

Betonové konstrukce II/7

# Membrány a skořepiny

# Zastřešení hal velkých rozpětí

- Řetězovky - membrány
- Oblouky - skořepiny

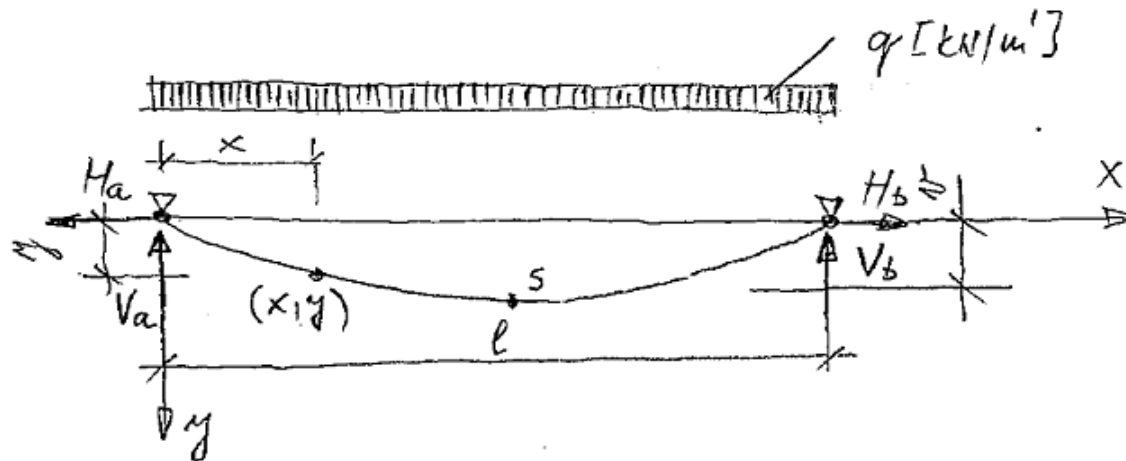


Opera v Sydney – 1973 – skořepinové dílce z ferrocementu tloušťky 30 mm

# Nehmotné zavěšené vlákno (lano, řetěz...)

- Vlákno přenáší pouze osový tah – žádné ohybové momenty
- Tvar, který zaujme, závisí na uspořádání zatížení

## Spojitě zatížení, rovnoměrně rozložené po půdorysu (sníh)



- Vlákno zaujme tvar paraboly – **parabolická řetězovka**

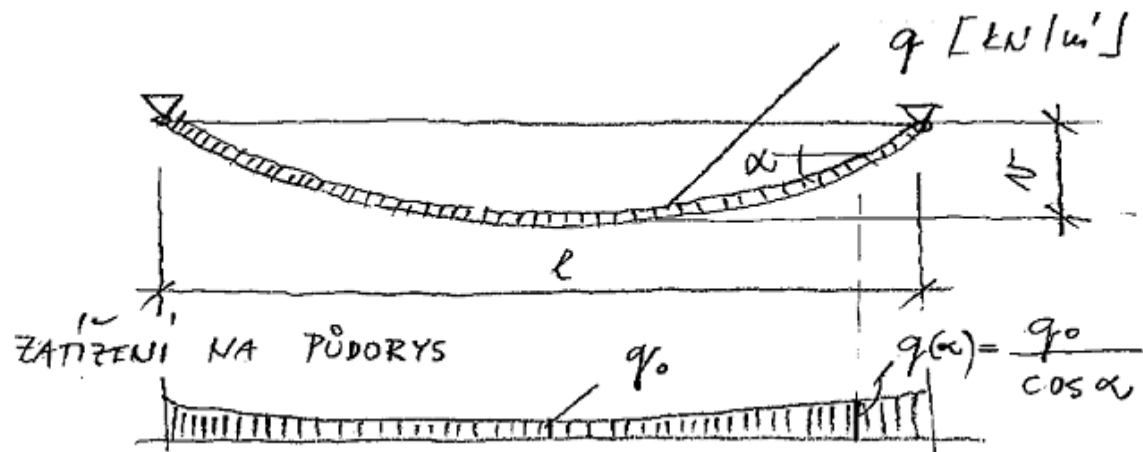
$$y = -ax^2 + bx$$

- **Velké vodorovné síly v podporách – čím je průvěs  $v$  menší, tím je síla  $H$  větší**

$$V = \frac{ql}{2}$$

$$H = \frac{ql^2}{8v}$$

# Spojité zatížení rovnoměrně rozložené podél střednice vlákna (vlastní tíha lana)



- Zaujme tvar pravé řetězovky – hyperbolický kosinus

$$y = \frac{a}{2} \left( e^{\frac{x}{a}} + e^{-\frac{x}{a}} \right) = a \cdot \cosh \frac{x}{a}$$

- Pro malé průvěsy ( $v \leq \frac{l}{3}$ ) se tvar příliš neliší od paraboly

# Železobetonová membrána

- Místo 1D prvku (lano) použijeme 2D prvek (plochu)
- Translační válcová plocha
- Při zatížení sněhem zaujme tvar paraboly
- Při zatížení vlastní tíhou zaujme tvar pravé řetězovky



Pavilon Expo 98 v Lisabonu – předepnutá železobetonová membrána -  
– rozpětí 80 m, tloušťka 150 mm

# Plavecký stadión ve Wuppertalu



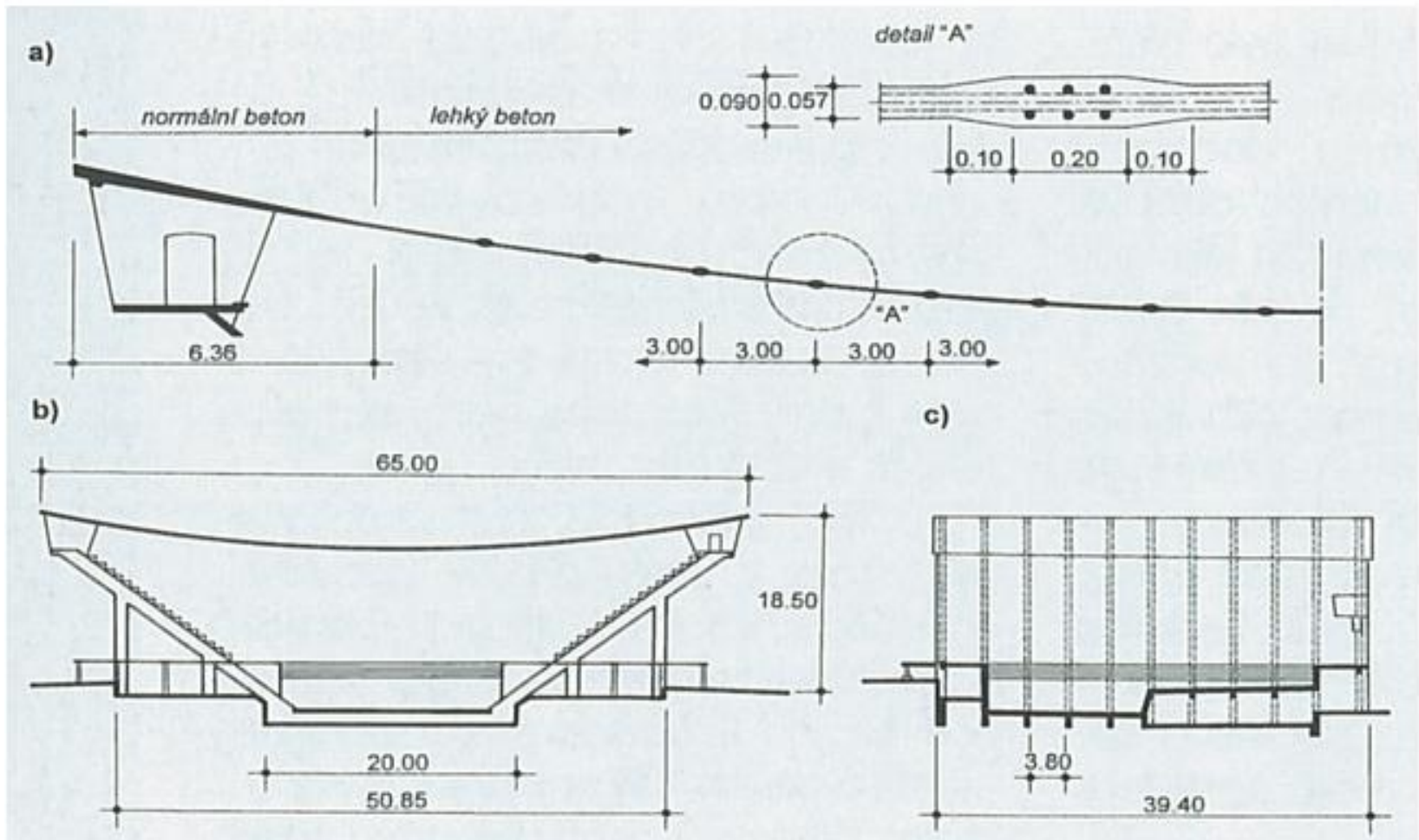
Plavecký stadion Wuppertal – Fritz Leonhardt, 1965

