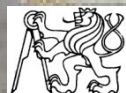


BETONOVÉ KONSTRUKCE – B03C +B03K

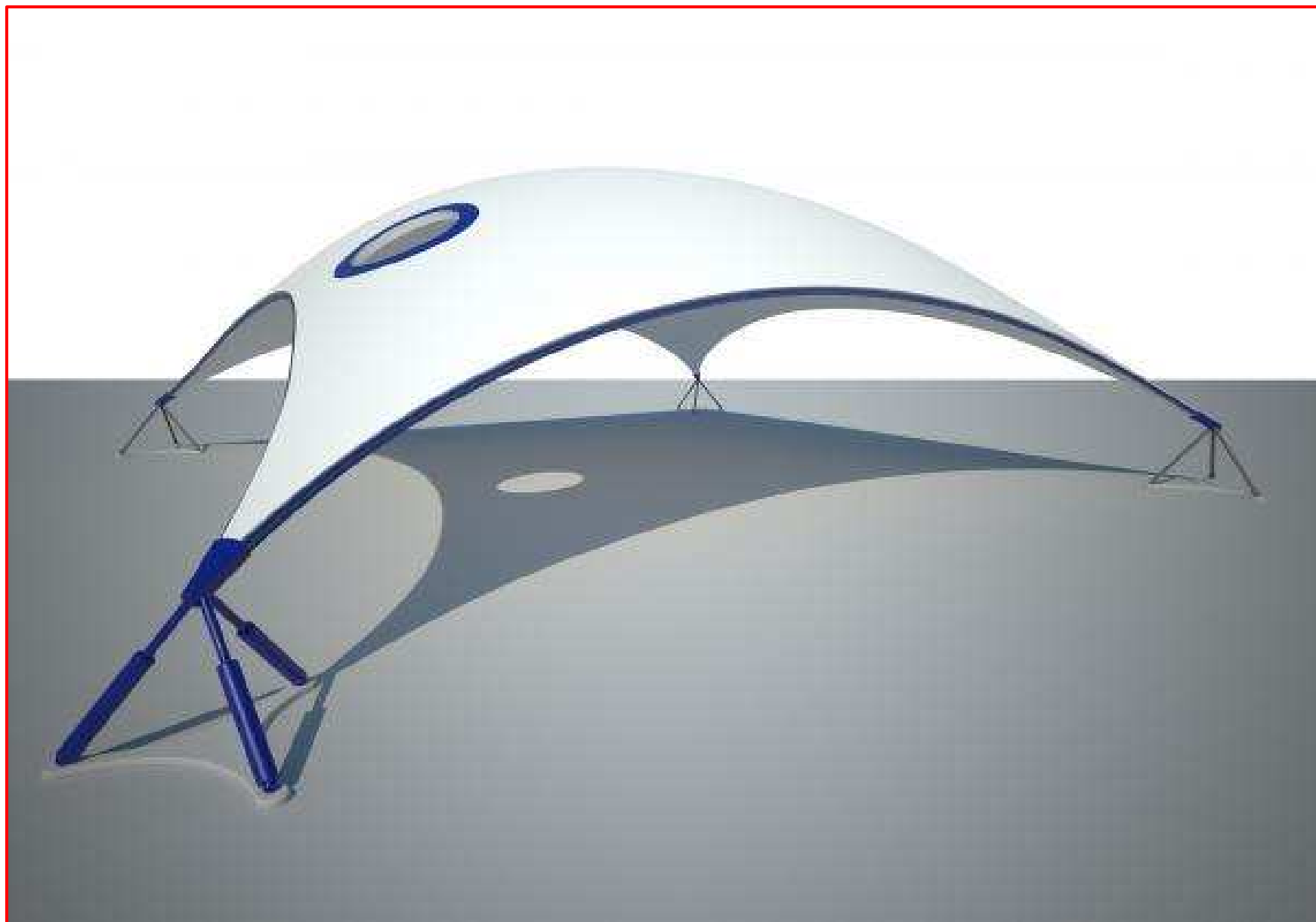


Betonové konstrukce - B03C +B03K

SKOŘEPINOVÉ KONSTRUKCE



Betonové konstrukce B03C +B03K



Betonové konstrukce B03C +B03K



Betonové konstrukce B03C +B03K



Betonové konstrukce B03C +B03K



Betonové konstrukce B03C +B03K



Betonové konstrukce B03C +B03K



Betonové konstrukce B03C +B03K



Betonové konstrukce B03C +B03K



Betonové konstrukce B03C +B03K



Betonové konstrukce B03C +B03K



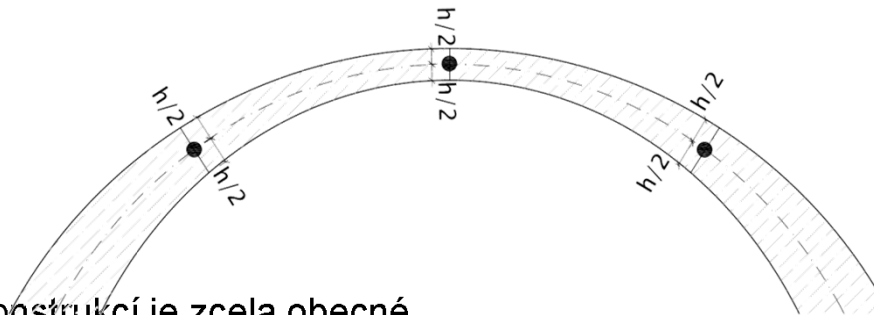
Betonové konstrukce B03C +B03K

Skořepiny

- Konstrukční prvky plošného charakteru – dva převládající rozměry konstrukčního prvku ($h \ll b; l$)
- Prostorová obdoba deskových konstrukcí
- Velice **tenké** konstrukce – u střešních konstrukcí běžně **4 až 10 cm** – skořepiny, skořápky (*shell structures*)



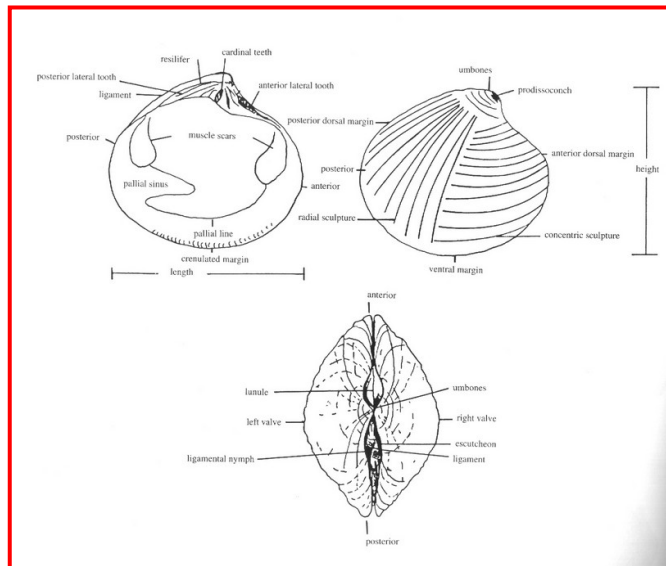
- Tloušťka se volí jako konstantní, popřípadě jako proměnná (zvětšující se nejčastěji směrem ke krajním nosníkům)
- **Střednicová plocha skořepiny** – geometrická množina bodů půlící výšku skořepiny



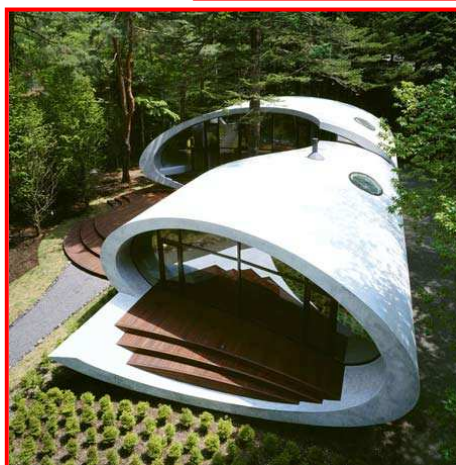
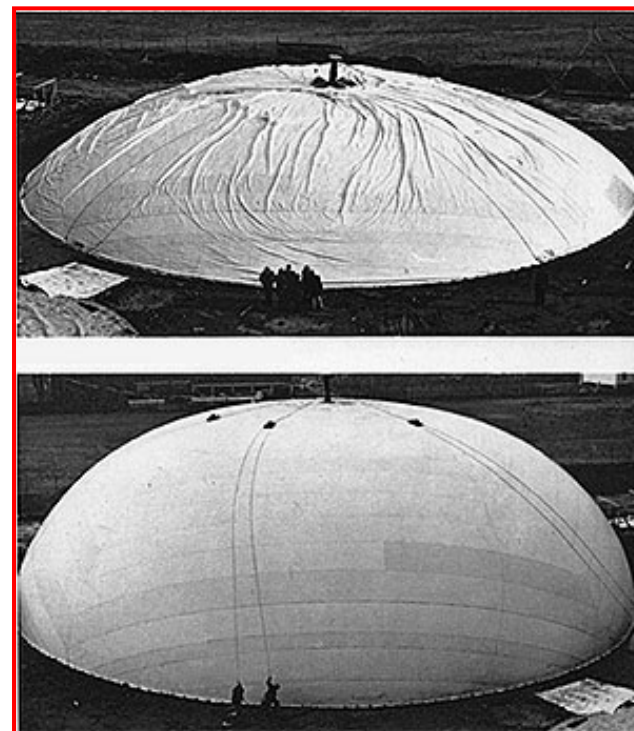
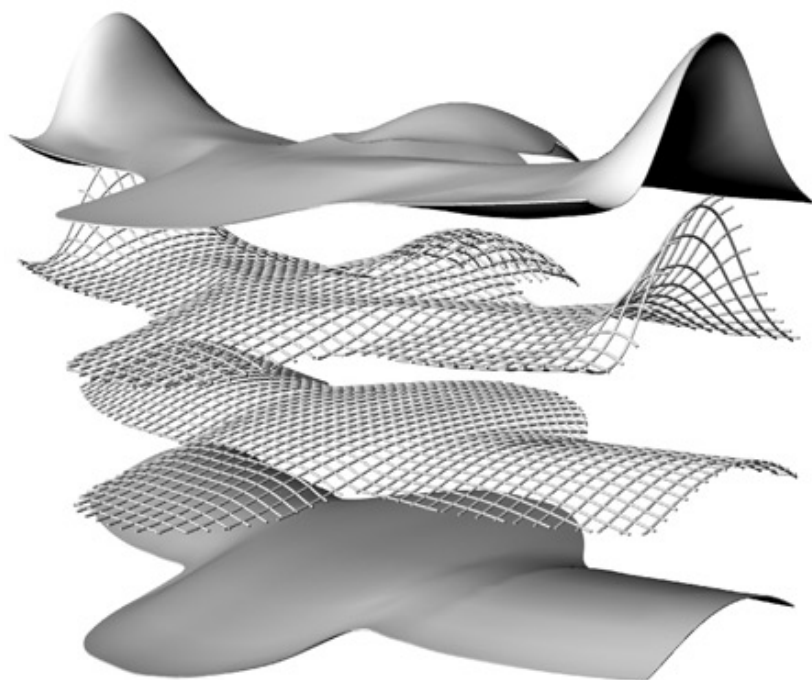
- Zatížení skořepinových konstrukcí je zcela obecné

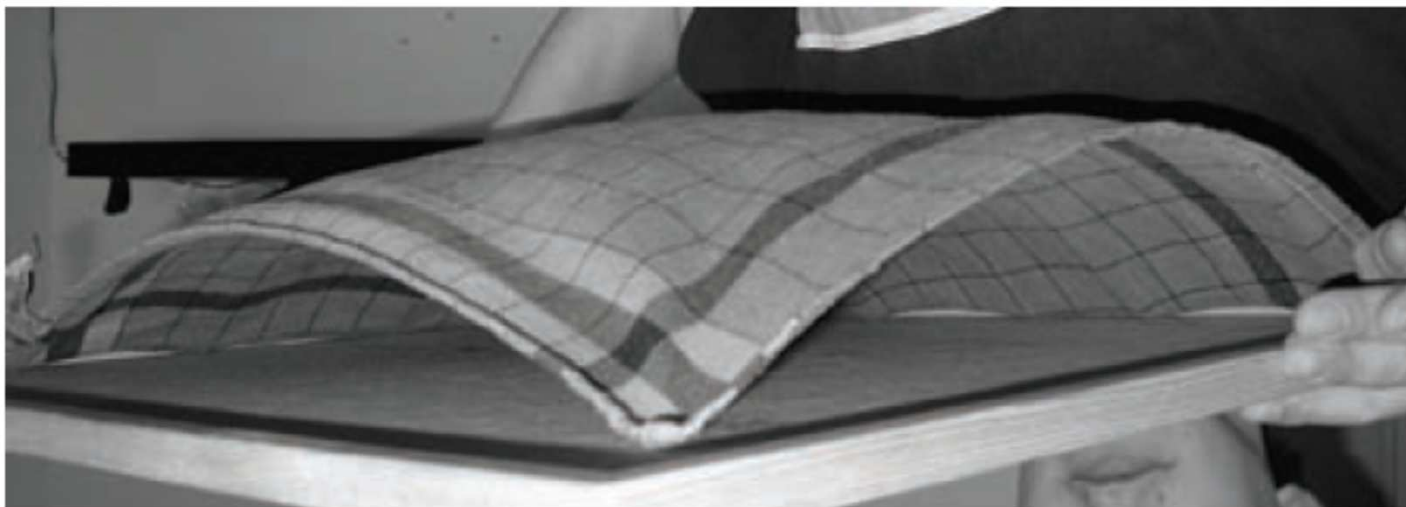


- Konstrukce vyskytující se i v přírodě (fauna, flóra)

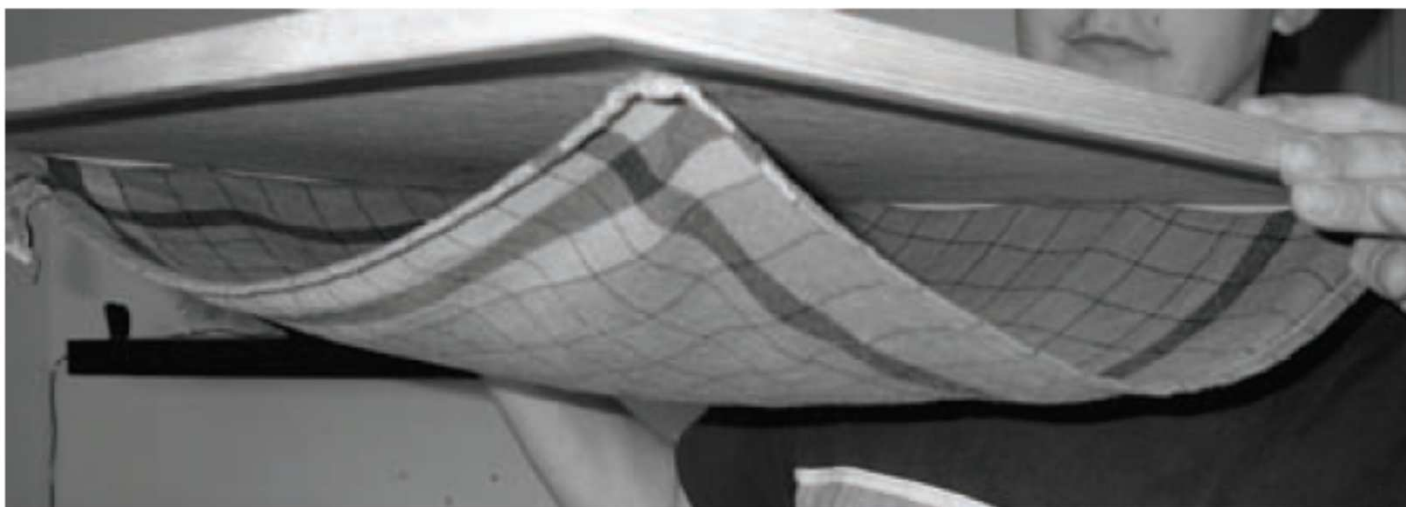


- Stavební konstrukce mají organický základ (podobné zmíněným přírodním konstrukcím)



