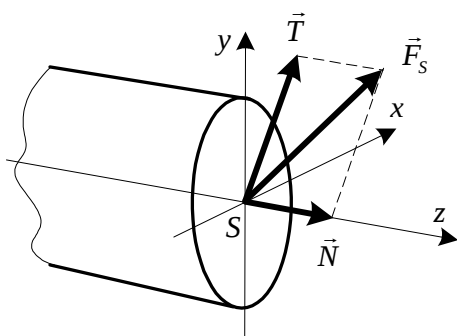


- a rúd átmetszése $\Rightarrow$ keresztmetszet,
- a keresztmetszeten (felületen) megoszló belső erőrendszer ébred $\Rightarrow$ feszültség,
- a felületen megoszló belső erőrendszer redukálása a km. S pontjába $\Rightarrow \vec{F}_S, \vec{M}_S$.

Megjegyzések:

- A feszültségek (a felületen megoszló belső erőrendszer $\equiv$ feszültségek) statikai módszerekkel nem határozhatók meg.
- Az igénybevételek (a feszültségek eredői) azonban statikai módszerekkel meghatározhatók.
- Jelölés: az $\vec{F}_S, \vec{M}_S$ a rúd $+\vec{e}_z$ normálisú keresztmetszetének igénybevételei, a $-\vec{e}_z$ normálisú keresztmetszeten $-\vec{F}_S, -\vec{M}_S$ lép fel.
- Az $\vec{F}_S, \vec{M}_S$ vektorkettősnek általános esetben 6 skaláris koordinátája van.

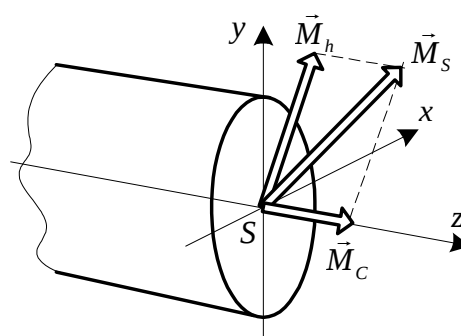
c) Az eredő vektorkettős összetevői:



$$\vec{F}_S = \vec{T} + \vec{N}.$$

$\vec{T}$ - nyíróerő vektor,

$\vec{N}$ - rúderő vektor.



$$\vec{M}_S = \vec{M}_h + \vec{M}_c.$$

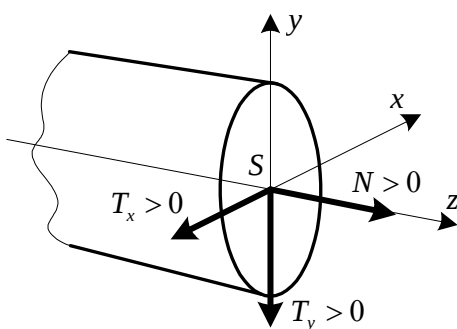
$\vec{M}_h$ - hajlító nyomaték,

$\vec{M}_c$ - csavaró nyomaték.

d) Az eredő vektorkettős skaláris koordinátái:

Igénybevétel: a felületen (a keresztmetszeten) megoszló belső erőrendszer eredő vektorkettősének *skaláris* koordinátái.

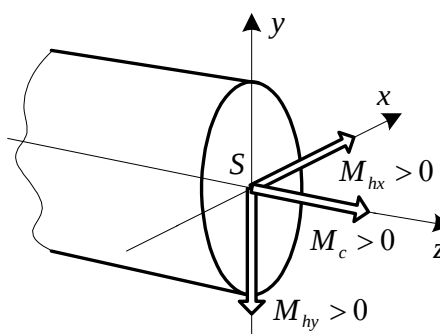
Az igénybevételek (a skaláris koordináták) előjelének értelmezése:



$$\vec{F}_S = (-T_x \vec{e}_x - T_y \vec{e}_y) + N \vec{e}_z.$$

N - rúderő,

T_x, T_y - nyíróerők.

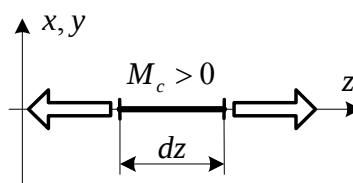
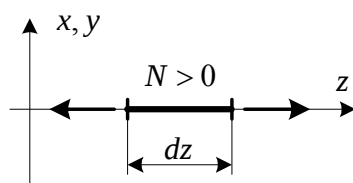


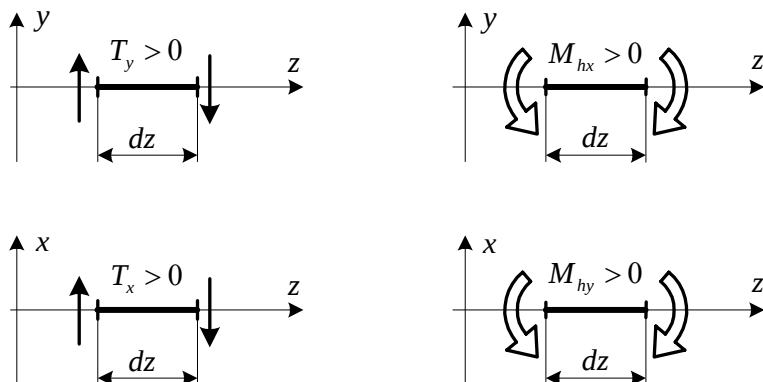
$$\vec{M}_S = (M_{hx} \vec{e}_x - M_{hy} \vec{e}_y) + M_c \vec{e}_z.$$

M_c - csavaró nyomaték,

M_{hx}, M_{hy} - hajlító nyomatékok.

Az előjelek szemléltetése elemi rúdszakaszon:





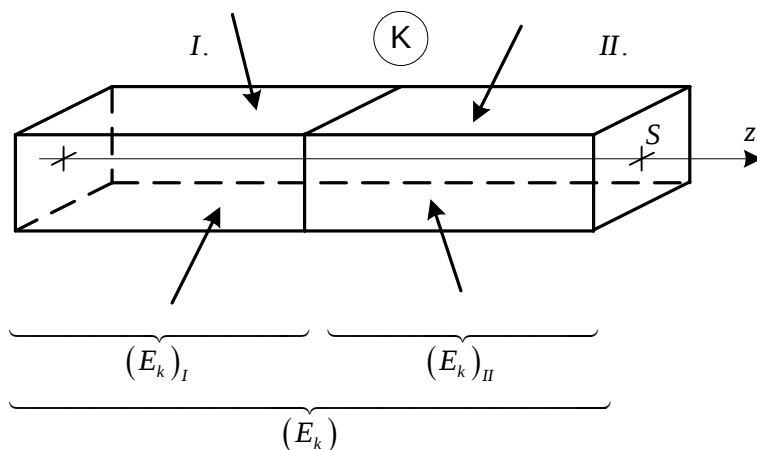
Az igénybevételek előjelét elemi rúdszakaszhoz kötöttén értelmezzük és nem koordináta-rendszerhez kötöttén.