Předpjatá visutá skořepina s rozpětím 65 m, tloušťka skořepiny 57 mm



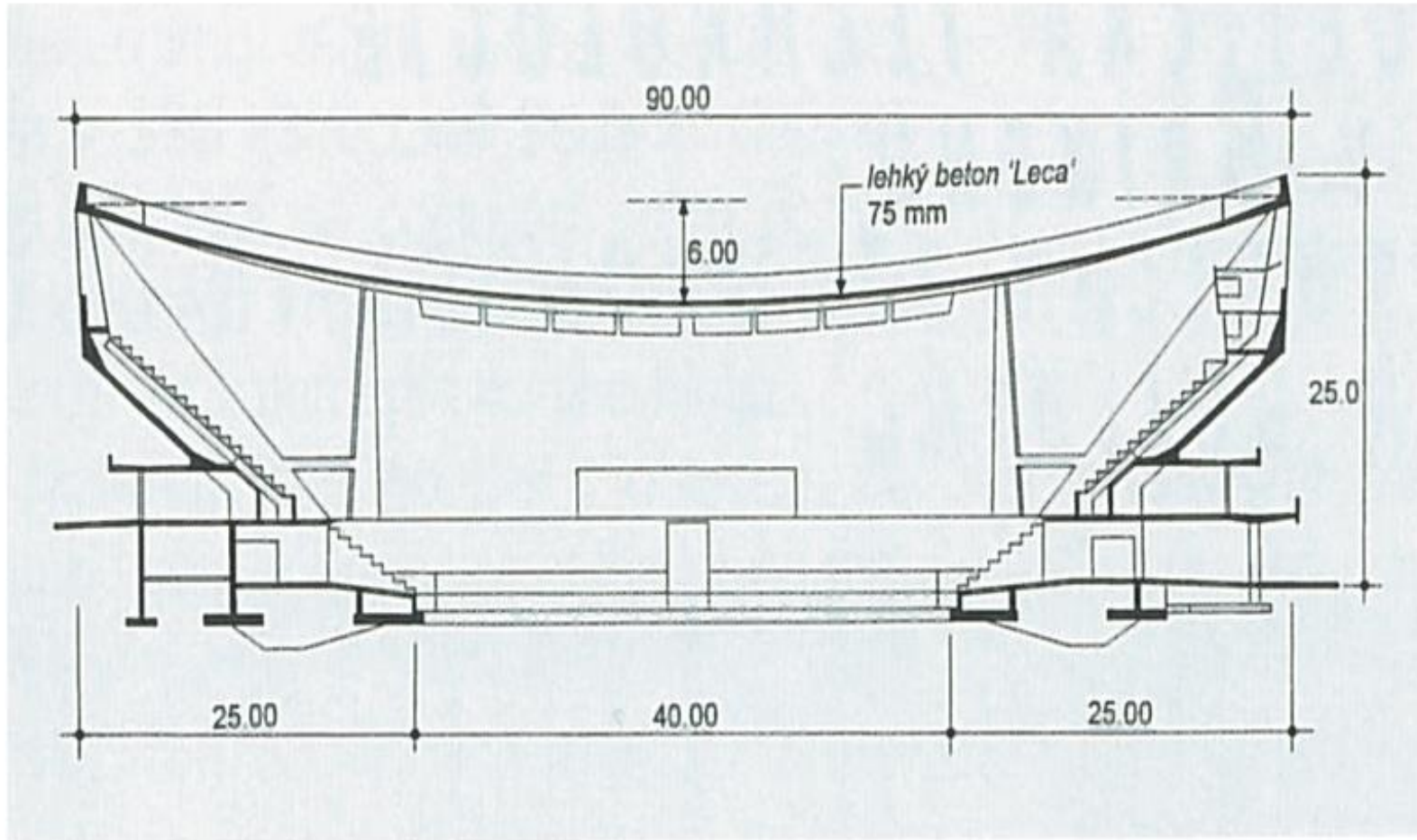
# Detaily střechy ve Wuppertalu

- Rozpětí 65 m
- Membrána tloušťky 57 mm z lehkého betonu
- Tlakovou sílu přebírá základová deska haly



# Sportovní hala v Baselu

- Rozpětí 90 m
- Membrána tloušťky 75 mm z lehkého betonu
- Ohybový moment přebírá dvojice patek

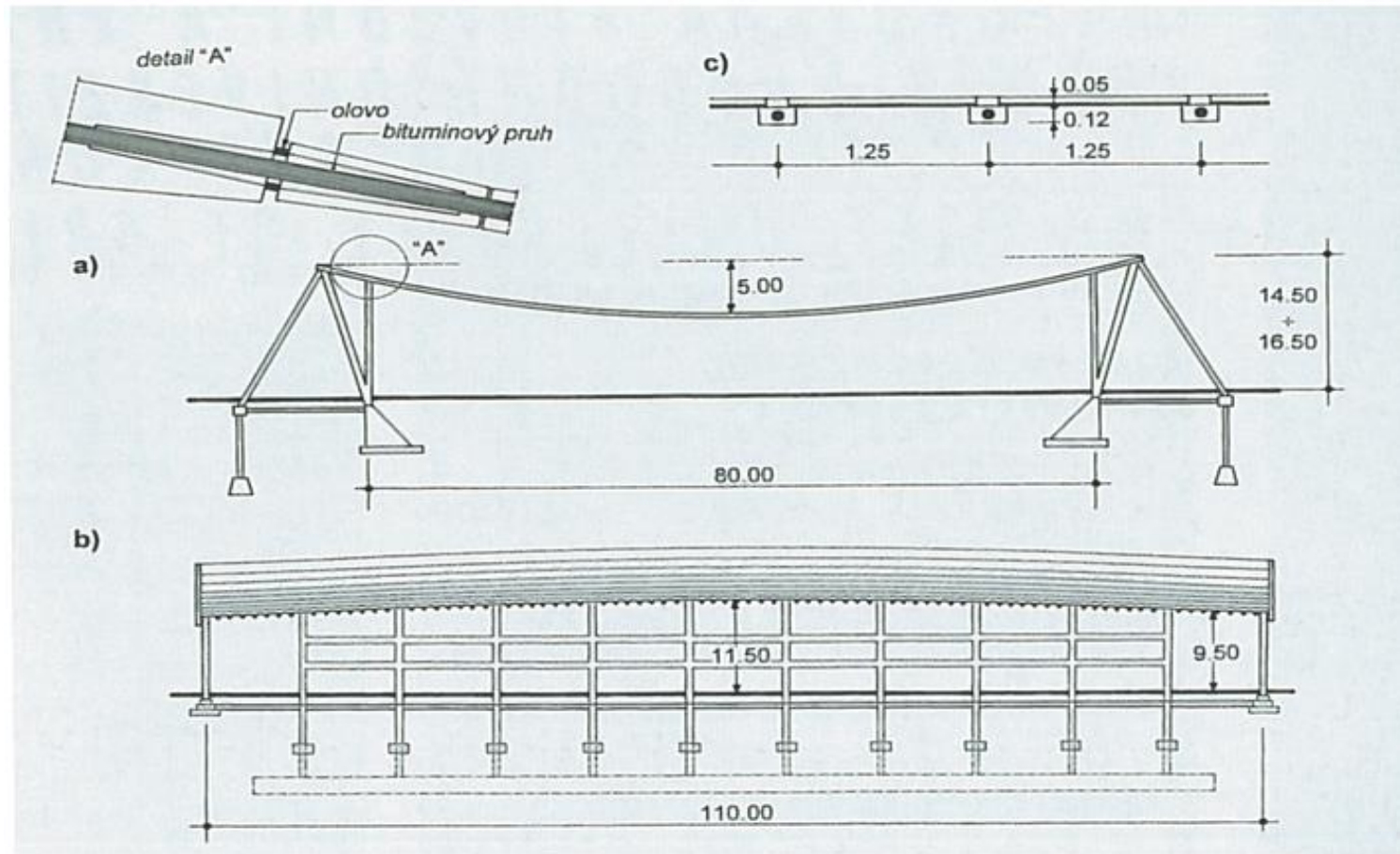


St. Jakob – sportovní hala v Baselu, Švýcarsko, rozpětí 90 m, tloušťka skořepiny 75 mm



# Sportovní hala v Dortmundu

- Rozpětí 80 m
- Membrána tloušťky 50 mm z prefabrikovaných desek
- Ohybový moment přebírá dvojice patka + horninová kotva



Sportovní hala Dortmund, Německo – rozpětí 80 m,  
tloušťka prefabrikovaných desek 50 mm, výška žeber 120 mm

# Hangár na letišti Frankfurt

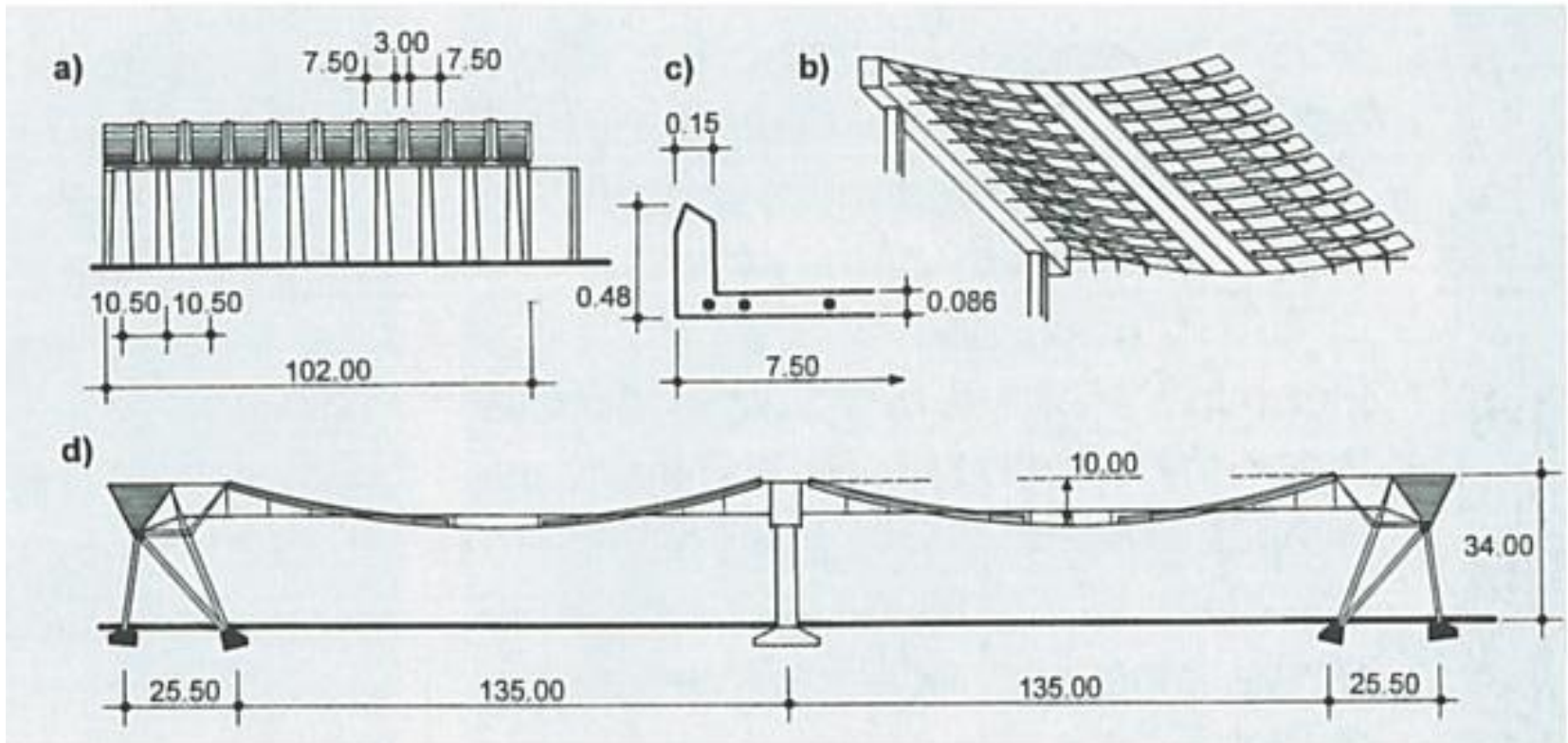


Hangár na letišti ve Frankfurtu (1970)

10 visutých pásů s rozpětím 2 x 135 m nese střední komorový nosník s rozpětím 102 m,  
Předpjaté visuté pásy jsou 7,5 m široké, mají průřez tvaru písmene U  
s okrajovými žebry 150/480 mm a mezi nimi s deskou tloušťky 86 mm (beton TKS 5/2005)