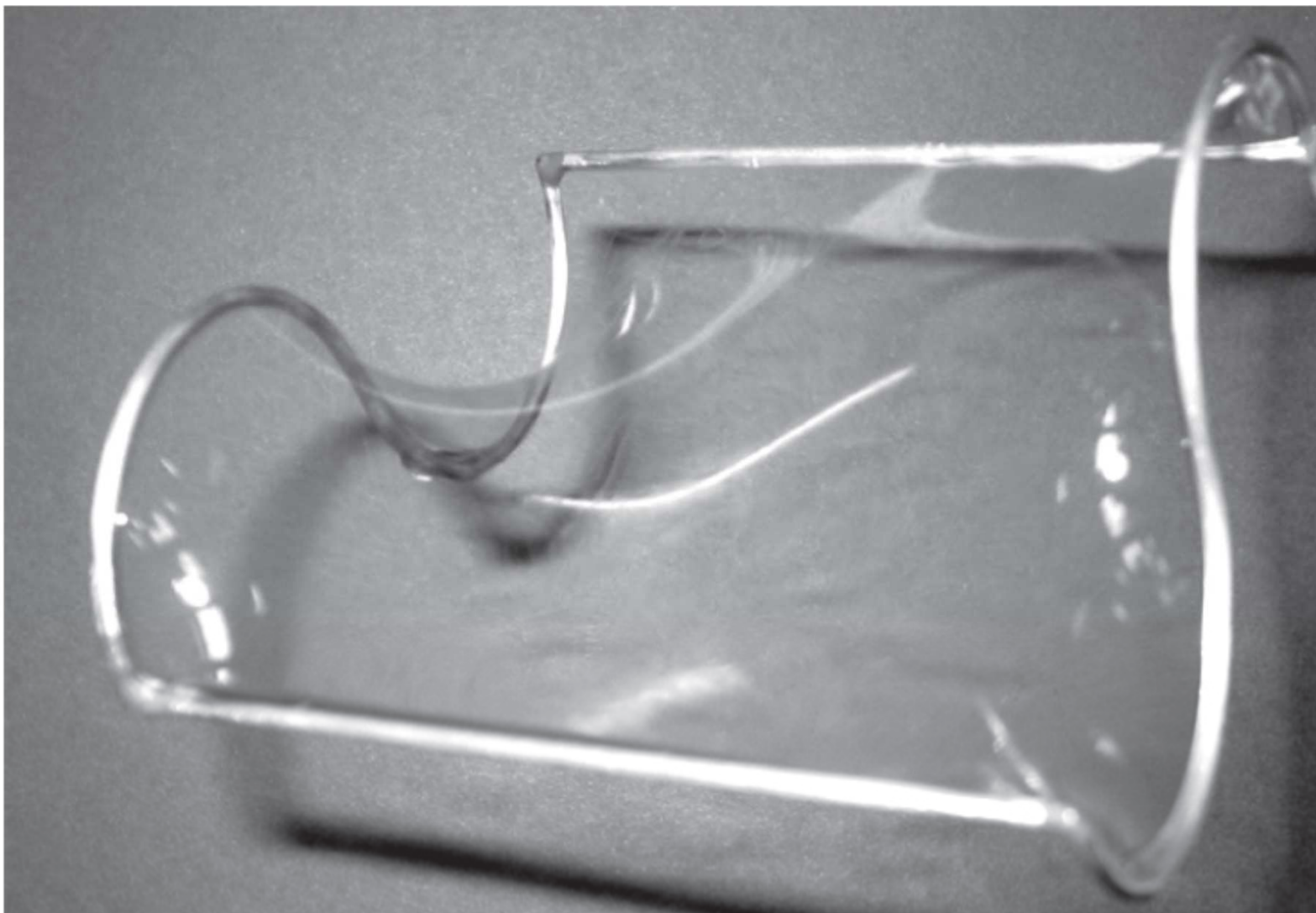


Mirror line

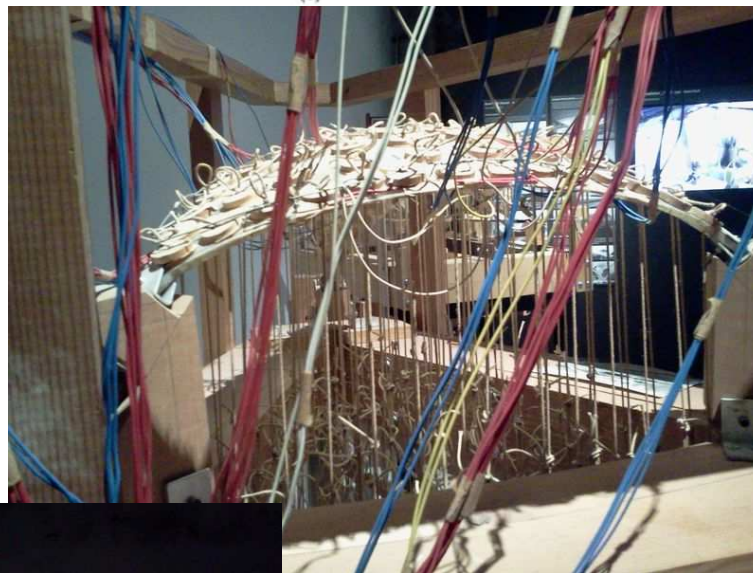
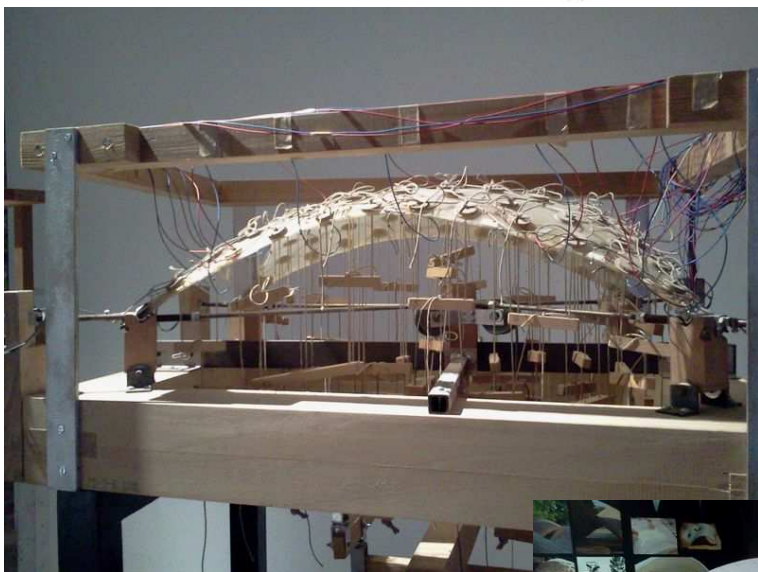
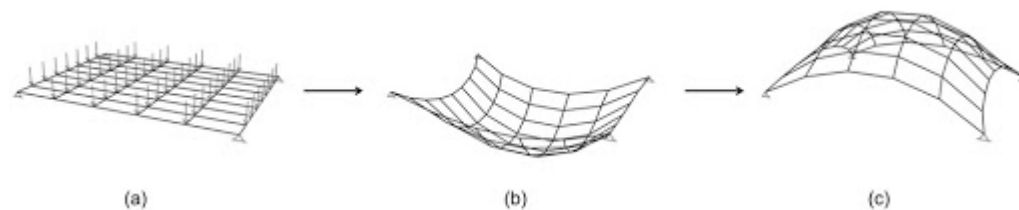


