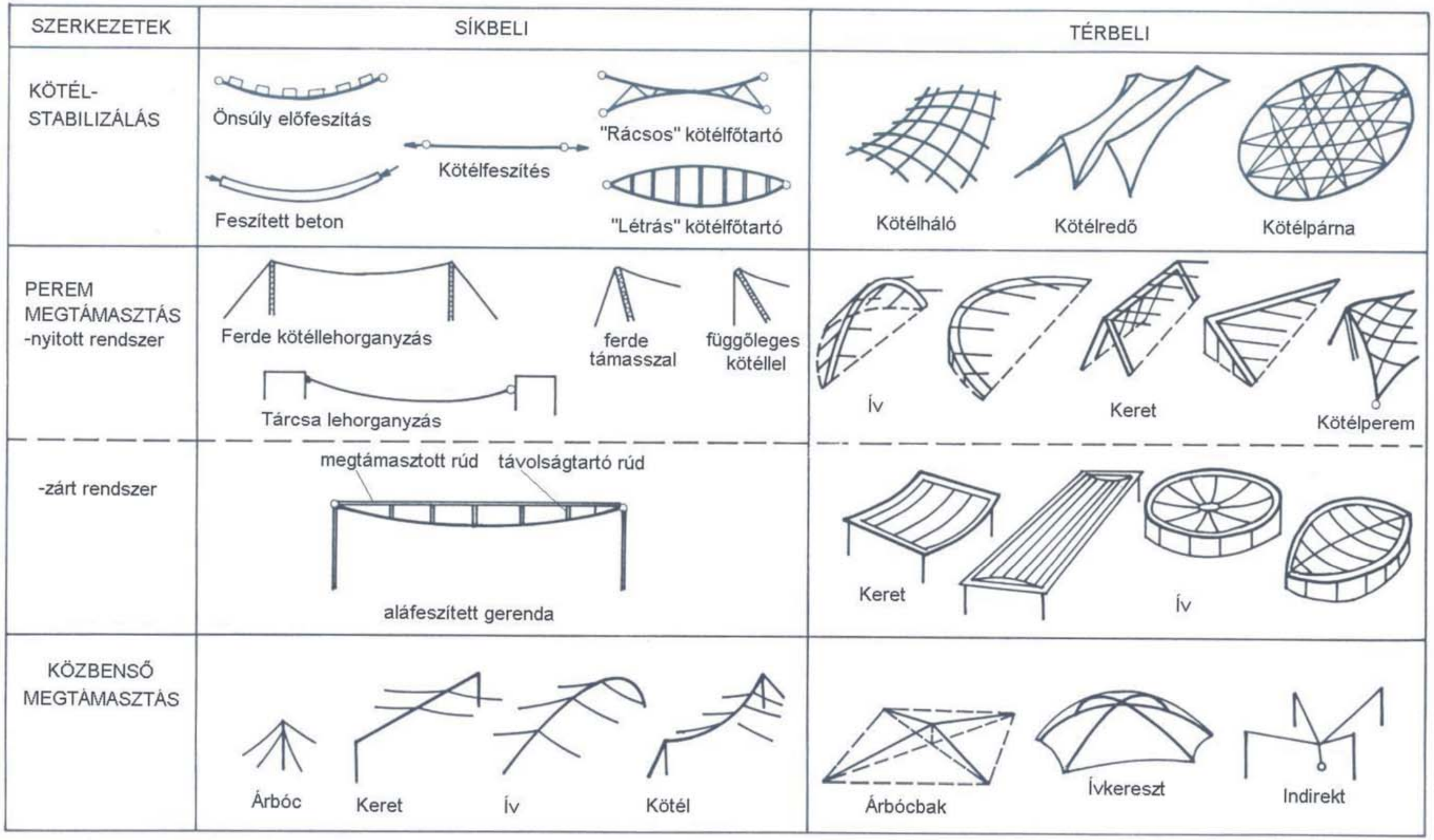
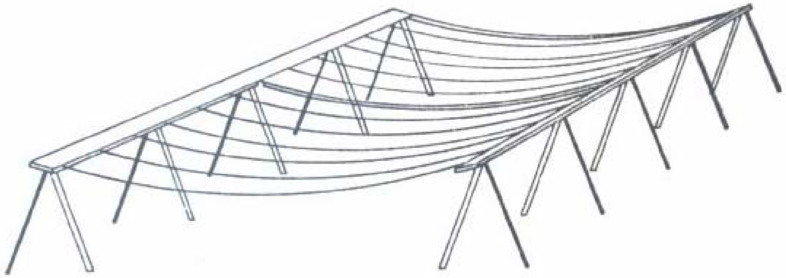
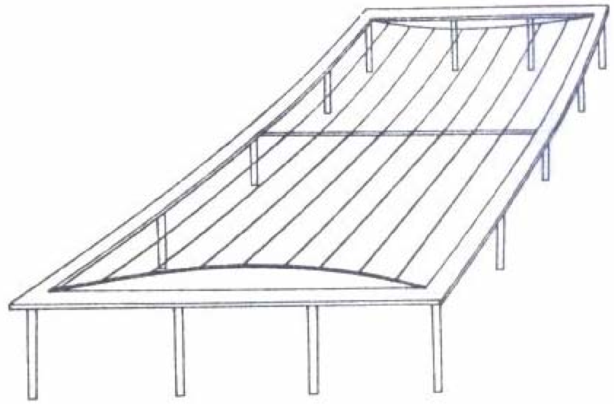
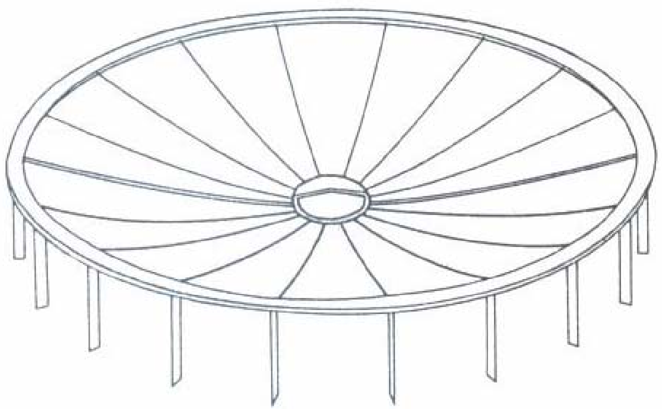
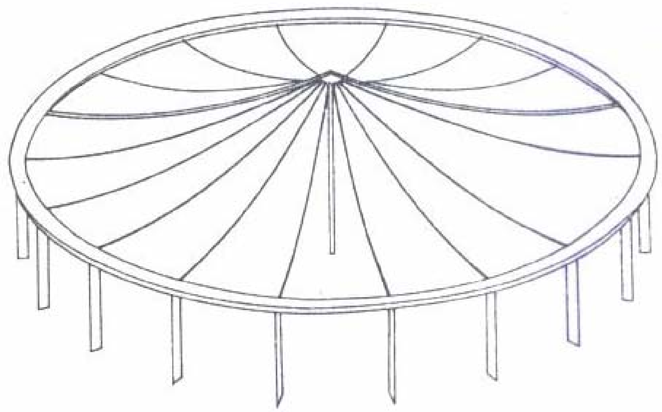
13. Előadás

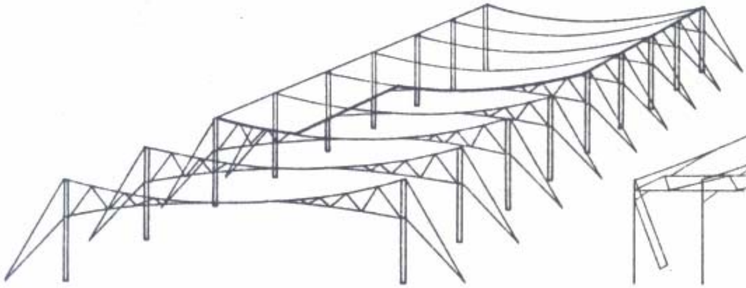
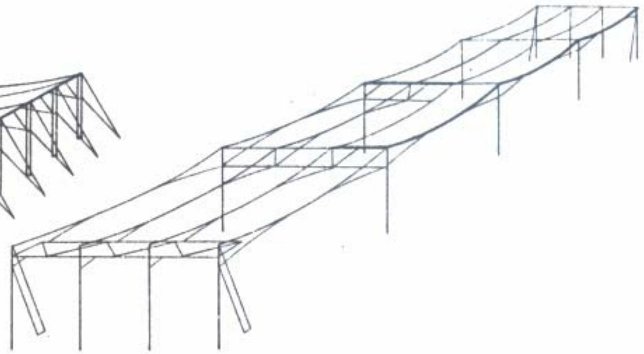
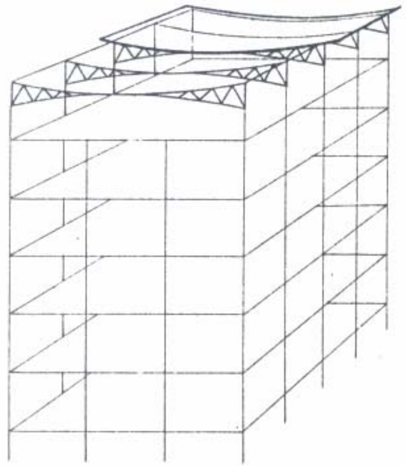
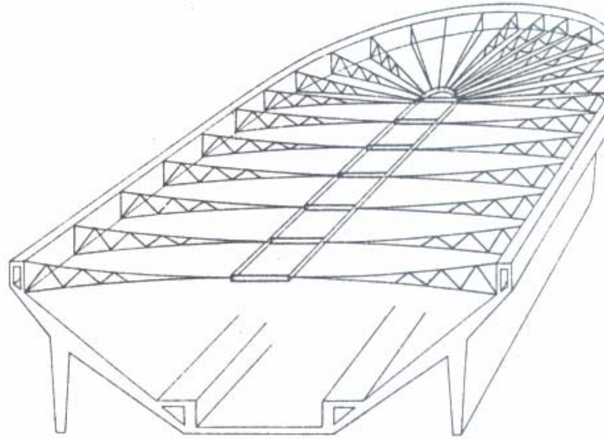
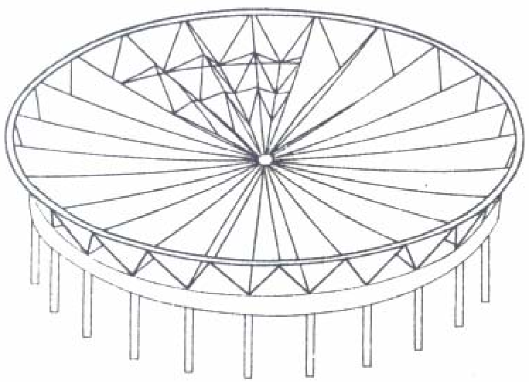
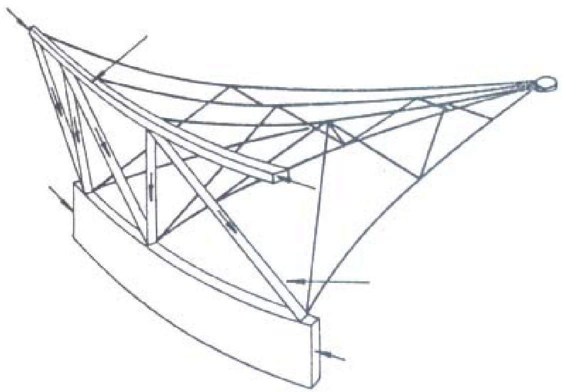
Kötélszerkezetek vizsgálata