Igénybevételek síkbeli terhelés esetén:

(yz) sík:	$T_y, M_{hx}, (N, M_c).$
(xz) sík:	$T_x, M_{hy}, (N, M_c).$

5.2. Rudak igénybevételeinek meghatározása

Átmetszés: a rudat a K keresztmetszettel (síkmetszettel) két részre, az I. és II. részre bontjuk.



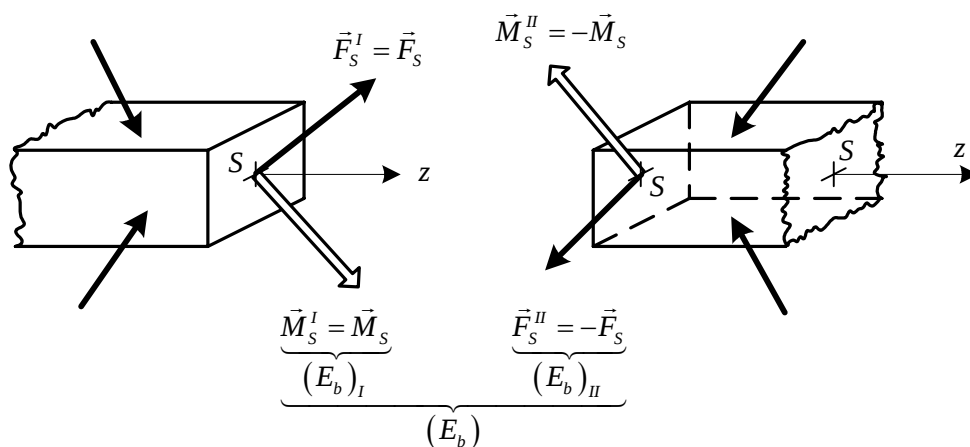
(E_k) - egyensúlyi külső erőrendszer.

Ezt az egyensúlyi külső erőrendszert is két részre bontjuk: $(E_k)_I, (E_k)_{II}$.

A külső erőrendszer egyensúlyi:

$$\overset{M}{(E_k)} = \overset{M}{(E_k)_I} + \overset{M}{(E_k)_{II}} = (0) \quad \Rightarrow \quad \overset{M}{(E_k)_I} = -\overset{M}{(E_k)_{II}}.$$

Az egyenlőségjel fölötti M betű arra utal, hogy az egyenlőség a nyomatéki tér vonatkozásában áll fenn.



Jelölés: (E_b) - a belső erőrendszer,

$\vec{F}_S = \vec{F}_S^I$, $\vec{M}_S = \vec{M}_S^I$, a belső erőrendszer redukált vektorkettőse.

A két rúdrész külön - külön is egyensúlyban van:

$$(E_k)_I + (E_b)_I^M = (0),$$

$$(E_k)_{II} + (E_b)_{II}^M = (0).$$

Az igénybevételek meghatározásának módszerei

a) A megtartott (vizsgált) rész egyensúlyából:

$$(\vec{F}_S, \vec{M}_S)^M = (E_b)_I^M = -(E_k)_I,$$

$$(\vec{F}_S^{II}, \vec{M}_S^{II})^M = (E_b)_{II}^M = -(E_k)_{II}.$$

b) Az elhagyott részre működő külső erőrendszer redukciójával

$$(\vec{F}_S, \vec{M}_S)^M = (E_b)_I^M = -(E_k)_I = (E_k)_{II},$$

$$(\vec{F}_S^{II}, \vec{M}_S^{II})^M = (E_b)_{II}^M = -(E_k)_{II} = (E_k)_I.$$

Pl. az első egyenletből következően az I. rúdrész $+z$ normálisú keresztmetszetén fellépő redukált vektorkettős egyenértékű a II. rúdrészre ható külső erőrendszerrel.

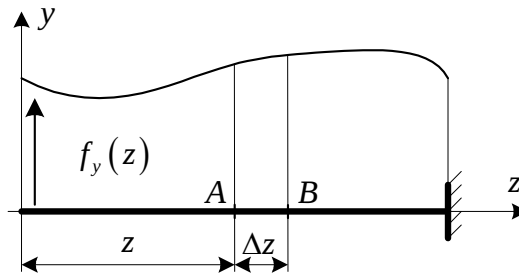
5.3.) Igénybevételi ábrák, igénybevételi függvények

Az $N(z)$, $T_x(z)$, $T_y(z)$, $M_c(z)$, $M_{hx}(z)$, $M_{hy}(z)$ függvényeket igénybevételi függvényeknek nevezzük.

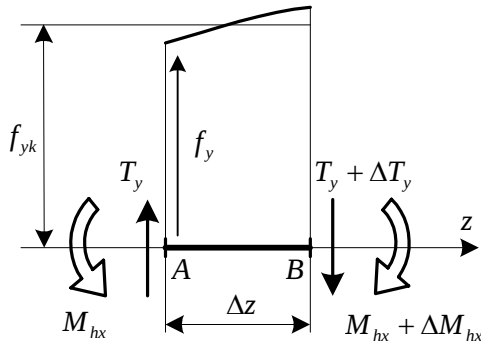
a) Megoszló terhelés hatása az igénybevételi ábrákra:

Az $f_y = f_y(z)$ a tartóra (rúdra) ható ismert vonal mentén megoszló terhelés.

Az $f_y = f_y(z)$ mértékegysége: N/m.



A tartó AB elemi rúdszakaszának egyensúlyát vizsgáljuk:



f_{yk} - az $f_y(z)$ függvény Δz szakaszra vonatkozó középértéke.

Gondolatmenet:

- egyensúlyi egyenlet felírása,
- a $\Delta z \rightarrow 0$ határátmenet képzése.