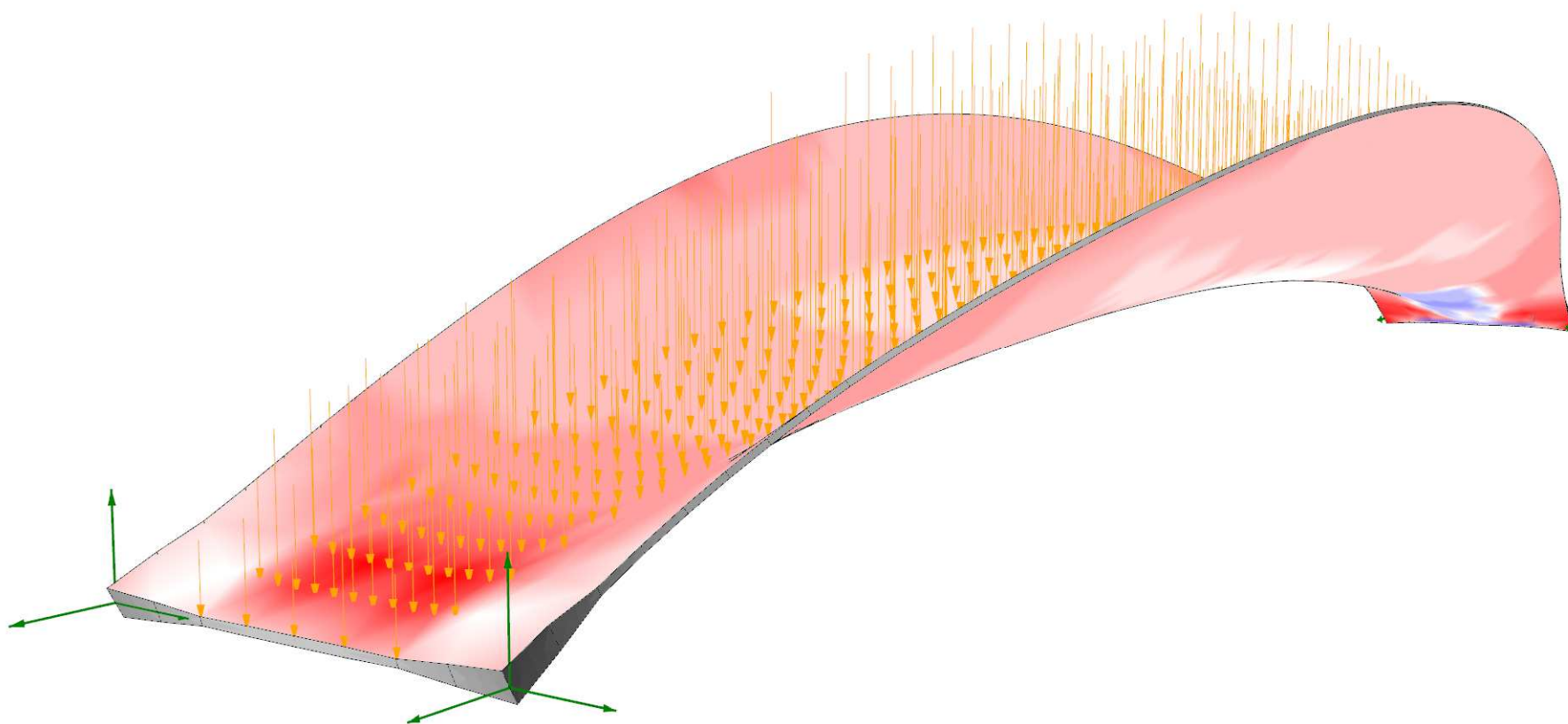


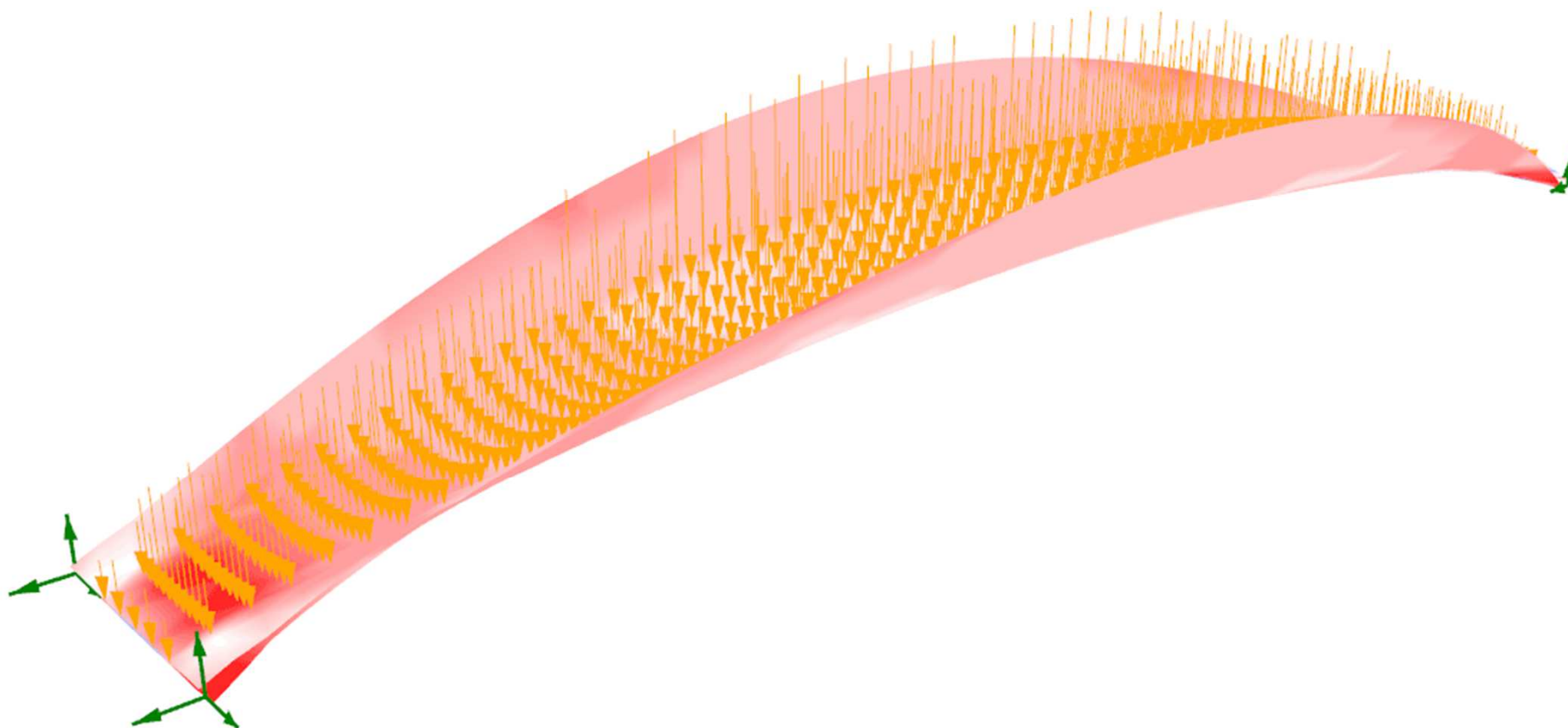
Betonové konstrukce B03C +B03K

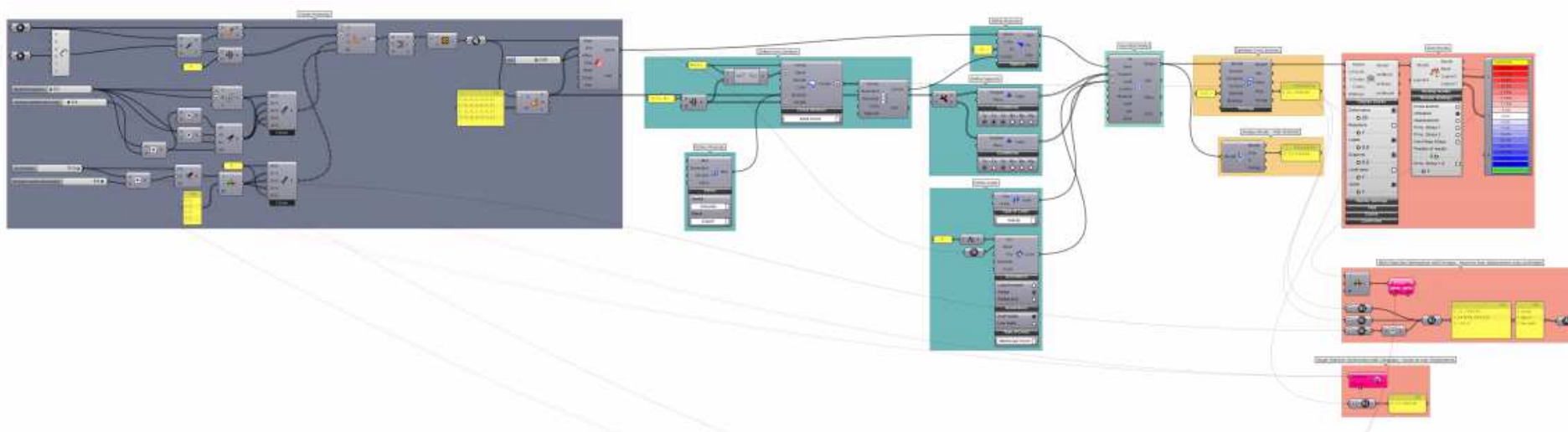


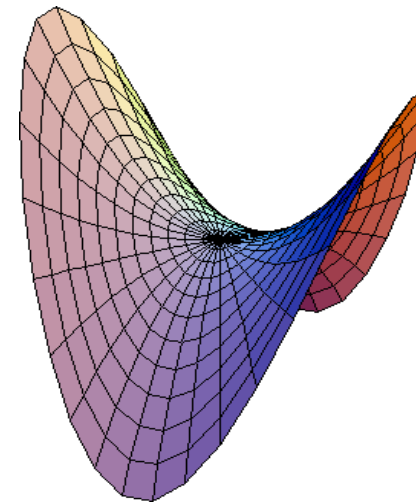
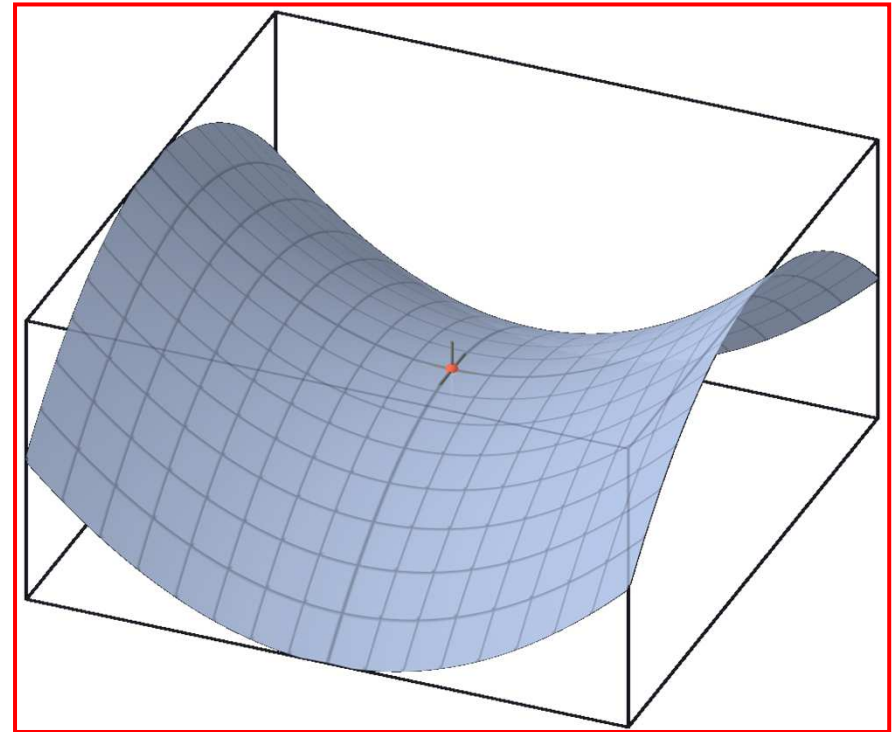
Betonové konstrukce B03C +B03K