# Details hangáru Frankfurt

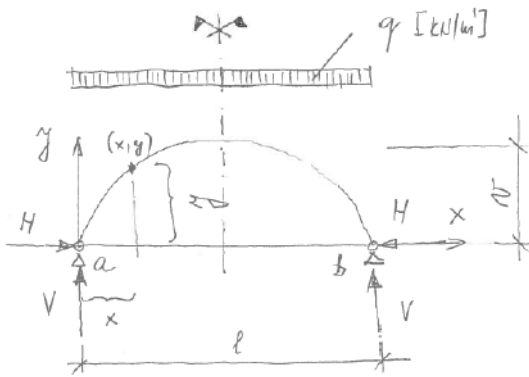
- Rozpětí 2 x 135 m
- Membrána tloušťky 86 mm
- Ohybový moment u krajních podpor přebírá dvojice patek



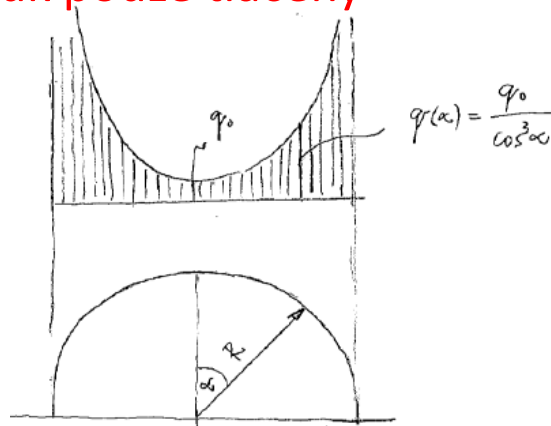


# Klenby a oblouky

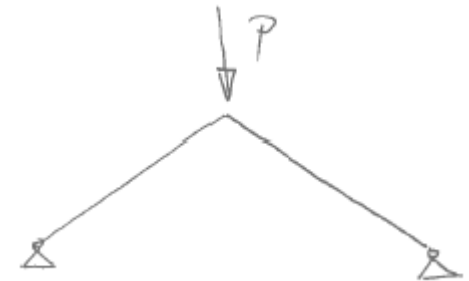
- Obrácením řetězovky kolem vodorovné osy dostaneme oblouk
- Výhodné je, volit tvar oblouku tak, aby byl pouze tlačенý (nikoliv ohýbaný)
- Ke každému uspořádání zatížení lze najít takový tvar střednice oblouku, při kterém je oblouk pouze tlačенý



parabola



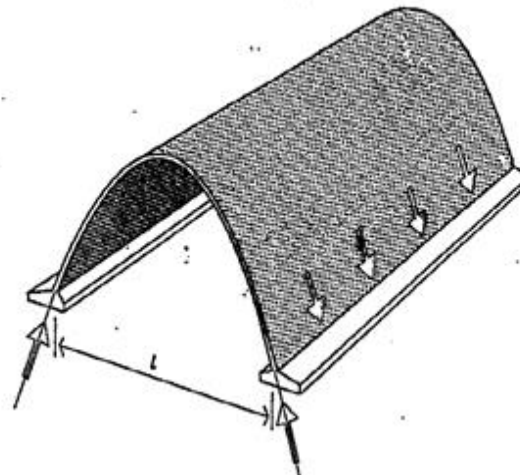
kružnice



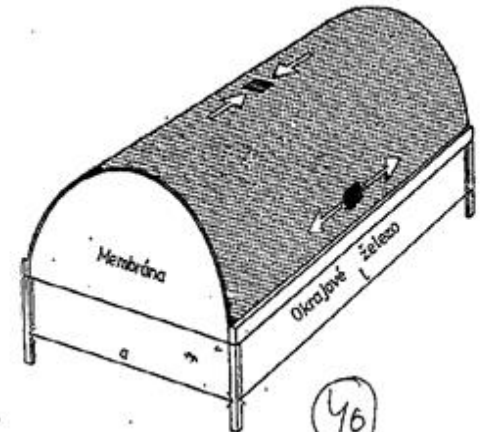
lomená čára

## Skořepiny

- Dlouhé válcové skořepiny
- Krátké válcové skořepiny
- Kopule
- Konoidy
- Hyperbolické paraboloidy
- Rotační hyperboloidy



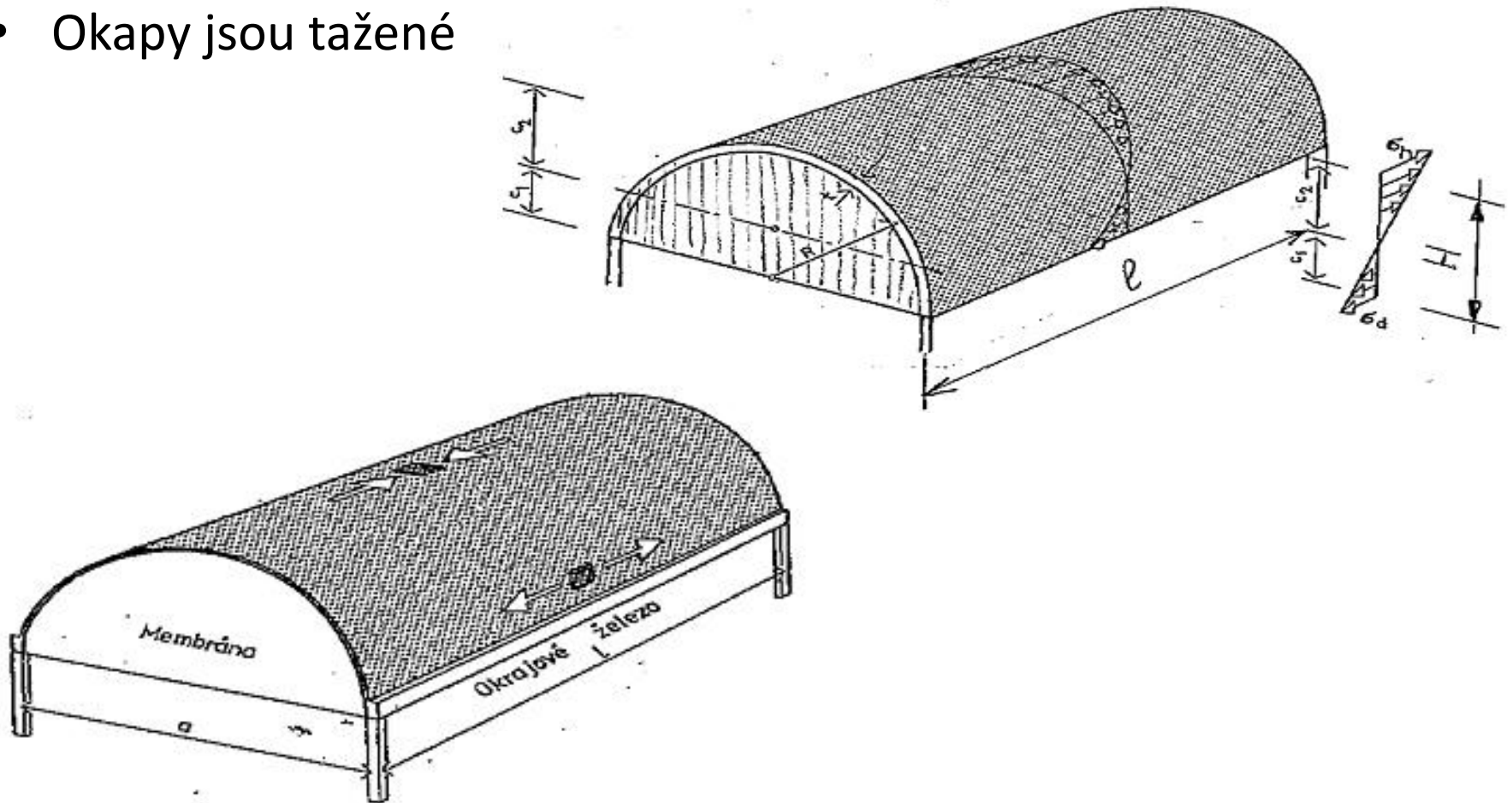
Krátká válcová skořepina



Dlouhá válcová skořepina

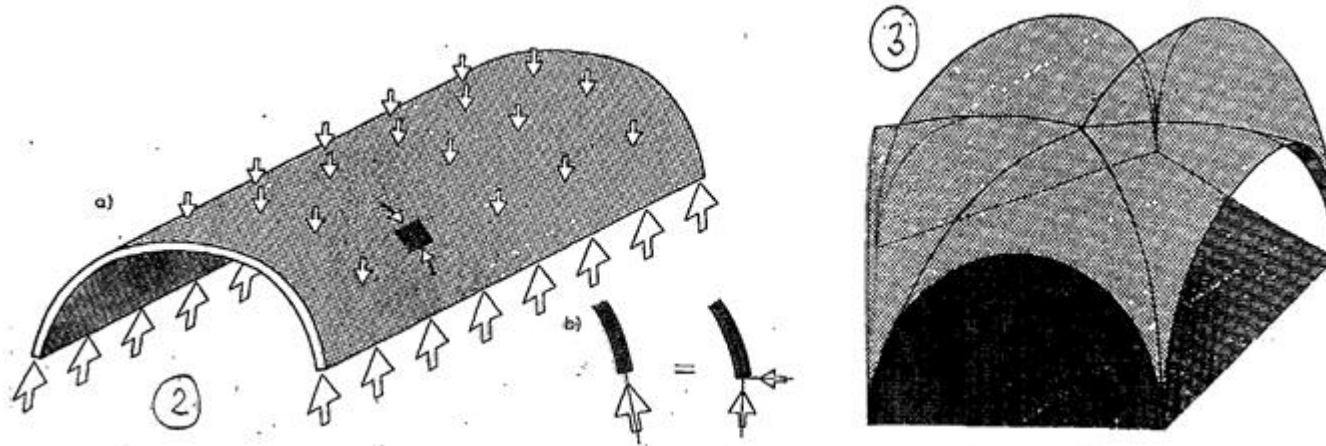
# Statické působení dlouhé válcové skořepiny

- Funguje obdobně, jako žebírková deska či lomenice
- Chová se jako nosník výšky  $H$
- Hřeben je tlačný
- Okapy jsou tažené



# Statické působení krátké válcové skořepiny

- Funguje obdobně, jako oblouk (klenba)
- Je tlačena v příčném směru
- Průnikem válcových kleneb vznikne křížová klenba (skořepina)





# Hangáry v Orly

- Eugene Freyssinet 1923-1924
- Parabolické oblouky
- Vnější příčný rozměr 65 m, vnitřní světlost 60 m, výška 90 m
- V podélném směru lomenicové segmenty délky 7,50 m
- Výška lomenice v patě 5,4 m, ve vrcholu 3,5 m
- Skořepina tloušťky 90 mm
- Zničeny při bombardování 1944