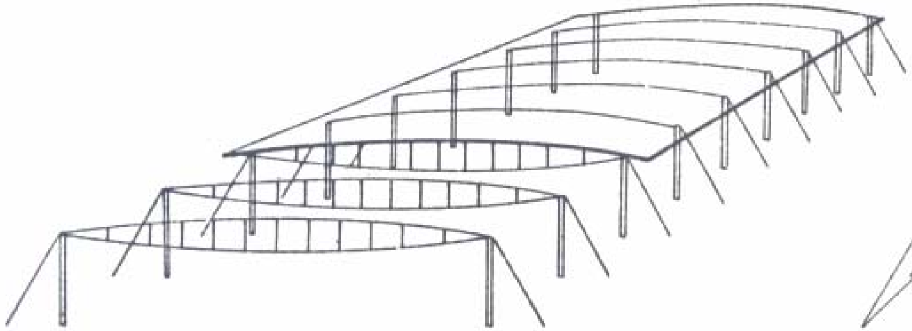
- számítás
- merevítések és burkolatok
- kivitelezés

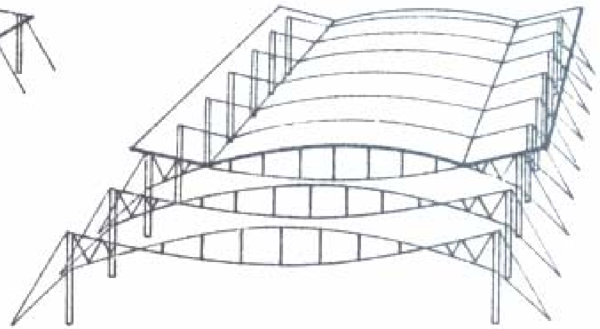
Kötélszerkezetek rendszerei

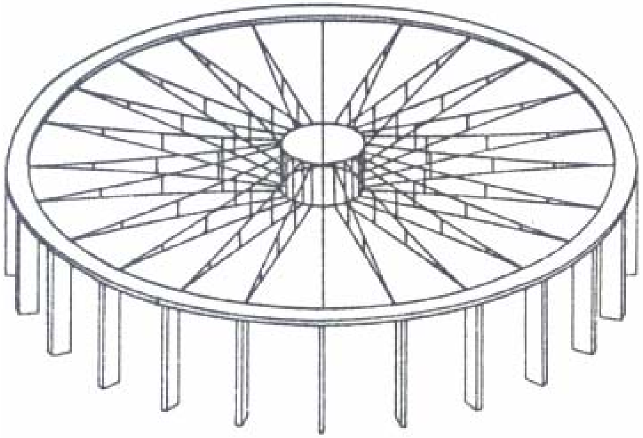


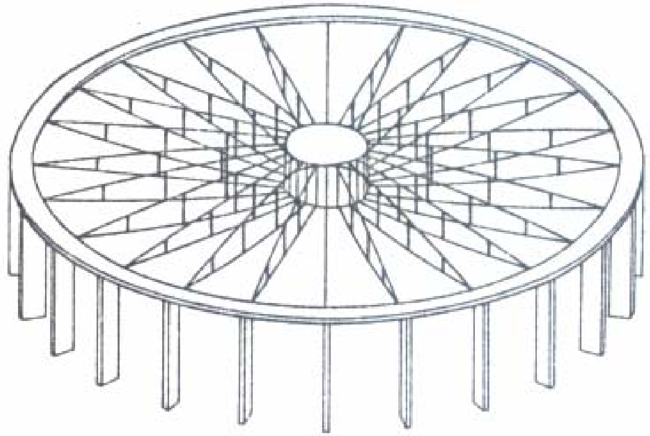





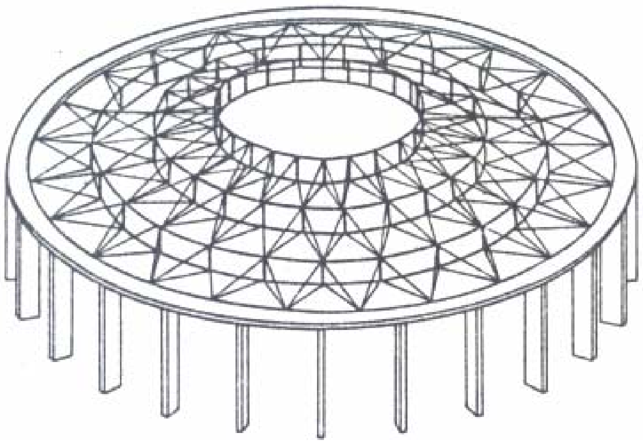







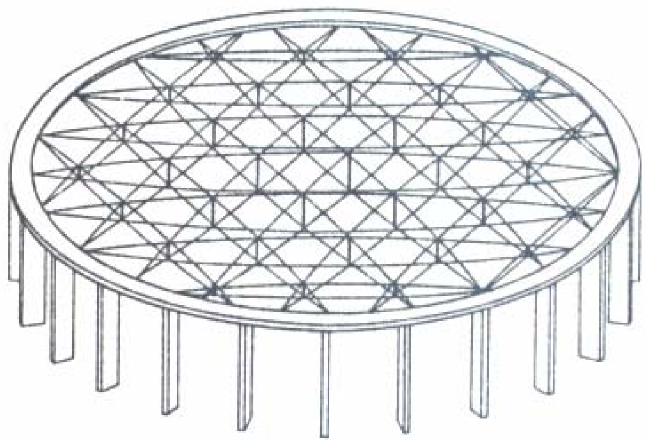


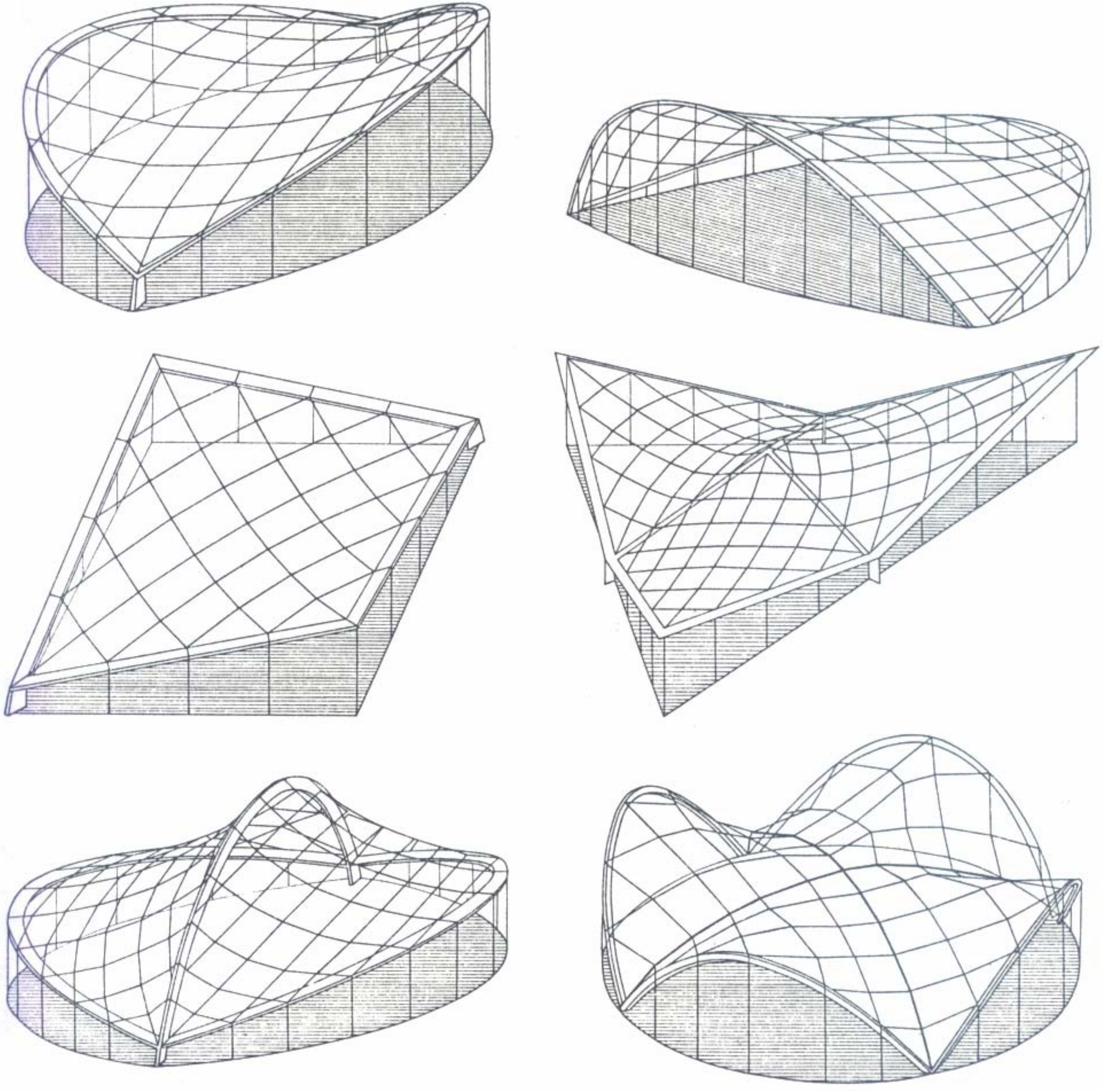


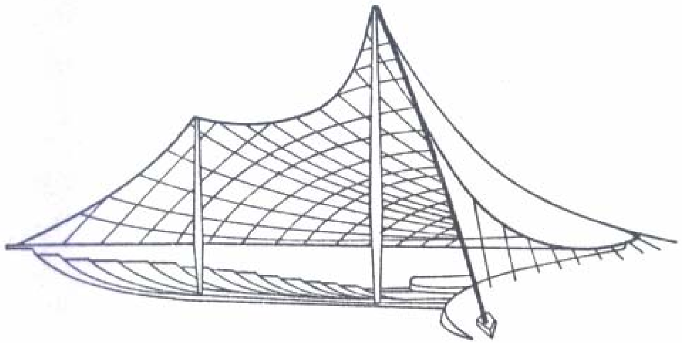


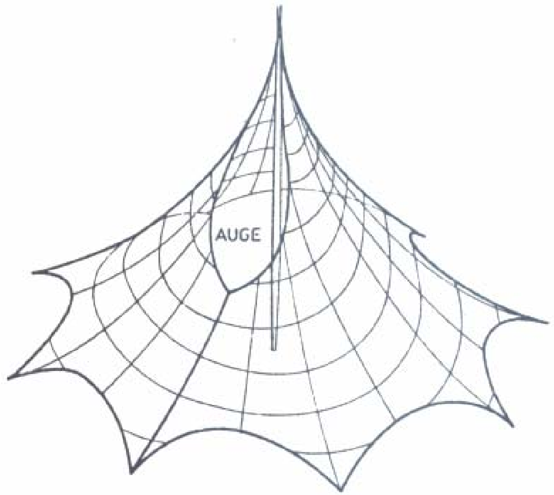


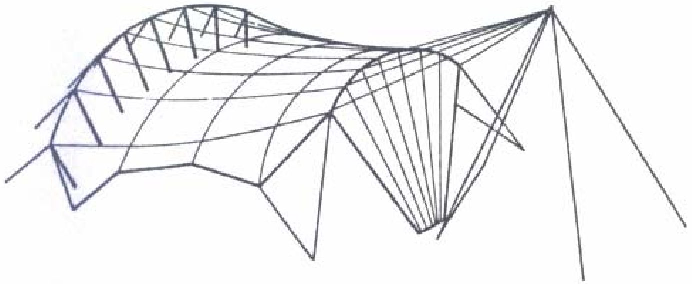


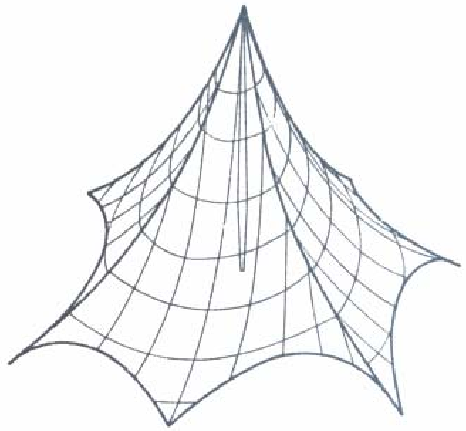


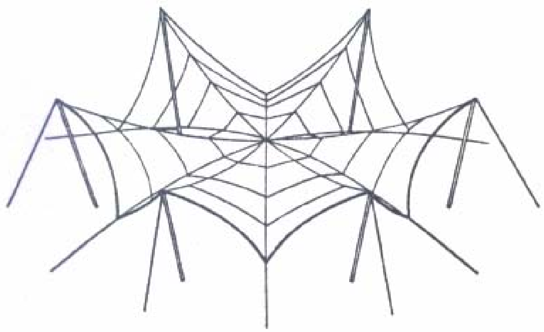


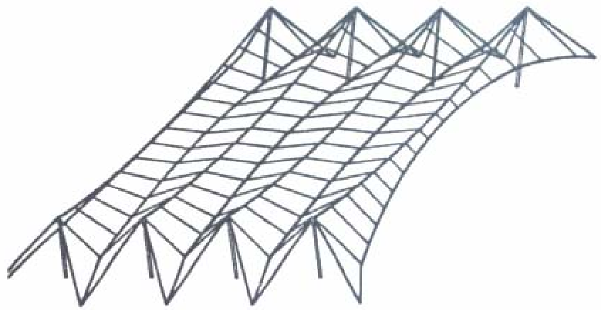



AUGE



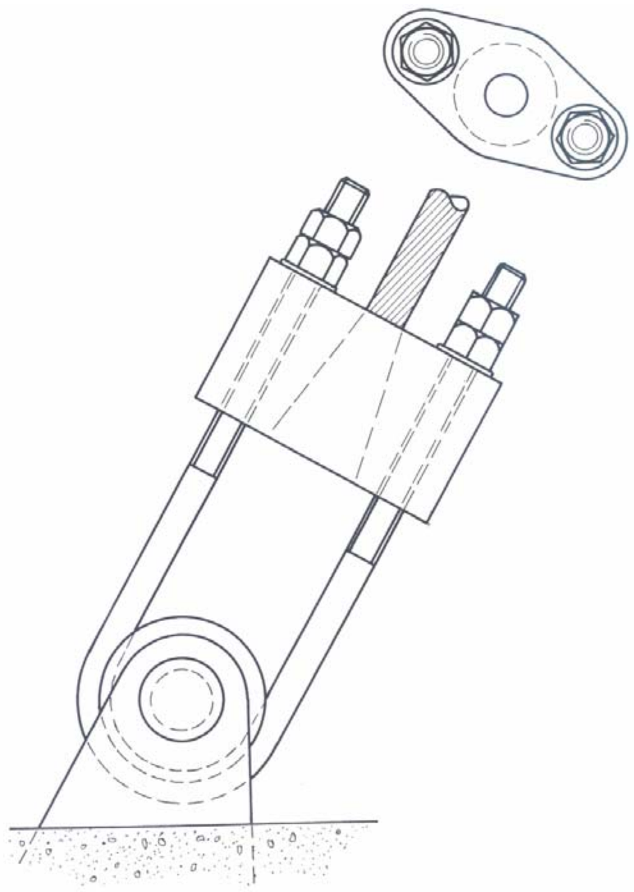




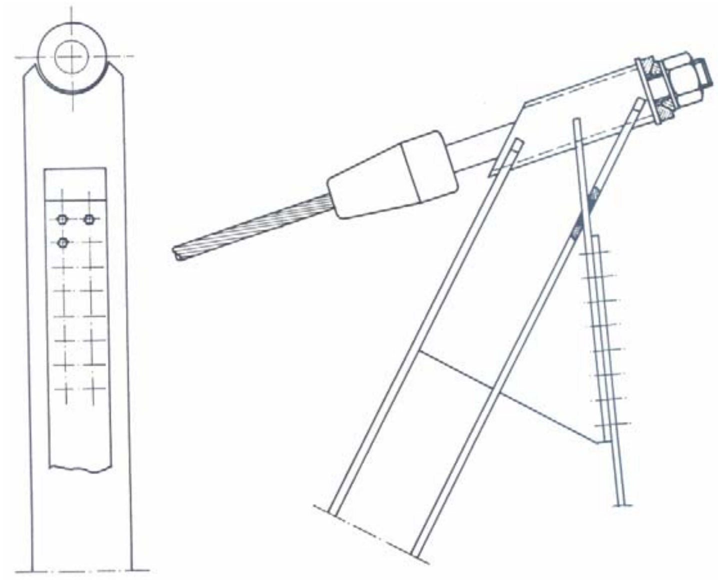


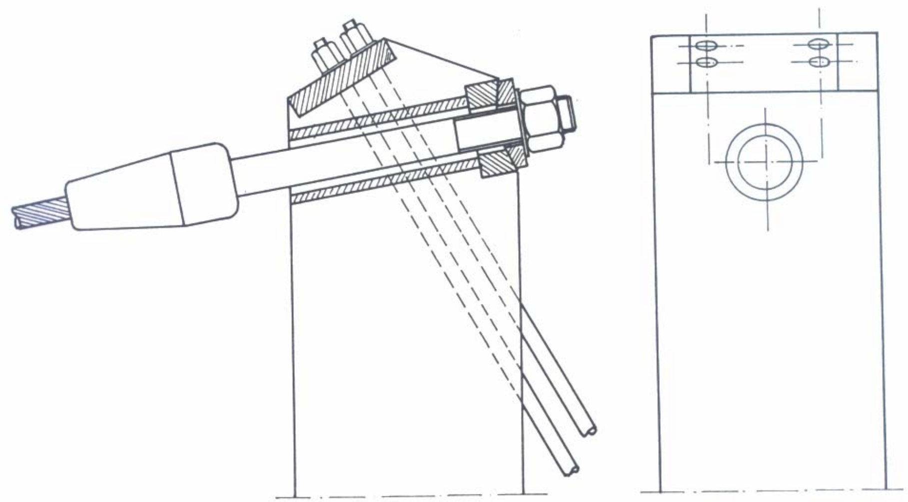
Szerkezeti részletek:

Kötél lehorgonyzás csaphoz

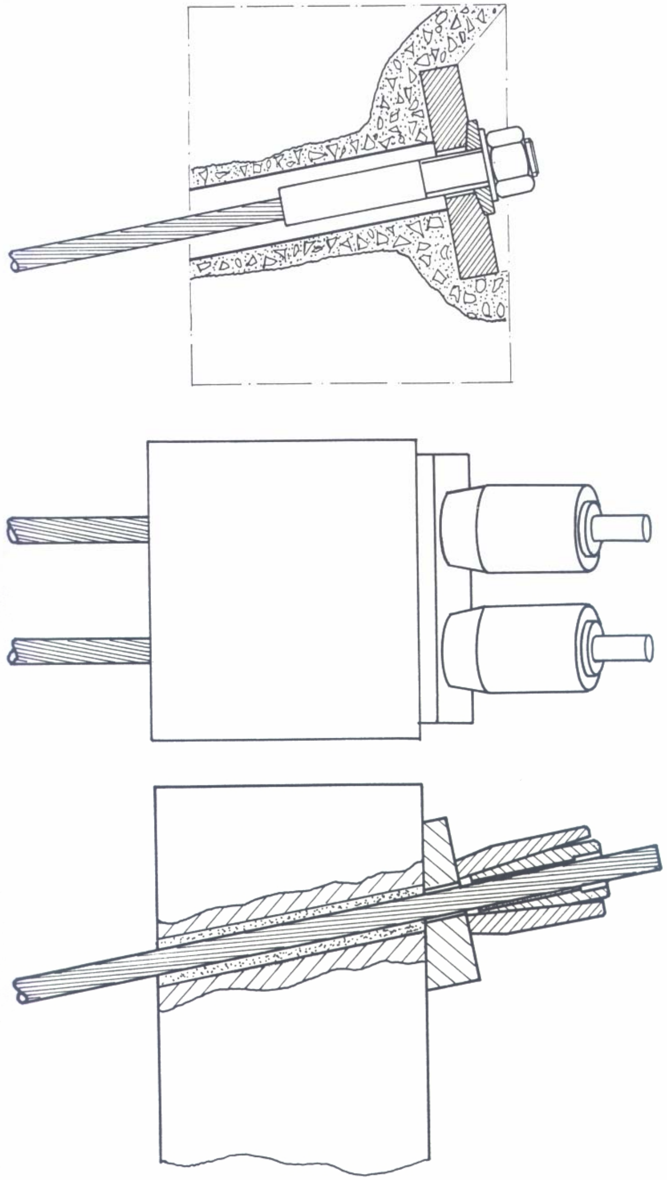


Kötél lehorgonyzás merevítő peremekkel

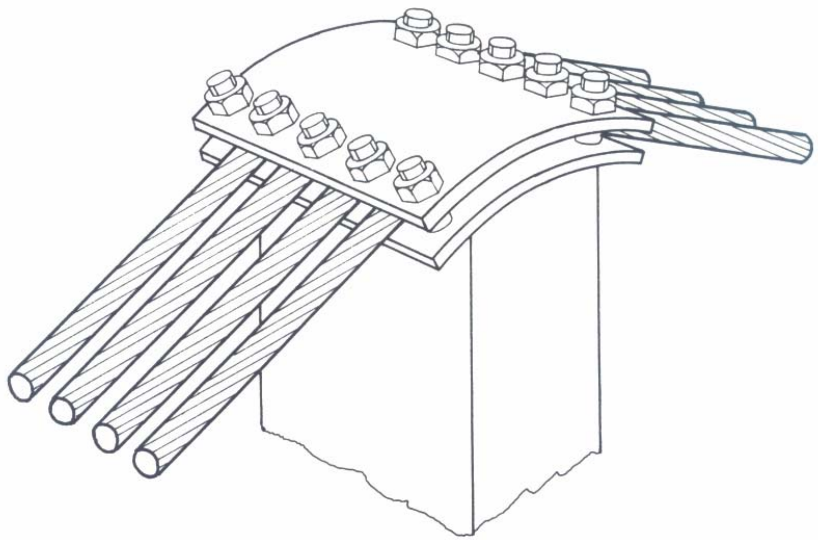




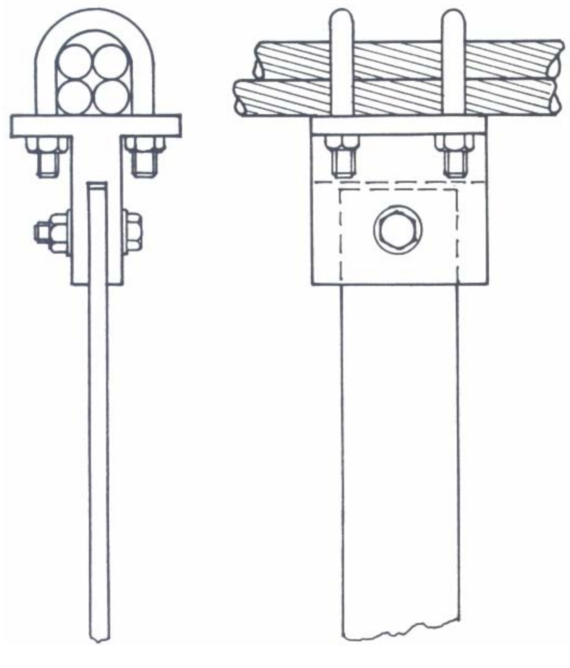
Kötél lehorgonyzó vasbeton szerkezethez



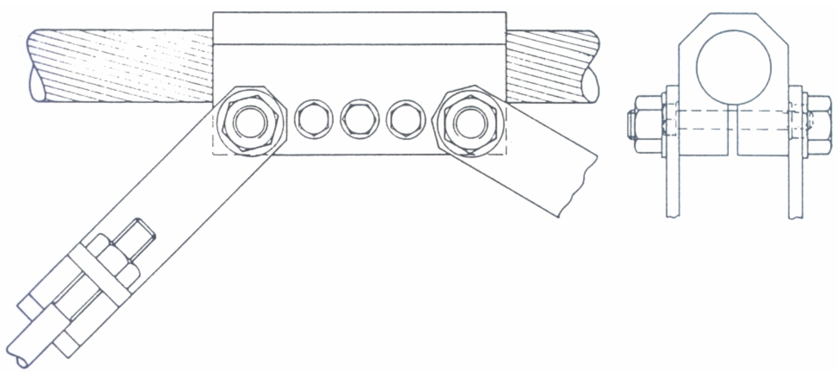
Kötél-csatlakozás oszlophoz



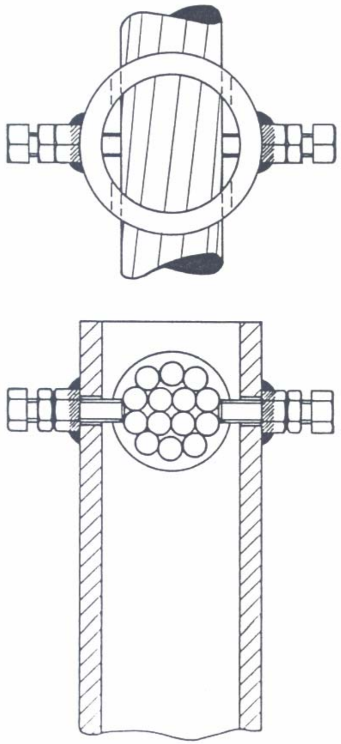
Húzott felkötő rúd bekötése kötelekhez



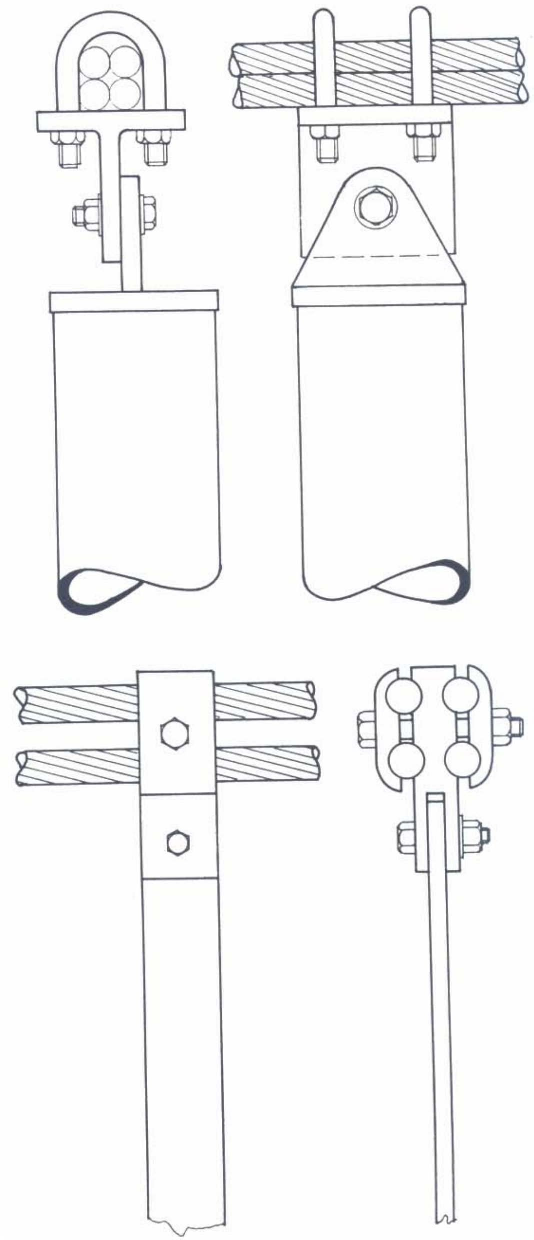
Nyomott rúd bekötése kötelekhez



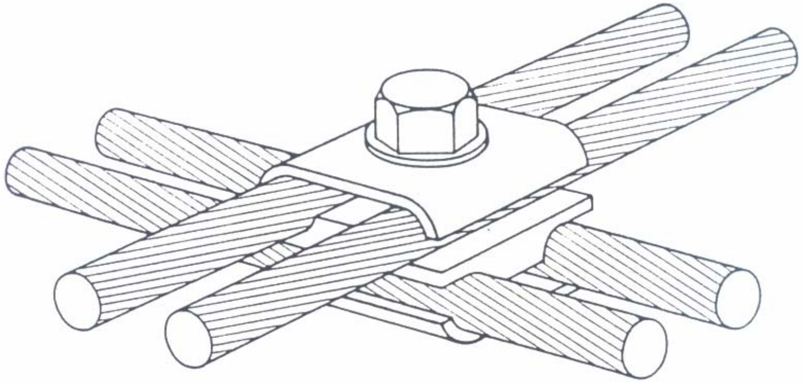
Húzott felkötő rúd bekötése kötelekhez

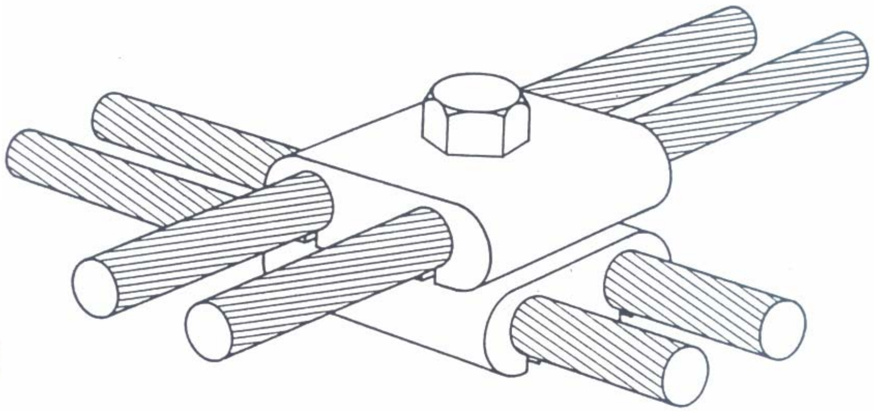


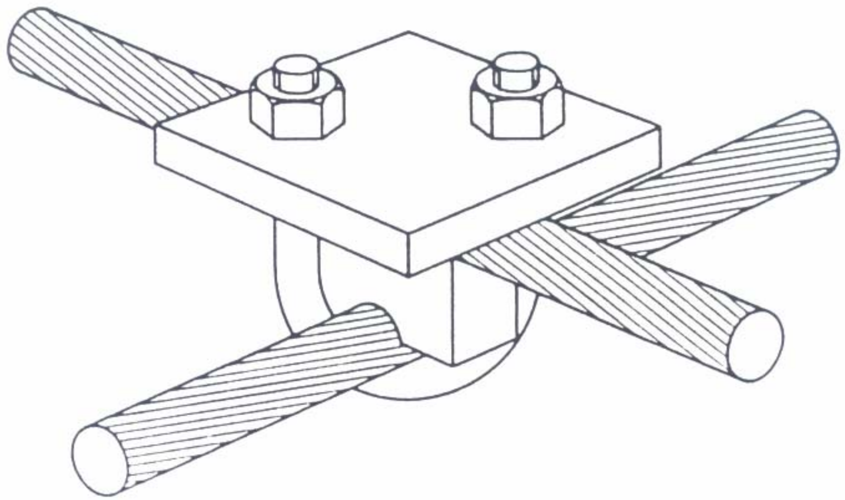
Rudak csatlakozása kötelekhez

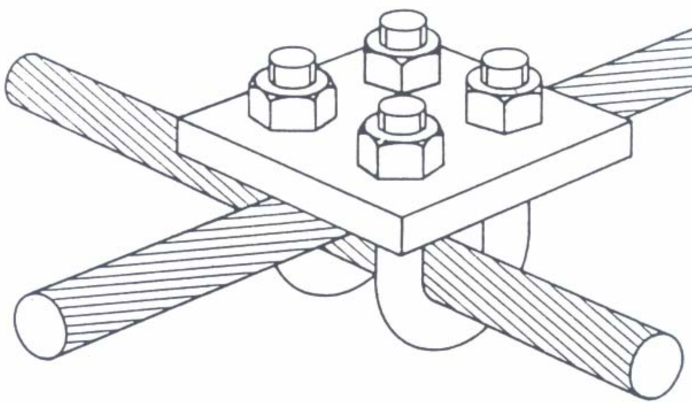


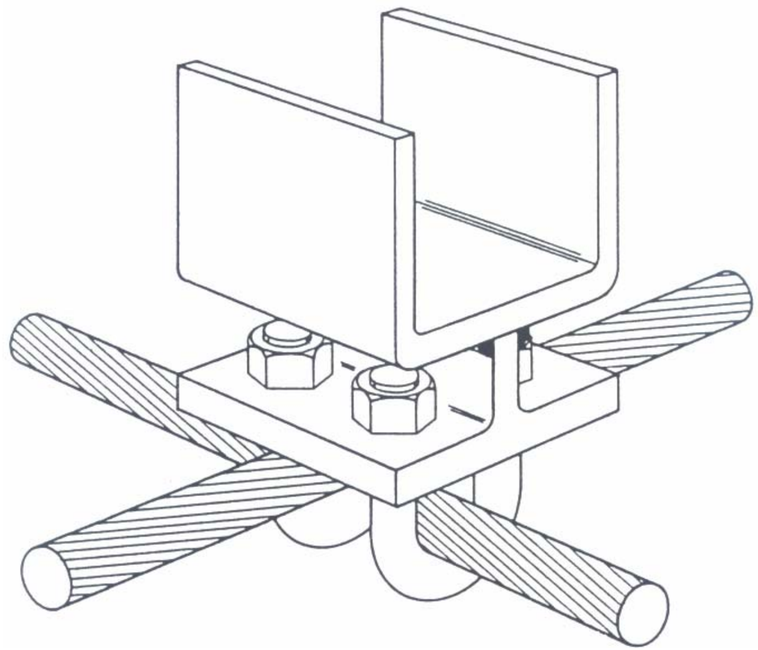
Kötelek csatlakozása kötelekhez

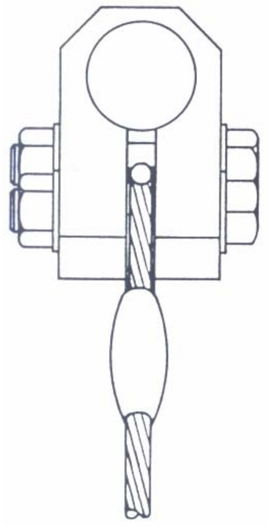


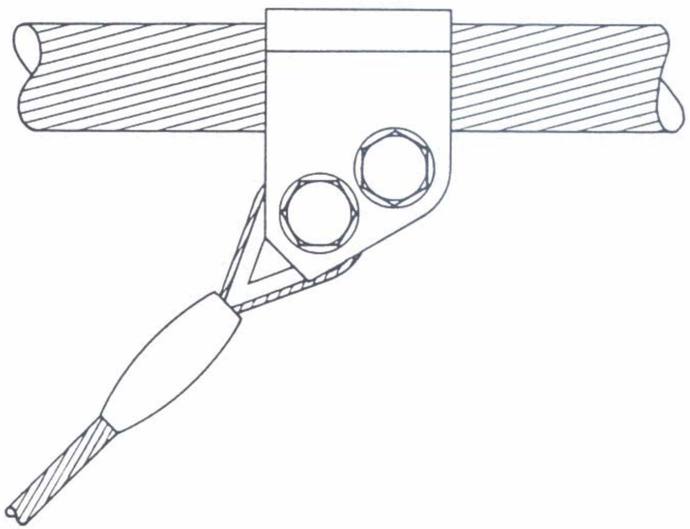






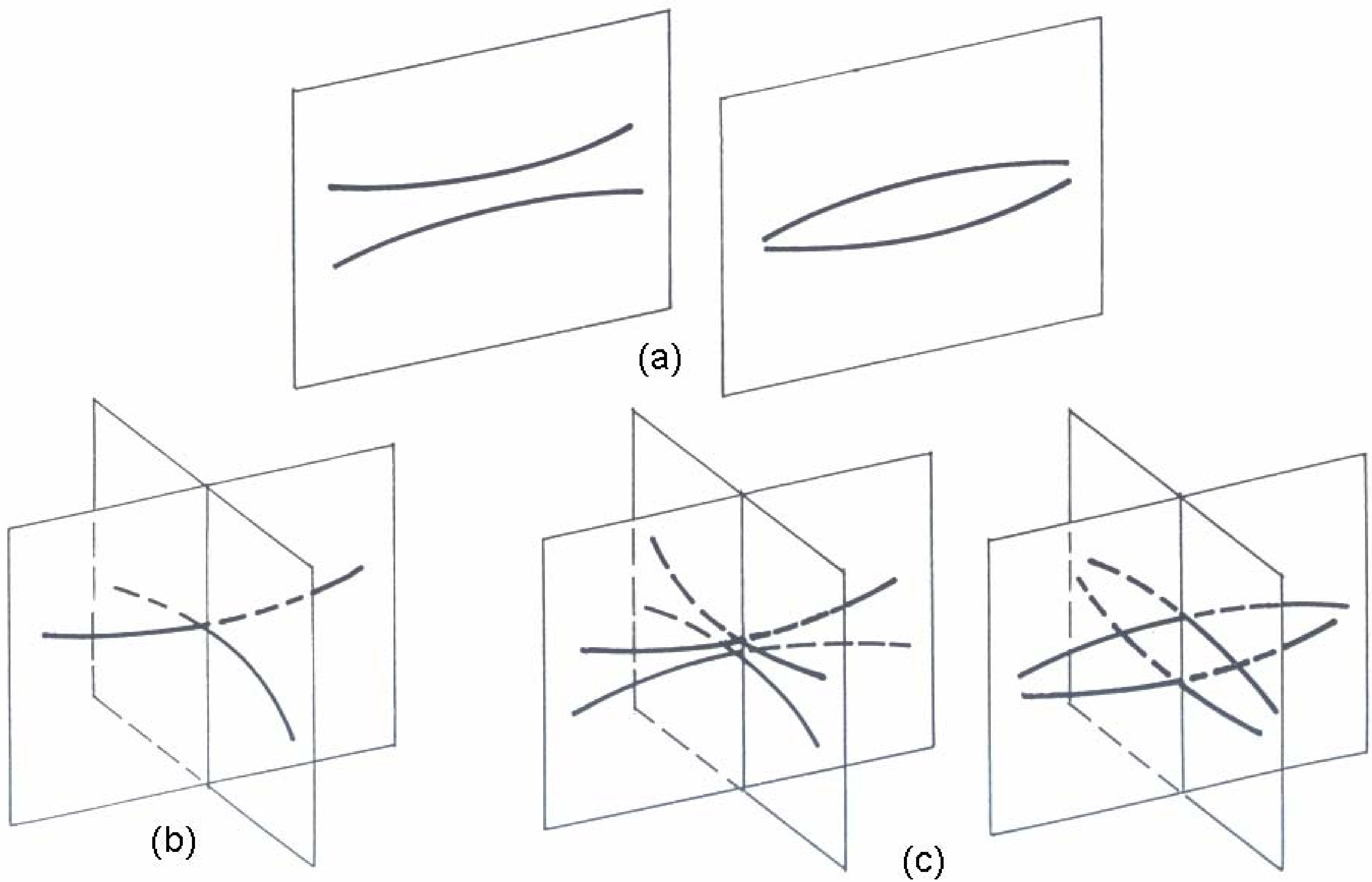




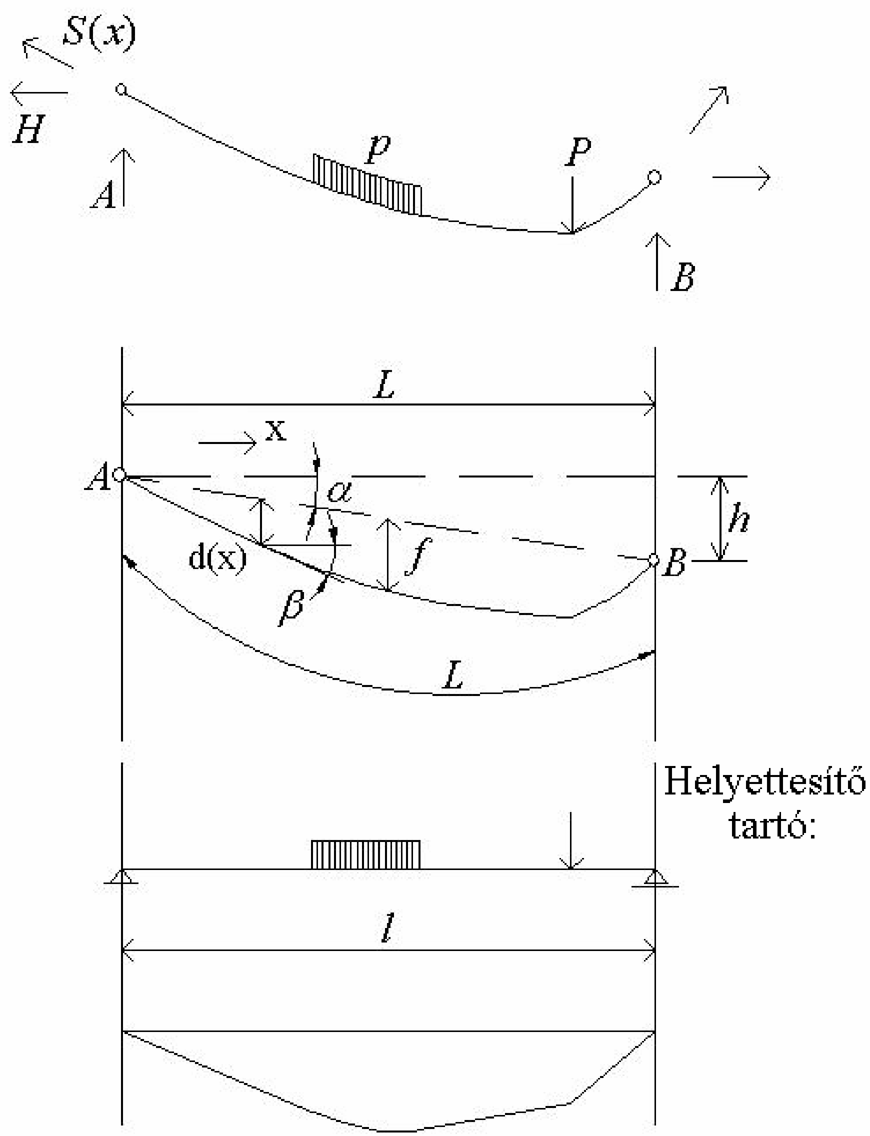


Kötéltartók rendszerei:

- A kötél kezdeti igénybevétele szerint:
  - Szabadkábeles szerkezetek ($N_{i0}=0$)
  - Feszített kábeles szerkezetek ($N_{i0}=P$)
- A kezdeti igénybevétel megvalósítása szerint:
  - Állandó (súly) teherrel feszített
  - Feszítőkábellel feszített
- Az inverzgörbéket tartalmazó síkok szerint: (feszítőkábellel feszített szerkezetek esetén)
  - Inverzgörbék azonos síkban (a)
  - Inverzgörbék különböző síkban (b)
  - Vegyes (c)
- Az igénybevétel módja szerint:
  - Síkbeli szerkezetek
  - Térbeli szerkezetek


(a)
(b)
(c)

ELŐTERVEZÉS [Rickenstorf, 1972]



Kötélgeometria:

- $d(x)$ - lehajlás
- f - nyílmagasság
- α - rendszer hajlásszöge
- β - kötél hajlásszöge
- L - kötélhossz
- l - támaszköz

Nyomaték a helyettesítő tartón:

$$M_{(x)} = H \cdot d(x)$$

Vízszintes erő:

$$H = \frac{\max M}{f} = const.$$

Kötélerő: $$S = \frac{H}{\cos \beta}$$

Kötélhossz: $$L = l\left(1 + \frac{8}{3} \cdot \frac{f^2}{l^2} + \frac{h^2}{l^2}\right)$$

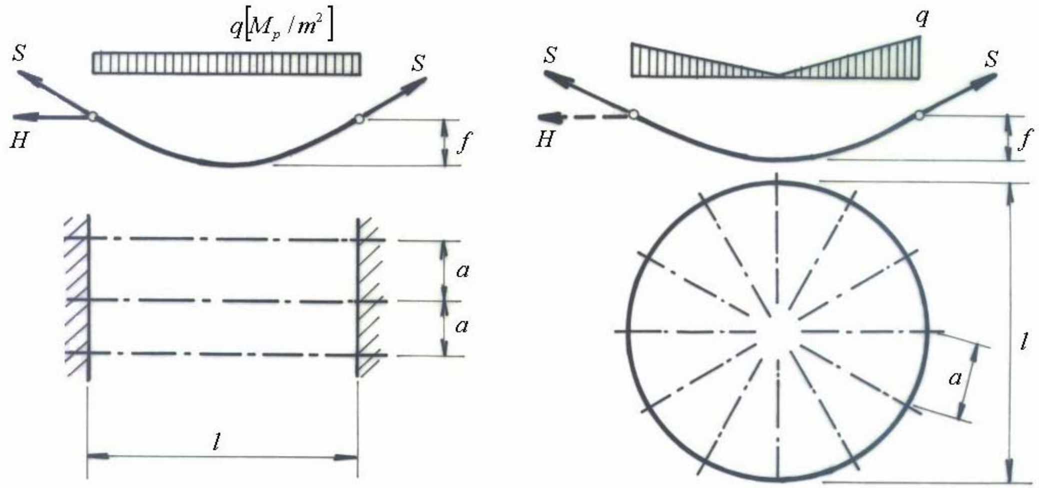
Maximális teher:

$$\max q = g + \max p$$

Minimális teher:

$$\min q = q - \min |w|$$

1. Függőhéj



Négyszög alaprajz:

Eredő erő: $R = q \cdot l \cdot a$

Vízszintes erő: $H = \dfrac{R \cdot l}{8f}$

Maximális kötélerő: $\max S = \max R \cdot S_1$

A szükséges kötélkeresztmetszet: $A_{sz} = \gamma_B \dfrac{\max S}{f_u}$

ahol

$\gamma_B = 3$ biztonsági tényező

f_u a kötél szakadási szilárdsága

S_1 lásd ábra

Kör alaprajz:

Eredő erő: $R = q \cdot l \cdot \dfrac{a}{2}$;

Vízszintes erő: $H = \dfrac{R \cdot l}{12f}$

Maximális kötélerő: $\max S = \max R \cdot S_2$

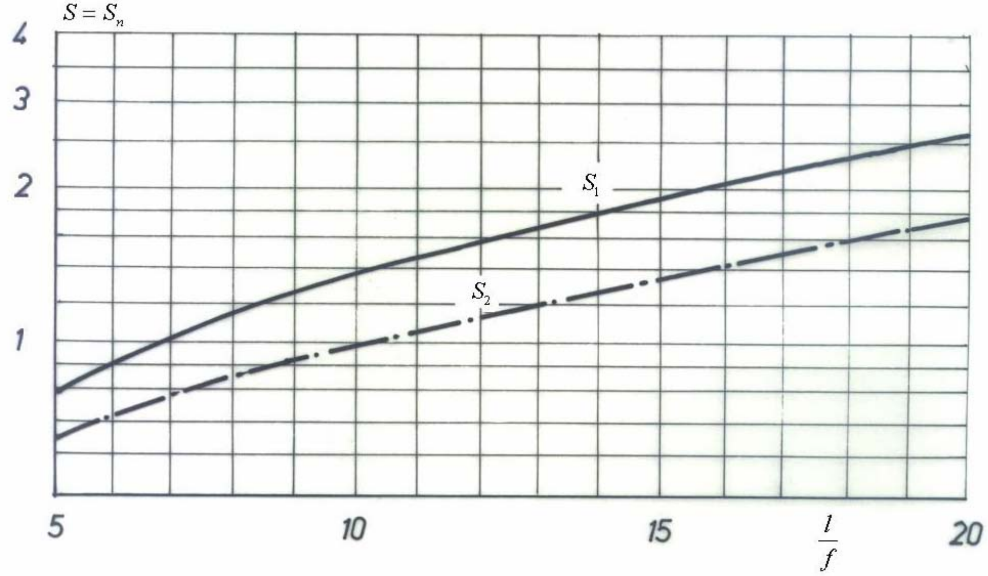
A szükséges kötélkeresztmetszet: $A_{S_2} = \gamma_B \dfrac{\max S}{f_u}$

ahol

S_2 lásd ábra

W_m a kötél közép lehajlása

$$W_m\left(\frac{16}{3}\cdot\frac{f^2}{l^2}+\frac{H_g}{E\cdot A}\right)=\frac{H_p\cdot f}{E\cdot A}$$



2. Feszített kötéltető

$q = 0{,}075 M_p / m$ (g + teljes hó) $\left[t = \pm 25\, grd\right]$

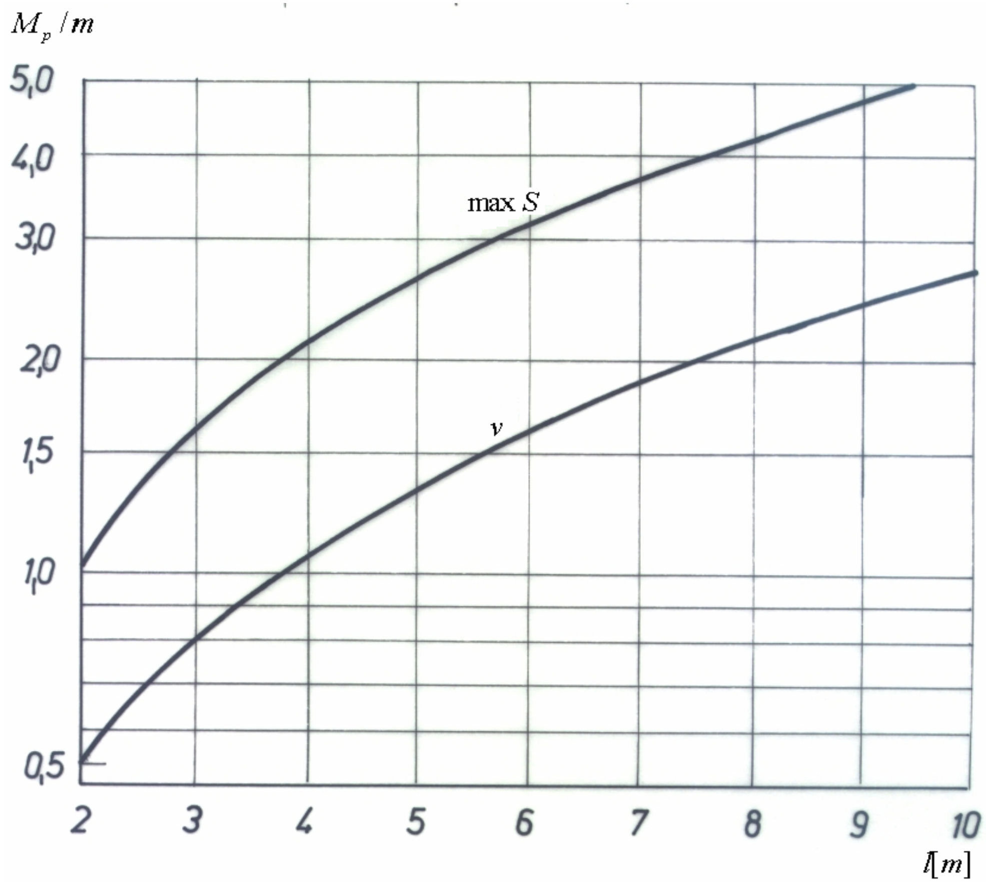
$l = 2 \ldots 10 m$, $\max w = \frac{1}{50} l$

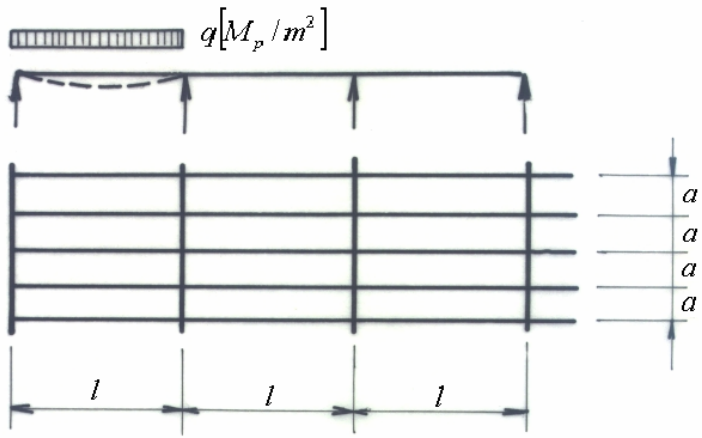
$f_u = 150 kp/mm^2$ (acél szakítószilárdság)

Szükséges kötélkeresztmetszet:

$$A_{sz} = \frac{a}{5} \max S [cm^2]$$

$\max S[M_p/m]$ az $l[m]$ függvényében, lásd ábra:





3. "Rácsos" és "létrás" kötélfőtartó

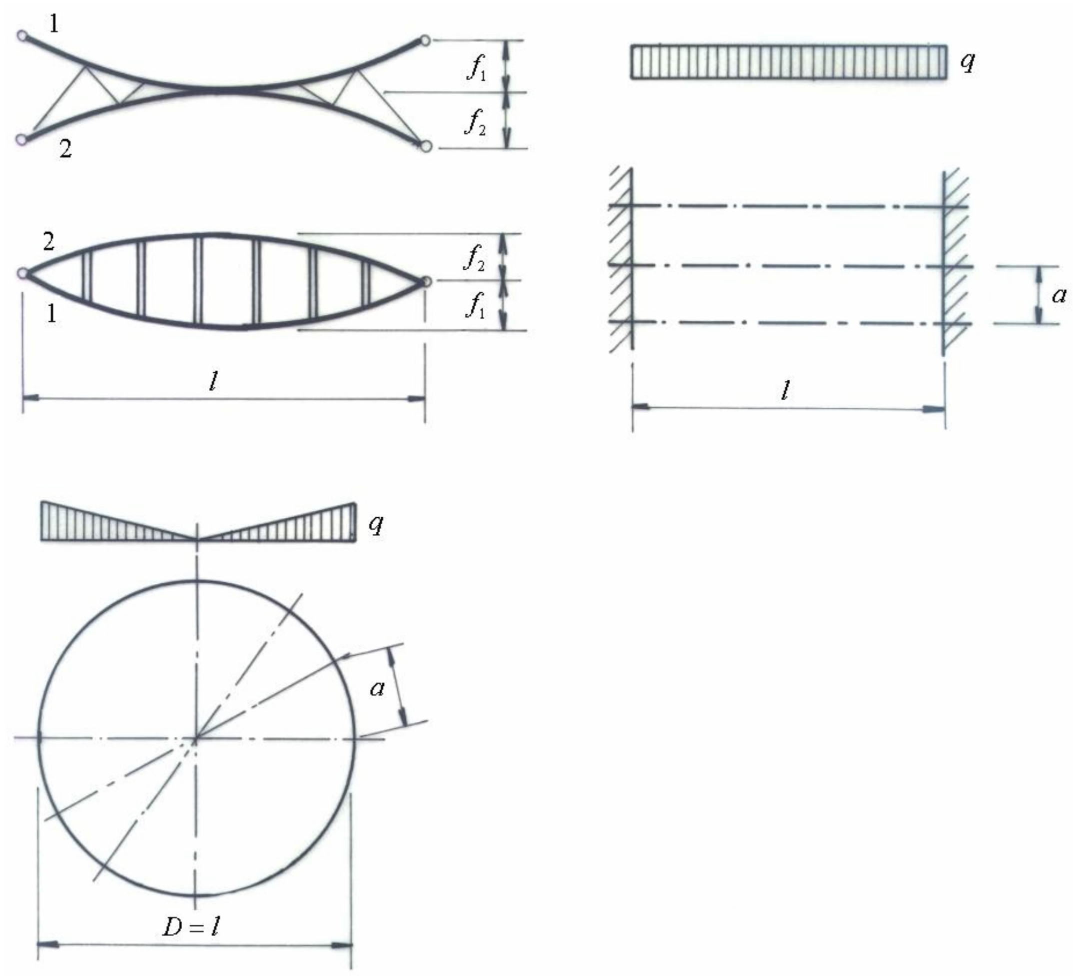
$$\varphi = \frac{F_2}{F_1} = \frac{\min q}{\max q}$$

$$\rho = \frac{f_2}{f_1} = \frac{H_{10}}{H_{20}} = 1$$

Erőeloszlási tényező:

$$\kappa_1 = \frac{1}{1+\varphi}; \qquad \kappa_2 = 1 - \kappa_1$$

Görbület: $$k = \frac{8f_1}{l^2} = \frac{8f_2}{l^2}$$



Négyszög alaprajz:

$$\max R = \max q \cdot l \cdot a; \quad \max H_1 = \frac{\max R \cdot l}{8 f_1}$$

$$\max S_1 = \max R \cdot S_3; \quad S_3 \text{ az ábrából}$$

$$A_{sz_1} = \gamma_B \frac{\max S_1}{f_u}; \quad A_{sz_2} = \varphi \cdot A_{sz_1}$$

$$\max W_m \approx 1{,}6 \frac{\kappa_1 \cdot \max H_1}{k \cdot E \cdot A_1}$$

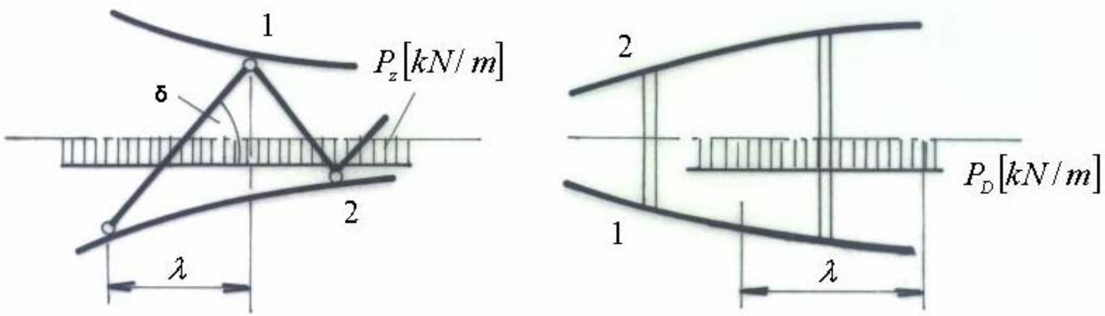
Kör alaprajz:

$$\max R = \max q \cdot l \frac{a}{2}; \quad \max H_1 = \frac{\max R \cdot l}{12 f_1};$$

$$\max S_1 = m \cdot R \cdot S_4; \quad S_4 \text{ az ábrából}$$

$$A_{sz_1} = \gamma_B \frac{\max S_1}{f_u}; \quad A_{sz_2} = \varphi \cdot A_{sz_1}$$

$$\max W_m \approx 0{,}55 \frac{\kappa_1 \cdot \max H_1}{k \cdot E \cdot A_1}$$



Megjegyzés:

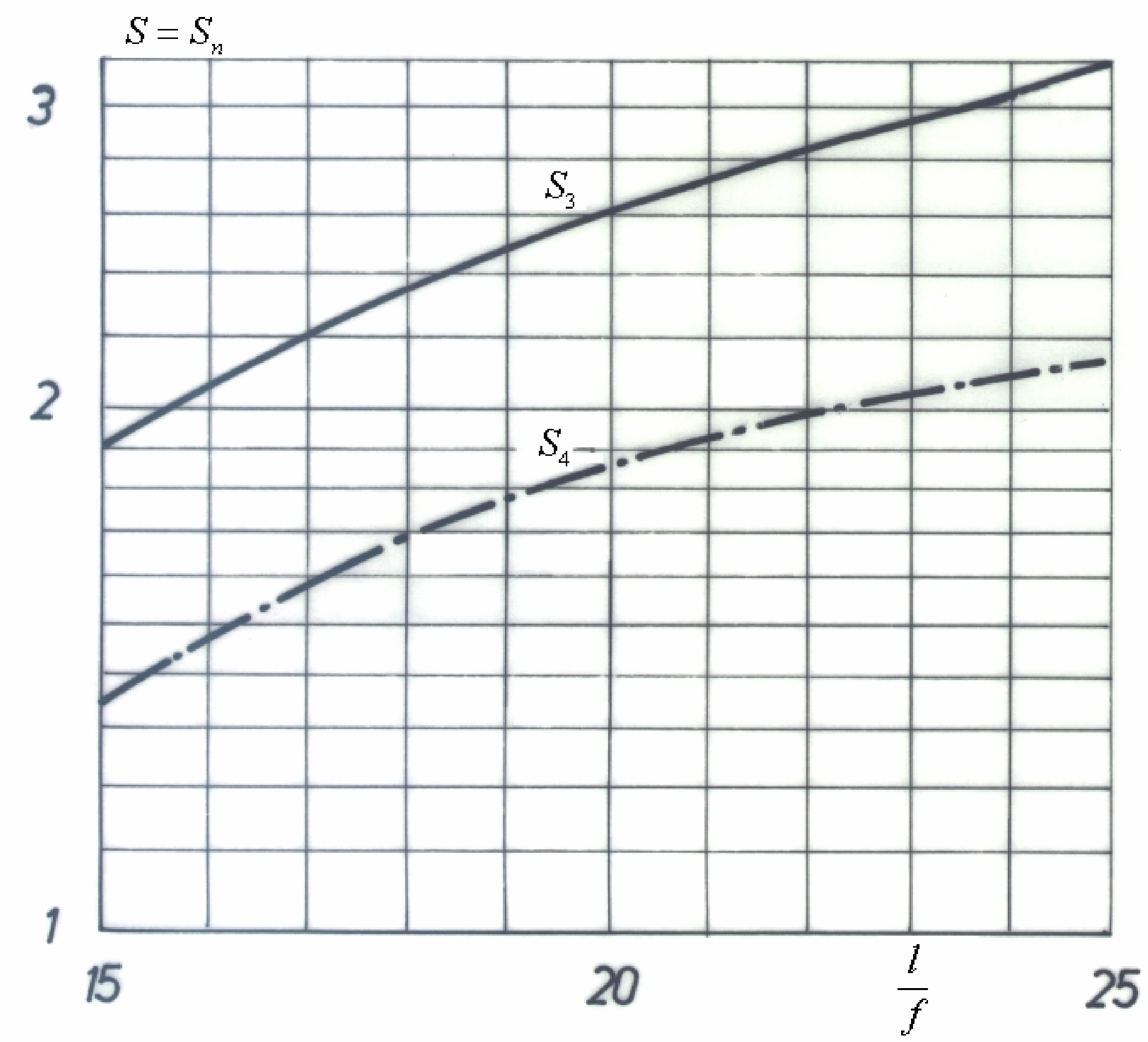
"rácsos" kötélerő: $\max Z = \dfrac{\kappa_i \cdot \max q \cdot a \cdot \lambda}{\cos \delta}$

$$A_{sz_z} = \frac{\max Z}{f_y}$$

"létrás" kötélerő: $\max D = -\kappa_i \cdot \max q \cdot a \cdot l$

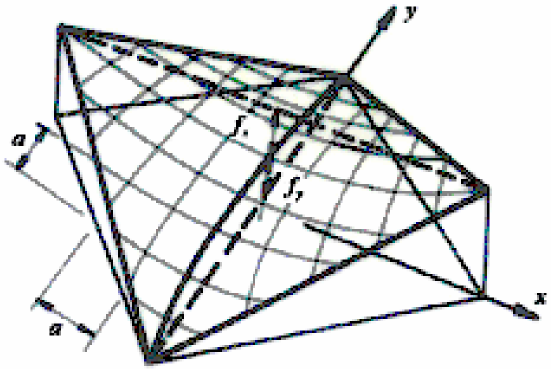
$$A_{sz_D} = \frac{\omega \cdot \max D}{f_y}$$

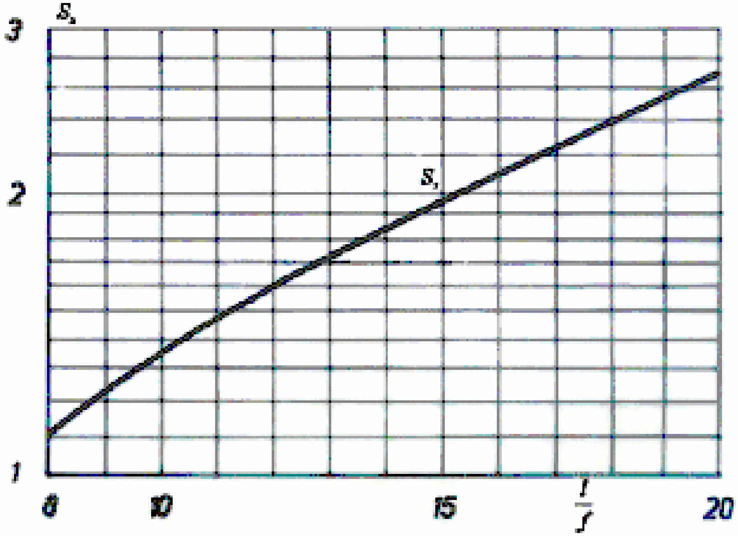
ω – kihagyási tényező, 3 és 5 közötti érték.



$S = S_n$
3
2
1
S_3
S_4
15
20
25
$\frac{l}{f}$

4. Kötélháló merev peremeken





$$\varphi = \frac{F_y}{F_x} = \frac{\min q}{\max q};$$

$$\rho = \frac{H_{x0}}{H_{y0}} = \frac{k_y}{k_x} = 1$$

Görbület: $k = \dfrac{8 f_x}{l_x^2} = \dfrac{8 f_y}{l_y^2}$

$$\rightarrow \qquad f_y = f_x \frac{l_y^2}{l_x^2}$$

Erőeloszlási tényező: $\kappa_x = \dfrac{1}{1+\varphi};$

$$\kappa_y = 1 - \kappa_x$$

$\max R_x = \max q \cdot l_x \cdot a;$ $\quad \max H_x = \dfrac{\max R_x}{k_x \cdot l_x}$

$\max S_x = \max R_x \cdot S_x;$ $\quad S_x$ az ábrából.

$$A_{sz,x} = \gamma_B \frac{\max S_x}{f_u}; \quad A_{sz,y} = \varphi \cdot A_{sz,x}$$

$$W_m = (1{,}15 \ldots 1{,}35) \frac{\kappa_x \cdot \max H_x}{k \cdot E \cdot A_{sz,x}}$$

5. Kötélháló kötélperemeken

$$\varphi = \frac{F_y}{F_x} = \frac{\min q}{\max q};$$

$$\rho = \frac{H_{x0}}{H_{y0}} = \frac{k_y}{k_x} = 1$$

$$k = \frac{16 f_x}{l_x^2} = \frac{16 f_y}{l_y^2}; \quad f_y = f_x \frac{l_y^2}{l_x^2};$$

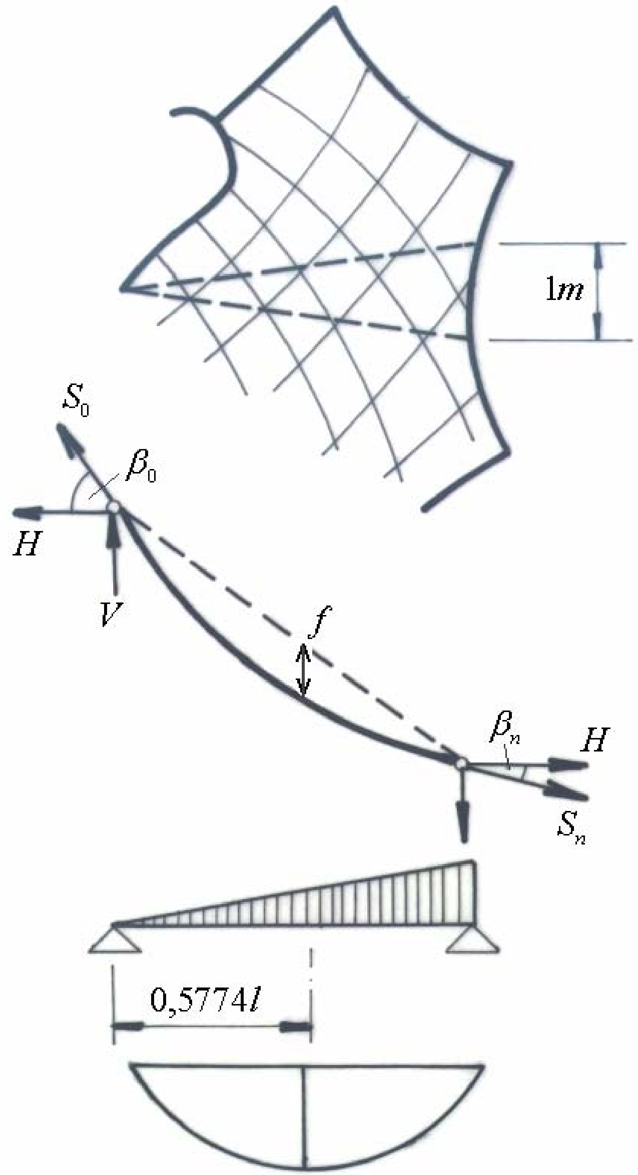
$$\kappa_x = \frac{1}{1+\varphi}; \quad \kappa_y = 1 - \kappa_x;$$

$$\max R_x = \max q \cdot l_x \cdot \frac{a}{2}; \quad \max H_x = \frac{2 \max R_x}{k \cdot l_x}$$

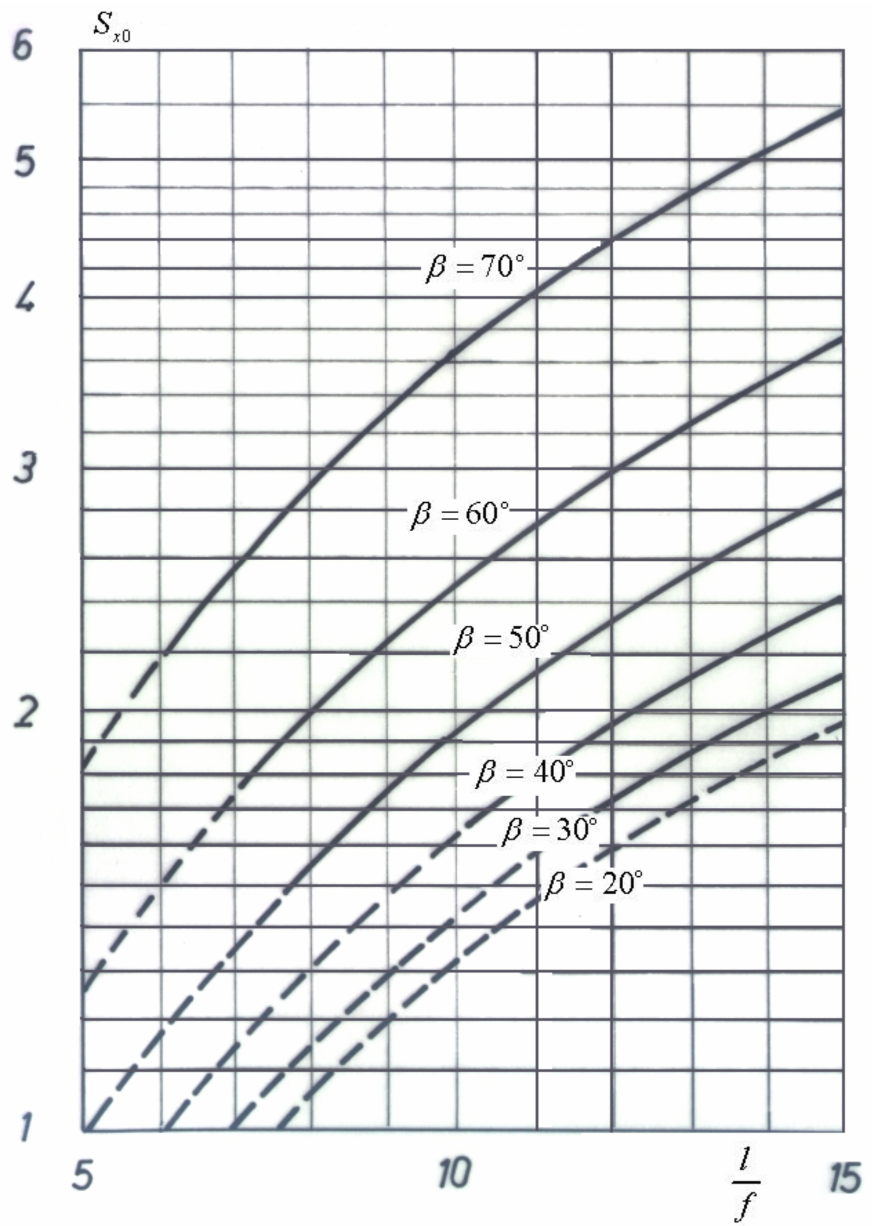
$$\max S_{x0} = \max R \cdot S_{x0}; \quad S_{x0} \text{ az ábrából}$$

$$A_{sz,x} = \gamma_B \frac{\max S_{x0}}{f_u}; \quad A_{sz,y} = \varphi \cdot A_{sz,x}$$

$$W_m = (1{,}15 \ldots 1{,}35) \frac{\kappa_x \cdot \max H_x}{k \cdot E \cdot A_{sz,x}}$$

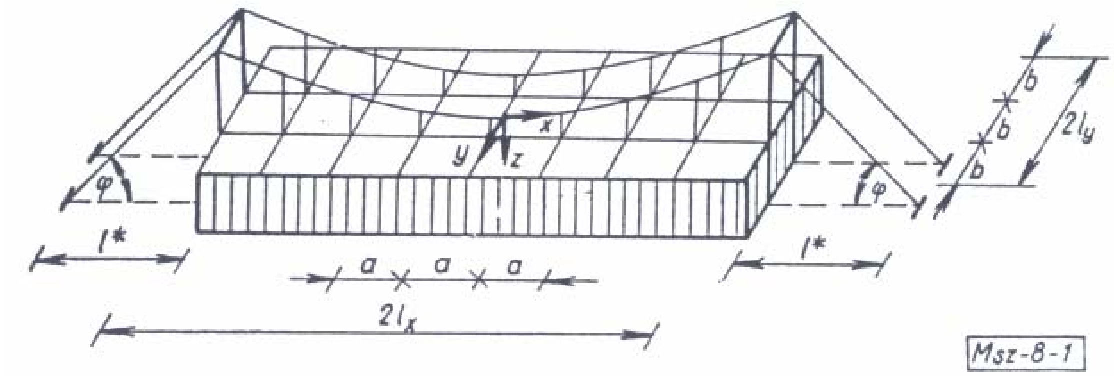


$$\max M = 0{,}0642 q \cdot l^2$$



S_{x0}
6
5
4
3
2
1
5
10
$\frac{l}{f}$
15
$\beta = 70^\circ$
$\beta = 60^\circ$
$\beta = 50^\circ$
$\beta = 40^\circ$
$\beta = 30^\circ$
$\beta = 20^\circ$

Tartóráccsal merevített függőtartók [Roller, 1965]



A kábelek alakja az állandó teher hatására:

$$z = f\left(1 - \frac{x^2}{l_x^2}\right)$$

$$f = \frac{p_a b l_x^2}{2H_a}$$

A mestergerendákat fix, de nem befogott szélső- és süllyedő közbenső alátámasztásokkal rendelkező folytatólagos tartóknak tekintjük.

$$q^{**} = 1{,}1 p_e b - \frac{6}{5}\frac{E_y J_y}{ab^3} w - q^*$$

A fiókgerendák folytonos ágyazású tartók.

$$E_x J_x w^{IV} = -q^*$$

Az állandó teherrel és a lepelerőkkel megterhelt kábelek deformált alakjának differenciálegyenlete

$$H(z+w)'' = -(p_a b + q^{**})$$

Figyelembe véve, hogy

$$z'' = -2\frac{f}{l_x^2} \qquad H_a z'' = -p_a b$$

$$w^{IV} - \frac{H}{E_x J_x} w'' + \frac{6}{5ab^3}\frac{E_y J_y}{E_x J_x} w =$$

$$= \frac{1}{E_x J_x}\left[1{,}1 p_e b - \frac{2f}{l_x^2}(H - H_a)\right]$$

Ha a fiókgerendák szabadon támaszkodó végűek:

$$w(l_x) = w(-l_x) = 0$$

$$w''(l_x) = w''(-l_x) = 0$$

Ha pedig befogottak:

$$w(l_x) = w(-l_x) = 0$$

$$w'(l_x) = w'(-l_x) = 0$$

Kompatibilitási egyenlet:

$$l_x\left(1+2\frac{f^2}{l_x^2}\right)+\frac{l_x^*}{\cos^3\varphi}=l_{(\varepsilon)}$$

$$l_x\left(1+\frac{4}{3}\frac{f^2}{l_x^2}\right)+\frac{l_x^*}{\cos^2\varphi}=l_{(a)}$$

$$\frac{2f}{\alpha_k l_x^2 l_{(a)}}=\vartheta \qquad \frac{l_{(\varepsilon)}}{\alpha_k E_k F_k l_{(a)}}=\chi \qquad \frac{2E_k F_k f}{l_k^2 l_{(\varepsilon)}}=\omega$$

$$\frac{\vartheta}{2}\int_{-l_x}^{l_x} w(x)dx-\chi(H-H_a)=\pm t^\circ$$

$$H=H_a+\frac{\omega}{2}\int_{-l_x}^{l_x} w(x)dx$$

$$\frac{H}{E_x J_x}=2A \qquad \frac{6}{5ab^3}\frac{E_y J_y}{E_x J_x}=B$$

$$1{,}1p_e b-\frac{2f}{l_x^2}(H-H_a)=p_{\hat{e}}$$

Differenciálegyenlet:

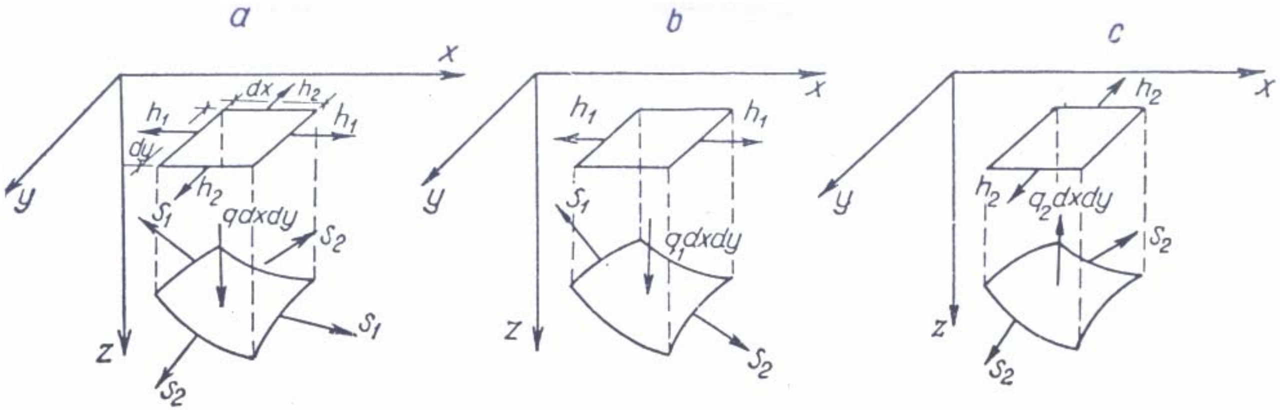
$$W^{IV}-2AW^{II}+BW=\hat{P}_e$$

- Zárt alakú megoldások [Roller, 1965]
- Schardt-Okur DE megoldás [Iványi, 1998]

Függesztett tetőszerkezetek [Halász, Roller, Vértes 1960]

(Elsőrendű elmélet alapján)

A felületet "lankásnak" képzeljük: $\left(\dfrac{\partial F}{\partial x}\right)^2 << 1$ $\quad$ $\left(\dfrac{\partial F}{\partial y}\right)^2 << 1$



A felületelemre jutó terhelőerő felbontása:

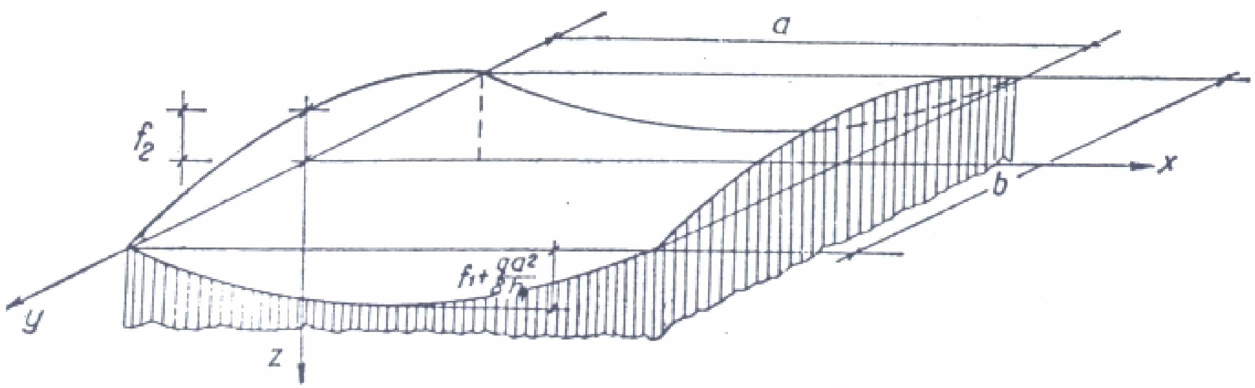
$$q\,dx\,dy = q_1\,dx\,dy + q_2\,dx\,dy$$

Kötélgörbe DE:

$$h_1(y)\frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = -q_1 \qquad h_2(x)\frac{\partial^2 F}{\partial y^2} = -q_2$$

A z tengelyre felírt vetületi egyenlet: $$h_1(y)\frac{\partial^2 F}{\partial x^2} + h_2(x)\frac{\partial^2 F}{\partial y^2} = -q(x, y)$$

A tetőfelület alaprajza derékszögű négyszög



Könnyen kezelhető megoldás kapható, ha:

$$h_1(y) = h_1 = \text{const.}$$
$$h_2(x) = h_2 = \text{const.}$$
$$q(x, y) = q = \text{const.}$$

$$\left.\begin{array}{l} x = 0 \\ x = a \end{array}\right\} F = -f_2 \sin\frac{\pi}{b}\left(\frac{b}{2} - y\right)$$

$$\left.\begin{array}{l} y = b/2 \\ y = -b/2 \end{array}\right\} F = f_1 \sin\frac{\pi}{a} x + \frac{q}{2h_1}(ax - x^2)$$

A DE megoldása a kerületi feltételekkel

$$F(x, y) = k_1 \operatorname{ch}\frac{\pi m}{a} y \sin\frac{\pi}{a} x +$$
$$+ k_2 \operatorname{ch}\frac{\pi}{bm}\left(x - \frac{a}{2}\right)\sin\frac{\pi}{b}\left(\frac{b}{2} - y\right) +$$
$$+ \frac{qa}{2h_1} x - \frac{q}{2h_1} x^2$$

Jelenleg:

$$m = +\sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$$

$$k_1 = \frac{f_1}{ch\frac{\pi bm}{2a}} \qquad k_2 = \frac{f_2}{ch\frac{\pi a}{2bm}}$$

A DE speciális kerületi feltételek és állandó h erőintenzitás esetén:

$$F = Ax^2 - By^2$$

egyenlettel megadott hiperbolikus paraboloid megoldás:

$$2Ah_1 - 2Bh_2 = -q$$

Másodrendű elmélet alapján: [Roller 1962]