Betonové konstrukce B03C +B03K



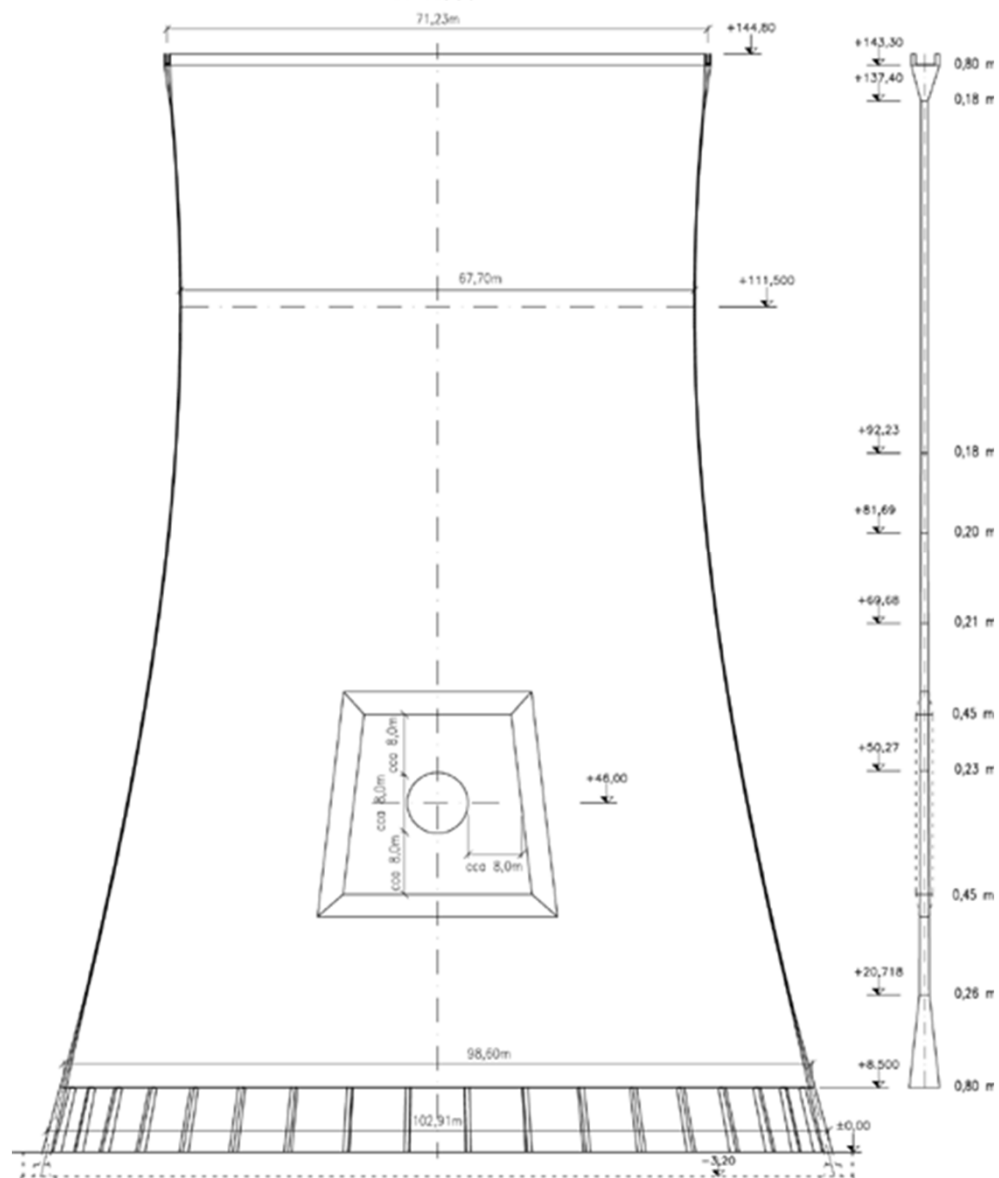
Betonové konstrukce B03C +B03K



Betonové konstrukce B03C +B03K

ELE NZ: OB41-CHLADICÍ VĚŽ – ROZMĚRY

M 1:550



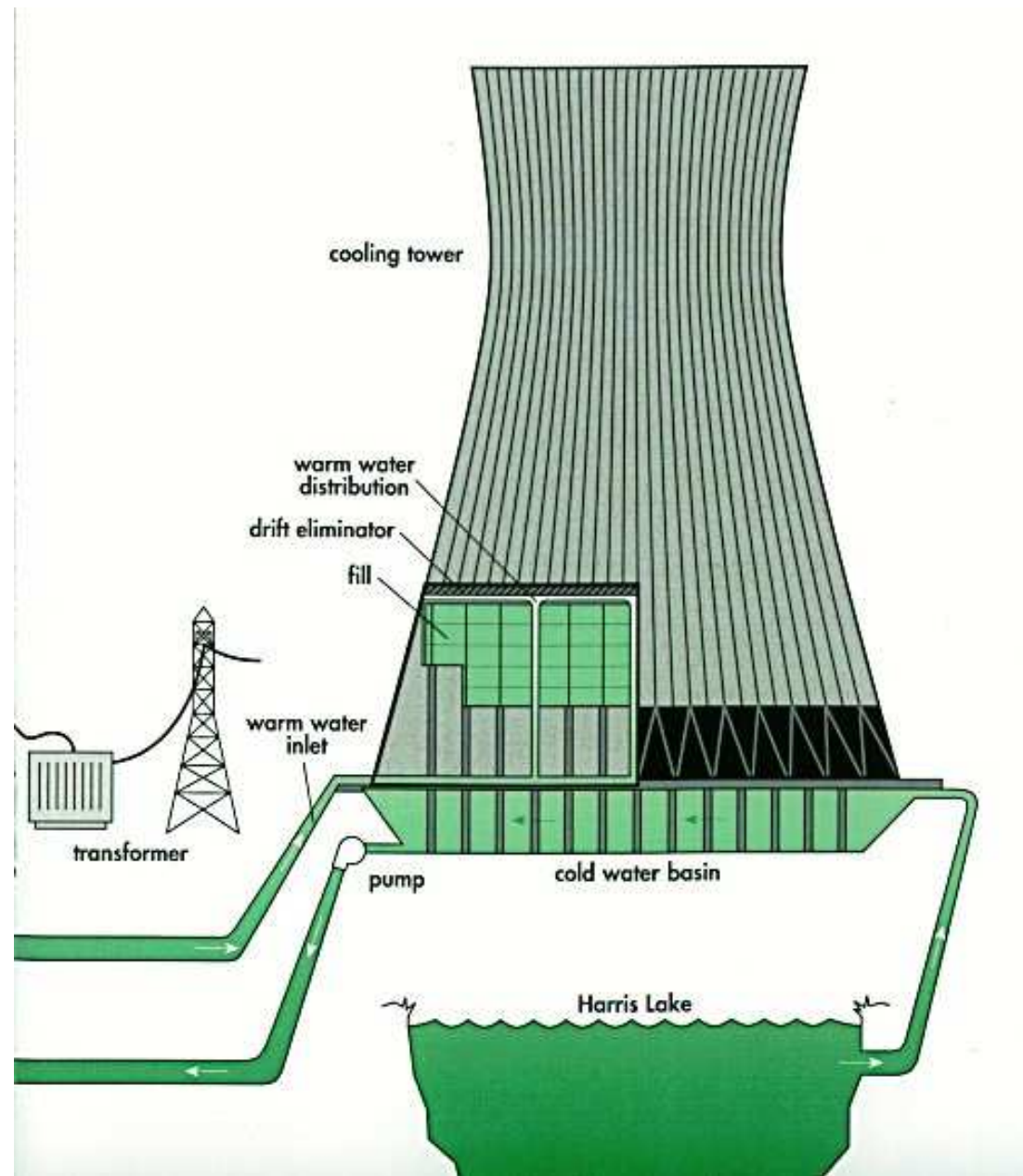
Betonové konstrukce B03C +B03K

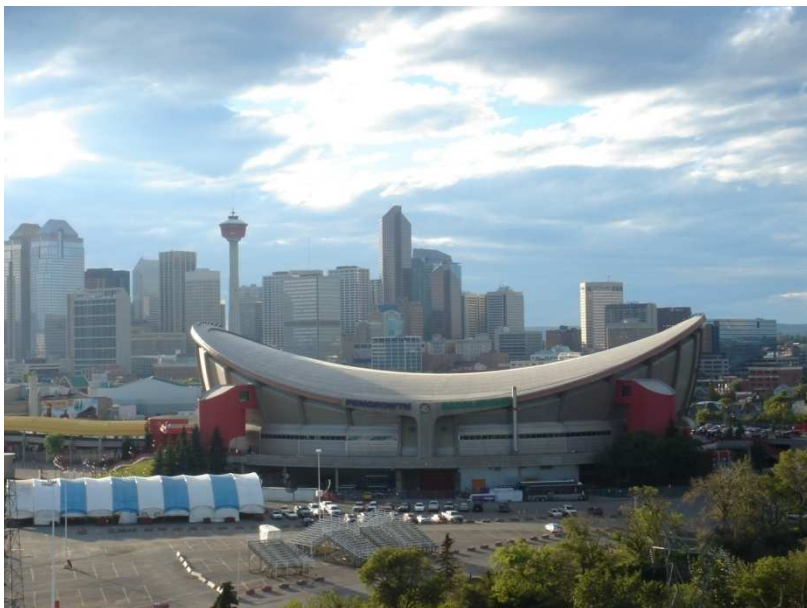


Betonové konstrukce B03C +B03K

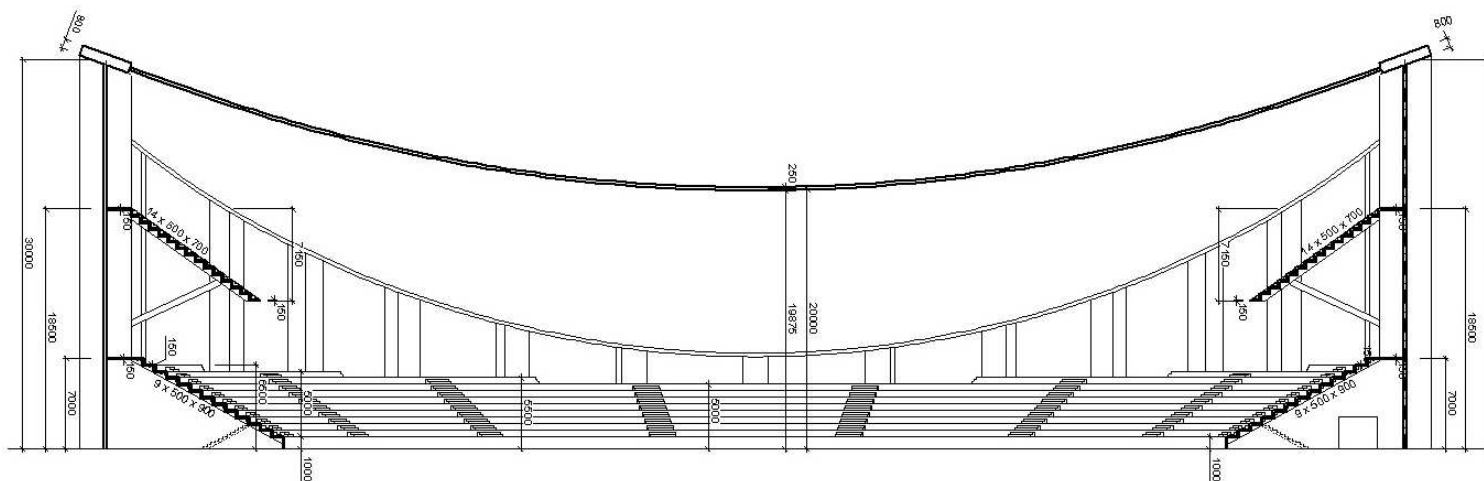


Betonové konstrukce B03C +B03K

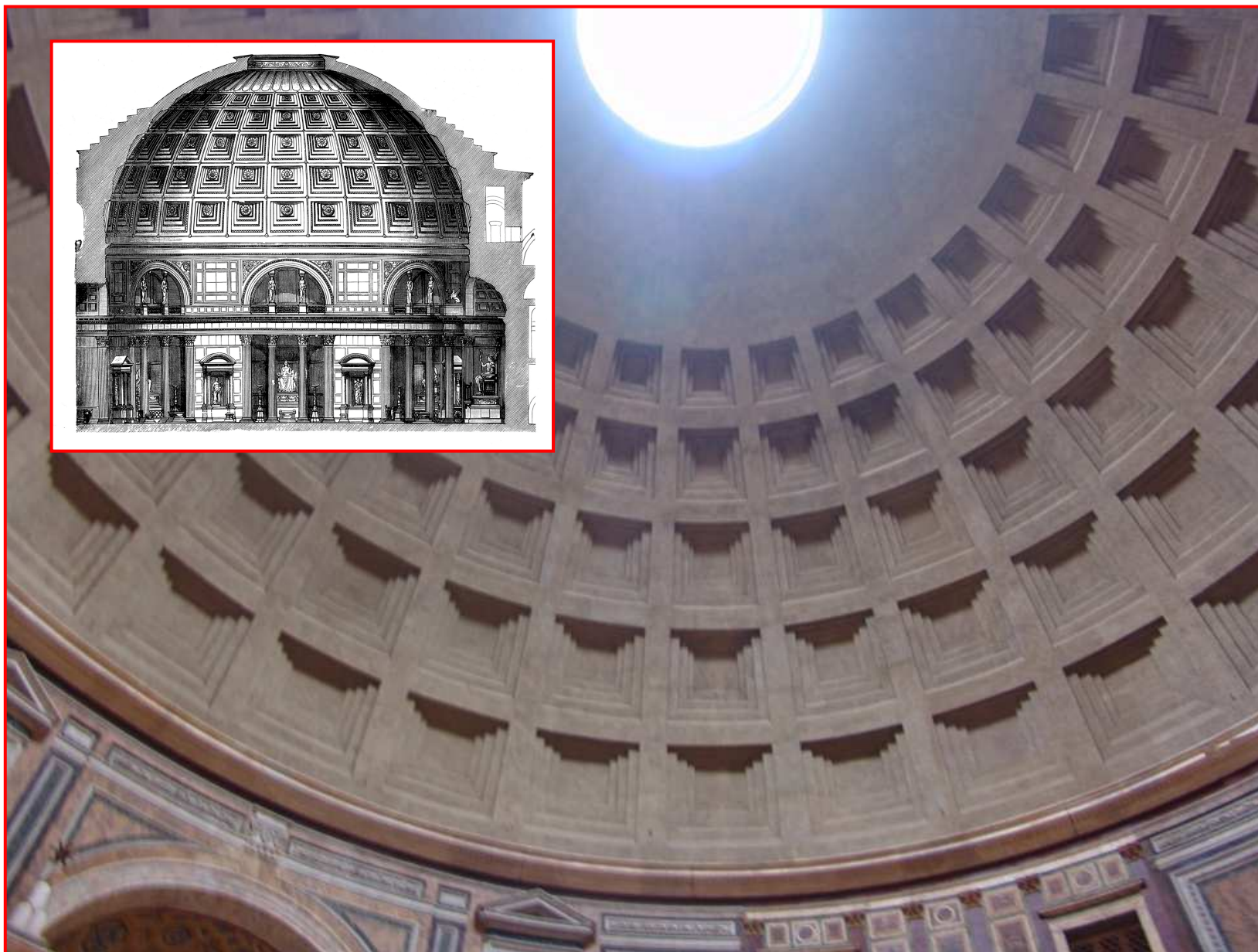




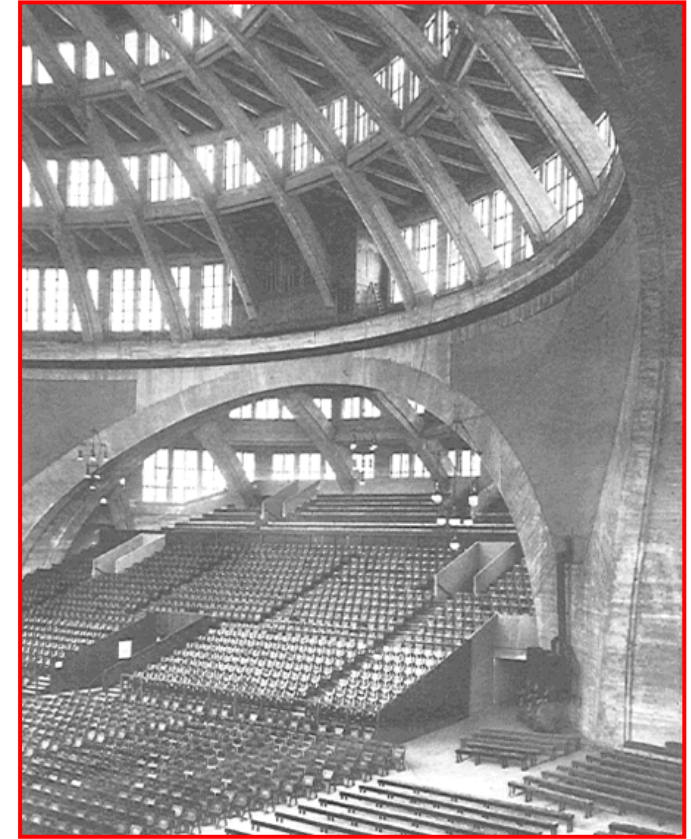
PŘÍČNÝ ŘEZ B-B



Betonové konstrukce B03C +B03K



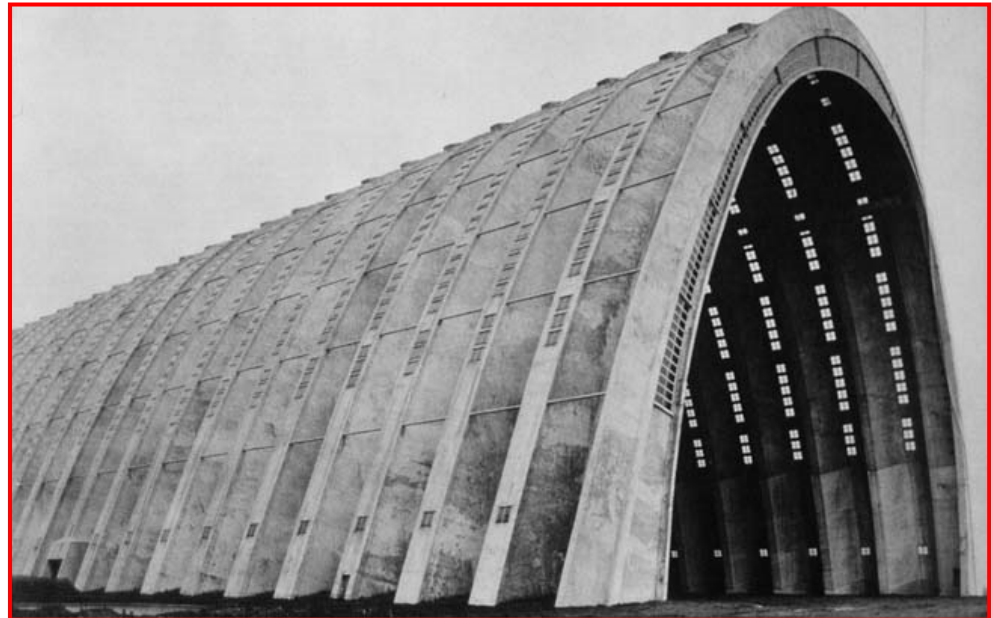
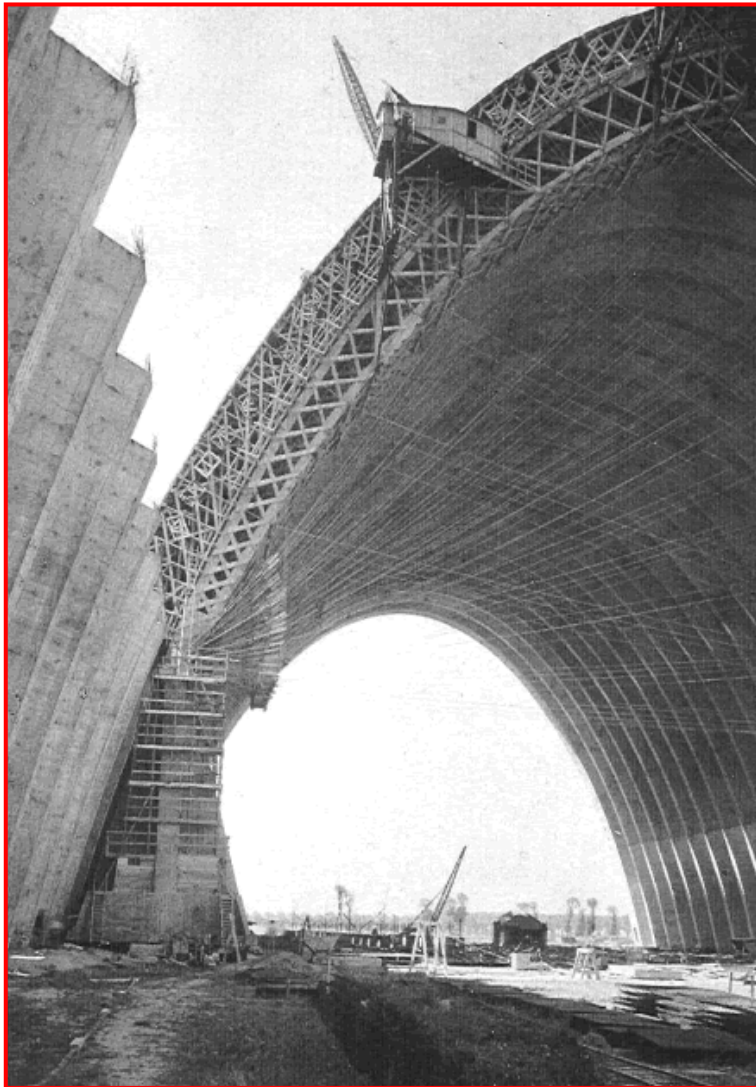
Betonové konstrukce B03C +B03K



Jahrhunderhalle (1913), Wrocław
100. výročí porážky Napoleona



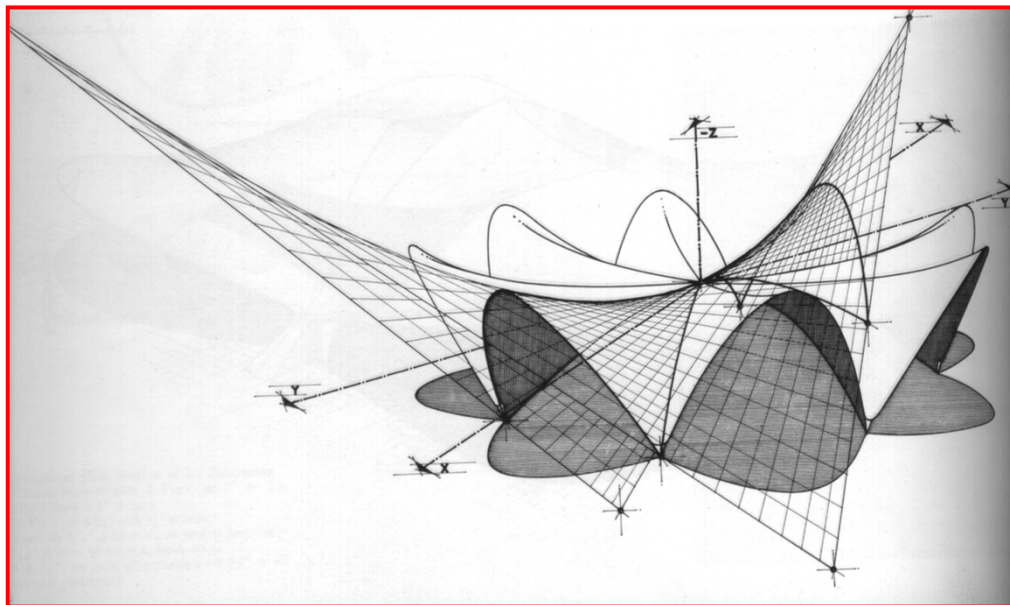
Betonové konstrukce B03C +B03K



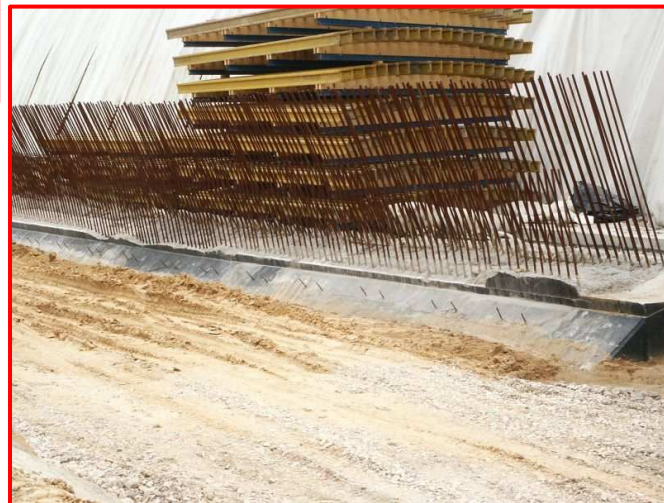
Hangár Orly airport (1920), Paříž
Parabolický hangár pro vzducholodě



- Felix Candela (1910 – 1997) – projekty tenkých skořepinových železobetonových konstrukcí