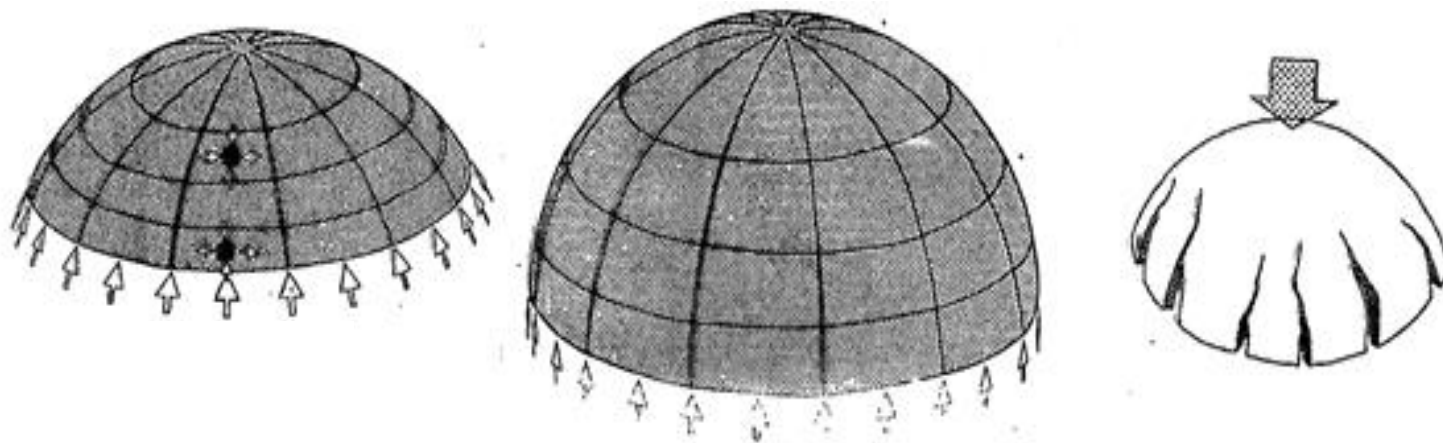
# Freyssinet - Les Halles du Boulingrin v Reims ve Francii

- Tržnice, 1928, parabolický oblouk
- Rozpětí 38 m, tloušťka skořepiny 70 mm



# Kopule – rotační plocha

- Polokoule, nebo část kulové plochy
- Ve směru poledníků je tlačena
- Ve směru rovnoběžek je tažená – potřebuje stahující patní věnec
- Kulová úseč má šikmou reakci v patě
- Polokulová plocha má pouze svislou reakci v patě



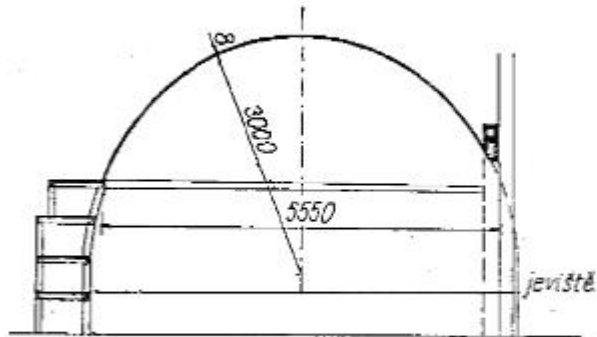
# Tržnice v Algeciras – Eduardo Torroja, 1933

- Kulová úseč (část kulové plochy)
- Rozpětí 47,62 m
- Tloušťka 90 mm





# Divadlo Novosibirsk



Divadlo Novosibirsk – 1944 - rozpětí 55,50 m  
(kulová bání o poloměru 30 m) tloušťka 80 mm

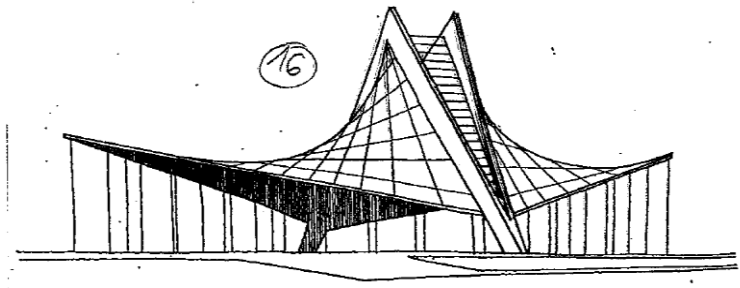
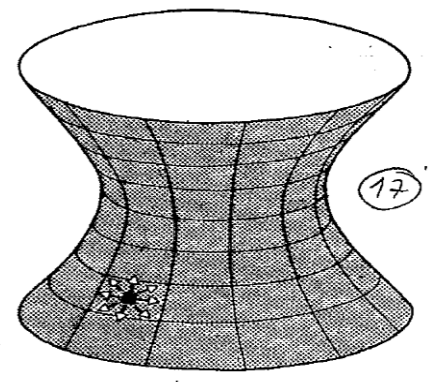
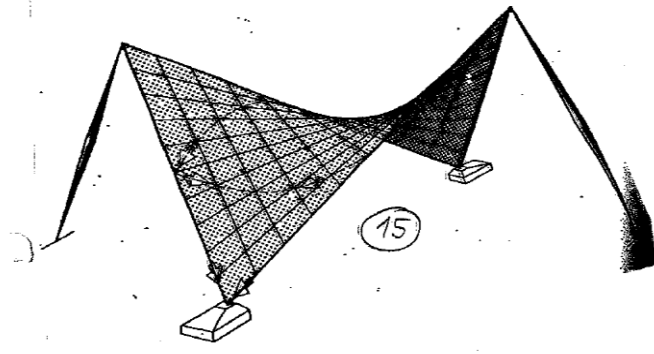
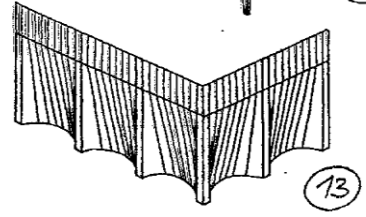
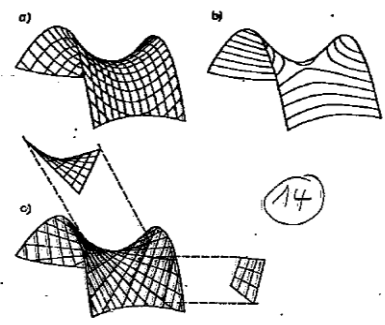
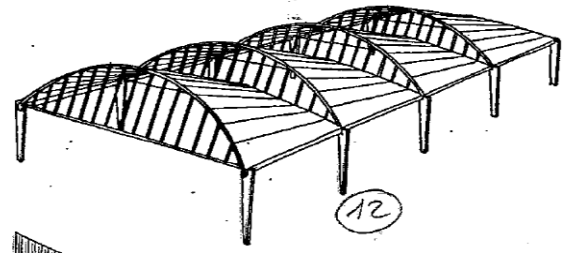
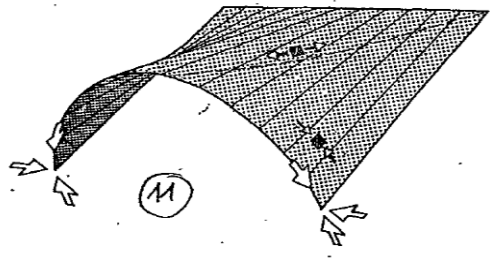
# Továrna Bacardi



Továrna Bacardi, Cautitlán Mexiko – Félix Candela 1960  
Hyperbolické paraboloidy, tloušťka převážně 40 mm

# Další příklady tvarů skořepin

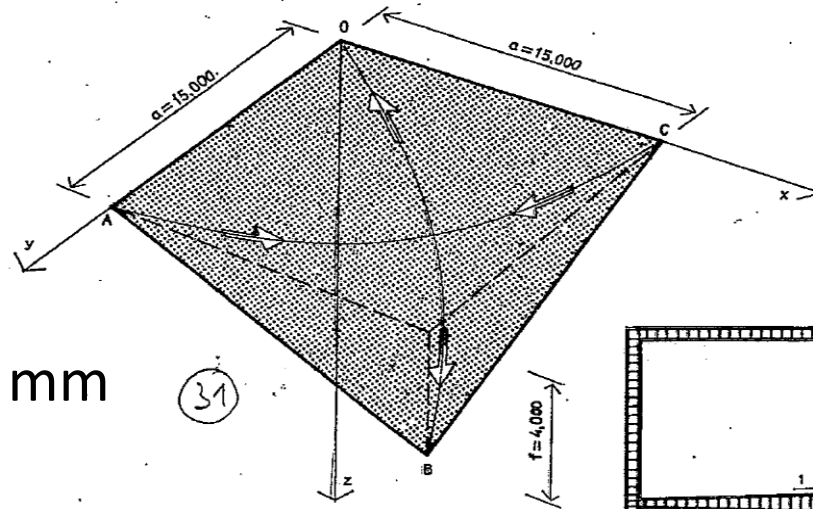
- Konoidy
- Hyperbolické paraboloidy
- Rotační hyperboloid



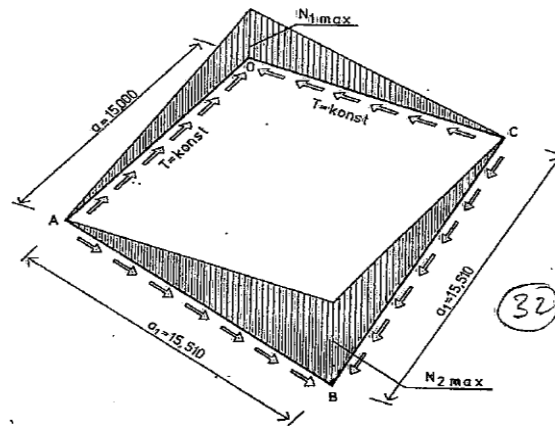


# Zastřešení hyperbolickými paraboloidy

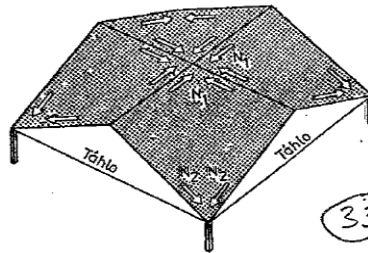
- Tloušťka skořepiny 50 mm



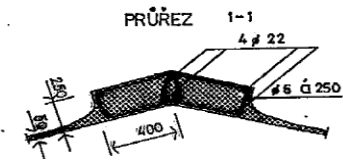
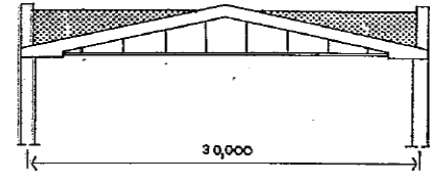
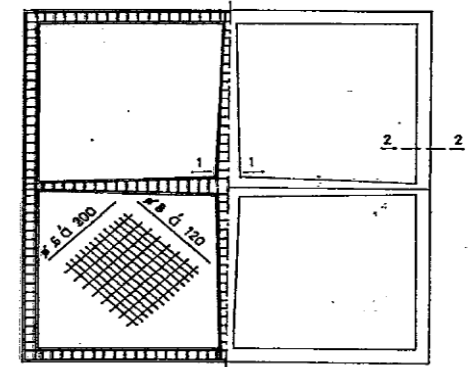
31