Az y irányú vetületi egyenlet:

$$F_y = 0 = T_y + f_{yk} \Delta z - (T_y + \Delta T_y)$$

$$\frac{\Delta T_y}{\Delta z} = f_{yk}, \quad \Delta z \rightarrow 0, \quad \frac{dT_y}{dz} = f_y(z).$$

A B ponton átmenő, rajz síkjából kifelé mutató tengelyre felírt nyomatéki egyenlet:

$$M_b = 0 = M_{hx} - T_y \Delta z - \overbrace{f_{yk} \Delta z}^{\text{a megosztó terhelés eredője}} (\lambda \Delta z) - (M_{hx} + \Delta M_{hx}), \text{ ahol } 0 < \lambda < 1.$$

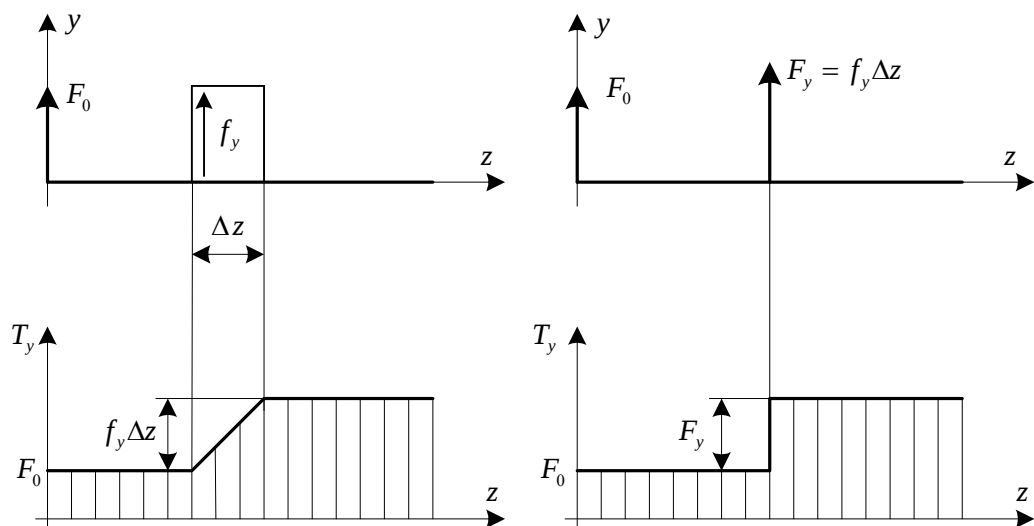
$$\frac{\Delta M_{hx}}{\Delta z} = -T_y - f_{yk} (\lambda \Delta z), \quad \Delta z \rightarrow 0, \quad \frac{dM_{hx}}{dz} = -T_y(z).$$

Ez a két differenciálegyenlet a rúd két egyensúlyi egyenlete.

b) Koncentrált erő hatása az igénybevételi ábrákra:

A koncentrált erőt a $\Delta z \rightarrow 0$ szakaszon megosztó terhelésnek is tekintjük.

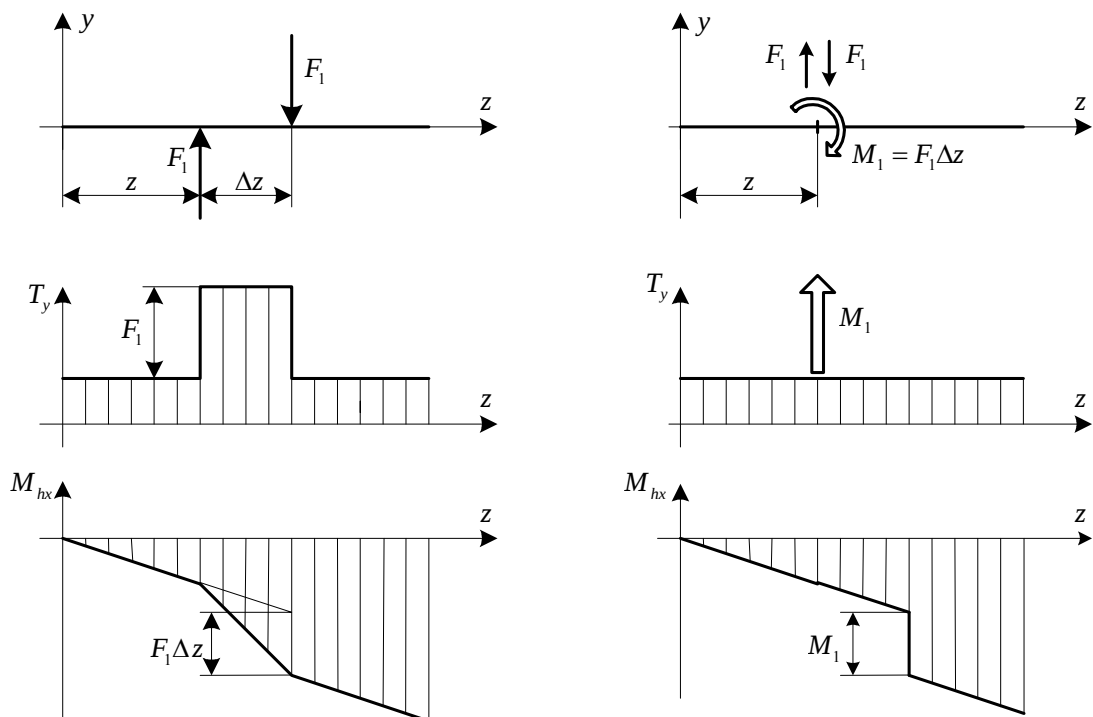
A koncentrált erő hatását a megosztó terhelés hatásának ismeretére vezetjük vissza.



Az F_y koncentrált erő a $T_y(z)$ nyíróerő ábrában (balról jobbra haladva) F_y nagyságú és irányú ugrást (szakadást) okoz.

c) Koncentrált nyomaték hatása az igénybevételi ábrákra:

A koncentrált nyomaték két, $\Delta z \rightarrow 0$ távolságú, párhuzamos és ellentétes irányú erő.
A koncentrált nyomaték hatását a koncentrált erő hatásának ismeretére vezetjük vissza.



- Az M_1 koncentrált nyomaték a nyíróerő ábrában egy M_1 területvektort eredményez.

A területvektor nagysága megegyezik a koncentrált nyomaték nagyságával, a területvektor irányát pedig a koncentrált nyomatékot helyettesítő (függőleges erőkből álló) erőpár bal oldali erővektorának iránya adja meg.

- A koncentrált nyomaték az $M_{hx}(z)$ nyomatéki ábrában (balról jobbra haladva) M_1 nagyságú, a területvektorral ellentétes irányú ugrást (szakadást) okoz.

d) Az egyensúlyi egyenletek integrál alakja:

- Első egyensúlyi egyenlet:

differenciális alak: $\frac{dT_y(z)}{dz} = f_y(z).$

integrál alak: $T_y(z) - T_y(0) = \int_{\zeta=0}^z f_y(\zeta) d\zeta.$

A nyíróerő ábra $<0, z>$ szakaszon történő megváltozása egyenlő az $f_y(\zeta)$ terhelésábra integráljával.