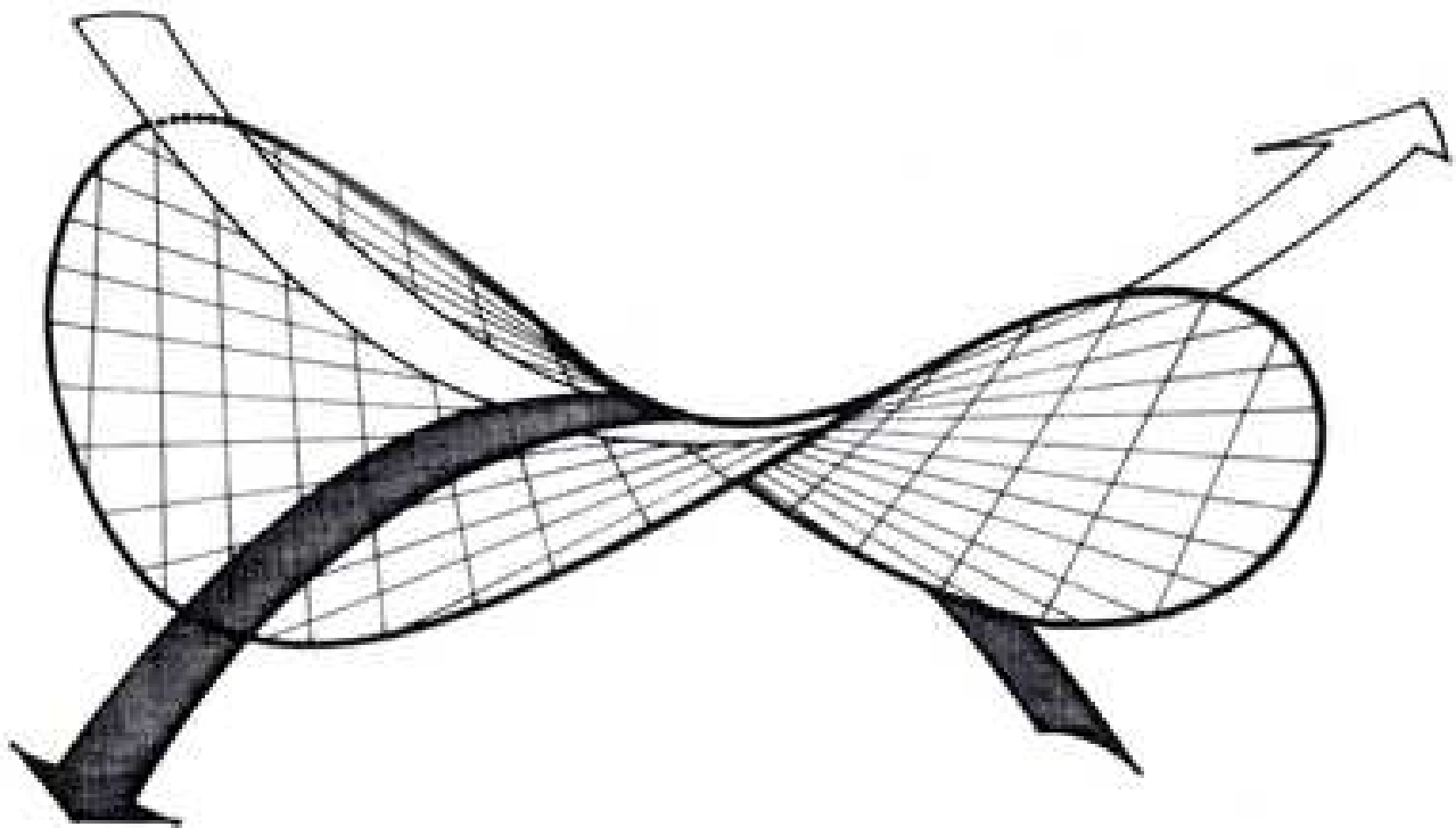


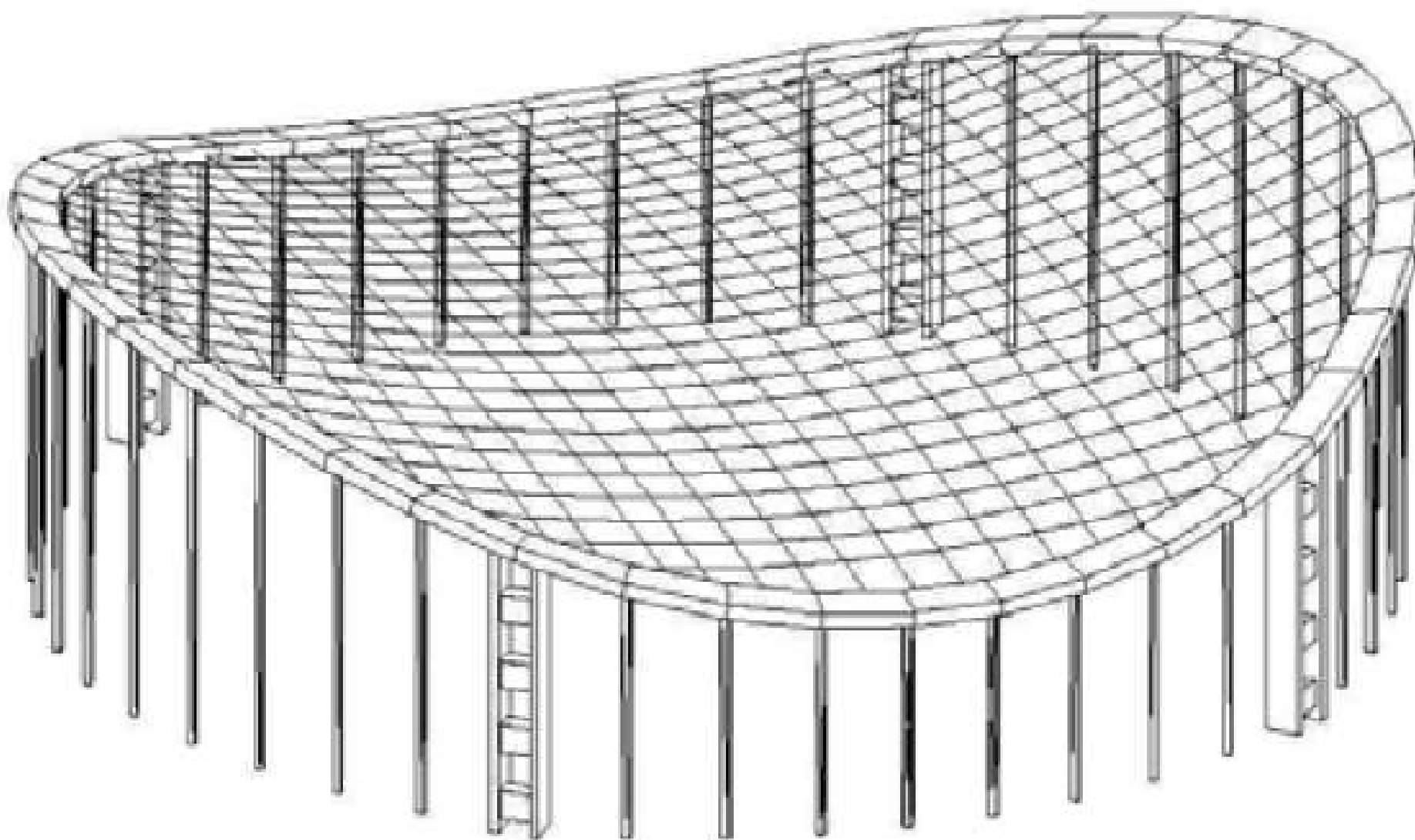
MOŽNOSTI VÝSTAVBY



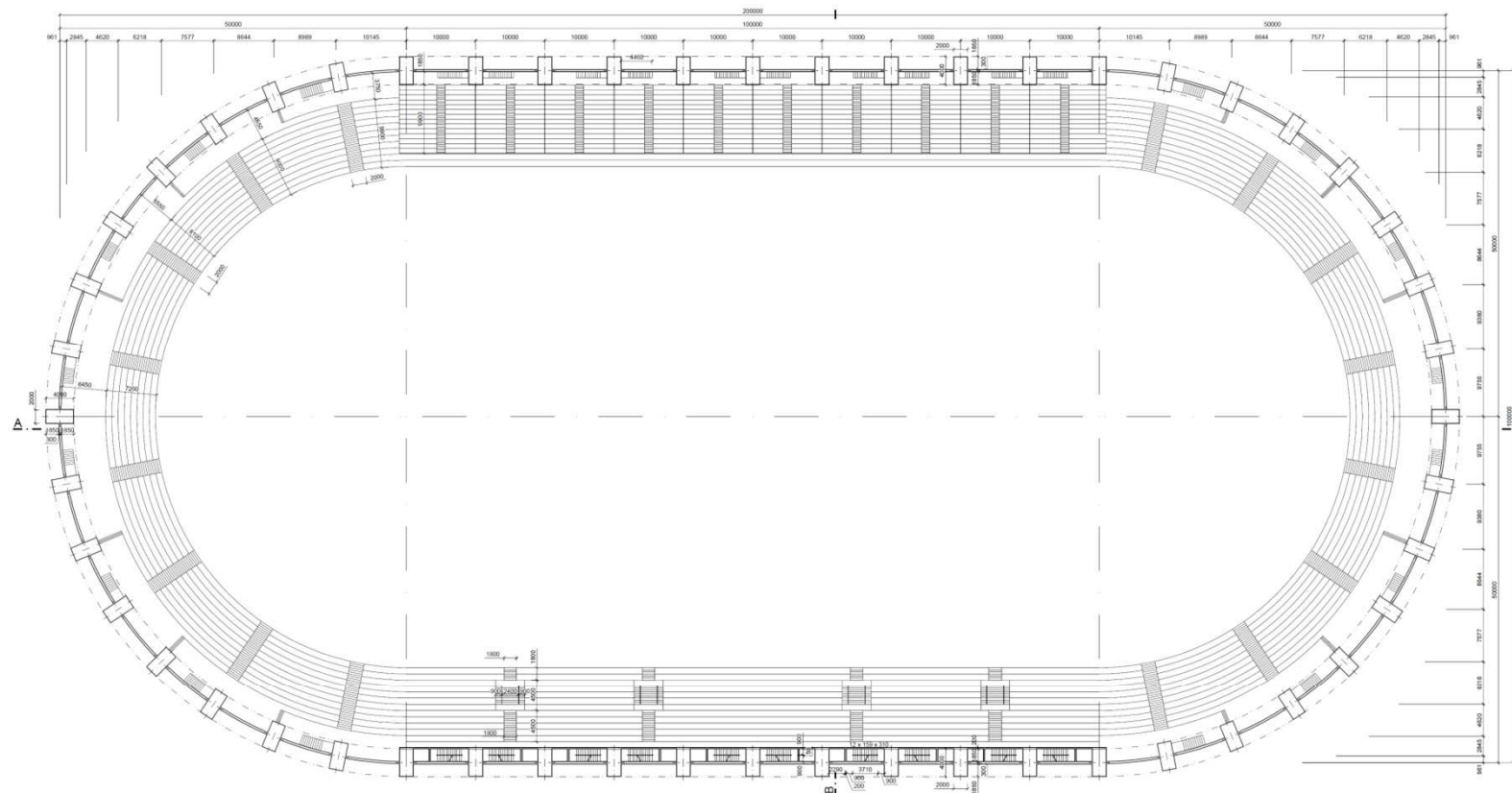


Betonové konstrukce B03C +B03K

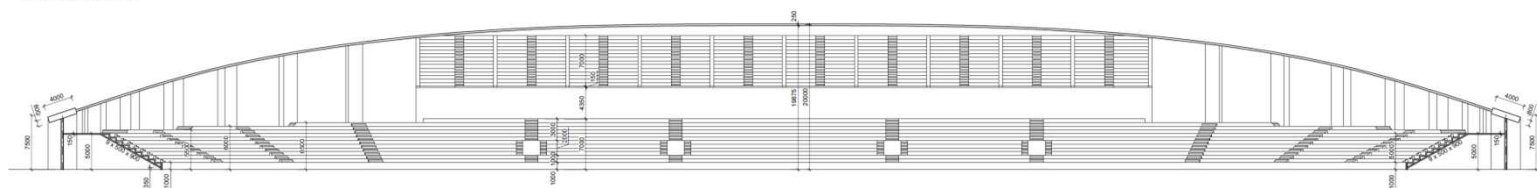




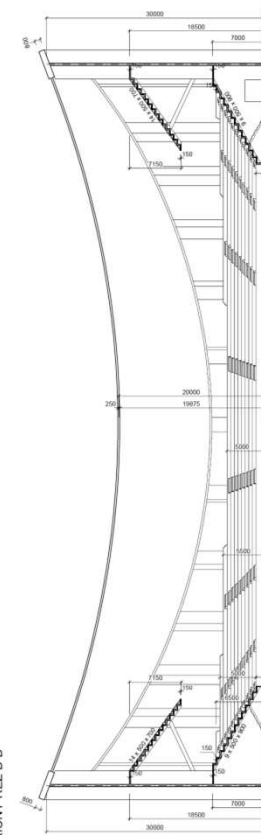
Betonové konstrukce B03C +B03K



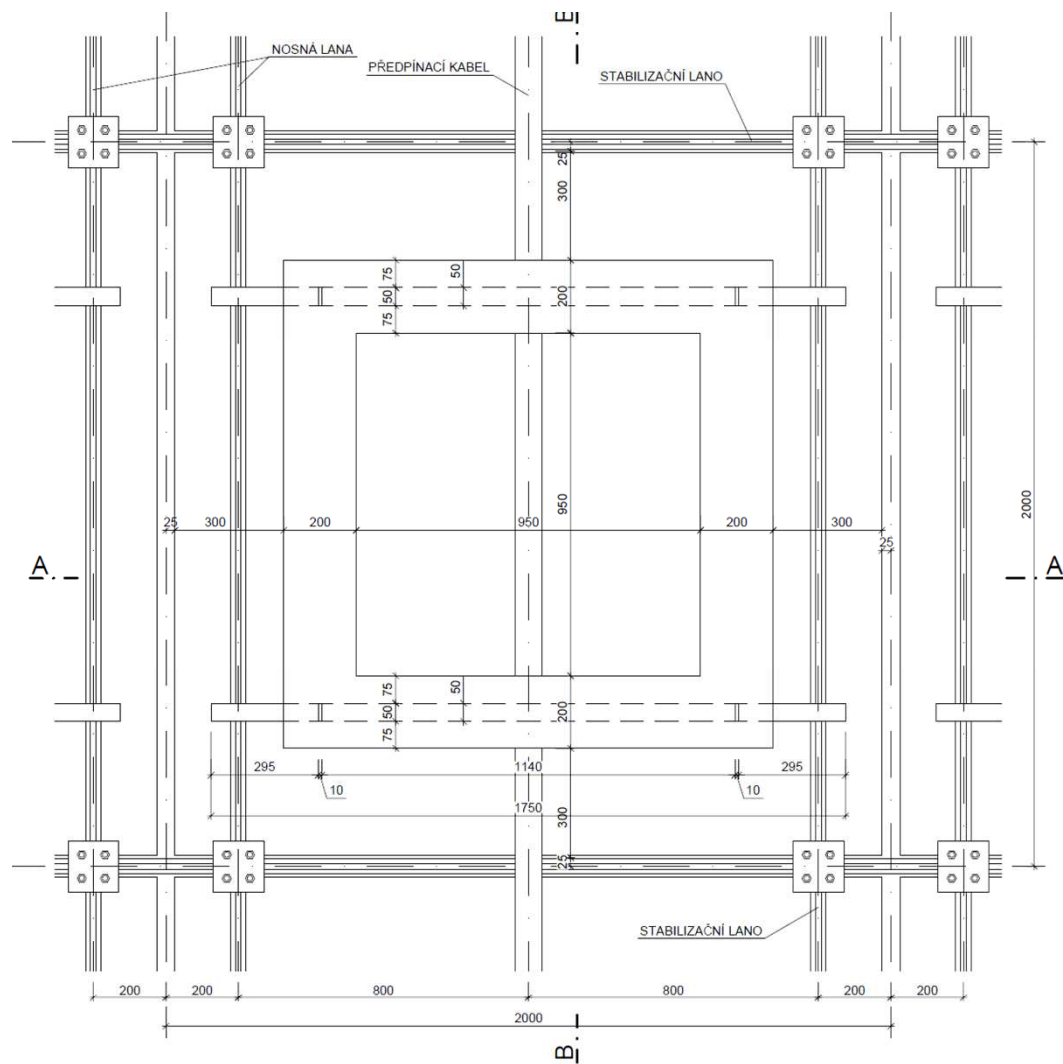
PODÉLNÝ ŘEZ A-A



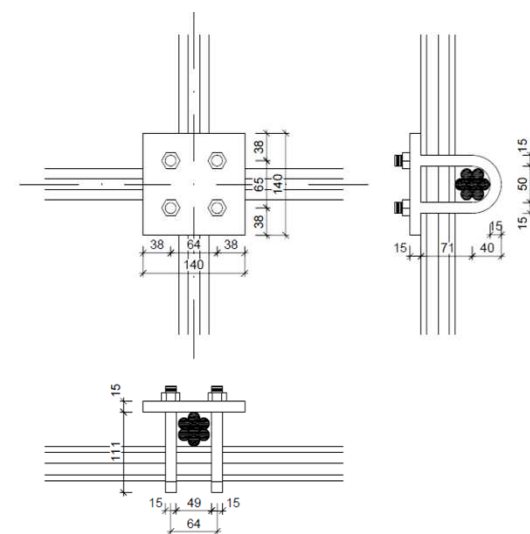
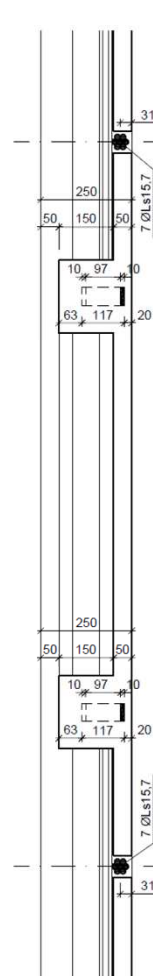
PRŮČNÝ ŘEZ B-B