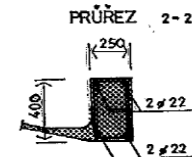
32



33

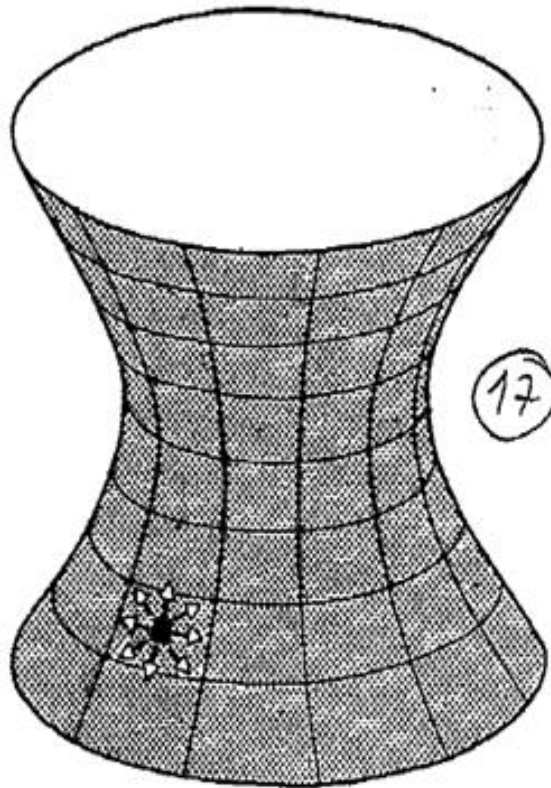


34



# Elektrárenská chladičí věž – rotační hyperboloid

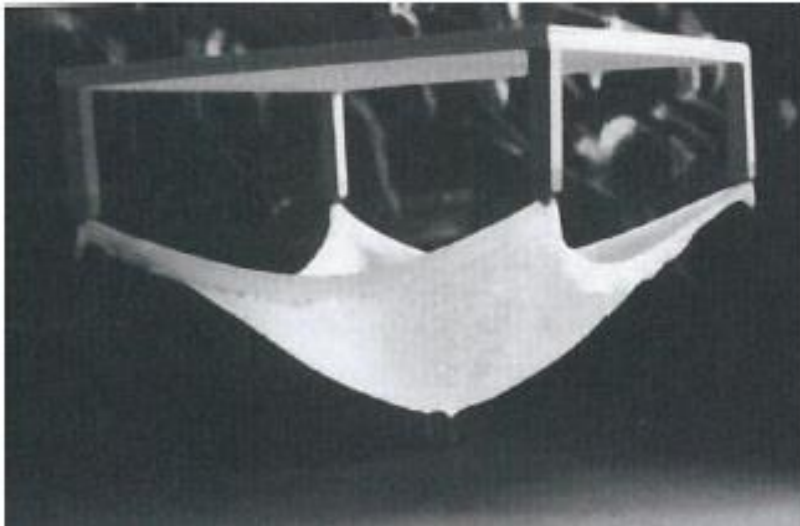
**Rotační hyperboloid** – chladičí věže elektráren. Výška věže je běžně 100 m, tloušťka typicky 200 až 300 mm. Skořepina je jak ve směru poledníků, tak ve směru rovnoběžek tlačena.



# Nepravidelné tvary skořepin

## Membránová napjatost skořepin

- „neptej se, jak má být skořepina tlustá,  
ptej se, jaký má mít tvar, aby mohla být tenká“
- Ve skořepině při membránové napjatosti působí pouze normální a smykové síly ve střednicové ploše (skořepina není ohýbaná)
- Výslednice sil v bodě skořepiny leží v tečné rovině k ploše
- Typická tloušťka betonové skořepiny je 50 až 150 mm



Hledání tvaru skořepiny

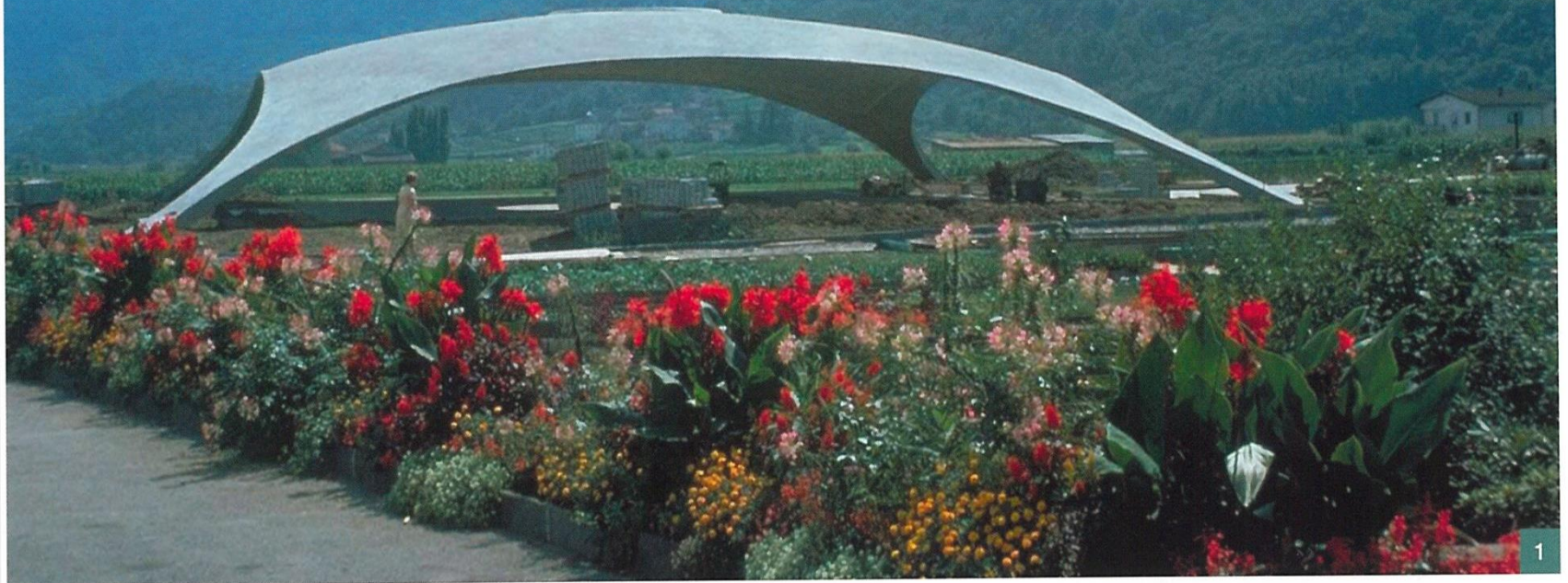


Ověření únosnosti zkouškou na modelu



STAVEBNÍ KONSTRUKCE | STRUCTURES

HEINZ ISLER, STAVITEL SKOŘEPIN | Švýcarsko 1926 - 2009  
HEINZ ISLER, MASTER BUILDER OF SHELL STRUCTURES

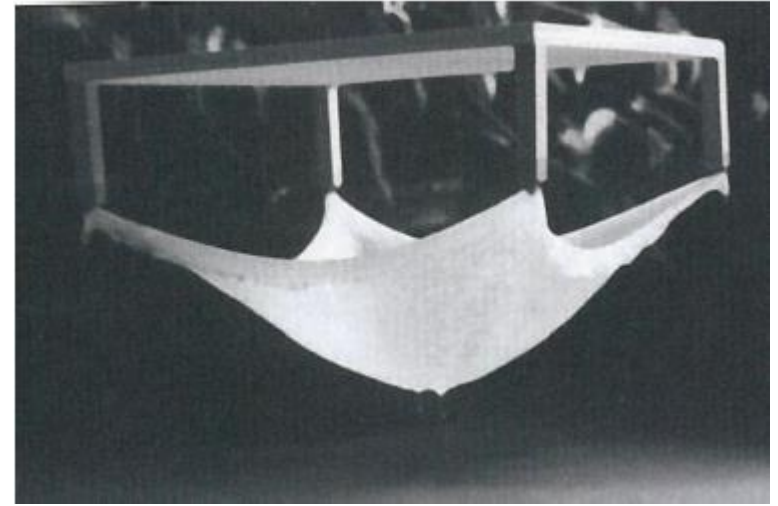


Zahradní centrum Bürki Garden, Camorino rozpětí 27,16 x 27,16 m



# Hledání tvaru skořepiny

- Experimentálně na základě vztahu mezi taženou membránou a tlačnou skořepinou
- Lze zvolit podepření a způsob zatížení
- Tvar skořepiny vyjde z podmínky membránové napjatosti