- Második egyensúlyi egyenlet:

differenciális alak: $\frac{dM_{hx}(z)}{dz} = -T_y(z).$

integrál alak: $M_{hx}(z) - M_{hx}(0) = - \int_{\zeta=0}^z T_y(\zeta) d\zeta.$

A nyomatéki ábra $<0, z>$ szakaszon történő megváltozása egyenlő a $T_y(\zeta)$ nyíróerő ábra negatív integráljával.

e) Az eredmények általánosítása térbeli esetre:

Az előző gondolatmenet az xz síkba eső terhelésre is elvégezhető.

A térbeli terhelés mindig felbontható egy yz síkba és egy xz síkba eső részre.

Az yz síkba eső erőrendszer esetén:

$$T_y(z) - T_y(0) = \int_{\zeta=0}^z f_y(\zeta) d\zeta, \quad M_{hx}(z) - M_{hx}(0) = - \int_{\zeta=0}^z T_y(\zeta) d\zeta.$$

Az xz síkba eső erőrendszer esetén:

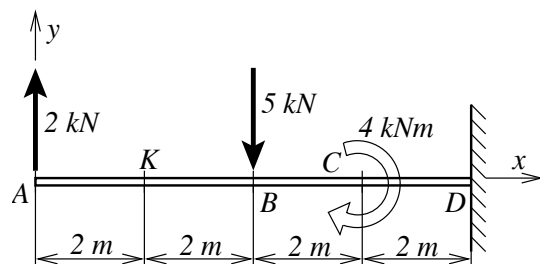
$$T_x(z) - T_x(0) = \int_{\zeta=0}^z f_x(\zeta) d\zeta, \quad M_{hy}(z) - M_{hy}(0) = - \int_{\zeta=0}^z T_x(\zeta) d\zeta.$$

f) Igénybevételi ábrák megrajzolásának gondolatmenete:

- A támasztó erőrendszer meghatározása.
- Minden terhelés redukálása a tartó középvonalába.
- A középvonalba redukált erőrendszer felbontása xz és yz síkba eső részekre
- Az $N(z)$ és $M_c(z)$ ábrák megrajzolása (ezek függetlenek az erőrendszer felbontásától).
- Az yz síkbeli terheléshez tartozó $T_y(z)$, $M_{hx}(z)$ igénybevételi ábrák megrajzolása.
- Az xz síkbeli terheléshez tartozó $T_x(z)$, $M_{hy}(z)$ igénybevételi ábrák megrajzolása.

5.4. Gyakorló feladatok rúdszerkezetek igénybevételeinek meghatározására és igénybevételi ábráinak megrajzolására

5.4.1. feladat: Befalazott tartó megadott keresztmetszetei igénybevételei



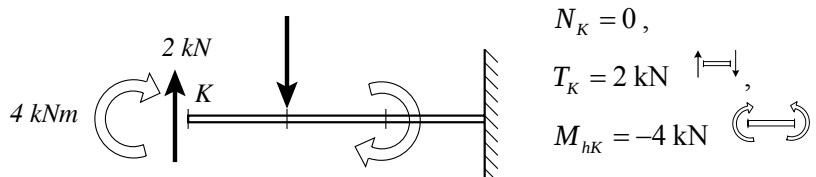
Adott: A tartószerkezet méretei és terhelése.

Feladat:

- A K , B^- , B^+ , C^- , C^+ és D keresztmetszetek igénybevételeinek meghatározása.
- A támasztó erőrendszer meghatározása.

Kidolgozás:

a) A K keresztmetszet igénybevételei:

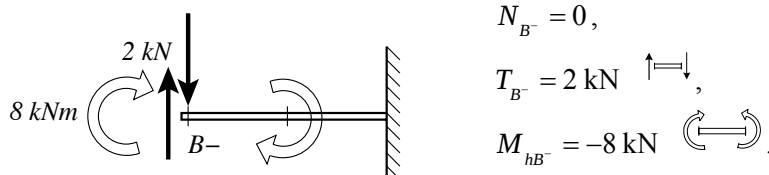


$$N_K = 0,$$

$$T_K = 2 \text{ kN} \quad \uparrow \leftarrow \downarrow,$$

$$M_{hK} = -4 \text{ kNm} \quad \curvearrowleft.$$

b) A B^- (a B mellett közvetlenül balra levő) keresztmetszet igénybevételei:

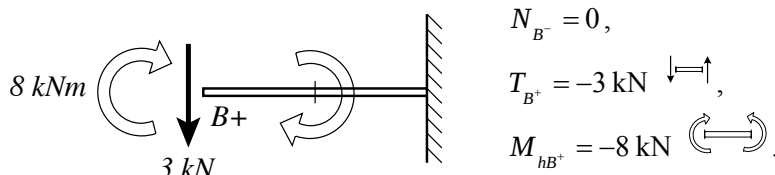


$$N_{B^-} = 0,$$

$$T_{B^-} = 2 \text{ kN} \quad \uparrow \leftarrow \downarrow,$$

$$M_{hB^-} = -8 \text{ kNm} \quad \curvearrowleft.$$

c) A B^+ (a B mellett közvetlenül jobbra levő) keresztmetszet igénybevételei:

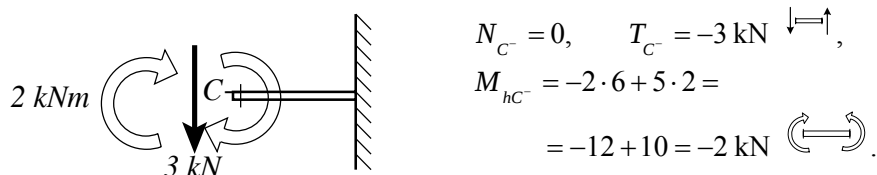


$$N_{B^+} = 0,$$

$$T_{B^+} = -3 \text{ kN} \quad \downarrow \leftarrow \uparrow,$$

$$M_{hB^+} = -8 \text{ kNm} \quad \curvearrowleft.$$

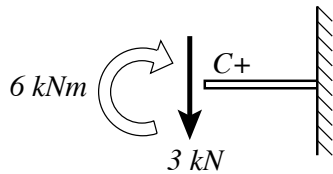
d) A C^- (a C mellett közvetlenül balra levő) keresztmetszet igénybevételei:



$$N_{C^-} = 0, \quad T_{C^-} = -3 \text{ kN} \quad \downarrow \leftarrow \uparrow,$$

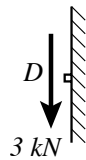
$$M_{hC^-} = -2 \cdot 6 + 5 \cdot 2 = -12 + 10 = -2 \text{ kNm} \quad \curvearrowleft.$$

e) A C^+ (a C mellett közvetlenül jobbra levő) keresztmetszet igénybevételei:



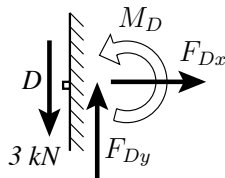
$$\begin{aligned} N_{C^+} &= 0, & T_{C^+} &= -3 \text{ kN} \quad \downarrow \Rightarrow \uparrow, \\ M_{hC^+} &= -2 \cdot 6 + 3 \cdot 2 - 4 = \\ &= -12 + 10 - 4 = -6 \text{ kNm} \quad \curvearrowright \end{aligned}$$

f) A D keresztmetszet igénybevételei:



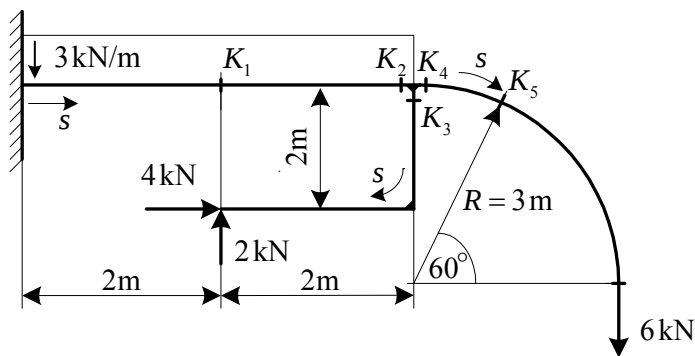
$$\begin{aligned} N_D &= 0, & T_D &= -3 \text{ kN} \quad \downarrow \Rightarrow \uparrow, \\ M_{hD} &= -2 \cdot 8 + 3 \cdot 4 - 4 = \\ &= -16 + 12 - 4 = 0. \end{aligned}$$

g) A támasztó erőrendszer:



$$\begin{aligned} F_{Dx} &= 0, \\ F_{Dy} &= 3 \text{ kN} \quad \uparrow, \\ M_{Dz} &= 0. \end{aligned}$$

5.4.2. feladat: Tartó megadott keresztmetszetei igénybevételei



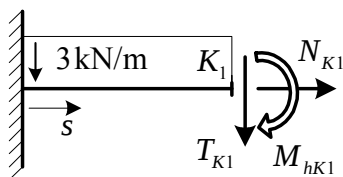
Adott: Az ábrán látható rúd-szerkezet méretei és terhelései.

Feladat:

A K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 keresztmetszetek igénybevételeinek meghatározása.

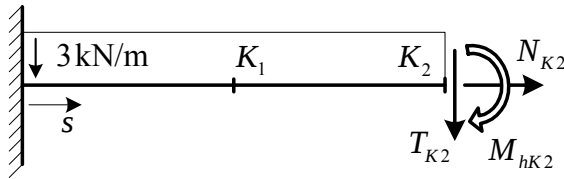
Kidolgozás:

a) A K_1 keresztmetszet igénybevételei:



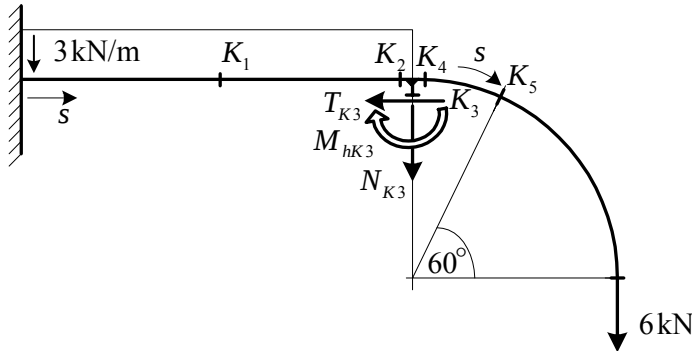
$$\begin{aligned} N_{K1} &= 4 \text{ kN} \quad \leftarrow \Rightarrow, \\ T_{K1} &= 6 - 2 + 3 \cdot 2 = 10 \text{ kN} \quad \uparrow \Rightarrow \downarrow, \\ M_{hK1} &= -2 \cdot 4 + 3 \cdot 6 + 1 \cdot 6 = \\ &= -8 + 30 + 6 = 28 \text{ kNm} \quad \curvearrowright. \end{aligned}$$

b) A K_2 keresztmetszet igénybevételei:



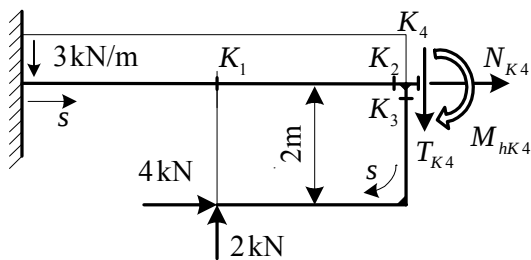
$$\begin{aligned} N_{K2} &= 4 \text{ kN} \quad \leftarrow \Rightarrow, \\ T_{K2} &= 6 - 2 = 4 \text{ kN} \quad \uparrow \downarrow, \\ M_{hK2} &= -2 \cdot 4 + 2 \cdot 2 + 3 \cdot 6 = \\ &= -8 + 4 + 18 = 14 \text{ kNm} \quad \curvearrowright. \end{aligned}$$

c) A K_3 keresztmetszet igénybevételei:



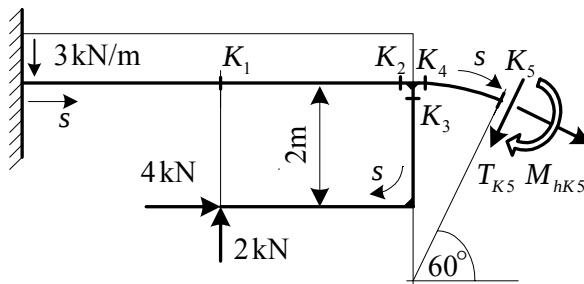
$$\begin{aligned} N_{K3} &= -2 \text{ kN} \quad \uparrow \downarrow, \\ T_{K3} &= -4 \text{ kN} \quad \leftarrow \rightarrow, \\ M_{hK3} &= -2 \cdot 4 + 2 \cdot 2 = \\ &= -8 + 4 = -4 \text{ kNm} \quad \curvearrowright. \end{aligned}$$

d) A K_4 keresztmetszet igénybevételei:



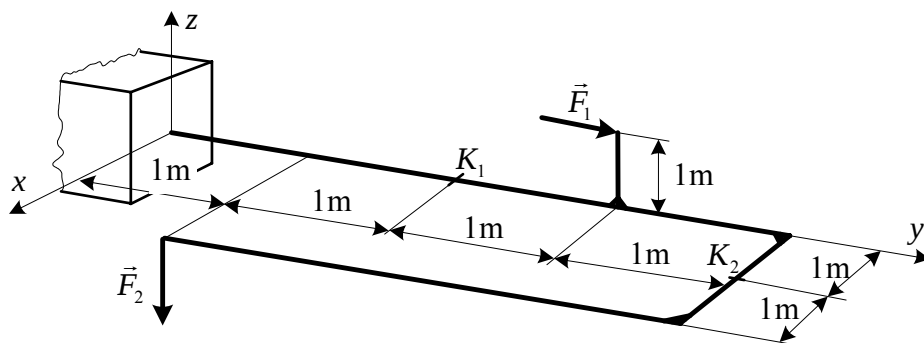
$$\begin{aligned} N_{K4} &= 0, \\ T_{K4} &= 6 \text{ kN} \quad \uparrow \downarrow, \\ M_{hK4} &= 3 \cdot 6 = 18 \text{ kNm} \quad \curvearrowright. \end{aligned}$$

e) A K_5 keresztmetszet igénybevételei:



$$\begin{aligned} N_{K5} &= 6 \cos 60^\circ = 3 \text{ kN} \quad \leftarrow \rightarrow, \\ T_{K5} &= 6 \sin 60^\circ = 3\sqrt{3} \text{ kN} \quad \uparrow \downarrow, \\ M_{hK5} &= 6R(1 - \cos 60^\circ) = \\ &= 6 \cdot 3 \left(1 - \frac{1}{2}\right) = 9 \text{ kNm} \quad \curvearrowright. \end{aligned}$$

5.4.3. feladat: Térbeli tartó megadott keresztmetszeti igénybevételei

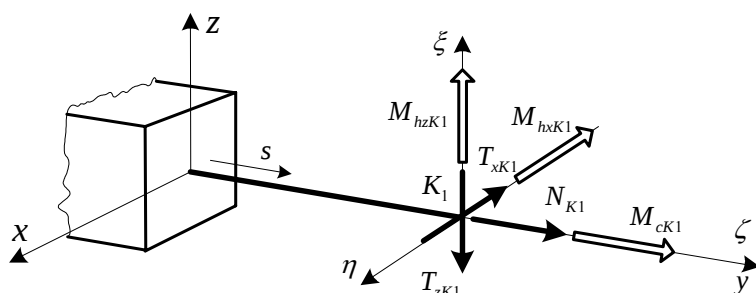


Adott: A tartó méretei és terhelései. $\vec{F}_1 = (4\vec{e}_y)$ kN, $\vec{F}_2 = (-2\vec{e}_z)$ kN.

Feladat: A K_1 és K_2 keresztmetszet igénybevételeinek meghatározása.

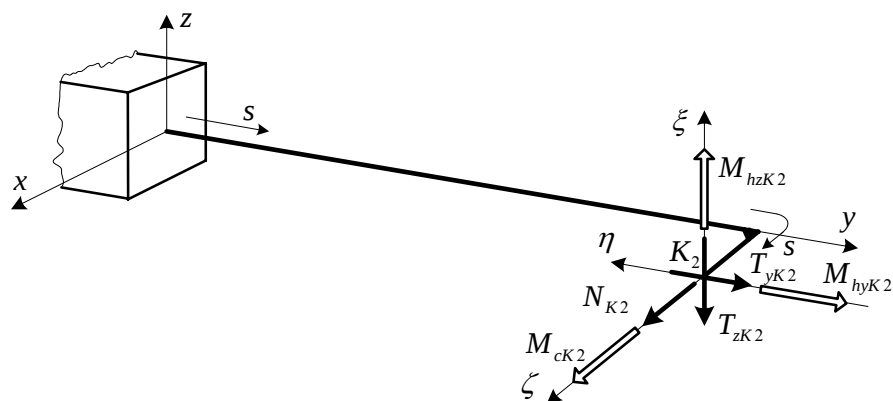
Kidolgozás:

a) A K_1 keresztmetszetek igénybevételeinek meghatározása:



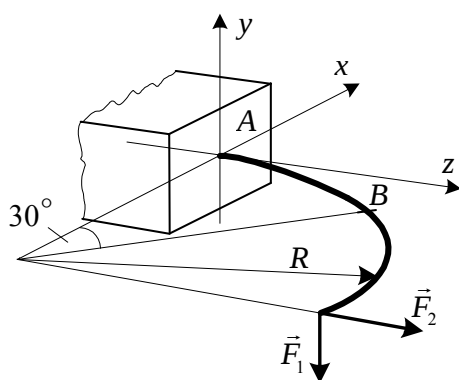
$$\begin{aligned} N_{K1} &= 4 \text{ kN}, \\ T_{xK1} &= T_{\eta K1} = 0, \\ T_{zK1} &= T_{\xi K1} = 2 \text{ kN}, \\ M_{cK1} &= 4 \text{ kNm}, \\ M_{hxK1} &= M_{\eta K1} = 0, \\ M_{hzK1} &= M_{\xi K1} = 2 \text{ kNm}. \end{aligned}$$

b) A K_2 keresztmetszetek igénybevételeinek meghatározása:



$$\begin{aligned} N_{K2} &= 0, & T_{zK2} &= T_{\xi K2} = 2 \text{ kN}, & T_{yK2} &= T_{\eta K2} = 0, \\ M_{cK2} &= 6 \text{ kNm} & M_{hyK2} &= M_{\eta K2} = 2 \text{ kNm}, & M_{hzK2} &= M_{\xi K2} = 0. \end{aligned}$$

5.4.4. feladat: Térbeli tartó megadott keresztmetszetei igénybevételei



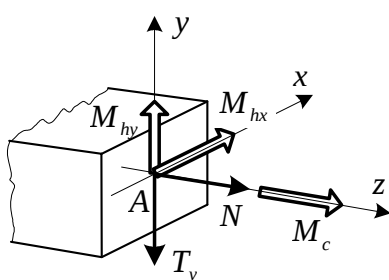
Adott: $R = 0,3 \text{ m}$, $\vec{F}_1 = (-2\vec{e}_y) \text{ kN}$,

$$\vec{F}_2 = (\vec{e}_z) \text{ kN}.$$

Feladat: Az A és B keresztmetszetek igénybevételeinek meghatározása.