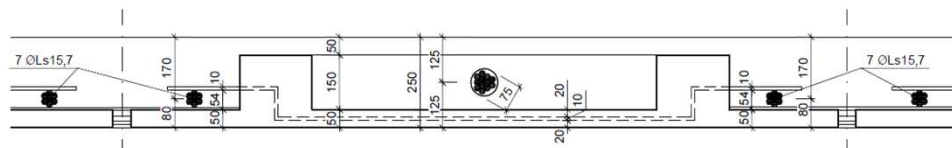
Betonové konstrukce B03C +B03K



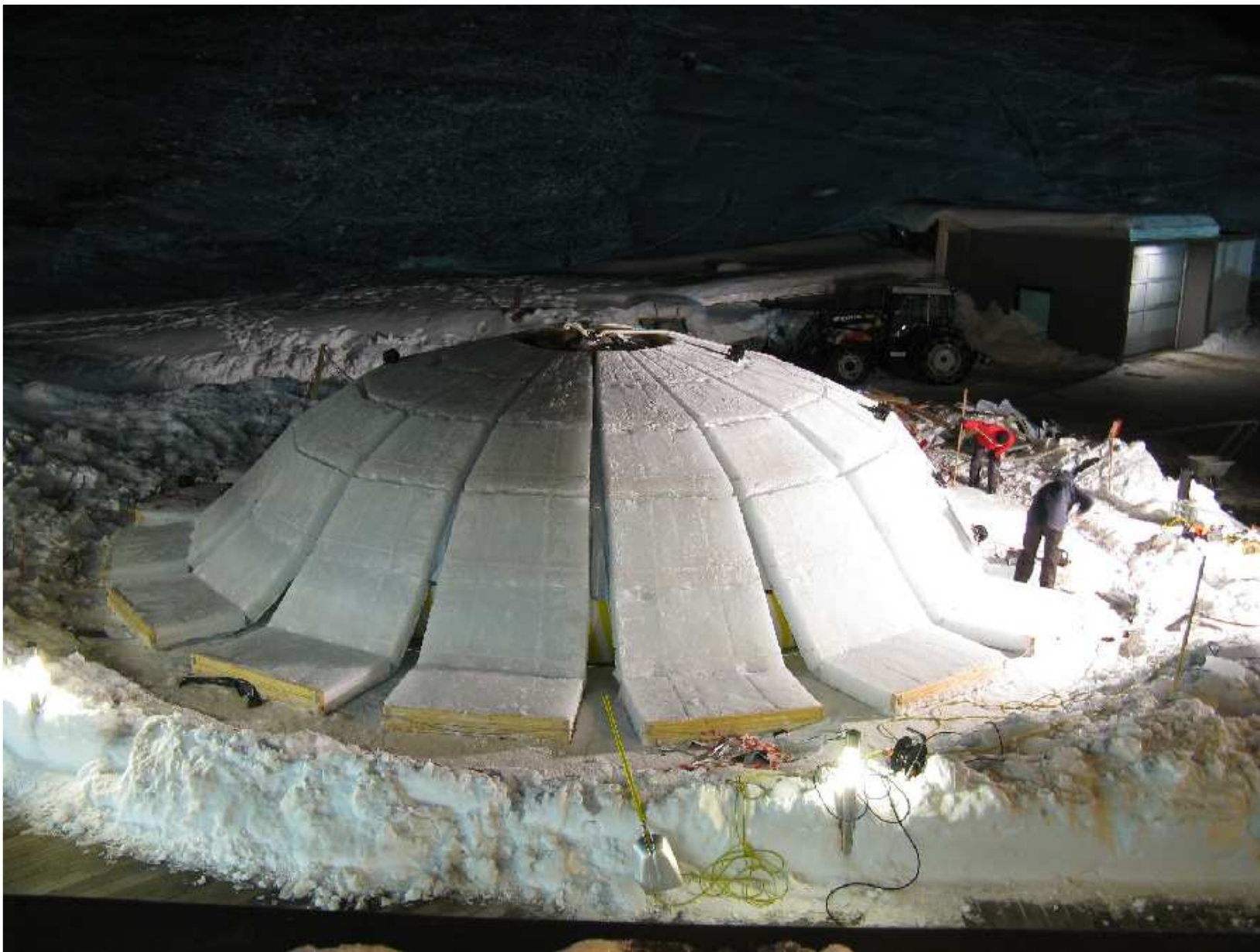
ŘEZ B-B

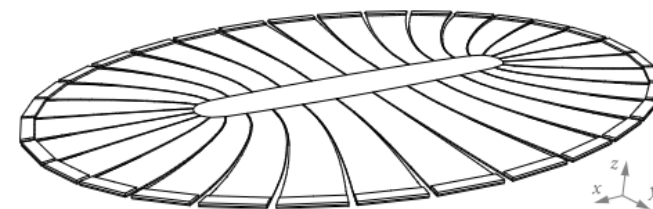
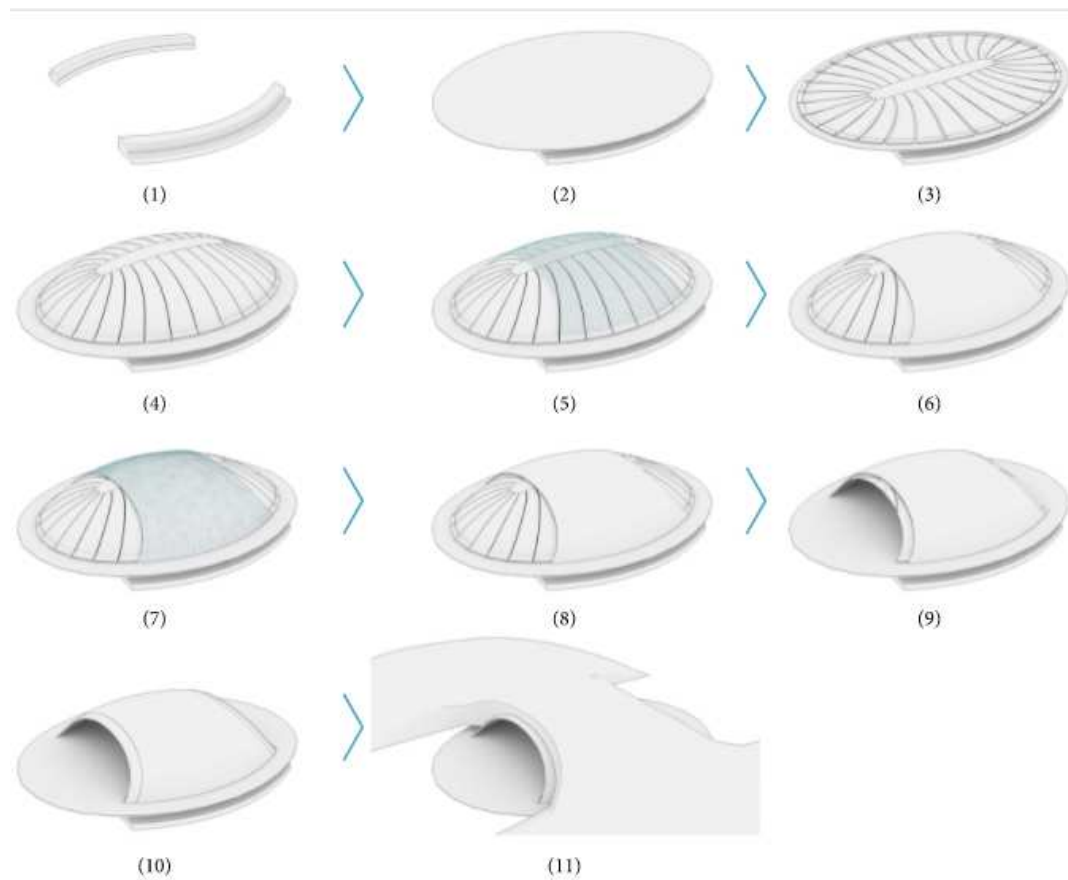


ŘEZ A-A



Betonové konstrukce B03C +B03K





Rozdělení skořepin

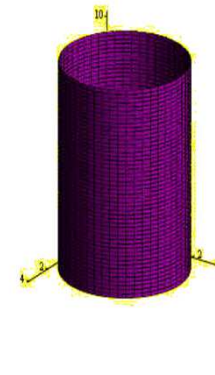
- Rozdělení podle tvaru střednicové roviny (**obecné** × **rotačně symetrické**) a podle namáhání
- Gaussova křivost **K** – vychází z hlavních poloměrů křivosti R_1 a R_2 (největší a nejmenší ze všech poloměrů křivosti v daném bodě, leží v rovinách k sobě kolmých)

$$K = k_1 \cdot k_2 = \frac{1}{R_1} \cdot \frac{1}{R_2}$$

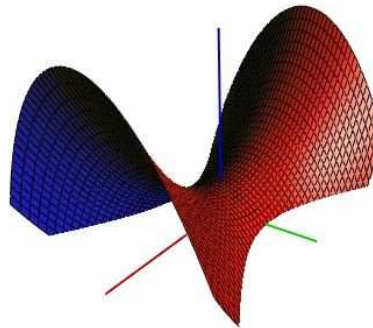
$K > 0$ – např. koule



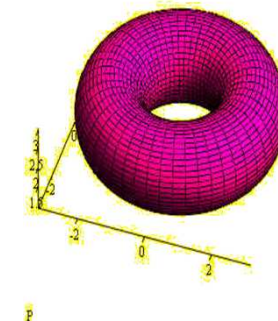
$K = 0$ – např. válec



$K < 0$ – např. hyperbolický paraboloid



$K > 0$ a $K < 0$ (dle polohy na skořepině) – např. anuloid



Rozdělení podle namáhání:

- skořepiny tlustostěnné
- skořepiny střední tloušťky
- skořepiny tenkostěnné
- nelineární tenkostěnné skořepiny
- membrány

Tlustostěnné skořepiny – tloušťka skořepiny h je srovnatelná s minimálním poloměrem křivosti plochy R_{min} ; neplatí Kirchhoffova hypotéza tenkých desek – nelineární rozložení napětí po výšce skořepiny, velice složité řešení blízké tlustým deskám

Tenkostěnné skořepiny - velmi malá tloušťka stěny ve srovnání s minimálním poloměrem křivosti střednicové plochy; lze zanedbat vliv smykových sil na deformaci normál ke střednicové ploše – lineární rozložení normálových napětí

Nelineární tenkostěnné skořepiny - velice tenké skořepiny, deformace srovnatelné s tloušťkou konstrukce, nutno uvážit geometrickou nelinearitu při řešení konstrukcí

Membrány - speciální typ skořepin, u kterých se nevyskytují žádné momenty (ohybové ani kroutící), namáhání pouze normálovými, popřípadě smykovými silami – rovnoměrné rozložení napětí po tloušťce konstrukce – **membránová napjatost** (stav napjaté blány); stav konstrukce, který je dán jejím tvarem, zatížením a podmínkami uložení (nutno poskytnout takové podmínky uložení, které zabezpečí volné pootočení a zároveň musí být uložení schopno přenést membránové síly)