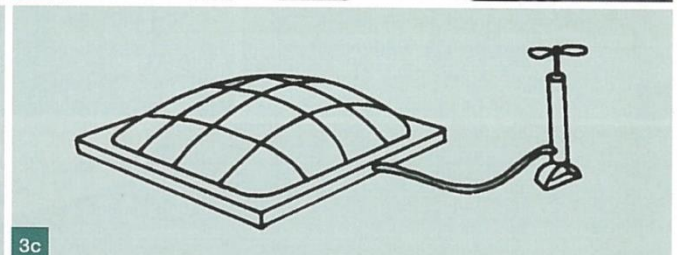
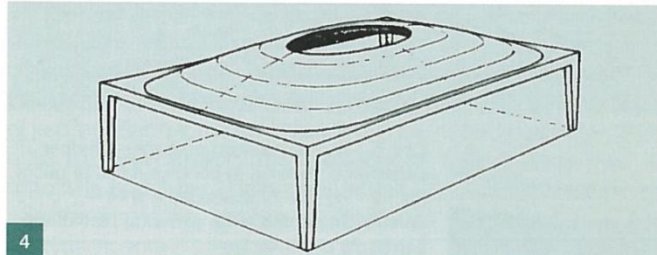
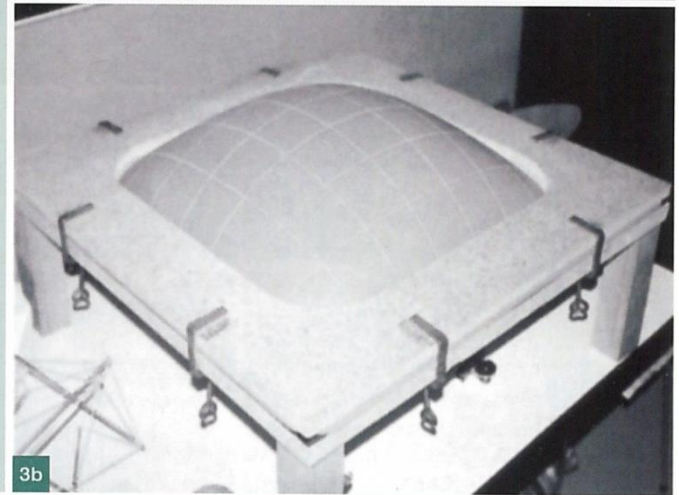
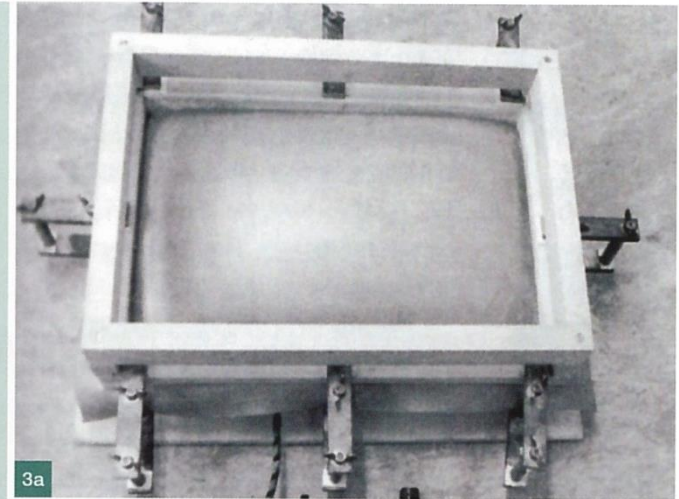
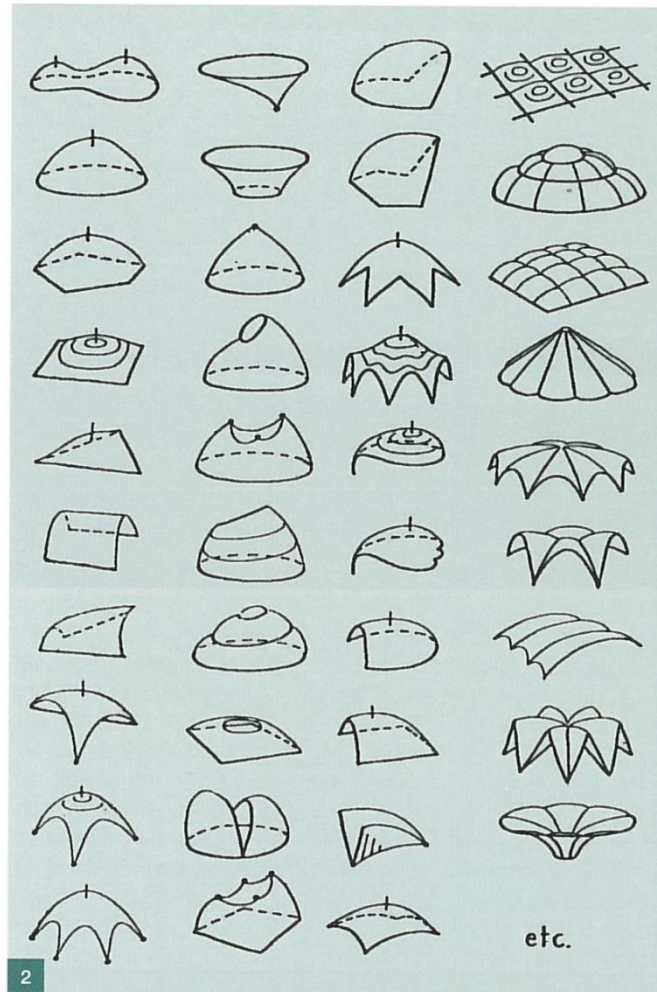


- Zahradní centrum Paříž
- Rozpětí 41 m
- Tloušťka skořepiny 80 mm



# Hledání tvaru skořepiny nafouknutím membrány

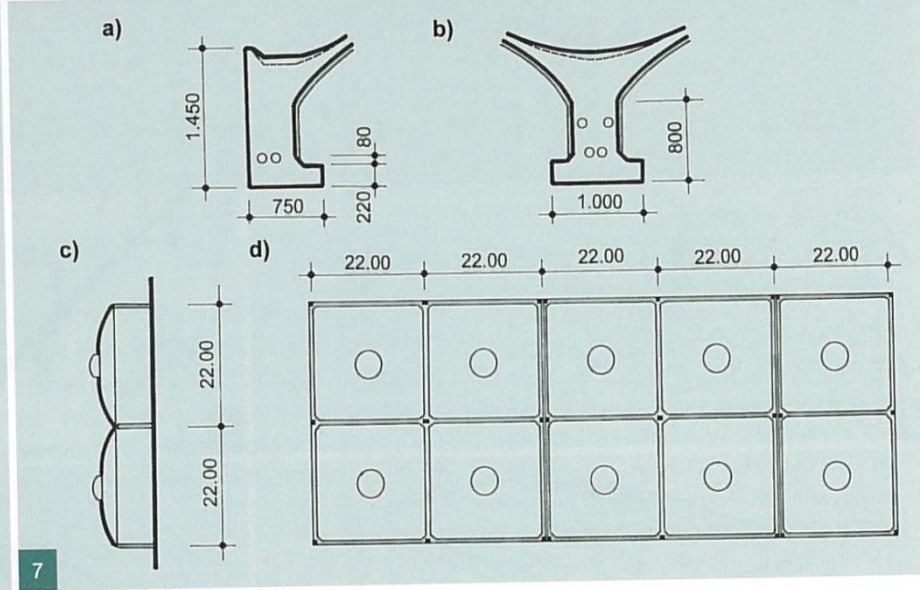
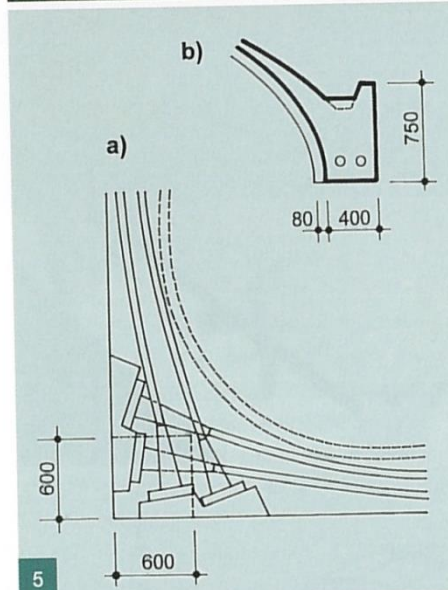
- Přibližné
- Pouze pro spojitě podepření





# Buble shell – Heinz Isler

- Rozpětí 22 m
- Tloušťka 80 mm



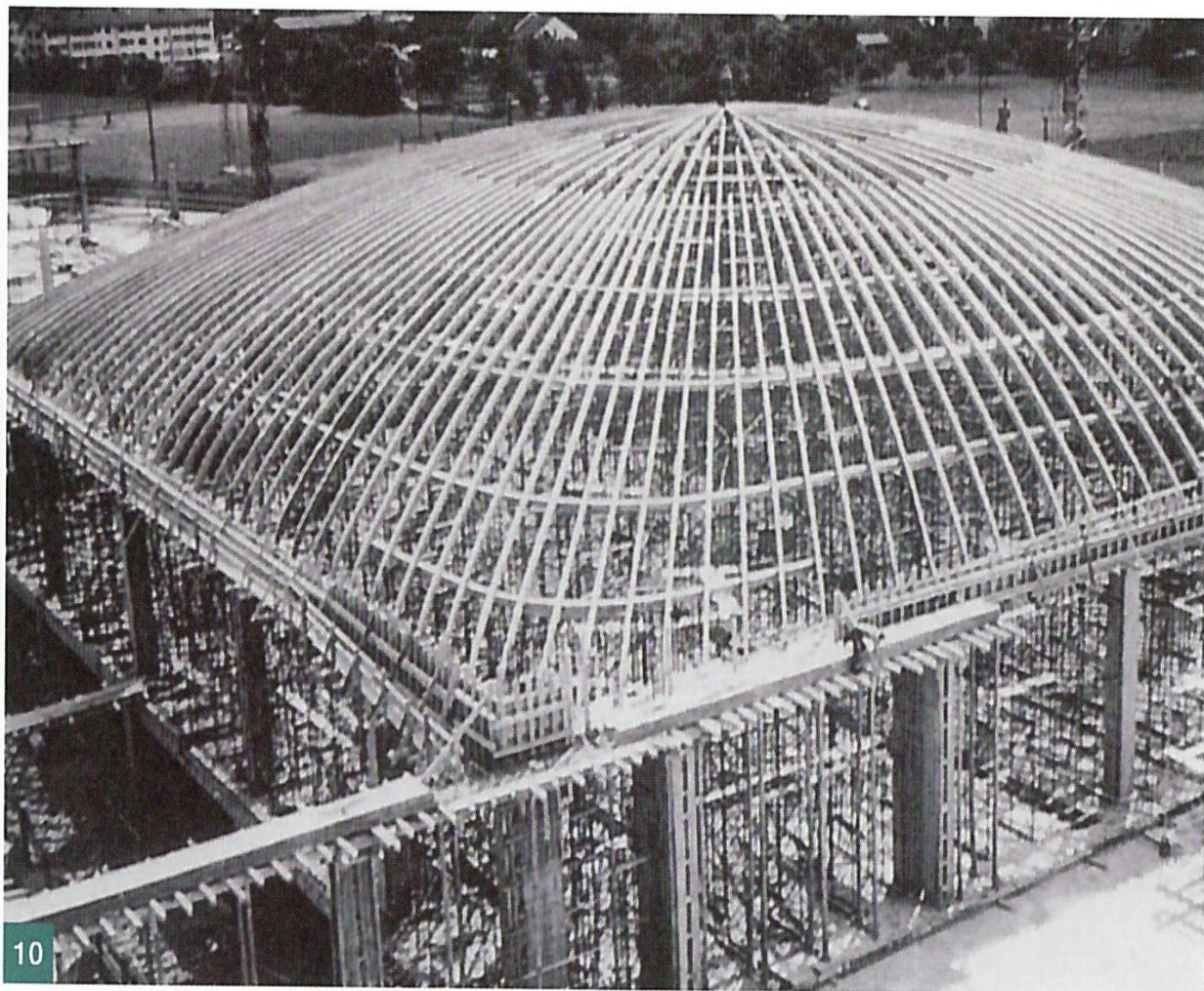
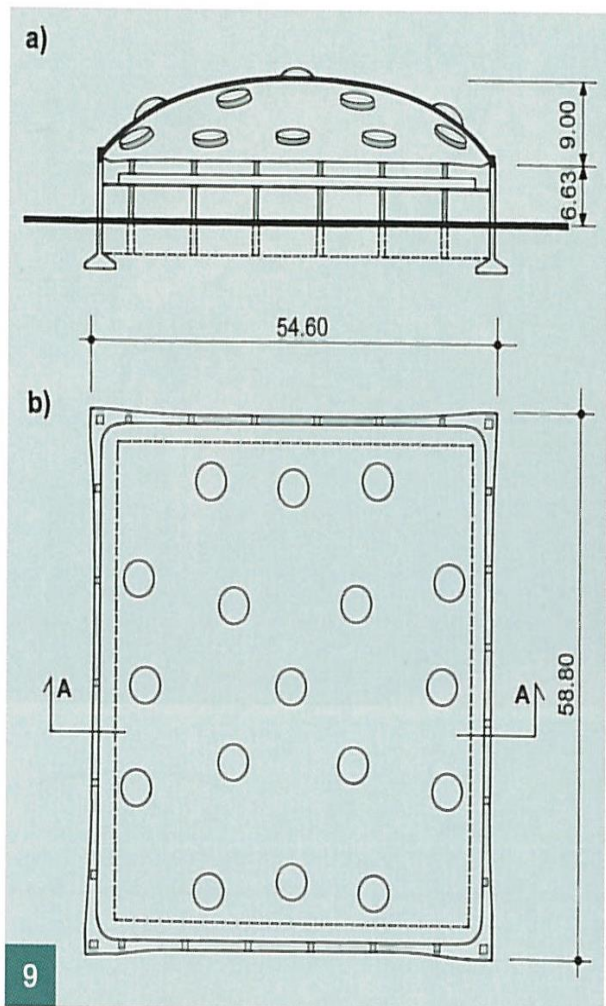


**Buble shell** rozpětí 22 až 59 m, tloušťka 80 až 100 mm





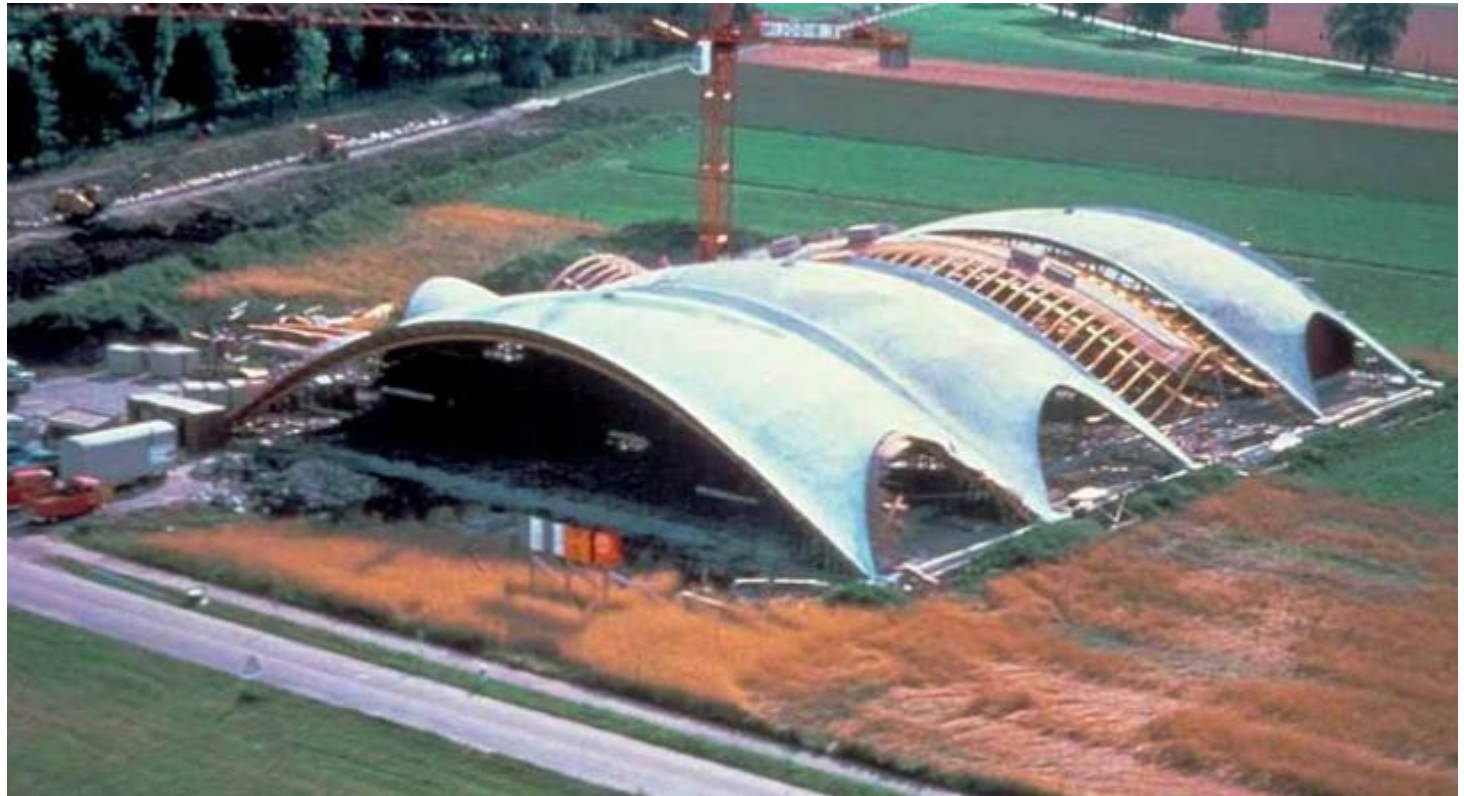
# Bednění skořepiny





# Tenisová hala Düdingen

- Rozpětí 4 x 18,6 x 48,5 m
- Tloušťka 90 až 100 mm

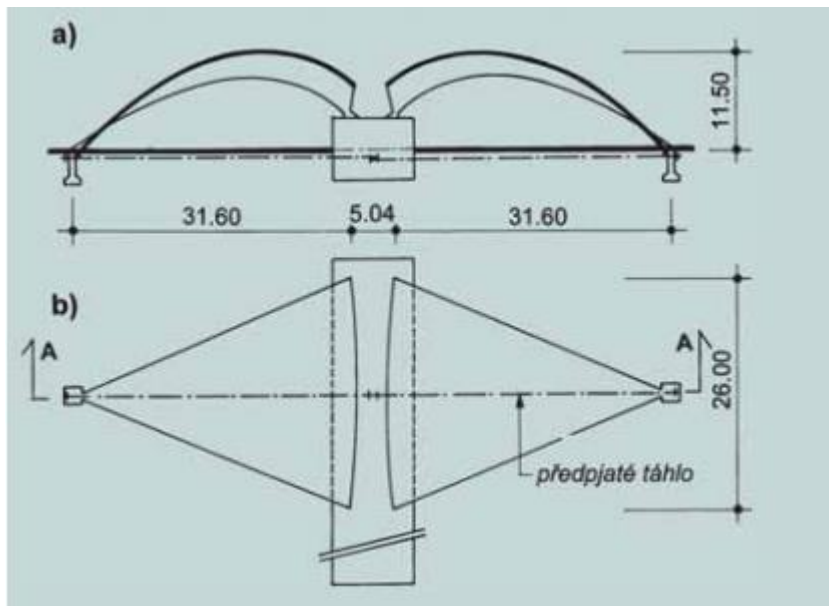




# Čerpací stanice Deitingen Süd

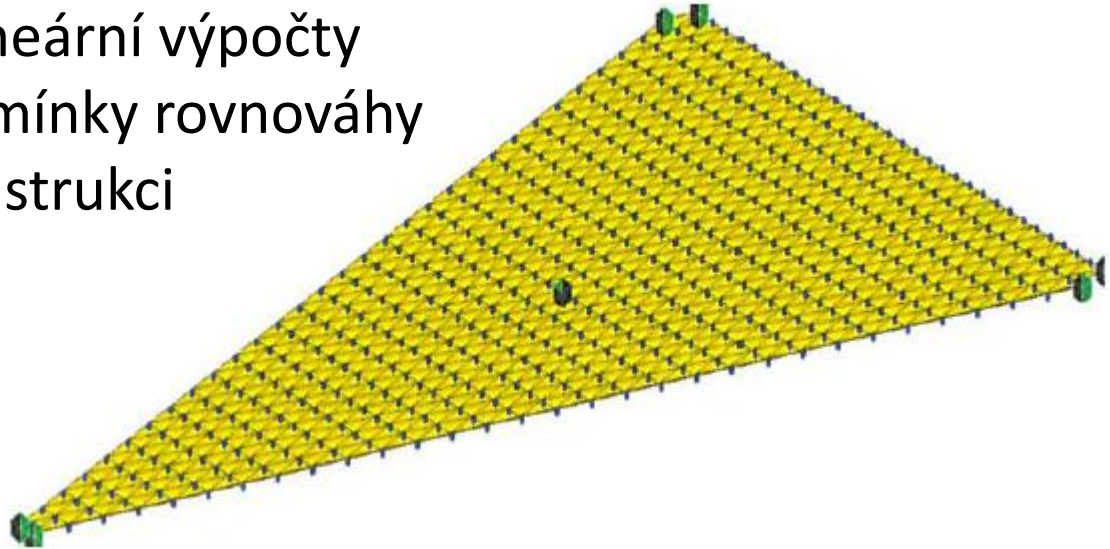
- 2 x trojúhelník 31,6 x 26,0 m
- Tloušťka 90 mm



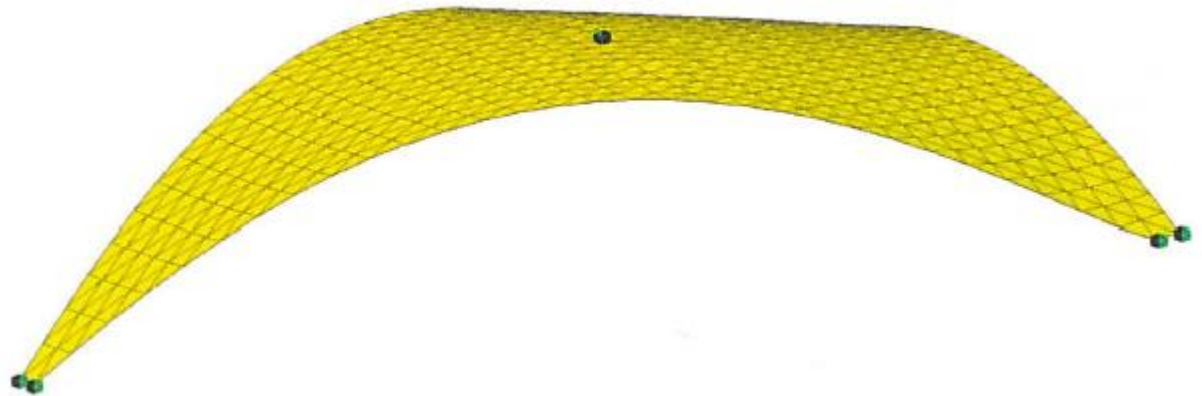


# Hledání tvaru skořepiny na počítačovém modelu

- Tvar lze získat výpočtem jako průhybovou plochu
- Nutno používat nelineární výpočty teorie II. řádu – podmínky rovnováhy na deformované konstrukci



Model tenké desky s dělením na konečné prvky



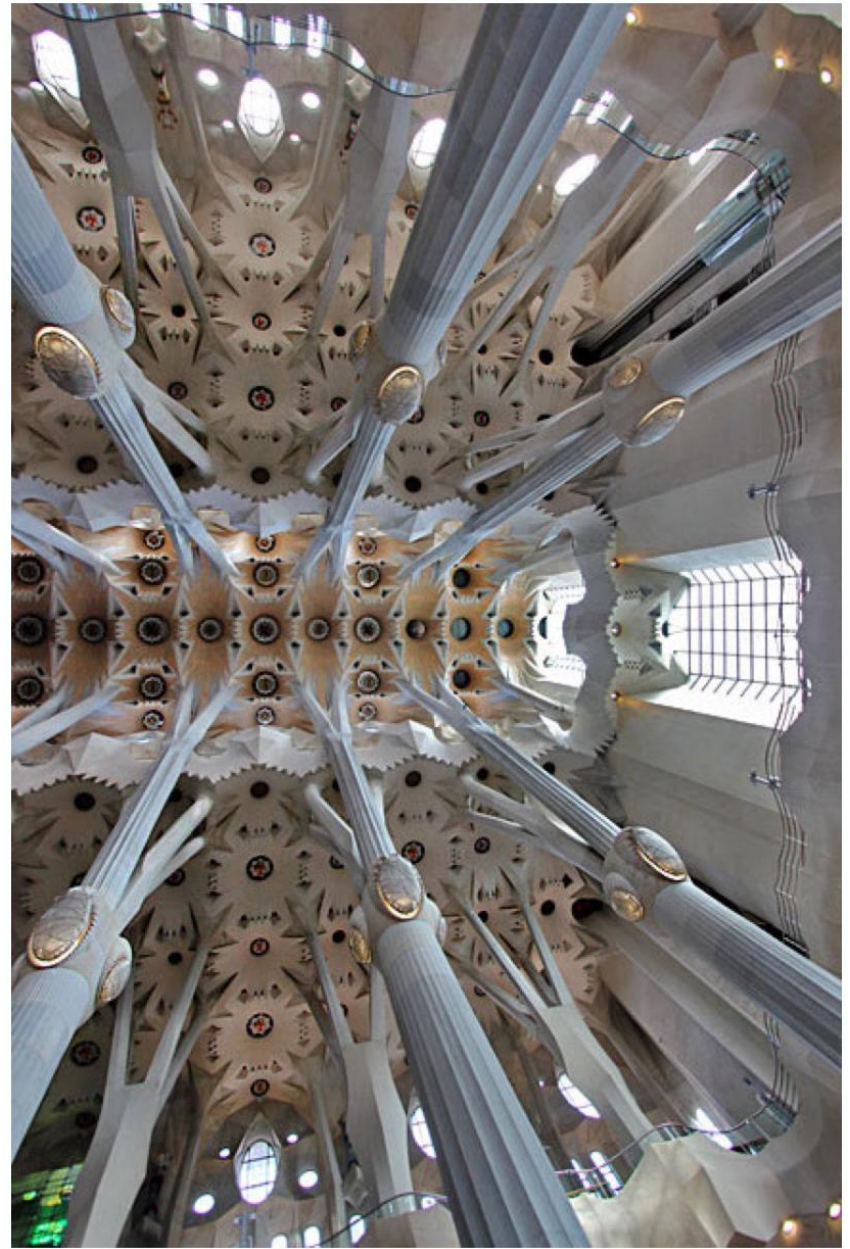
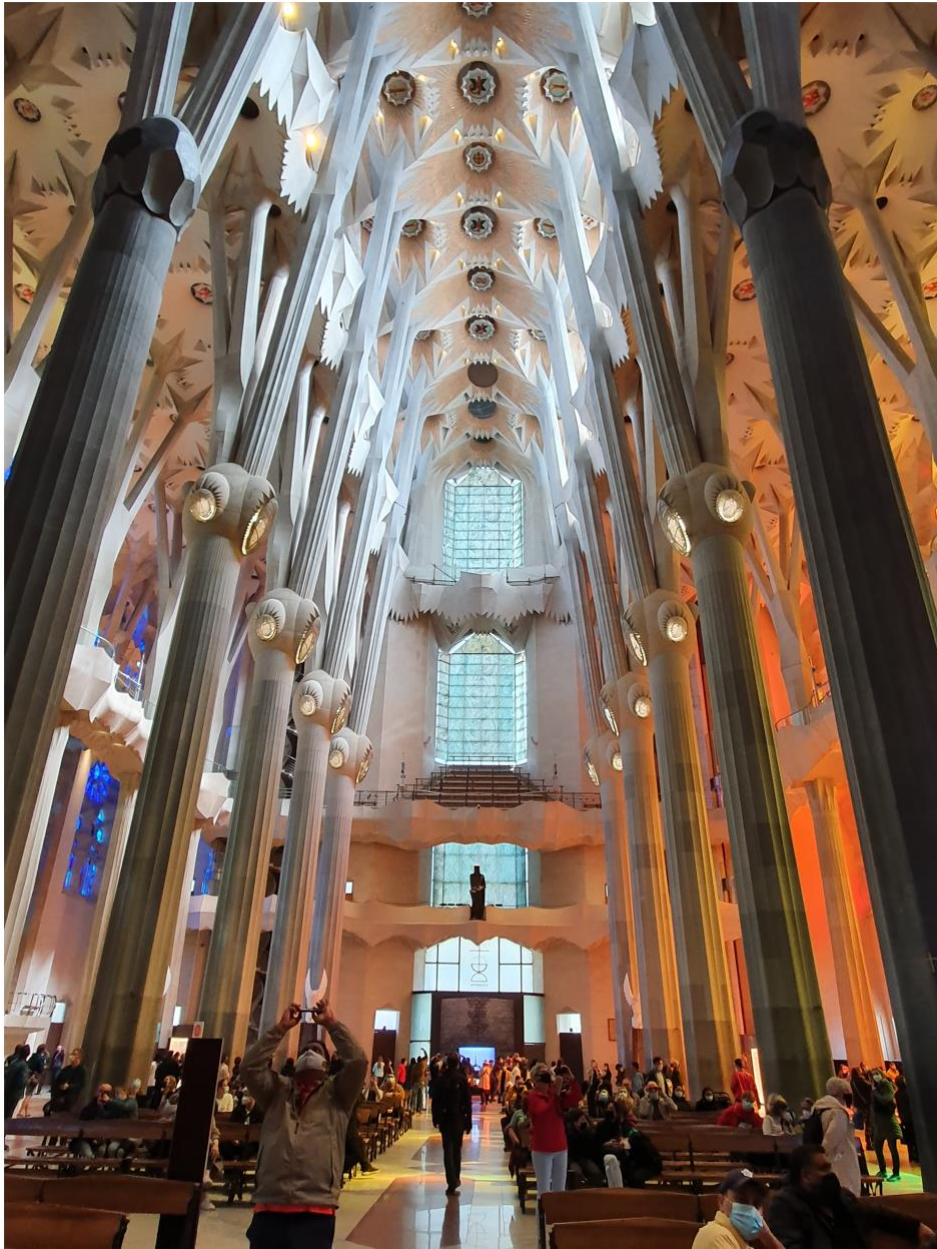
Průhybová plocha desky při nelineárním výpočtu



A. Gaudí – zavěšený model pro studium vhodných křivek – La Sagrada Família, Barcelona

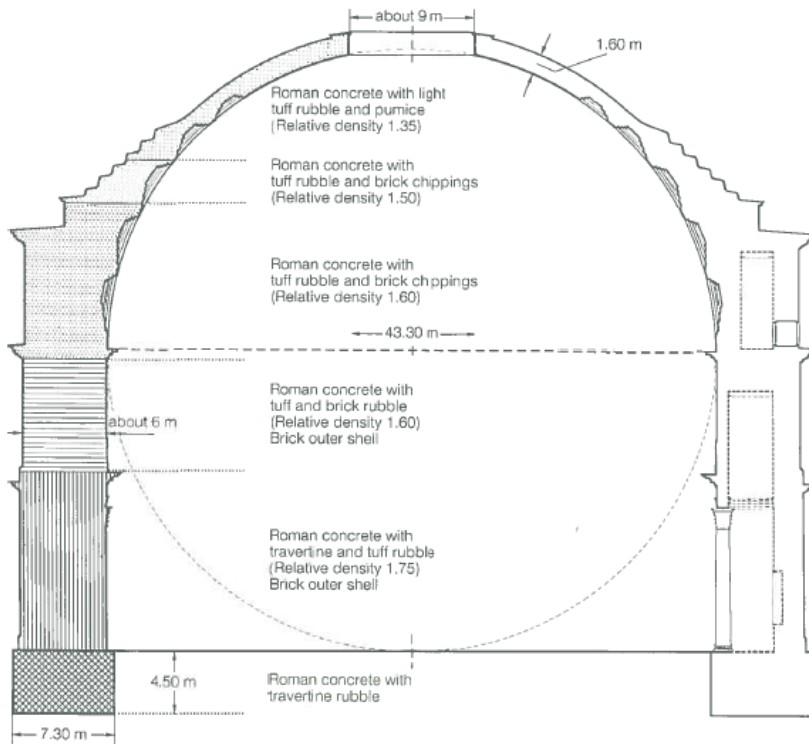






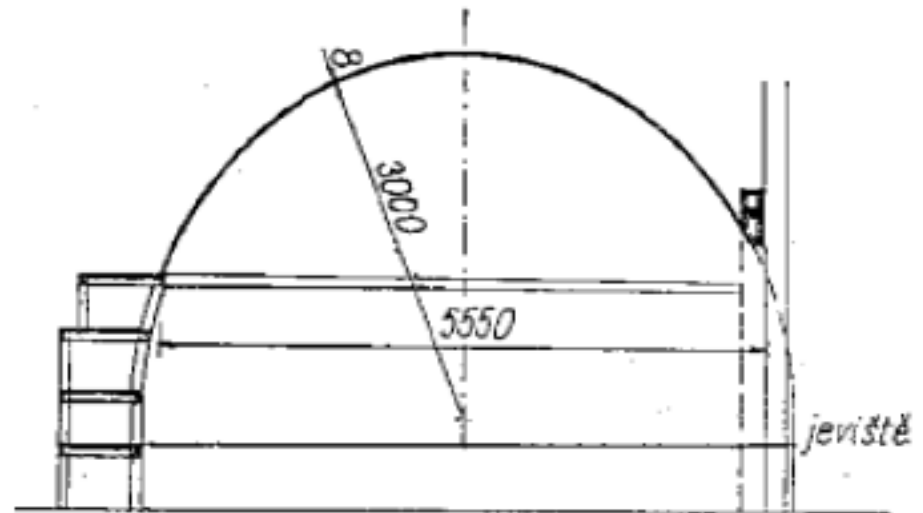
# Pantheon

- Stavba 110 n.l.
- Rozpětí 43,3 m
- Tloušťka 1,60 m
- Klenba



# Divadlo Novosibirsk

- Stavba 1944
- Rozpětí 55,5 m
- Tloušťka 80 mm
- Skořepina  
(membránová napjatost)





# Kostel Blahoslavené Marie Restituty – Brno, 2020

- Průměr kopule 25 m, tvar – otisk prstu, obruba skořepiny předpjatá
- Max sklon 30°, jednostranné bednění, beton C5/45, konzistence S2
- Stavba 2020
- Rozpětí 25 m
- Tloušťka 300 mm
- Skořepina (ohybová napjatost)

SVISLÝ ŘEZ KOSTELEM