Kidolgozás:

a) Az A keresztmetszet igénybevételeinek meghatározása:



$$N_A = F_2 = 1 \text{ kN},$$

$$T_{xA} = 0,$$

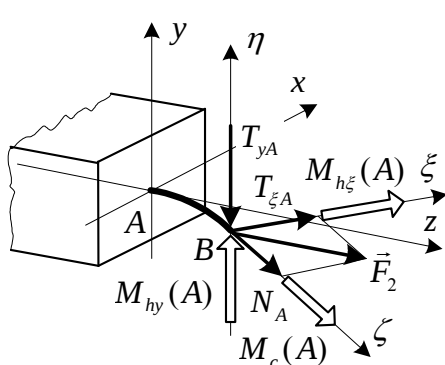
$$T_{yA} = F_1 = 2 \text{ kN},$$

$$M_c(A) = RF_1 = 0,6 \text{ kNm},$$

$$M_{hx}(A) = RF_1 = 0,6 \text{ kNm},$$

$$M_{hy}(A) = -RF_2 = -0,3 \text{ kNm}.$$

b) A B keresztmetszet igénybevételeinek meghatározása:



$$N_B = F_2 \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ kN},$$

$$T_{\xi B} = F_2 \sin 30^\circ = 0,5 \text{ kN},$$

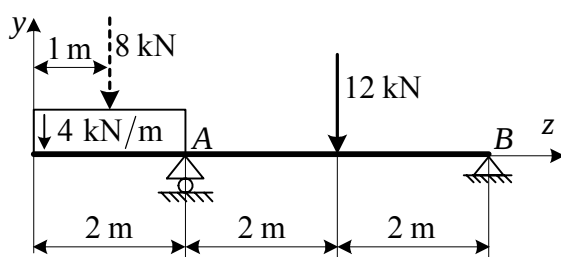
$$T_{\eta B} = T_{yB} = F_1 = 2 \text{ kN},$$

$$M_c(B) = R(1 - \sin 30^\circ)F_1 = 0,3 \text{ kNm},$$

$$M_{h\xi}(B) = R \cos 30^\circ F_1 = 0,3\sqrt{3} \text{ kNm},$$

$$M_{h\eta}(B) = M_{hy}(B) = R \cos 30^\circ F_2 = 0,15\sqrt{3} \text{ kNm}.$$

5.4.5. feladat: Kéttámaszú konzolos tartó igénybevételi ábrái



Adott: a tartószerkezet méretei és terhelése.

Feladat: az igénybevételi ábrák megrajzolása.

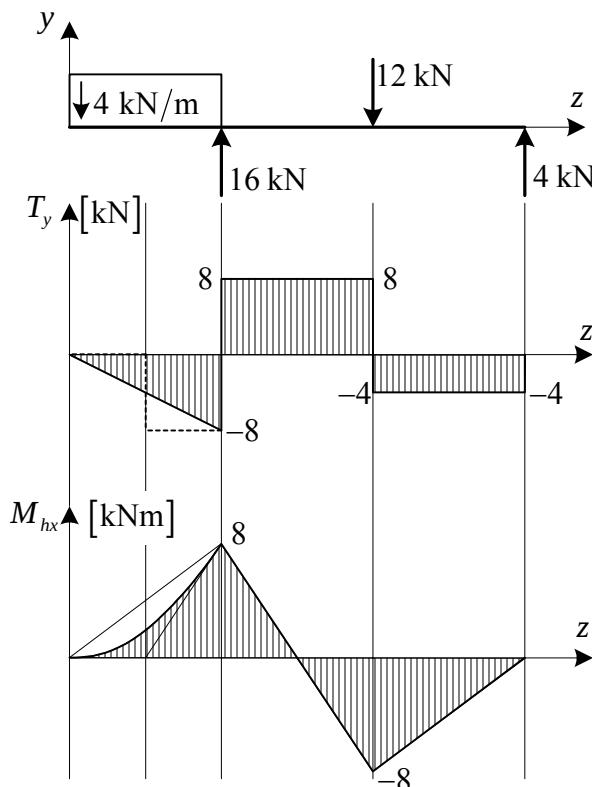
Kidolgozás:

A támasztóerők meghatározása:

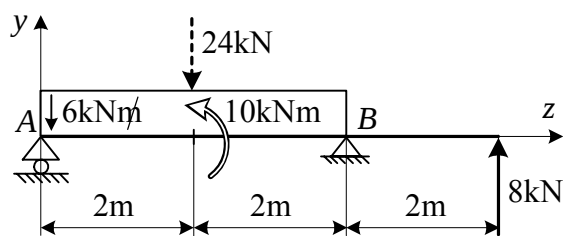
$$M_a = 0 = 1 \cdot 8 - 2 \cdot 12 + 4F_{By} \Rightarrow F_{By} = 4 \text{ kN } \uparrow,$$

$$M_b = 0 = 5 \cdot 8 - 4F_{Ay} + 2 \cdot 12 \Rightarrow F_{Ay} = 16 \text{ kN } \uparrow.$$

Az igénybevételi ábrák megrajzolása:



5.4.6. feladat: Kéttámaszú konzolos tartó igénybevételi ábrái



Adott: a tartószerkezet méretei és terhelése.

Feladat: az igénybevételi ábrák megrajzolása.

Kidolgozás:

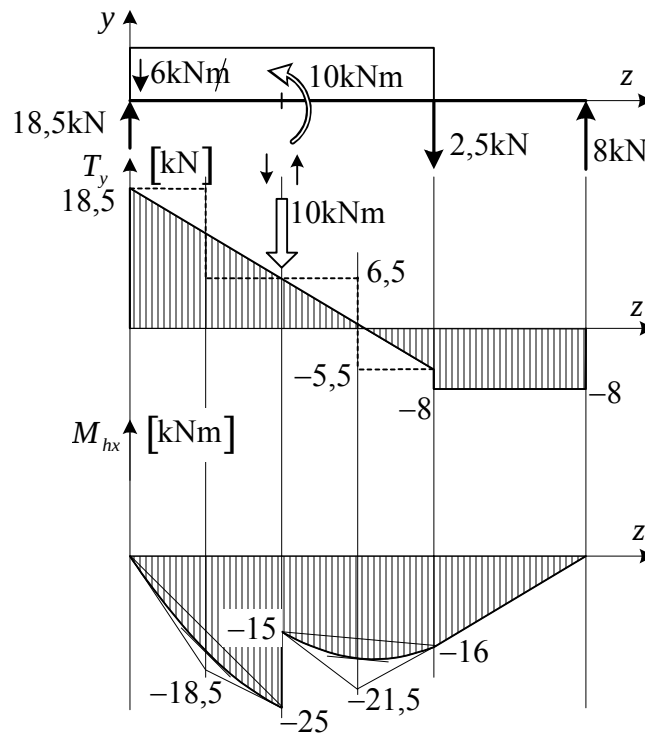
A támasztóerők meghatározása:

$$M_a = 0 = -2 \cdot 24 + 10 + 4F_{By} + 6 \cdot 8 \Rightarrow F_{By} = -2,5 \text{ kN } \downarrow,$$