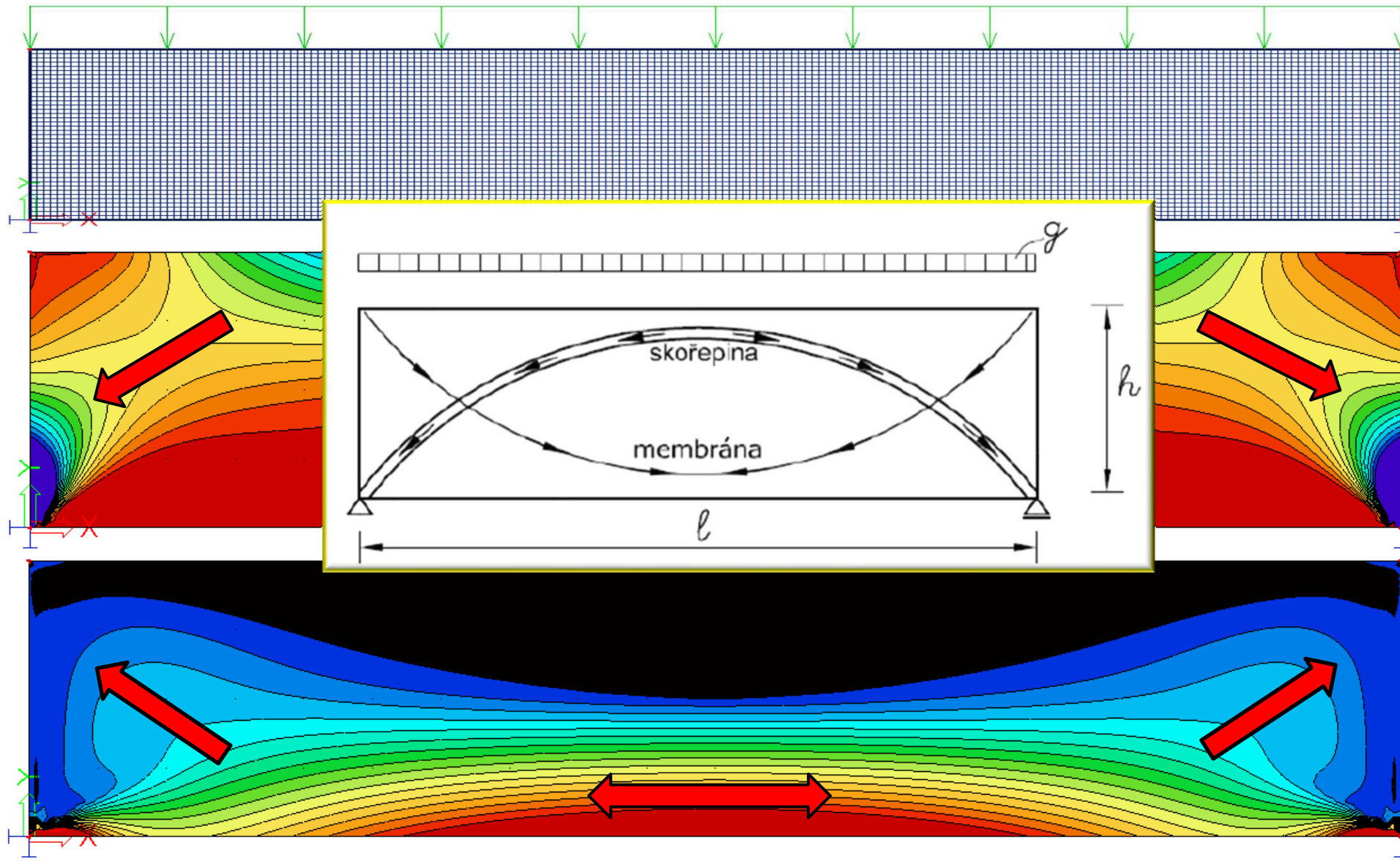




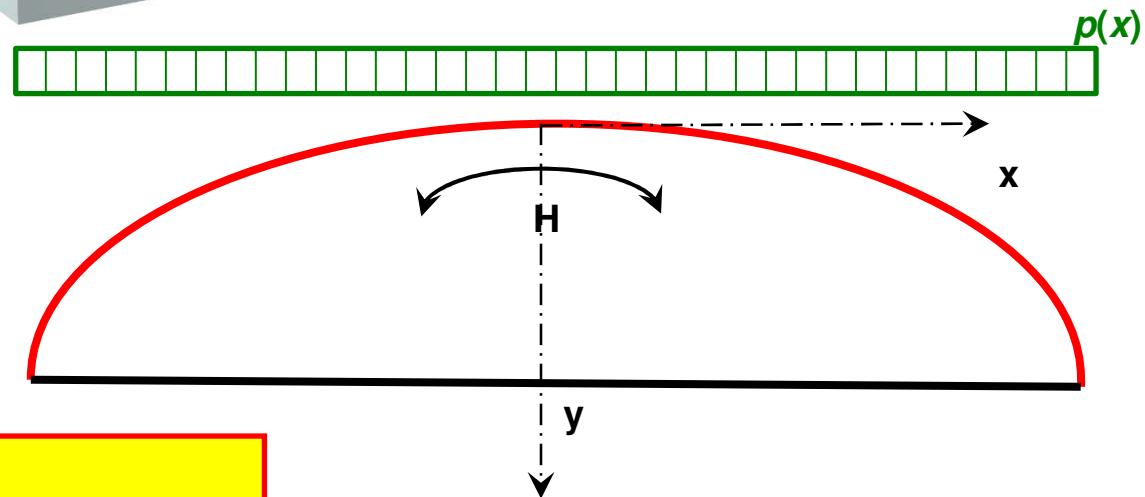
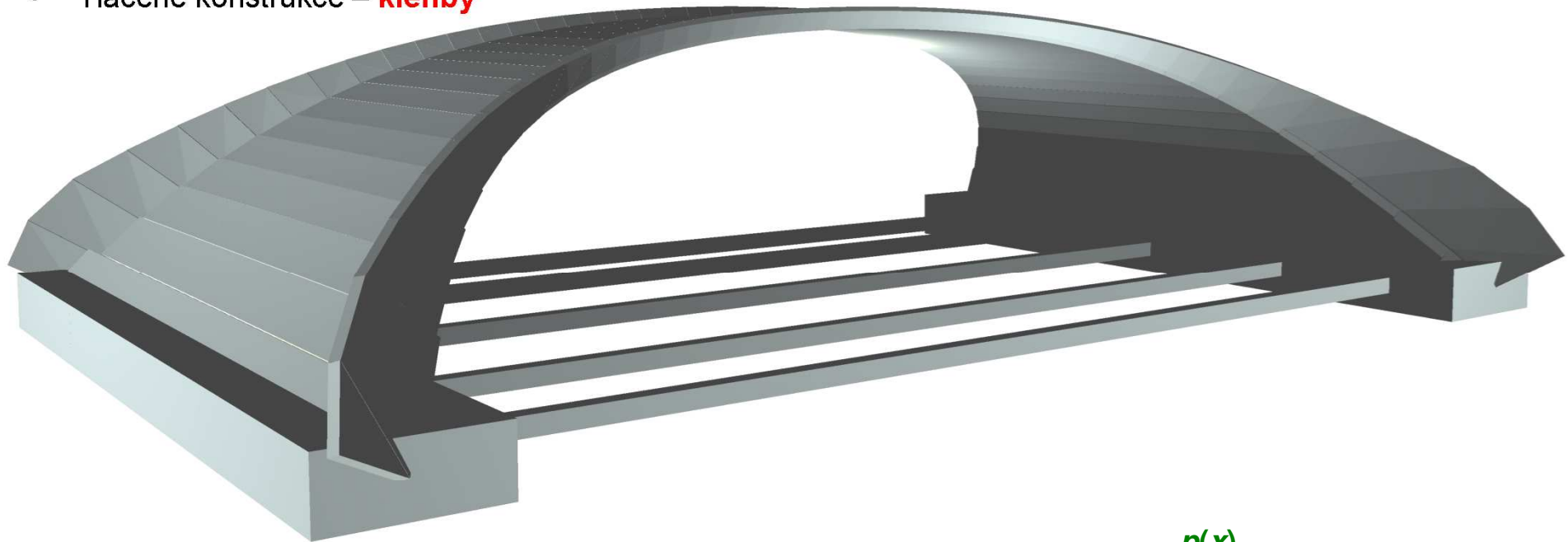
Betonové konstrukce B03C +B03K

Matematické definování střednicové plochy

- Podle namáhání konstrukce – **tah** × **tlak**



- Tlačené konstrukce – **klenby**

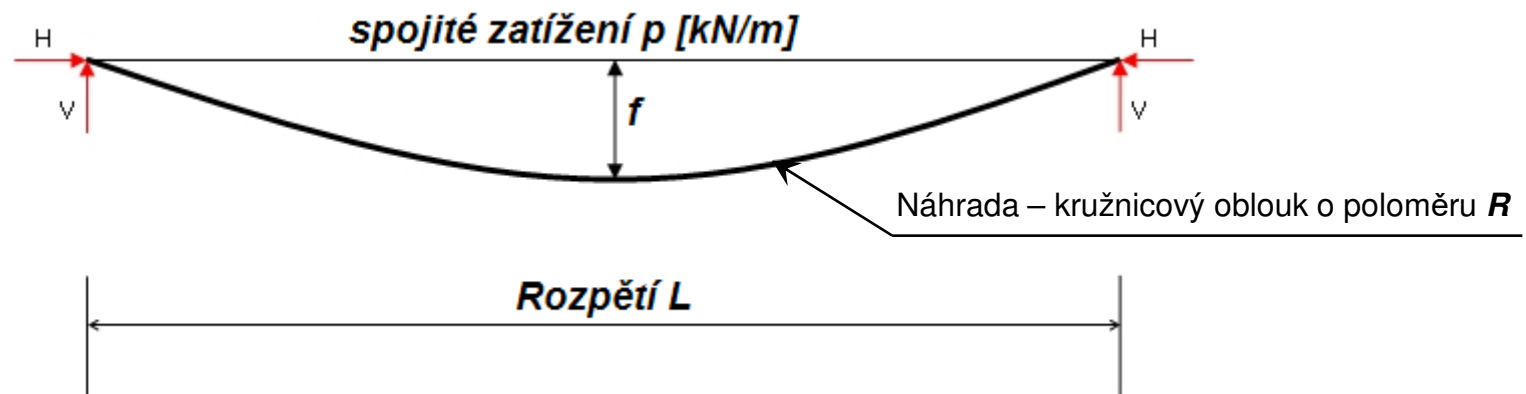


$$M(x) = H \cdot y(x)$$

$$\frac{d^2 M(x)}{d^2 x} = -p(x) \Rightarrow H \frac{d^2 y}{d^2 x} = -p(x)$$



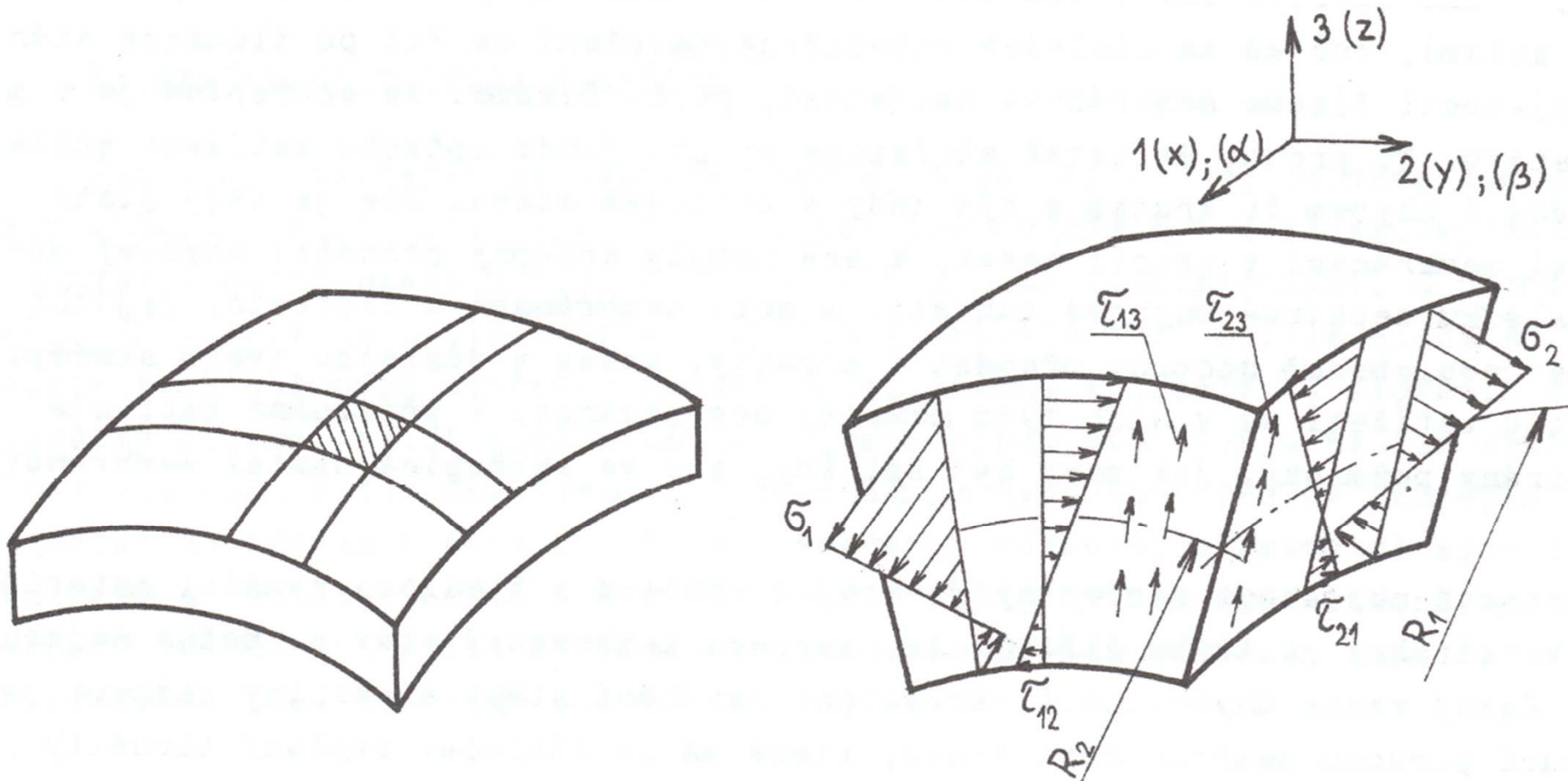
- Tažené konstrukce – **membrány**



- podporové reakce $H = \frac{p \cdot L^2}{8 \cdot f}$ $V = \frac{1}{2} \cdot p \cdot L$
- délka konstrukce $L_{oblouku,0} = 2 \cdot R \cdot \sin^{-1}\left(\frac{L}{2R}\right)$
- tahová síla v konstrukci $T = \sqrt{H^2 + V^2} = \sqrt{\left(\frac{p \cdot L^2}{8 \cdot f}\right)^2 + \left(\frac{p \cdot L}{2}\right)^2}$
- protažení konstrukce od působícího zatížení $\Delta L = \frac{T}{EA} L_{oblouku,0}$
- pokud je konstrukce předepnuta silou T_0 , protažení je pak dáno $\Delta L = \frac{T - T_0}{EA} L_{oblouku,0}$
- konečná délka konstrukce $\frac{T - T_0}{EA} L_{oblouku,0} + L_{oblouku,0} = \frac{2T \cdot \sin^{-1}\left(\frac{p \cdot L}{2T}\right)}{p}$



NAMÁHÁNÍ SKOŘEPIN A VNITŘNÍ SILOVÉ ÚČINKY



Normálová napětí – σ_1 a σ_2 – superpozice ohybu a osově síly (nenulová hodnota na střednicové ploše)

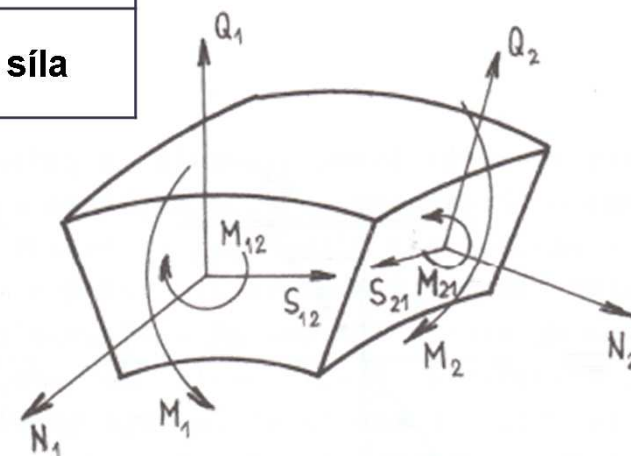
Smyková napětí - τ_{12} a τ_{21} – superpozice krutu a smyku

Smyková napětí - τ_{13} a τ_{23} – smykové síly ve směru normály ke střednicové ploše



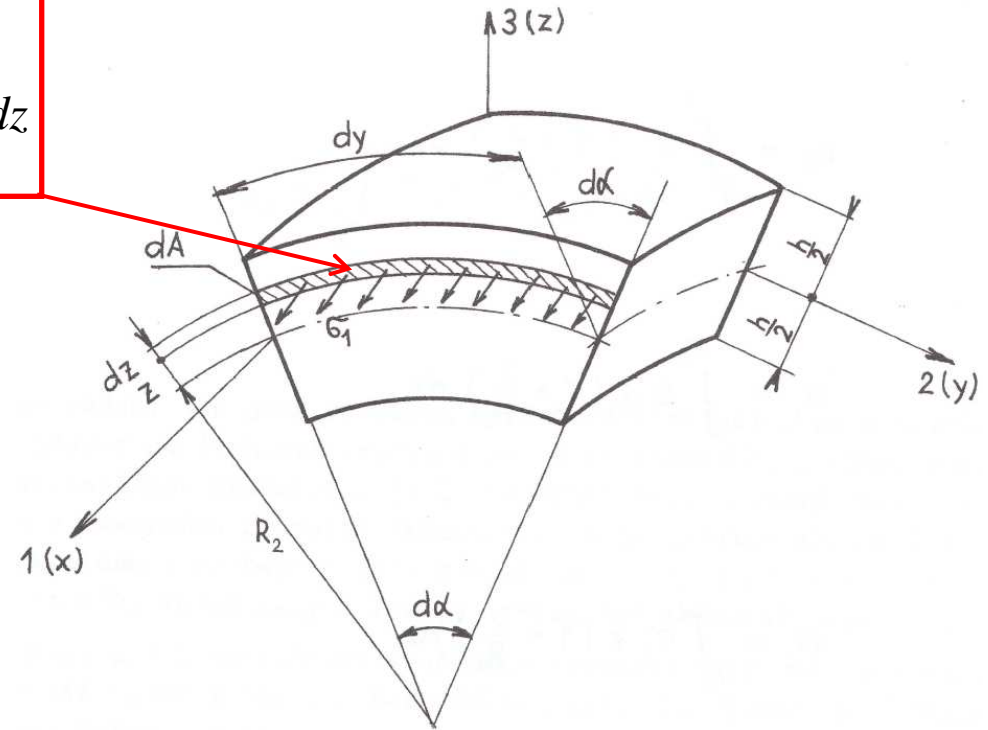
Přehled vnitřních silových účinků

Napětí	Výsledný vnitřní účinek
σ_1	N_1 – normálová síla
	M_1 – ohybový moment
σ_2	N_2 – normálová síla
	M_2 – ohybový moment
τ_{12}	S_{12} – smyková síla
	M_{12} – krouticí moment
τ_{12}	S_{21} – smyková síla
	M_{21} – krouticí moment
τ_{13}	Q_1 – posouvající (příčná) síla
τ_{23}	Q_2 – posouvající (příčná) síla



$$dA = (dy + z d\alpha) dz$$

$$d\alpha = \frac{dy}{R_2} \Rightarrow dA = \left(dy + z \frac{dy}{R_2} \right) dz = \left(1 + \frac{z}{R_2} \right) dy dz$$



Závislost mezi vnitřními silami a napětími

Normálová napětí σ_1 a normálová síla N_1

Elementární síla na ploše dA $\sigma_1 \cdot dA = \sigma_1 \cdot \left(1 + \frac{z}{R_2} \right) dy dz$

Na celou přední stěnu elementu pak působí $\overline{N_1} = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_1 dA = dy \cdot \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_1 \left(1 + \frac{z}{R_2} \right) dz \Rightarrow \frac{\overline{N_1}}{dy} = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_1 \left(1 + \frac{z}{R_2} \right) dz$



Vnitřní silové účinky

$$N_1 = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_1 \left(1 + \frac{z}{R_2} \right) dz$$

$$N_2 = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_2 \left(1 + \frac{z}{R_1} \right) dz$$

$$M_1 = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_1 \cdot z \left(1 + \frac{z}{R_2} \right) dz$$

$$M_2 = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_2 \cdot z \left(1 + \frac{z}{R_1} \right) dz$$

$$S_{12} = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \tau_{12} \left(1 + \frac{z}{R_2} \right) dz$$

$$S_{21} = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \tau_{21} \left(1 + \frac{z}{R_1} \right) dz$$

$$M_{12} = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \tau_{12} \cdot z \left(1 + \frac{z}{R_2} \right) dz$$

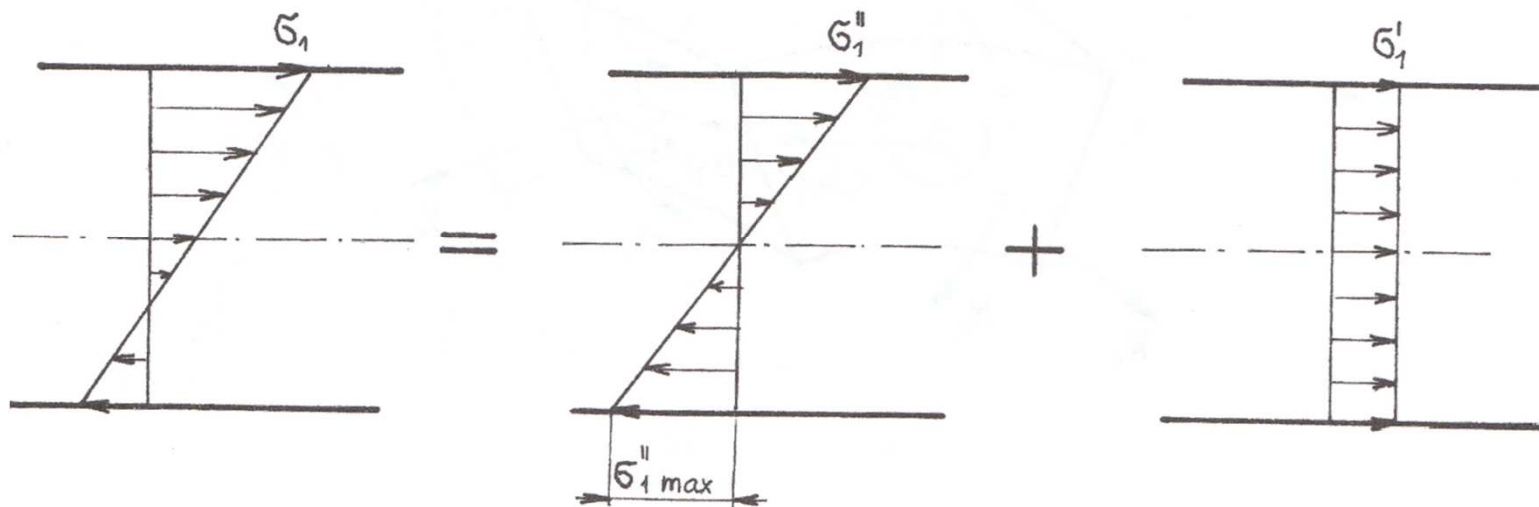
$$M_{21} = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \tau_{21} \cdot z \left(1 + \frac{z}{R_1} \right) dz$$

$$Q_1 = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \tau_{13} \left(1 + \frac{z}{R_2} \right) dz$$

$$Q_2 = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \tau_{23} \left(1 + \frac{z}{R_1} \right) dz$$

8 neznámých silových účinků





$$M_1 = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_1 \cdot z dz = \sigma_{1max}'' \cdot \frac{1}{6} h^2$$

$$N_1 = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_1 dz = \sigma_1' \cdot h$$

Pro tenkostěnné konstrukce je možné zanedbat změnu šířky proužku po výšce skořepiny – plochu nahradíme obdélníkem.



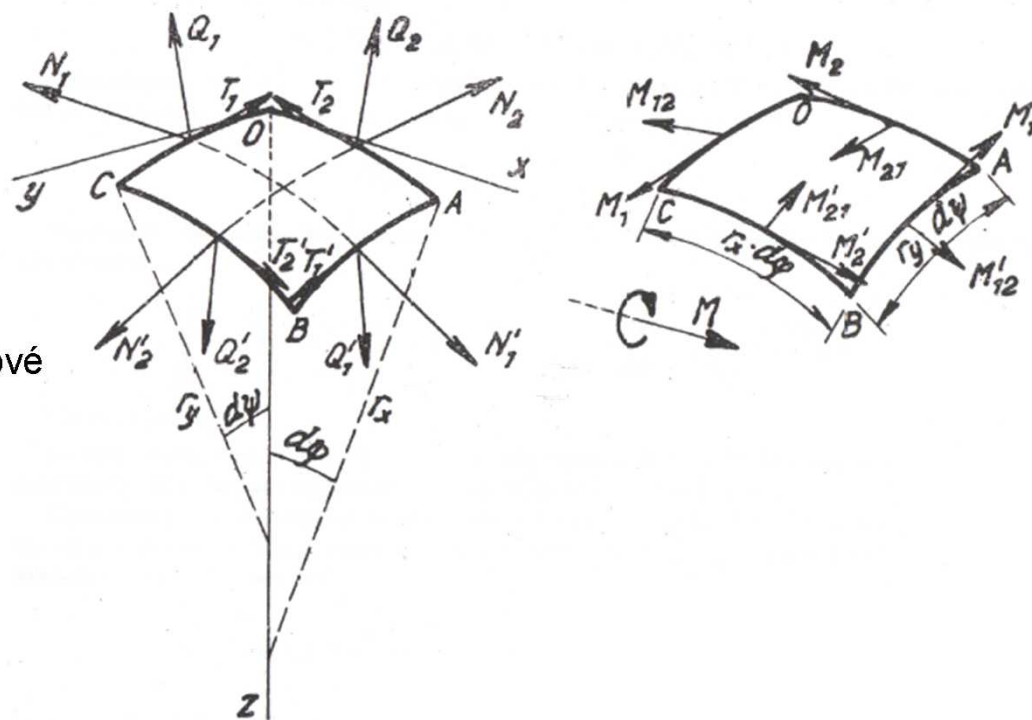
ZÁKLADY TEORIE OBECNÝCH TENKOSTĚNNÝCH SKOŘEPIN

Předpoklady řešení:

1. Platí Hookův zákon a princip superpozice
2. Platí předpoklad tenkostěnnosti
3. Průhyby skořepiny jsou malé ve srovnání s její tloušťkou
4. Body ležící před deformací na normále střednicové plochy leží po deformaci na normále zdeformované střední plochy – Kirchhoffova hypotéza

$$\frac{h}{R_{min}} \leq \frac{1}{10}$$

6 podmínek rovnováhy – 3 silové a 3 momentové

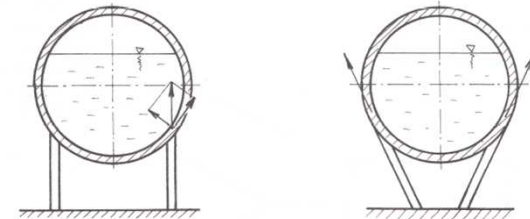


MEMBRÁNOVÁ TEORIE SKOŘEPIN

Vzhledem k malé tloušťce konstrukce (ohybový moment přímo úměrný 3 mocnině této tloušťky) jsou ohybové momenty velmi malé a lze je zanedbat (za jistých speciálních předpokladů).

Podmínky vzniku membránového stavu ve skořepině:

- Zatížení kolmé k povrchu skořepiny spojitě a ne příliš nerovnoměrné – porušení stavu (bodová síla, náhlá změna zatížení)
- Síly působící na skořepinu musí být ve směru tečen ke střední ploše
- Tloušťka stěny se nemění náhle
- Křivost střední plochy skořepiny a poloha středu křivosti se mění spojitě

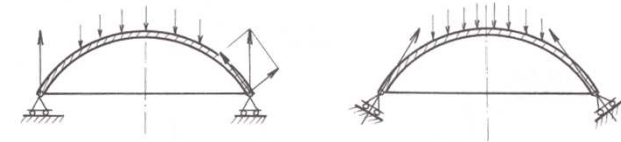


Základní rovnice membránového stavu

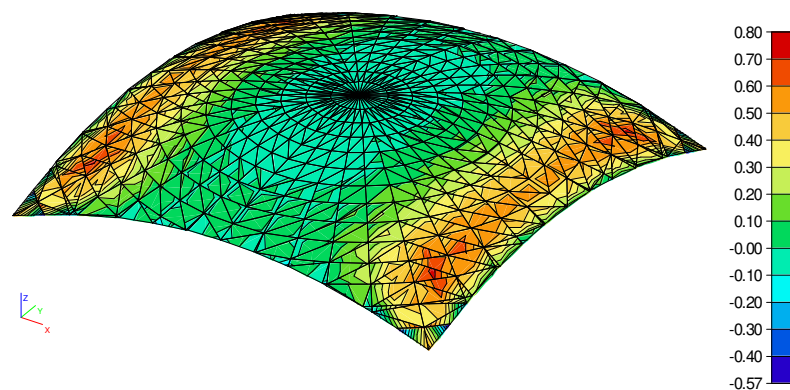
$$\frac{\partial}{\partial \varphi} (N_x r_y) + \frac{\partial}{\partial \psi} (T_{xy} r_x) + X r_x r_y = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial \psi} (N_y r_x) + \frac{\partial}{\partial \varphi} (T_{xy} r_y) + Y r_x r_y = 0$$

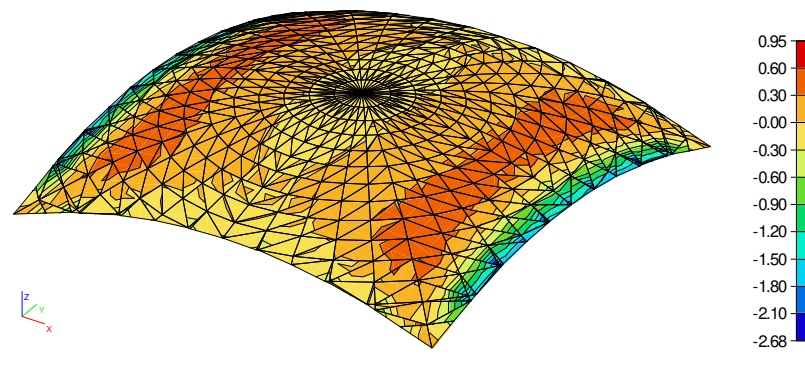
$$\frac{N_x}{r_x} + \frac{N_y}{r_y} + Z = 0$$



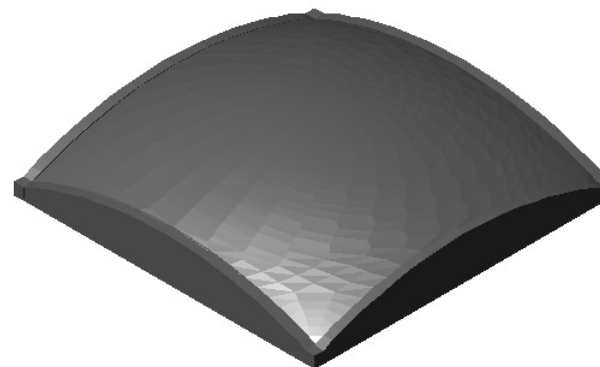
1. Krok – skořepina po obvodu podepřená



Kloub po okraji m_x [kNm/m]

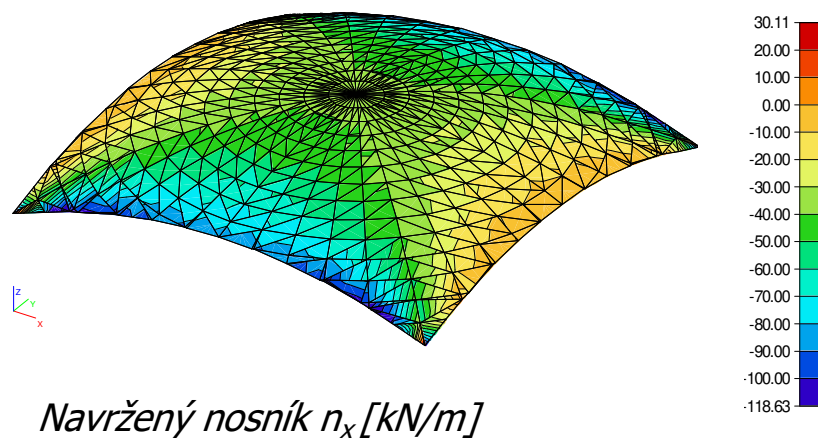
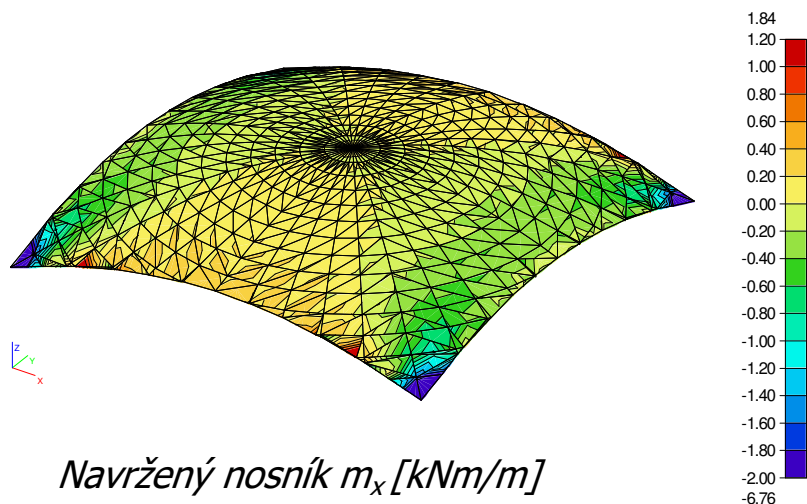


Vetknutí po okraji m_x [kNm/m]

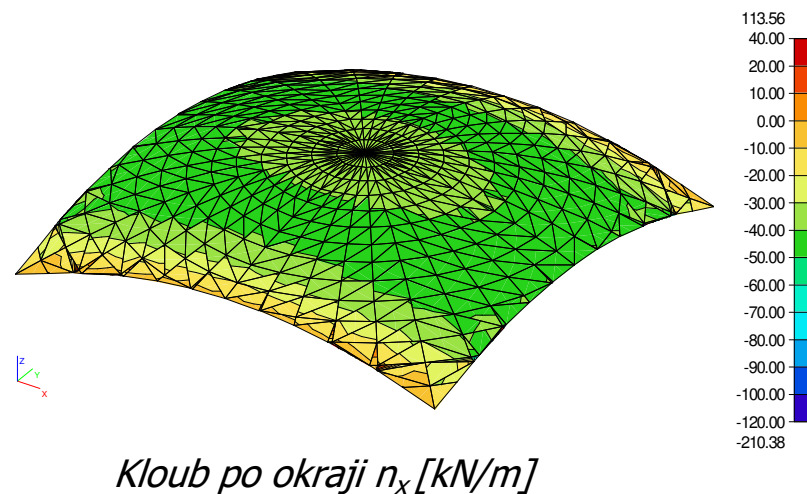


2. Krok – skořepina podepřena patním nosníkem

- zajistit požadované uložení:
 - umožnit deformaci
 - zachytit šikmé tlaky



X



KRUHOVÝ VÁLEC

- Osa x rovnoběžná s osou válce $1/r_x = 0$, $r_y = r$ (poloměr řídící kružnice)

$$\frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial T_{xy}}{r \partial \psi} + X = 0$$

$$\frac{\partial N_y}{r \partial \psi} + \frac{\partial T_{xy}}{\partial x} + Y = 0$$

$$N_y = -Zr$$