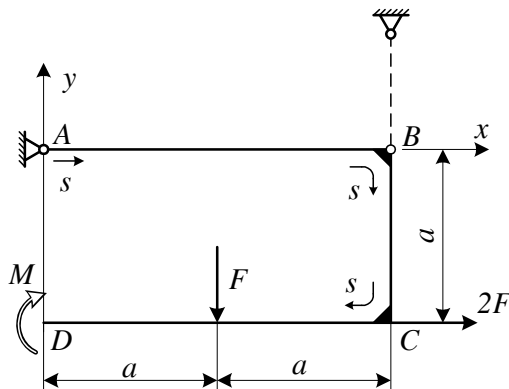
$$M_b = 0 = -4F_{Ay} + 2 \cdot 24 + 2 \cdot 8 + 10 \Rightarrow F_{Ay} = 18,5 \text{ kN } \uparrow.$$

Az igénybevételi ábrák megrajzolása:

Itt az $M_{hx}(z)$ hajlító nyomatéki ábra megrajzolásánál két parabolát kell rajzolni azért, mert a koncentrált nyomaték (és az ennek megfelelő területvektor) az ábrában szakadást okoz.



5.4.7. feladat: Törtvonalú tartó igénybevételi ábrái



Adott: A tartó méretei és terhelése.

Feladat: Az igénybevételi ábrák megrajzolása, és a maximális hajlító nyomaték meghatározása.

Kidolgozás:

A támasztóerők meghatározása:

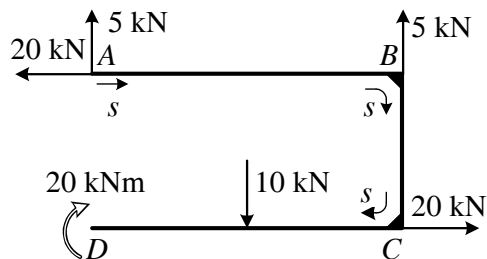
$$F_x = 0 = F_{Ax} + 2F \Rightarrow F_{Ax} = -2F = -2 \cdot 10 = -20 \text{ kN} \leftarrow,$$

$$M_a = 0 = 2aF_{By} + a2F - aF - M \Rightarrow$$

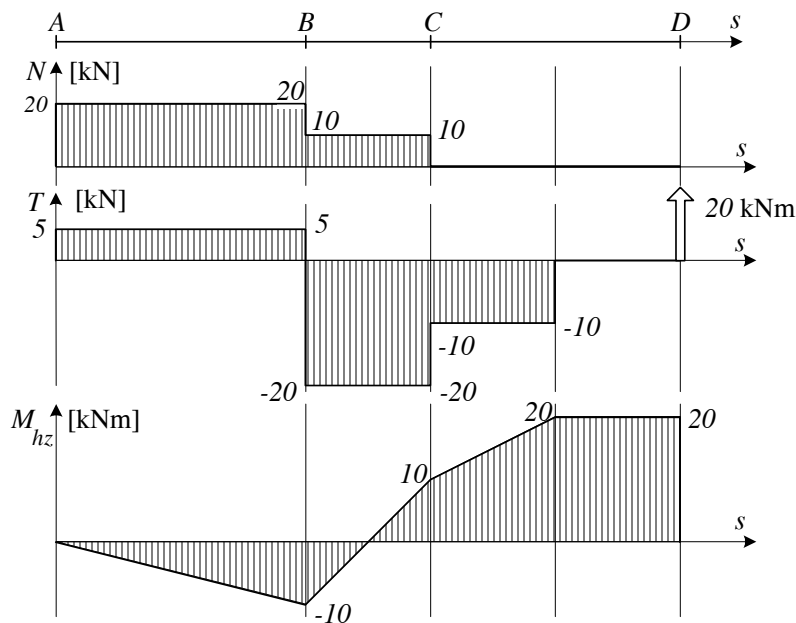
$$F_{By} = \frac{-2aF + aF + M}{2a} = \frac{-2 \cdot 1 \cdot 10 + 1 \cdot 10 + 20}{2 \cdot 1} = 5 \text{ kN} \uparrow,$$

$$F_y = 0 = F_{Ay} + F_{By} - F \Rightarrow F_{Ay} = -F_{By} + F = -5 + 10 = 5 \text{ kN} \uparrow.$$

A támasztóerők szemléltetése a tartón:



Az igénybevételi ábrák megrajzolása:

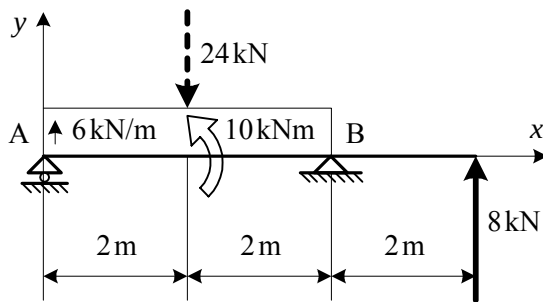


A tartót egyenesbe terítjük és az egyes keresztmetszeteket az s ívkoordinátával azonosítjuk. A rúderő és a nyíróerő ábrát az igénybevételek értelmezése alapján rajzoljuk meg.

A tartó középvonalának töréspontjai előtt és után az $N(s)$ és $T(s)$ ábrákon az igénybevételek értelmezéséből következően különböző irányú terhelő erőket kell figyelembe venni és ennek következtében még az előjel is megváltozhat. Ezért az $N(s)$ és $T(s)$ ábrákban a középvonal töréspontjaiban akkor is bekövetkezhethet szakadás (ugrás), ha ott nem működik koncentrált külső terhelés.

A maximális hajlító nyomaték (az ábrából): $|M_{hz}|_{\max} = 20 \text{ kNm}$.

5.4.3.feladat: Kéttámaszú konzolos tartó igénybevételi ábrái



Adott:

A szerkezet méretei és terhelése.

Feladat:

A kéttámaszú tartó támasztóerőinek meghatározása és az igénybevételi ábrák meg-
rajzolása.

Kidolgozás:

A támasztóerők meghatározása:

$$M_a = 0 = -2 \cdot 24 + 10 + 4F_{By} + 6 \cdot 8 \Rightarrow F_{By} = -2,5 \text{ kN} \quad (\downarrow),$$

$$M_b = 0 = -4F_{Ay} + 2 \cdot 24 + 2 \cdot 8 + 10 \Rightarrow F_{Ay} = 18,5 \text{ kN} \quad (\uparrow).$$

Itt az $M_h(x)$ hajlító nyomatéki ábra megrajzolásánál két parabolát kell rajzolni azért, mert a koncentrált nyomaték (és az ennek megfelelő területvektor) a nyomatéki ábrában szakadást okoz.

Az igénybevételi ábrák: