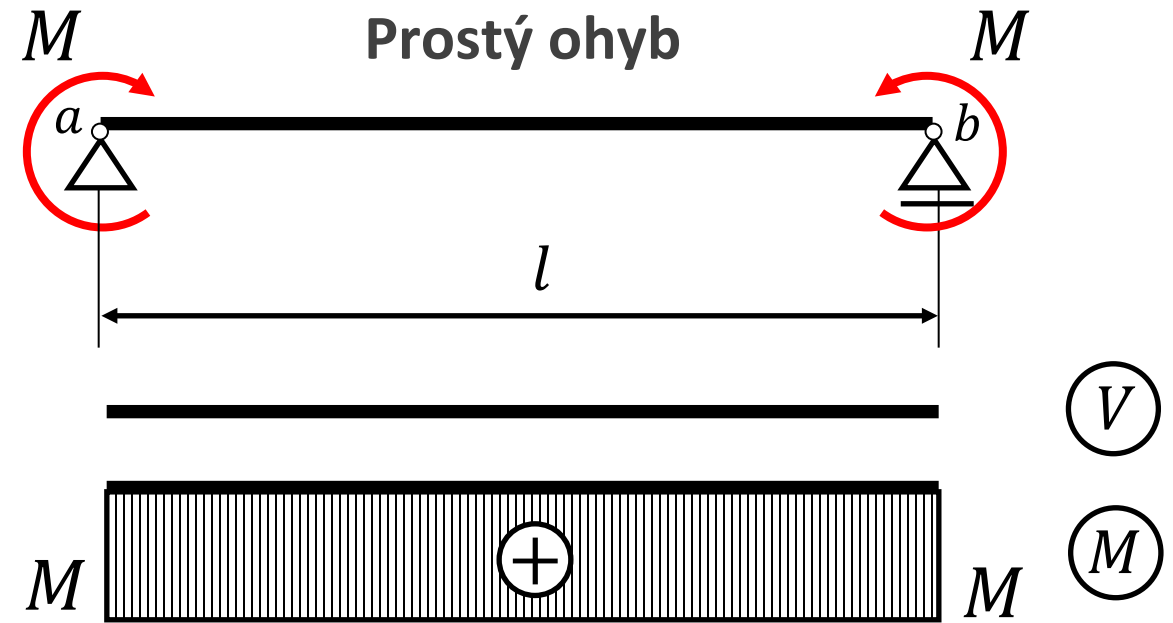


Téma 8: Ohyb

- Základní vztahy a předpoklady řešení
- Výpočet normálového napětí v prutech namáhaných ohybem
- Dimenzování nosného prvku namáhaného ohybem podle mezního stavu únosnosti
- Řešení ohýbaného nosníku v pružno-plastickém oboru

Pruty namáhané na ohyb

Při **ohybu prutů** vznikají v jejich průřezech **ohybové momenty** M a zpravidla i **posouvající síly** V .



Rovinný ohyb: vnitřní i vnější síly leží v **hlavních rovinách** (v rovině vodorovné xy a/nebo v rovině svislé xz).

Ve **svislé** rovině xz :

$$N = V_y = M_x = M_z = 0$$

$$V_z, M_y \neq 0$$

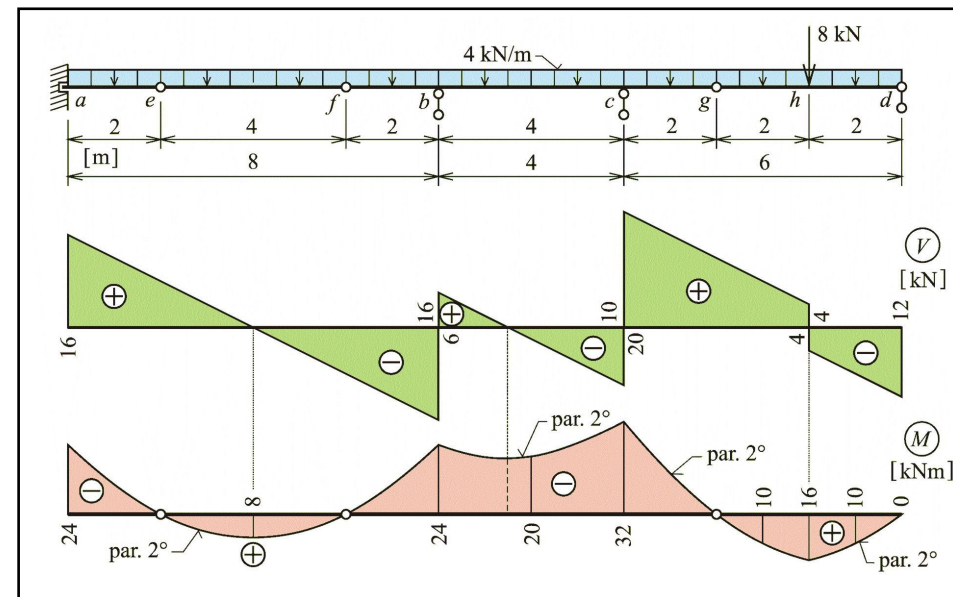
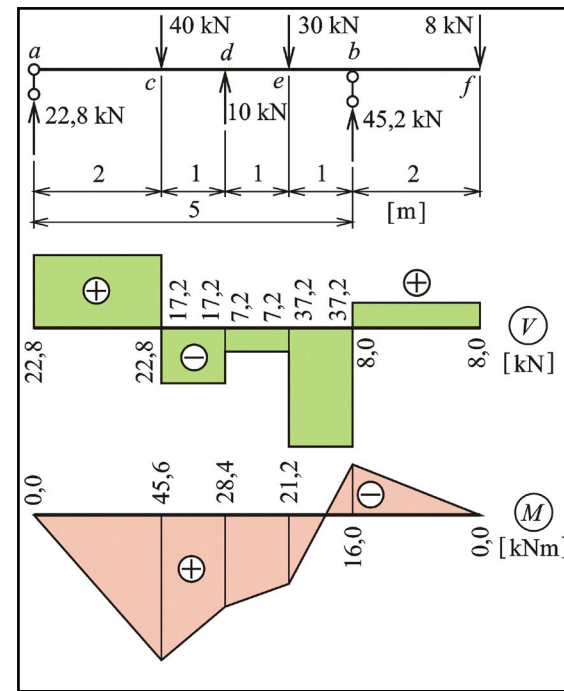
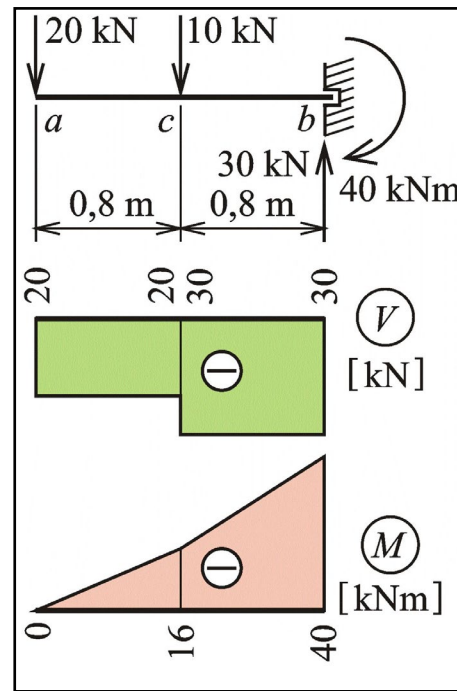
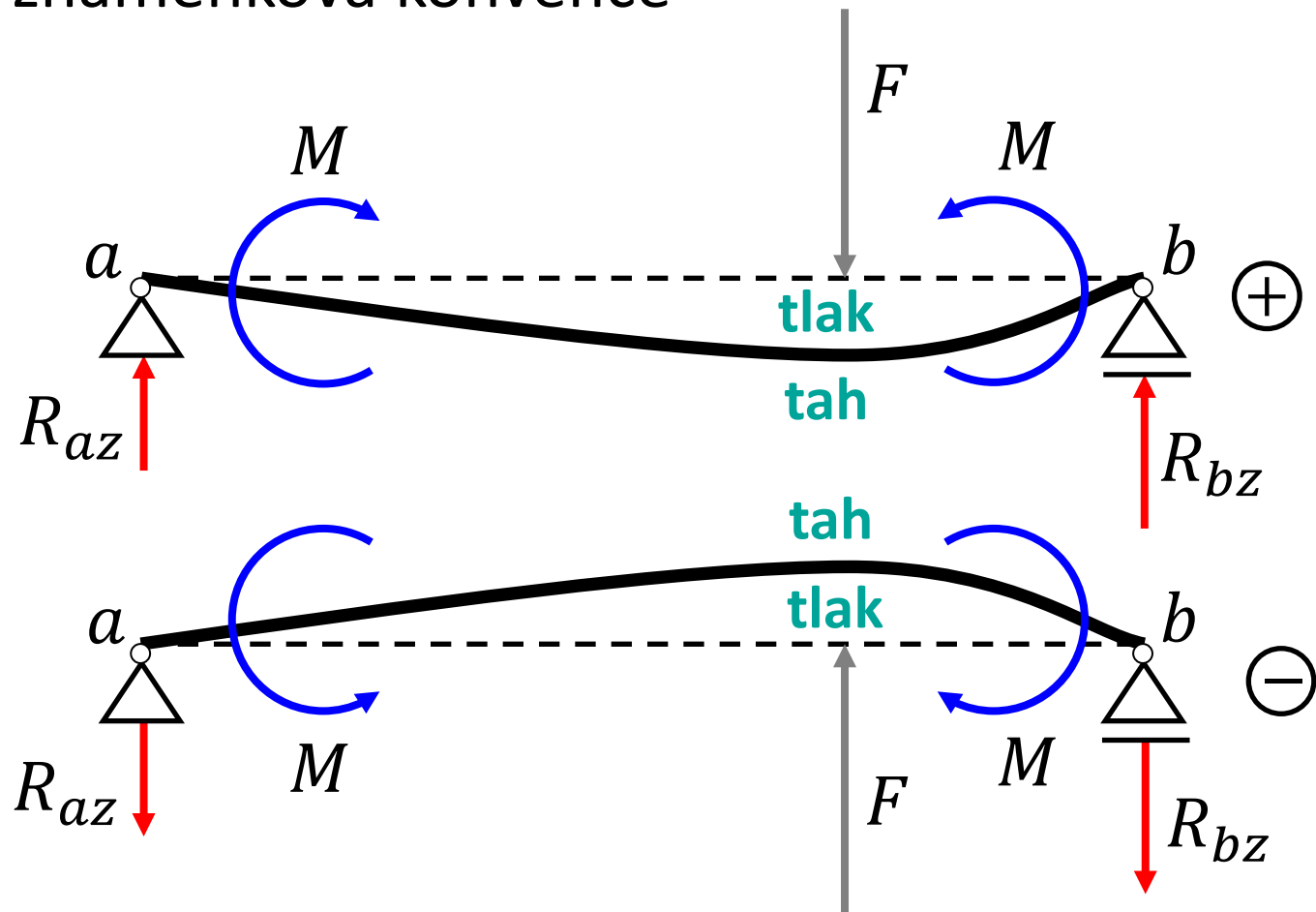
Ve **vodorovné** rovině xy :

$$N = V_z = M_x = M_y = 0$$

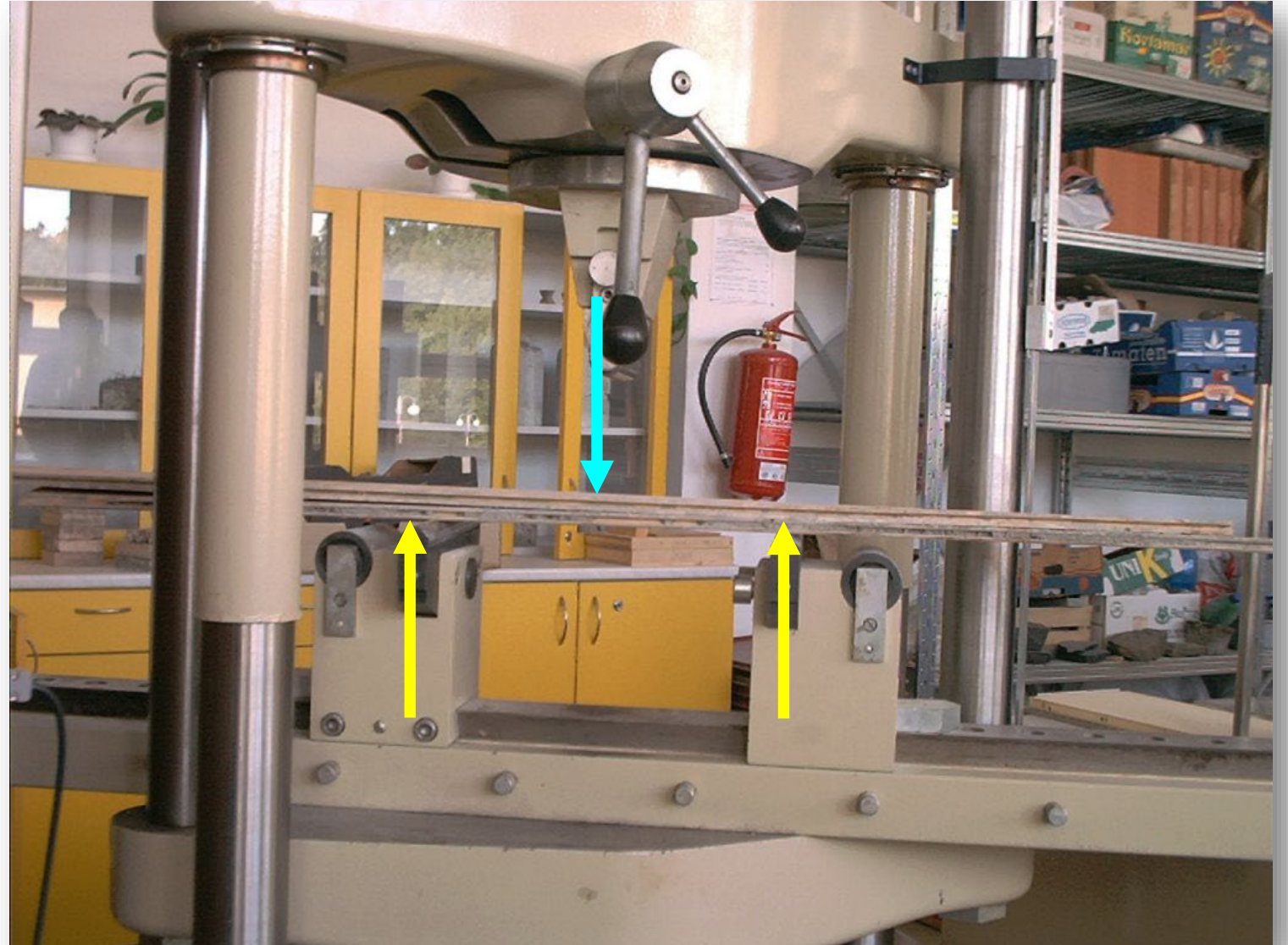
$$V_y, M_z \neq 0$$

Pruty namáhané na ohyb

Ohybové momenty:
znaménková konvence



Pruty namáhané na ohyb



Princip ohybové zkoušky
(tříbodový ohyb)

Pruty namáhané na ohyb



Ohybová zkouška

Pruty namáhané na ohyb



Ohybová zkouška

Pruty namáhané na ohyb



Ohybová zkouška

Pruty namáhané na ohyb



Ohybová zkouška

Pruty namáhané na ohyb



Ohybová zkouška

Pruty namáhané na ohyb



Ohybová zkouška

Pruty namáhané na ohyb



Ohybová zkouška

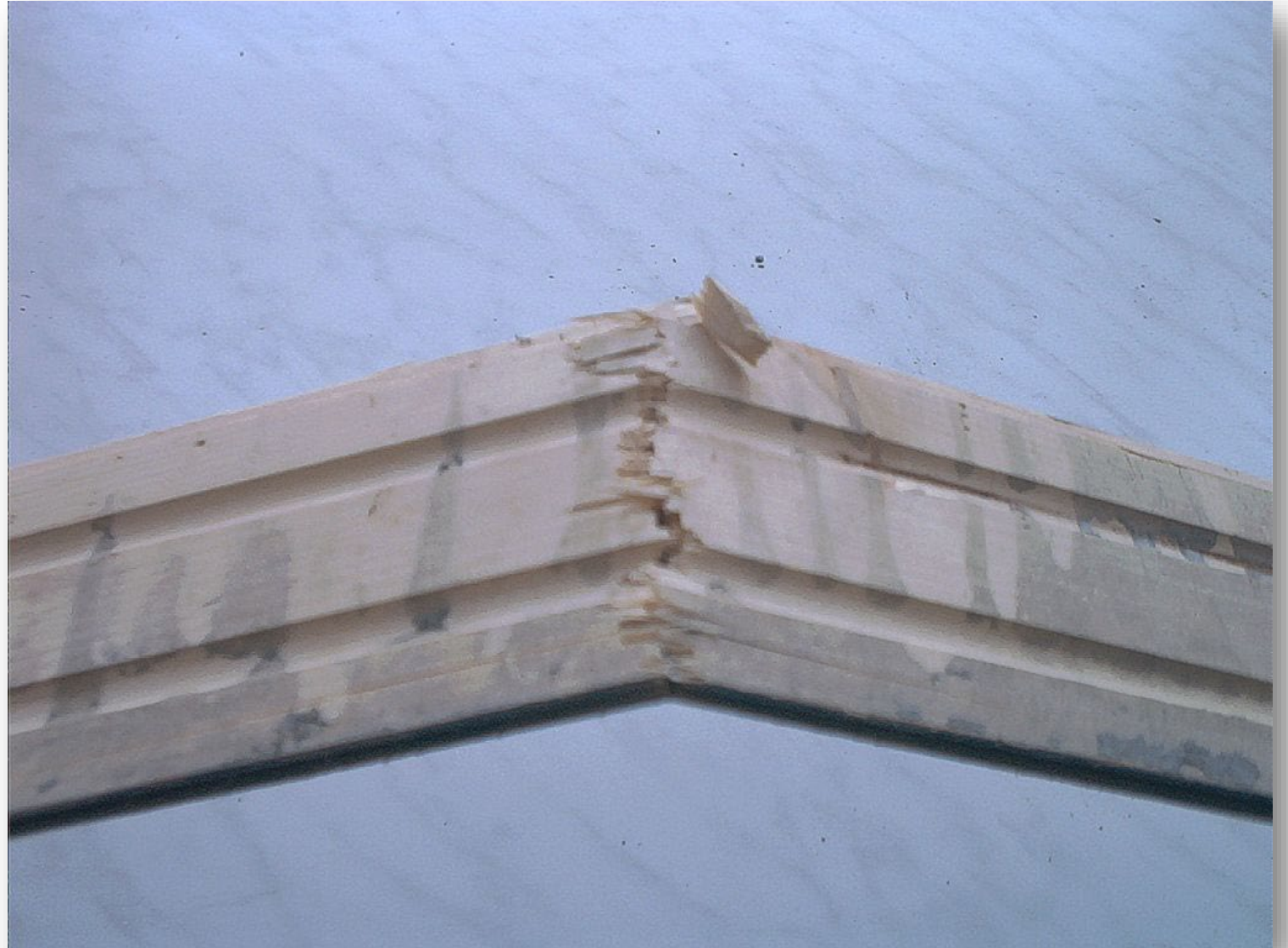
Pruty namáhané na ohyb



Ohybová zkouška

Pruty namáhané na ohyb

Zkušební vzorek
po ohybové zkoušce



Pruty namáhané na ohyb

Zlomená
keramická
stropnice
Hurdis po
zatěžovací
zkoušce
ohybem
foto:
doc. Ing. Václav
Cepek, CSc.



Pruty namáhané na ohyb

Ověření odolnosti
vláknobetonů a
drátkobetonů za ohybu
při působení vysokých
teplot

foto: Zuzana Ševčíková,
studentka oboru
Stavební hmoty a
diagnostika staveb



Pruty namáhané na ohyb

Ověření odolnosti
vláknobetonů a
drátkobetonů za ohybu při
působení vysokých teplot
foto: Zuzana Ševčíková,
studentka oboru Stavební
hmoty a diagnostika
staveb



Pruty namáhané na ohyb



Ohybová zkouška
drátkobetonových trámů,
ČVUT, Praha

Pruty namáhané na ohyb

Ohybová zkouška
železobetonových trámů,
ČVUT, Praha



Pruty namáhané na ohyb

Ohybová zkouška
železobetonových trámů,
ČVUT, Praha



Pruty namáhané na ohyb



Ohybová zkouška
železobetonových trámů,
ČVUT, Praha



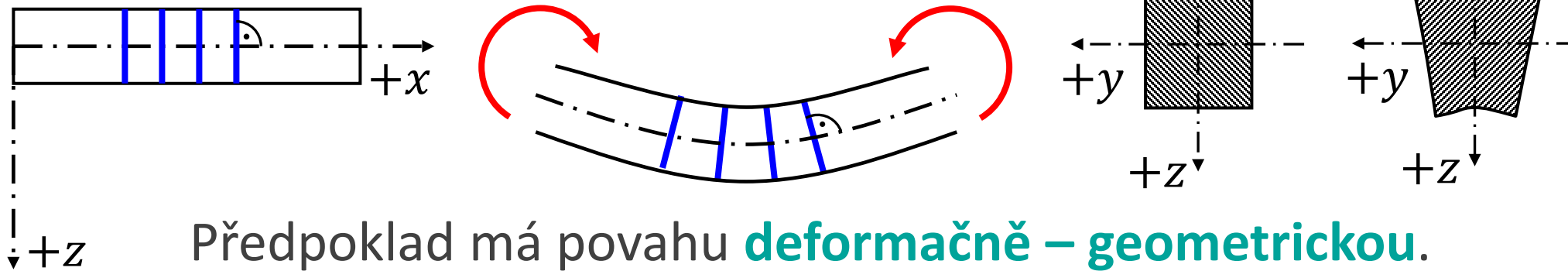
Pruty namáhané na ohyb



Ohybová zkouška
železobetonových trámů,
ČVUT, Praha

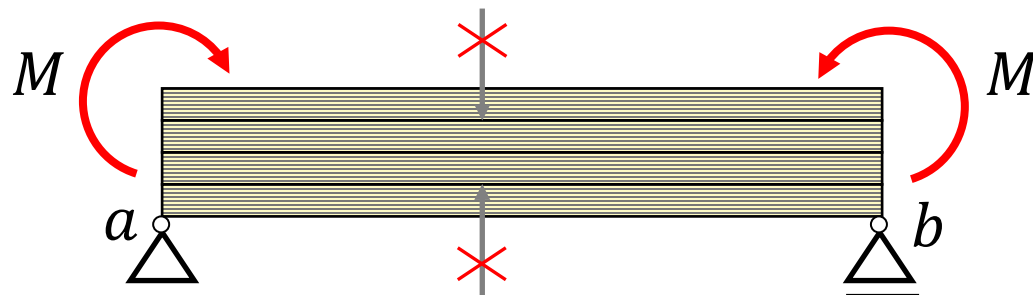
Základní předpoklady řešení

a) Průřezy rovinné a kolmé k ose prutu před deformací zůstávají **rovinnými** a **kolnými k deformované ose** (Bernoulliho hypotéza).



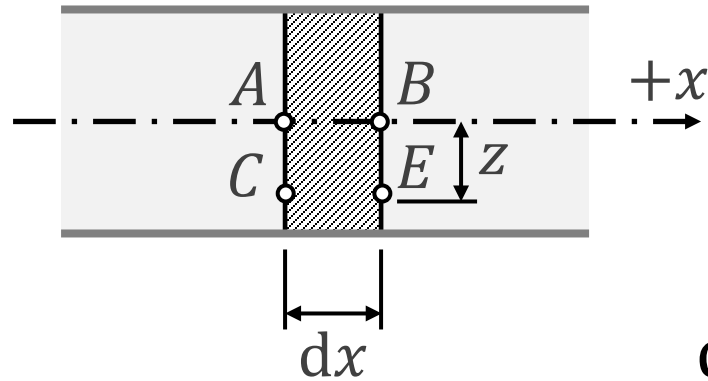
Daniel Bernoulli
(1700 - 1782)

b) Podélná vlákna na sebe **vzájemně netlačí**.



$$\sigma_y = \sigma_z = 0$$

Poměrné přetvoření za ohybu



r ... poloměr křivosti

$$o = r \cdot 2\pi \rightarrow dx = \overline{AB} = r \cdot d\varphi$$

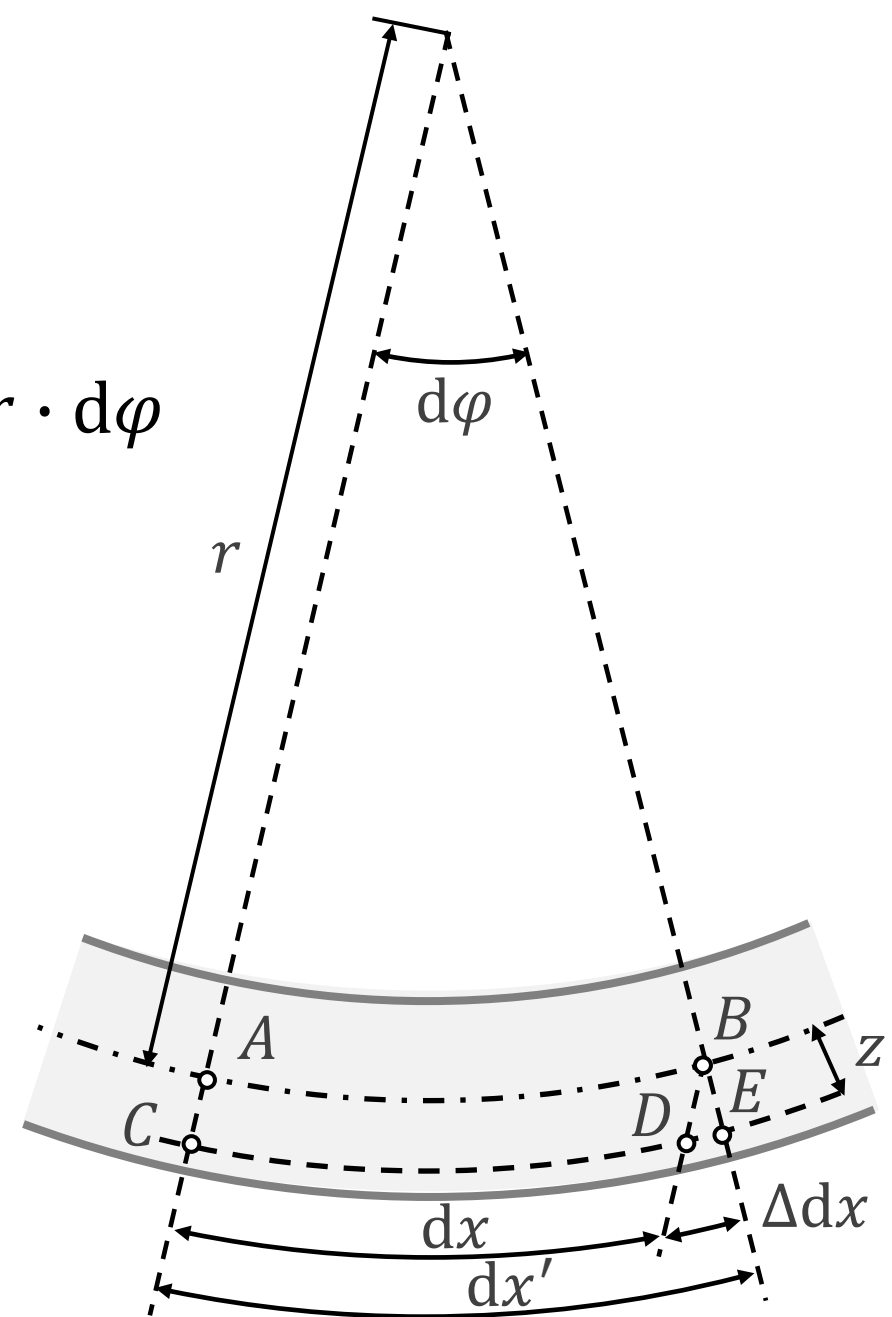
$$dx' = \overline{CE} = (r + z) \cdot d\varphi$$

$$\Delta dx = \overline{DE} = dx' - dx = z \cdot d\varphi$$

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta dx}{dx} = \frac{z \cdot d\varphi}{r \cdot d\varphi} = \frac{z}{r}$$

Podle **Hookova zákona**:

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} \rightarrow \sigma_x = \varepsilon_x \cdot E = \frac{z}{r} \cdot E$$



Vztahy mezi vnitřními silami a napětími v průřezu prutu

$$dN = \sigma_x \cdot dA \rightarrow N = \int_A \sigma_x dA$$

Obdobně:

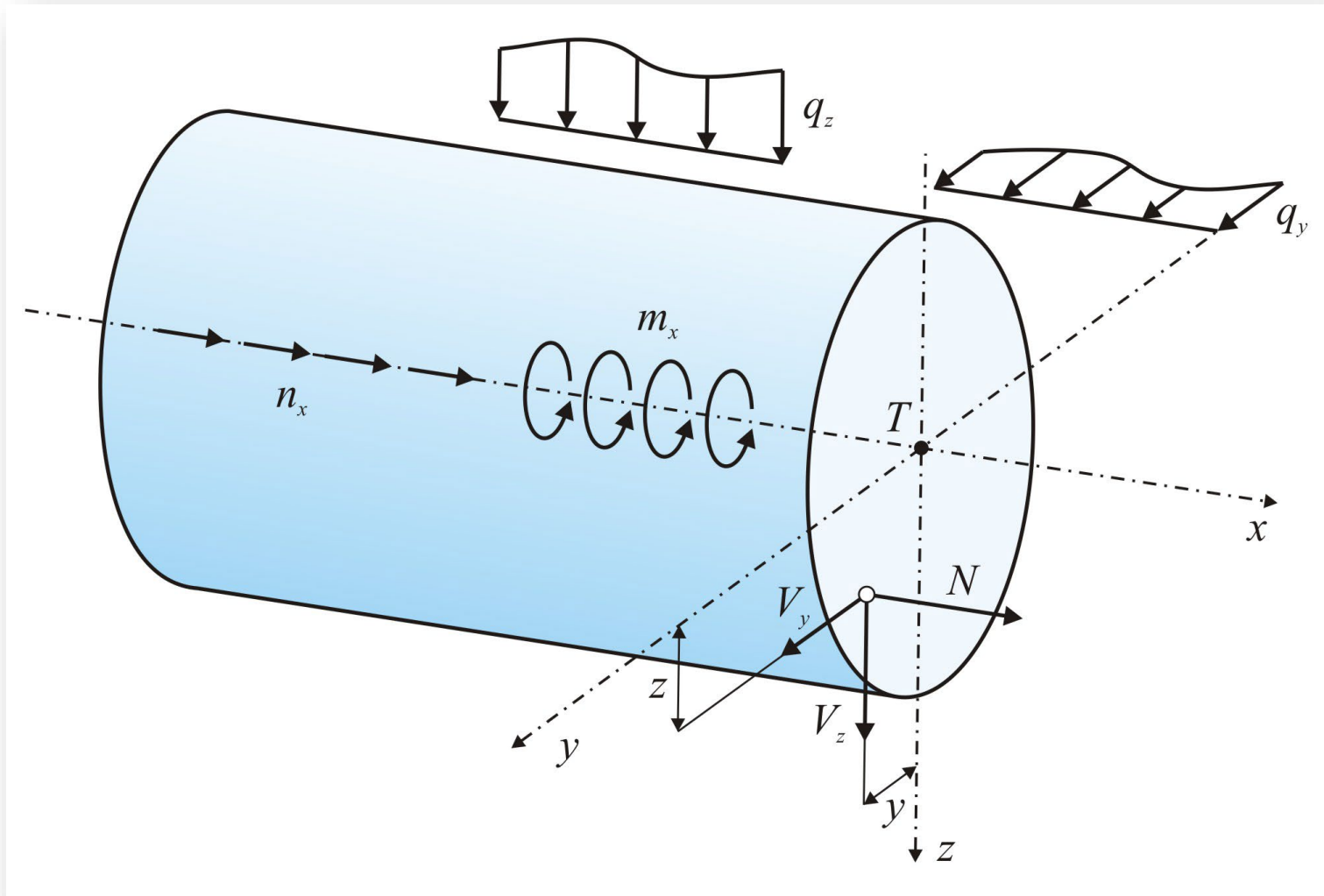
$$V_y = \int_A \tau_{xy} dA \quad V_z = \int_A \tau_{xz} dA$$

$$M_y = N \cdot z = \int_A (\sigma_x \cdot z) dA$$

$$M_z = -N \cdot y = - \int_A (\sigma_x \cdot y) dA$$

$$M_x = V_z \cdot y - V_y \cdot z =$$

$$= \int_A (\tau_{xz} \cdot y - \tau_{xy} \cdot z) dA$$



Závěry vyplývající z odvození

Vztahy, které obsahují σ_x :

$$\sigma_x = \varepsilon_x \cdot E = \frac{z}{r} \cdot E$$

$$1. \quad N = \int_A \sigma_x \, dA \quad S_y = \int_A z \, dA$$

$$N = \frac{E}{r} \cdot \int_A z \, dA = \frac{E}{r} \cdot S_y = 0$$

Statický moment plochy průřezu A k ose y je nulový, neboť osa průřezu prochází těžištěm průřezu. Potvrzení předpokladu, že těžištěm prochází **neutrálná osa**, na které je $\sigma_x = 0$.

$$3. \quad M_z = - \int_A (\sigma_x \cdot y) \, dA \quad D_{yz} = \int_A y \cdot z \, dA$$

$$M_z = - \frac{E}{r} \cdot \int_A y \cdot z \, dA = - \frac{E}{r} \cdot D_{yz} = 0$$

D_{yz} ... **deviační moment** k hlavním osám setrvačnosti.

Normálové napětí v prutech namáhaných ohybem

Vztahy, které obsahují σ_x :

$$2. \quad M_y = \int_A (\sigma_x \cdot z) dA \quad I_y = \int_A z^2 dA \quad M_y = \frac{E}{r} \cdot \int_A z^2 dA = \frac{E}{r} \cdot I_y$$

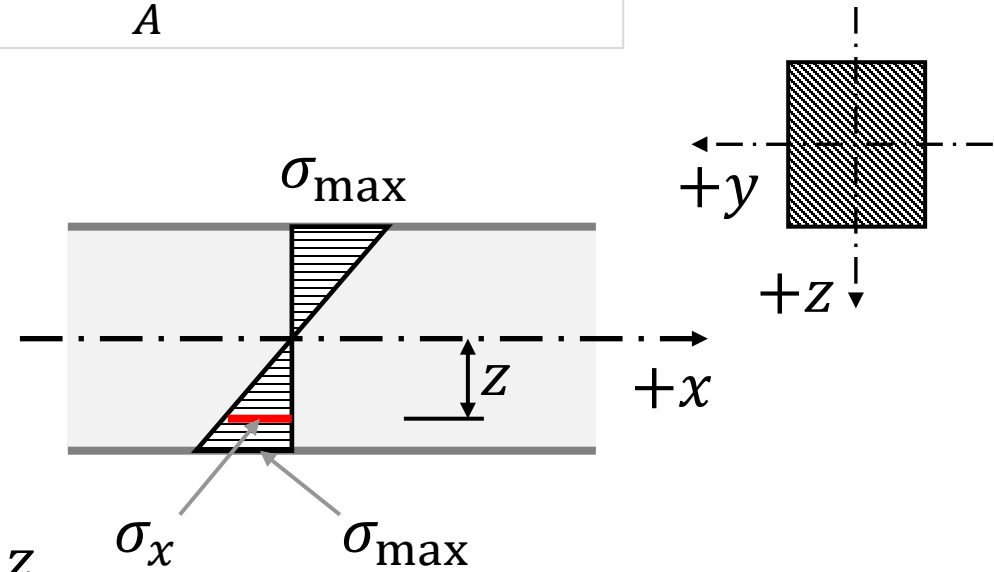
z toho plyne $M_y = \frac{E}{r} \cdot I_y \rightarrow \frac{1}{r} = \frac{M_y}{E \cdot I_y}$

Podle **Hookova zákona**:

$$\sigma_x = \frac{M_y}{I_y} \cdot z$$

$$\sigma_x = \varepsilon_x \cdot E = \frac{z}{r} \cdot E$$

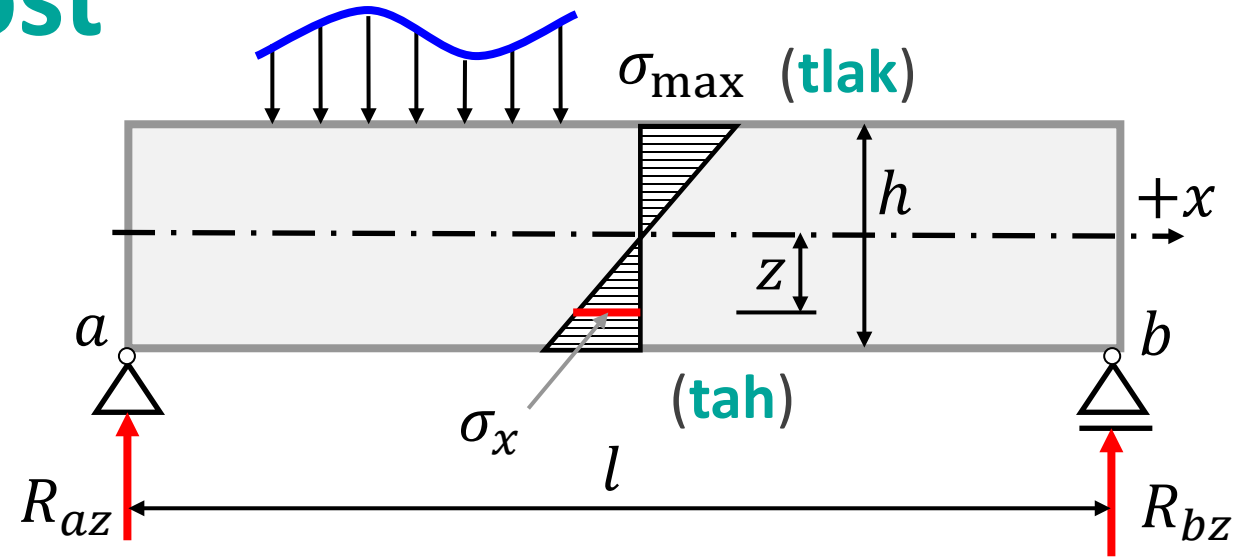
$$\sigma_x = \frac{1}{r} \cdot E \cdot z = \frac{M_y}{E \cdot I_y} \cdot E \cdot z$$



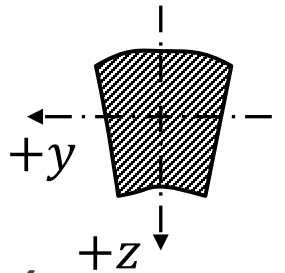
Normálové napětí σ_x probíhá **lineárně** po výšce nosníku a extrémní hodnoty vznikají v **krajních vláknech**.

Závěry a omezená platnost

$$\sigma_x = \frac{M_y}{I_y} \cdot z$$

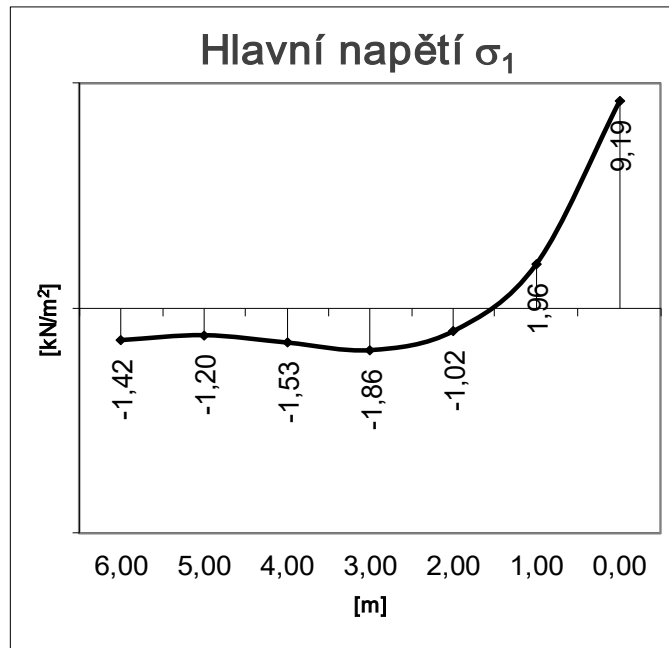


- Vztah platí pro případ prostého ohybu, stálého průřezu a $h \ll l$.
- Tvar průřezu se deformuje v souladu se vztahem $\varepsilon_y = \varepsilon_z = -\nu \cdot \varepsilon_x$. Příčné deformace mají u nosníků zanedbatelný význam.
- Pokud je $V_z \neq 0$, vzorec je pouze přibližný, neboť V_z způsobuje smykové napětí, zkosení, a tím i ztrátu rovinnosti průřezu. Je-li však $h < \frac{l}{5}$, lze vztah použít s dostatečnou přesností.

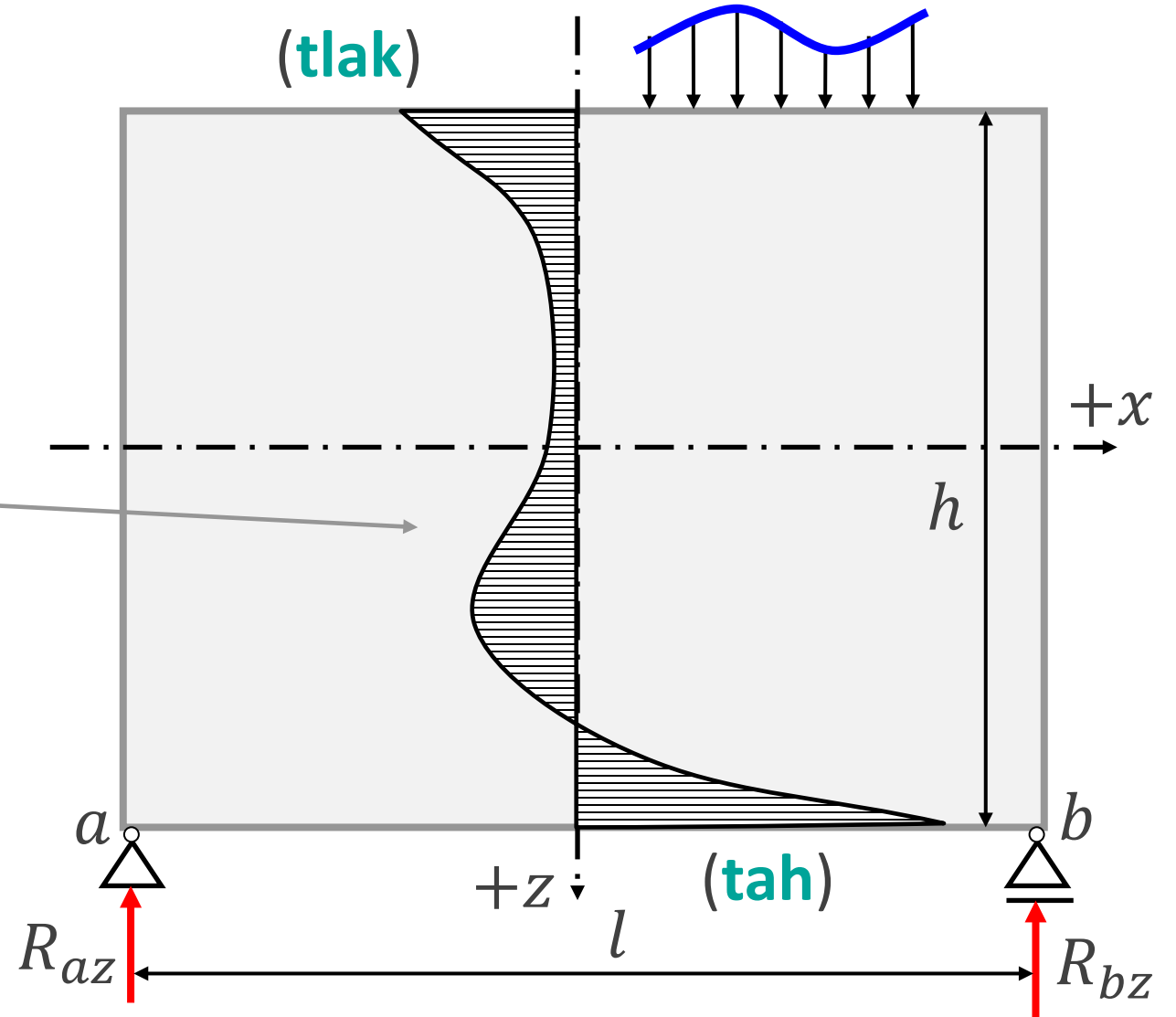


Závěry a omezená platnost

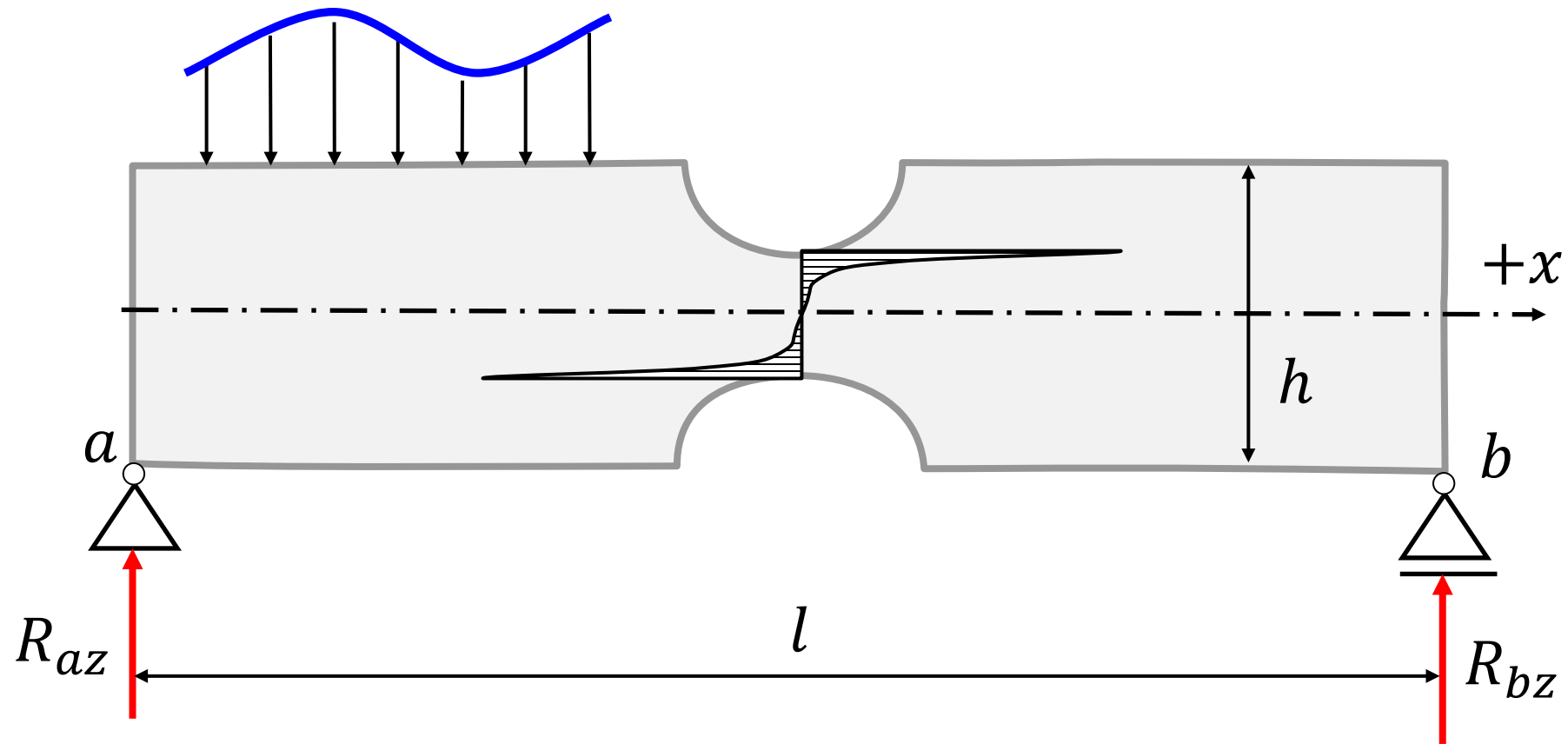
$$\sigma_x = \frac{M_y \cdot z}{I_y}$$



Vztah neplatí u stěn, kde $h > \frac{l}{3}$.



Závěry a omezená platnost



Vztah neplatí v místě náhlých průřezových změn.

Ukázka konstrukce s prolamovanými nosníky

Prolamované nosníky:

- výroba z válcovaných profilů rozřezáním stojiny a následným svařením vzniklých dílů
- vyšší ohybová tuhost při nižší hmotnosti nosného prvku
- možnost průchodu instalačních rozvodů otvory nosníku



Extrémní normálová napětí za ohybu

$$\sigma_{x,\text{horní}} = -\frac{M_y}{I_y} \cdot e_{\text{horní}} = -\frac{M_y}{W_{y,e_{\text{horní}}}}$$

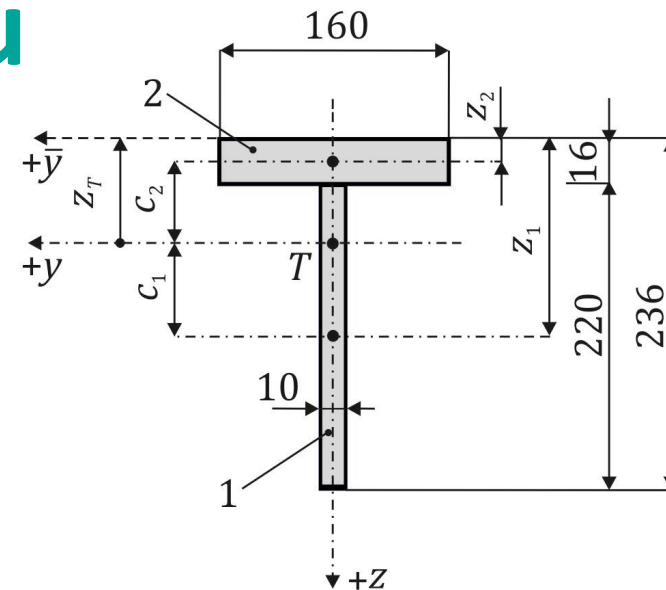
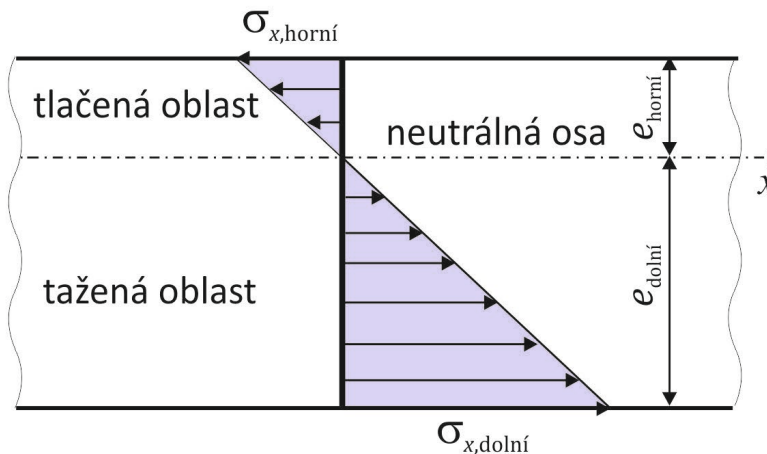
$$\sigma_{x,\text{dolní}} = \frac{M_y}{I_y} \cdot e_{\text{dolní}} = \frac{M_y}{W_{y,e_{\text{dolní}}}}$$

Průřezové moduly ke krajním vláknům [m³]

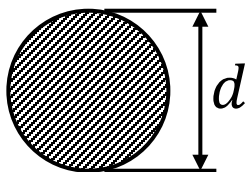
$$W_{y,e_{\text{horní}}} = \frac{I_y}{e_{\text{horní}}}$$

$$W_{y,e_{\text{dolní}}} = \frac{I_y}{e_{\text{dolní}}}$$

Neutrálná osa a $\sigma_x = 0$ v těžišti průřezu.

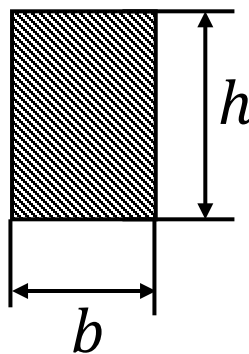


Výpočet **průřezových modulů** u jednoduchých rovinných obrazců:



$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$

$$W = \frac{I}{\left(\frac{d}{2}\right)} = \frac{\pi \cdot d^3}{32}$$



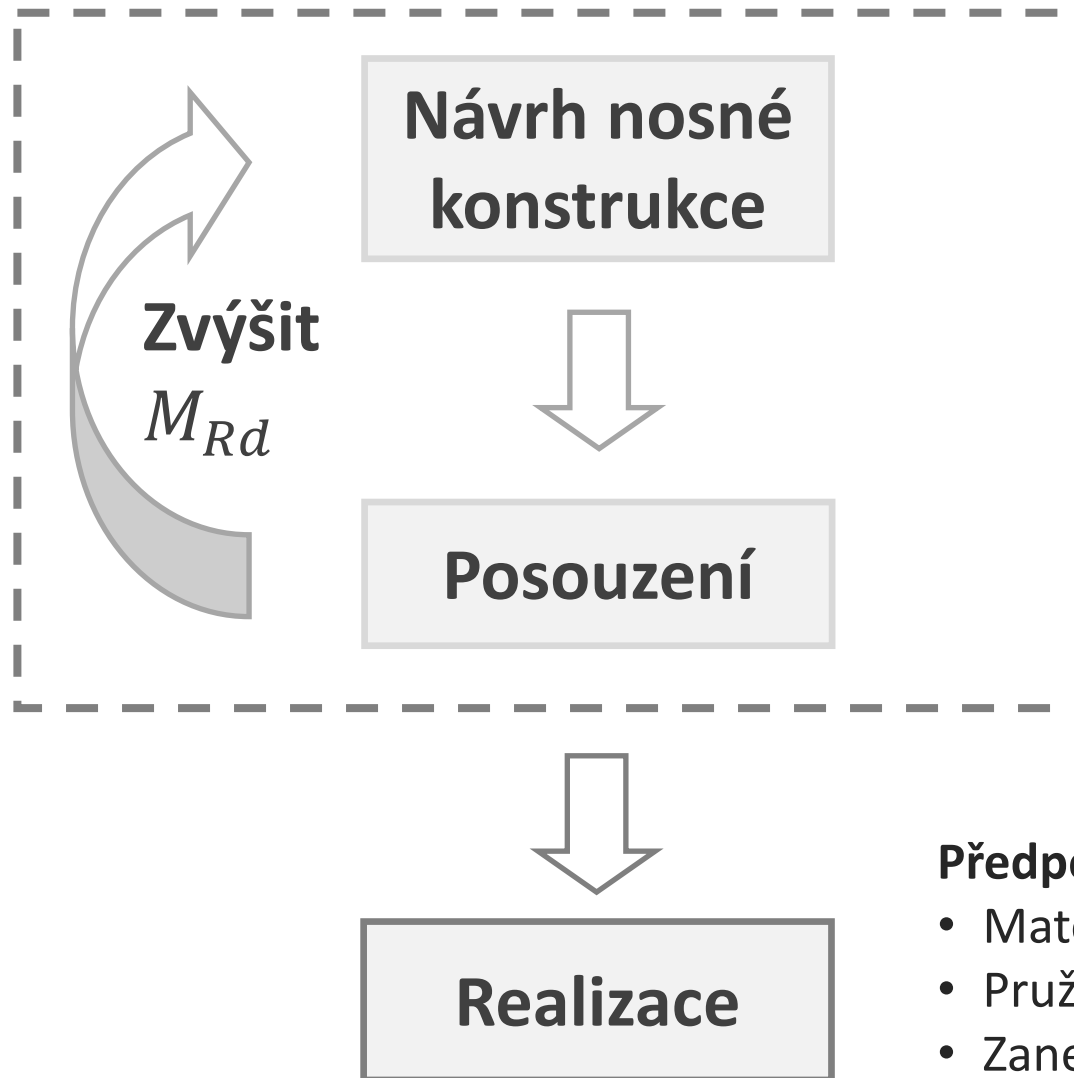
$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot h$$

$$W_y = \frac{I_y}{\left(\frac{h}{2}\right)} = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2$$

$$W_z = \frac{I_z}{\left(\frac{b}{2}\right)} = \frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot h$$

Dimenzování ohýbaného prvku podle MSÚ



$$M_{Ed} = \max |M_d|, \quad W_{\min} = \frac{M_{Ed}}{f_d} \quad f_d = \frac{f_k}{\gamma_M}$$

Dimenzování

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} = W_y \cdot f_d$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1$$

Předpoklady řešení:

- Materiál se stejnou pevností v tahu a tlaku.
- Pružné chování materiálu.
- Zanedbán vliv smykových napětí.



Příklad 1

Dimenzování prvku namáhaného ohybem

Vstupní údaje

$$g_k = 2,0 \text{ kN/m} \quad \gamma_G = 1,35$$

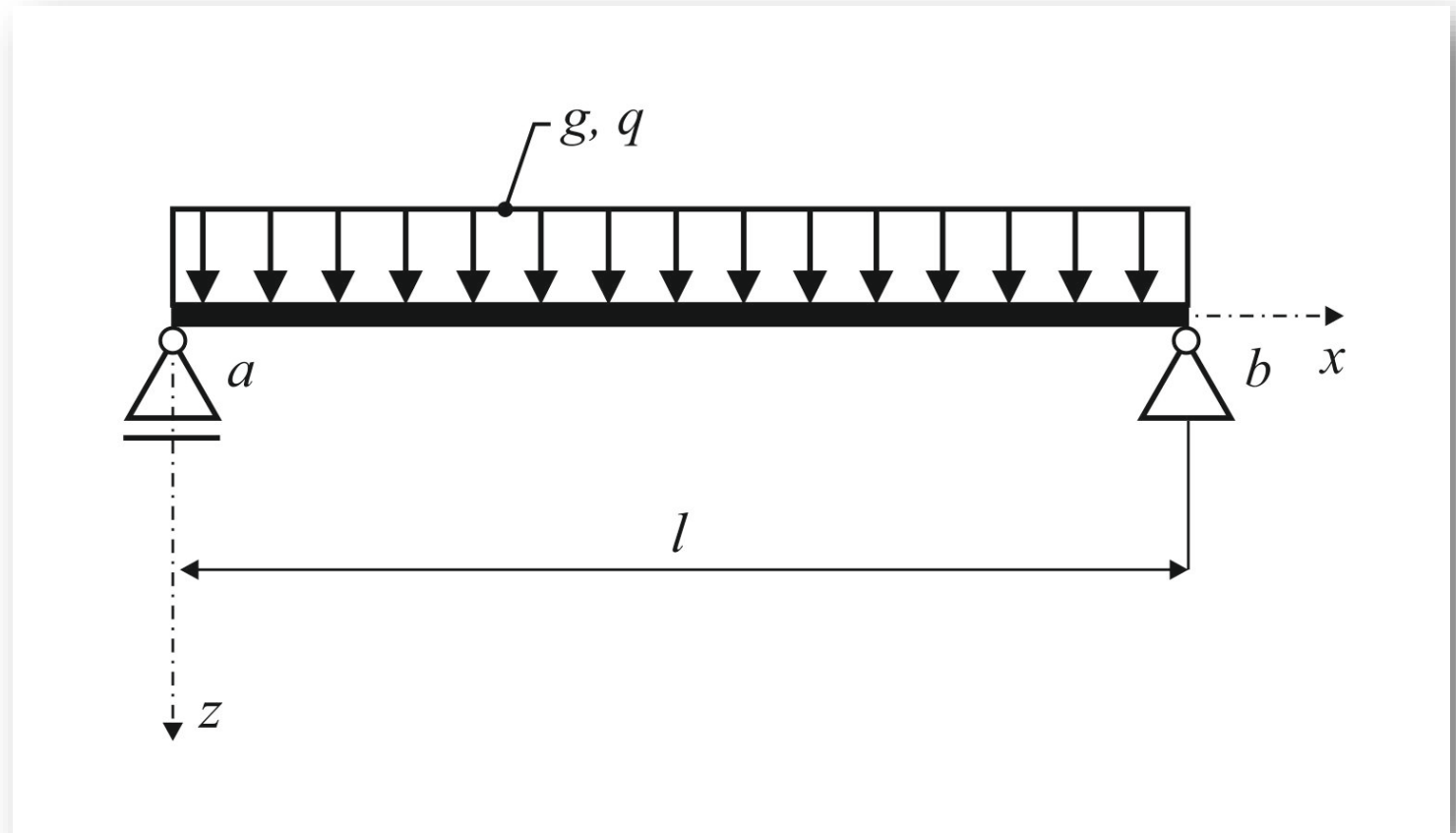
$$q_k = 6,0 \text{ kN/m} \quad \gamma_Q = 1,5$$

Ocel S235

$$f_{yk} = 235 \text{ MPa} \quad \gamma_M = 1,0$$

$$E = 210 \text{ GPa} \quad l = 6 \text{ m}$$

Nadimenzujte
ohýbaný nosný prvek
z profilu **IPN**



Příklad 1

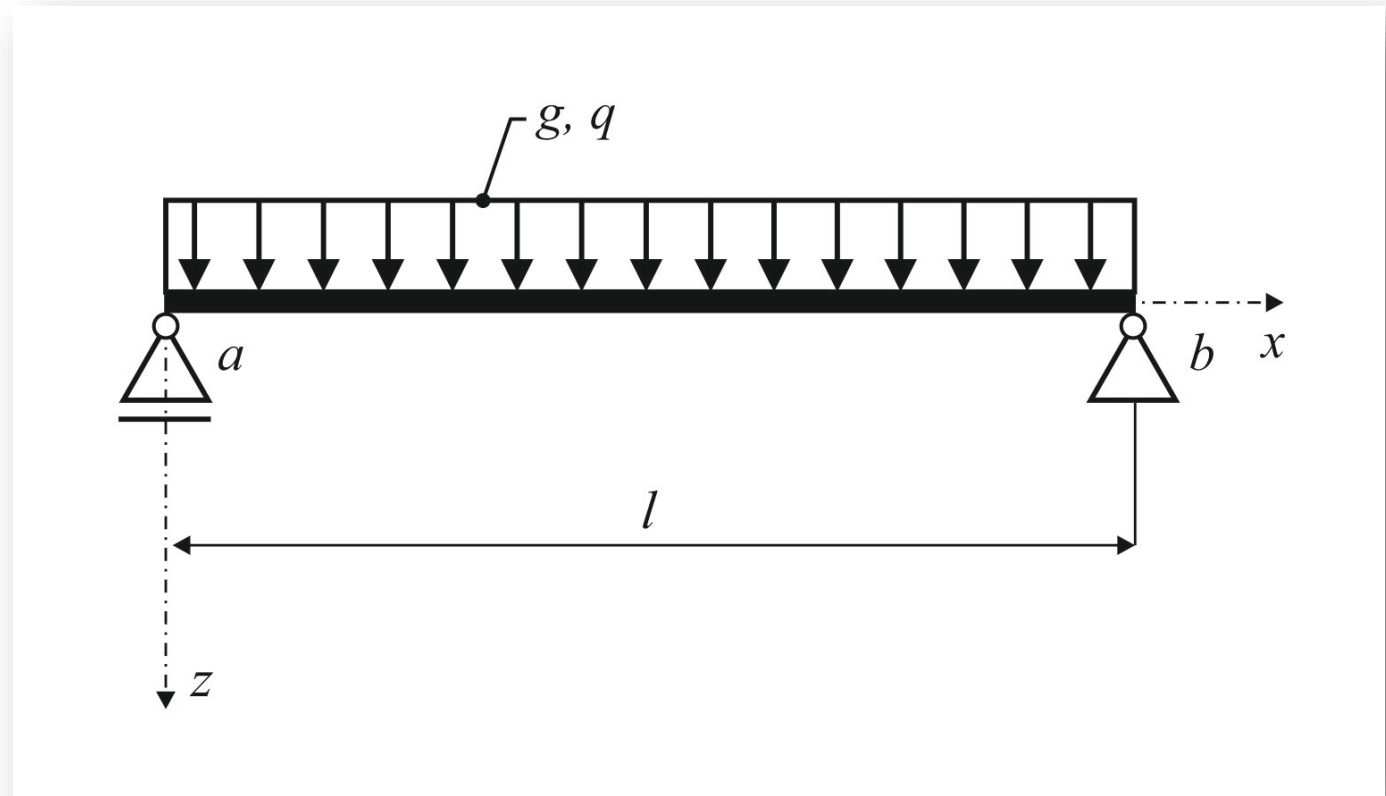
Dimenzování prvku namáhaného ohybem

Kombinace zatížení v návrhové hodnotě:

$$\begin{aligned} p_d &= g_k \cdot \gamma_G + q_k \cdot \gamma_Q = \\ &= 2 \cdot 1,35 + 6 \cdot 1,5 = 11,7 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Ohybový moment:

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= \frac{1}{8} \cdot p_d \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 11,7 \cdot 6^2 \\ &= \boxed{52,65 \text{ kNm}} \end{aligned}$$



Příklad 1

Dimenzování prvku namáhaného ohybem

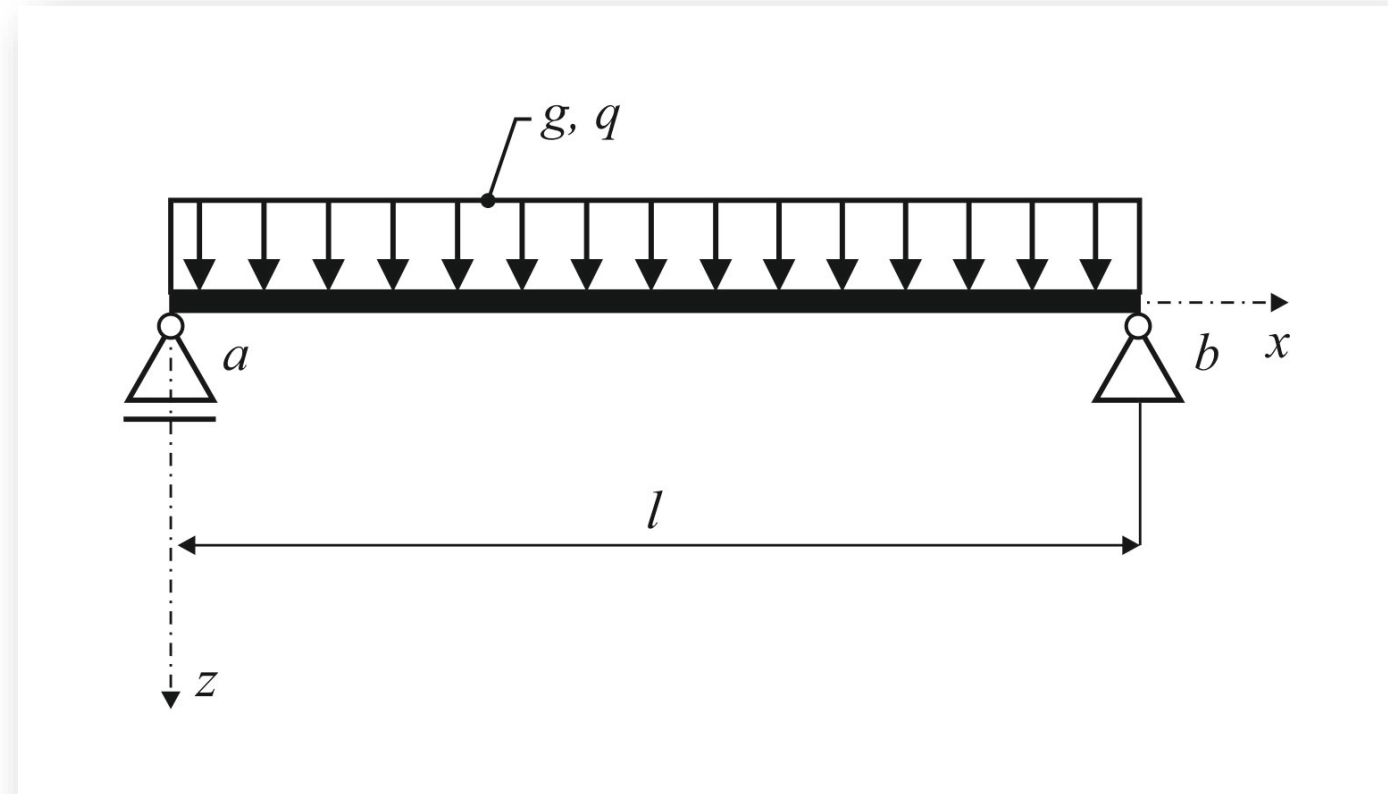
Návrh podle **mezního stavu únosnosti**:

$$W_{\min} = \frac{M_{Ed}}{\left(\frac{f_{yk}}{\gamma_M}\right)} = \frac{52,65 \cdot 10^3}{\left(\frac{235 \cdot 10^6}{1,0}\right)} = 2,24 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_y(\text{IPN220}) = 2,78 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Navržen profil podle **mezního stavu únosnosti**: **IPN220**

Návrh podle **mezního stavu použitelnosti** a posouzení spolehlivosti: **Téma 10**



San Sebastian, Auditorium, Španělsko



Prostorový
rám

San Sebastian, Auditorium, Španělsko

Prostorový
rám



Pavilon C, Brněnské výstaviště



Prostorový rám
se skořepinovou
střešní konstrukcí

Pavilon C, Brněnské výstaviště

Prostorový rám
se skořepinovou
střešní konstrukcí



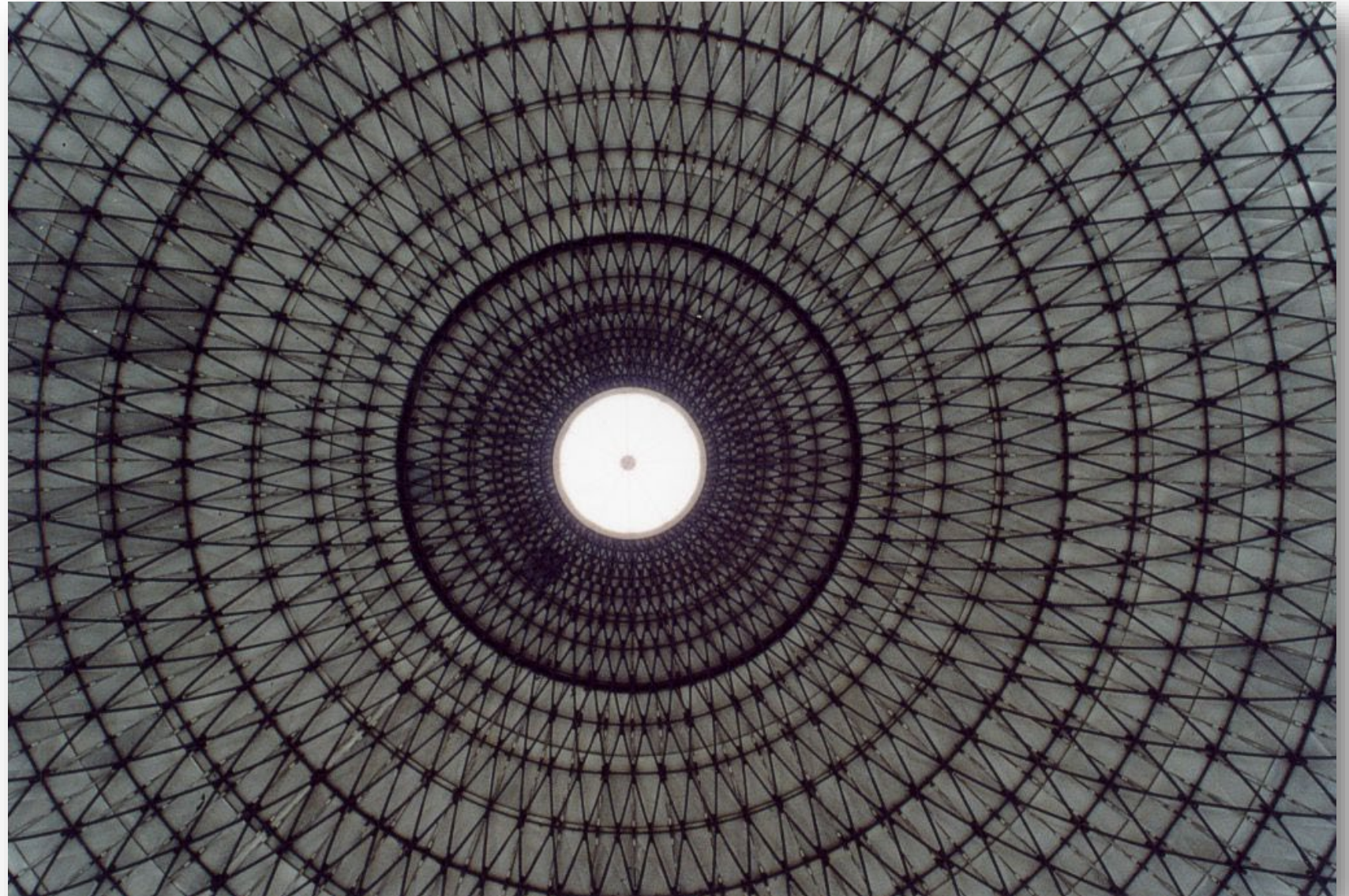
Pavilon C, Brněnské výstaviště

Prostorový rám
se skořepinovou
střešní konstrukcí



Pavilon C, Brněnské výstaviště

Prostorový rám
se skořepinovou
střešní konstrukcí



Tramvajový most, Brno – Pisárky

Železobetonový předpjatý tramvajový most, tzv. brněnský

Karakas:

- Specifický svým prostorovým zakřivením, stoupáním a nestejnou tloušťkou
 - Šířka 9 m



Maloměřický most, Brno – Husovice

Trojkloubový oblouk

z roku 1928:

- 3 masivní železobetonové mostní oblouky o rozpětí 33 m s průřezem 1 m²
 - Mezilehlá mostovka
- Ocelové momentové klouby



Maloměřice bridge, Brno - Husovice

Trojkloubový oblouk

z roku 1928:

- 3 masivní železobetonové mostní oblouky o rozpětí 33 m s průřezem 1 m²
 - Mezilehlá mostovka
- Ocelové momentové klouby



Maloměřice bridge, Brno - Husovice

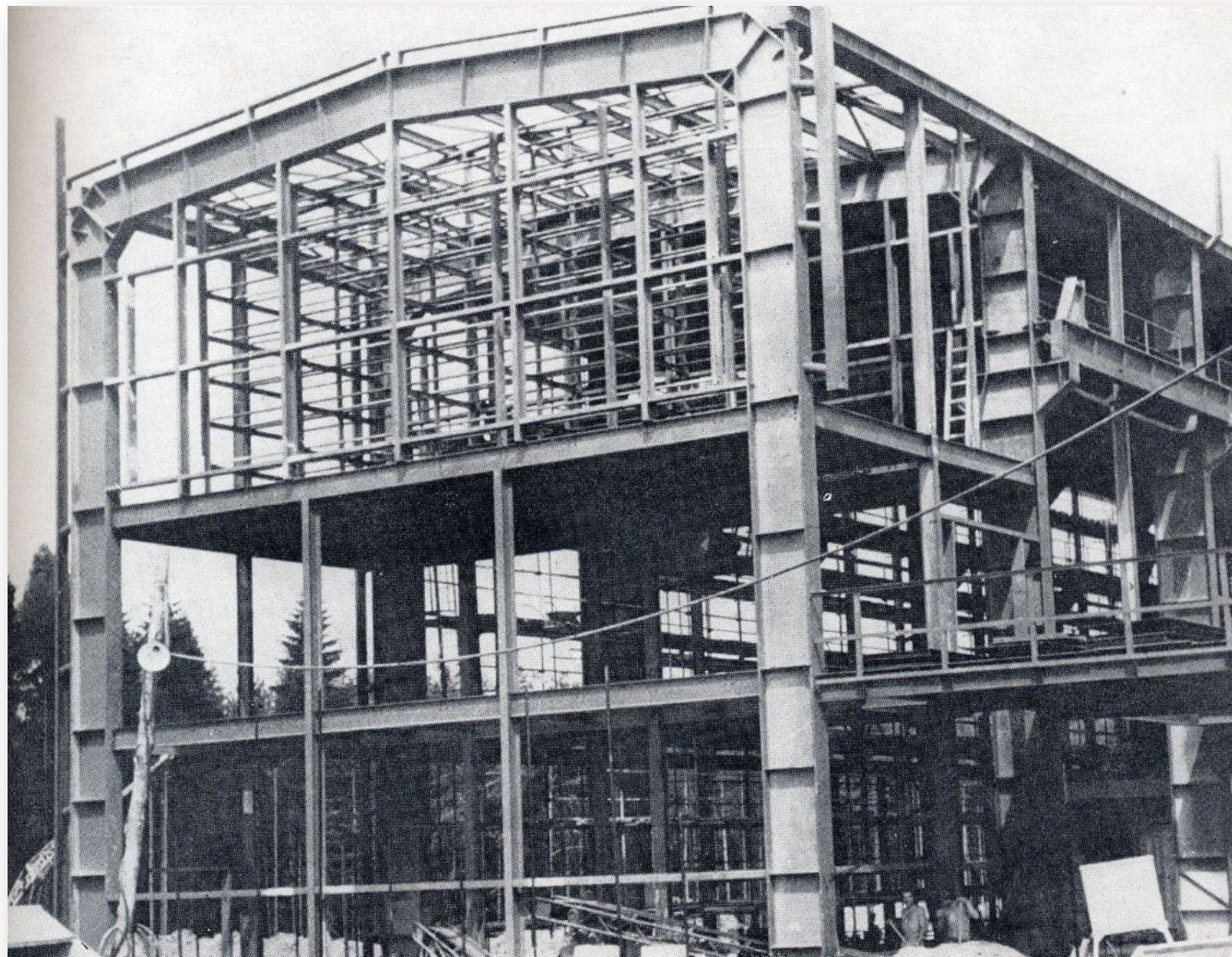
Trojkloubový oblouk

z roku 1928:

- 3 masivní železobetonové mostní oblouky o rozpětí 33 m s průřezem 1 m²
 - Mezilehlá mostovka
- Ocelové momentové klouby



Rámová ocelová konstrukce průmyslové haly



Rovinný ocelový rám (lomený nosník)
s rozpětím 20,5 m

Rámová ocelová konstrukce průmyslové haly



Hala pro výrobu komponent jaderných elektráren, Vítkovice

System ocelových
rovinných rámů:

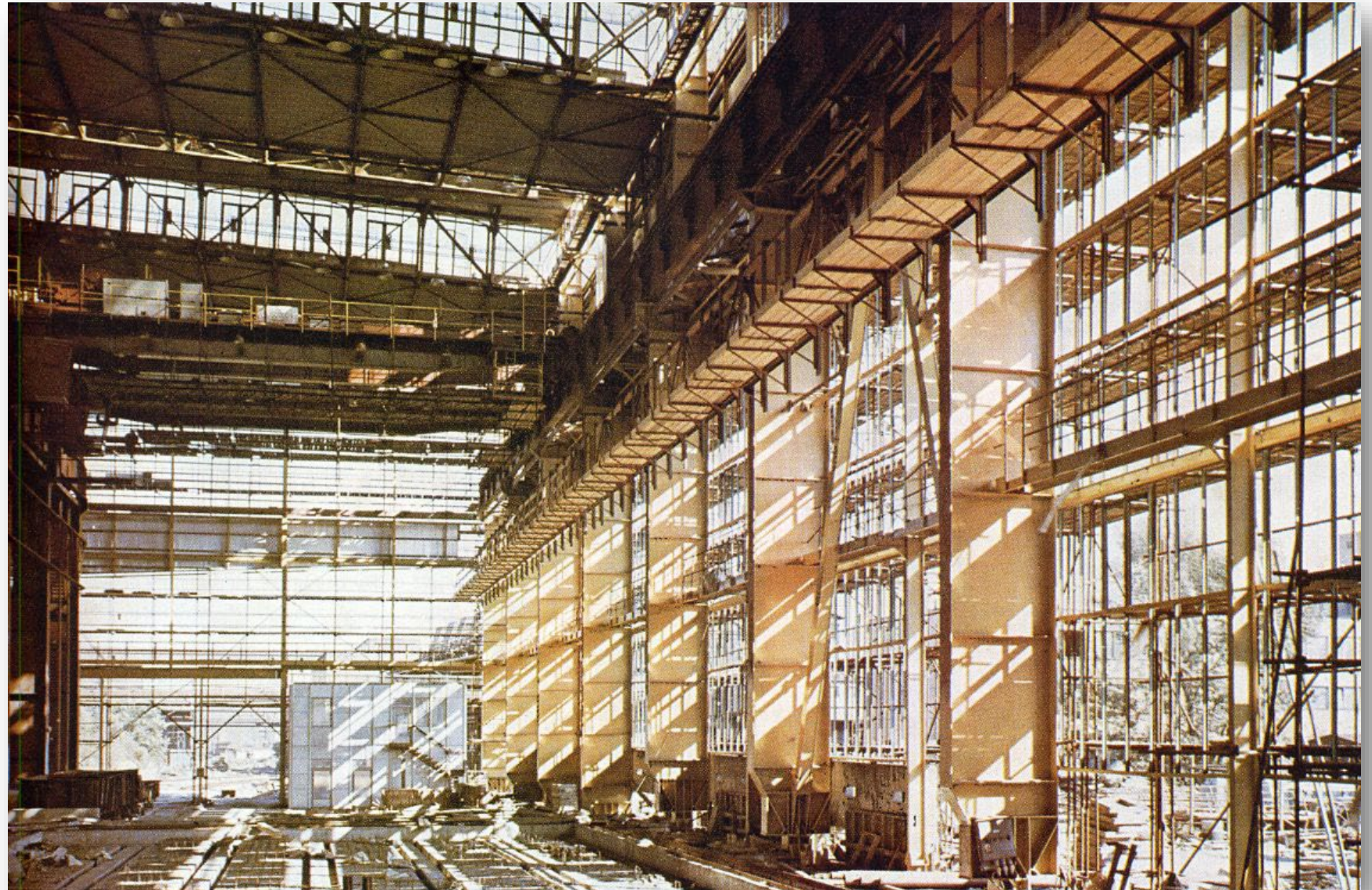
- Půdorys 130 x 320 m
 - Jeřáby o nosnosti 80 t a 200 t
- Poddolované území



Rámová ocelová konstrukce dvojhalí, Vítkovice

Systém ocelových **rovinných**
rámů:

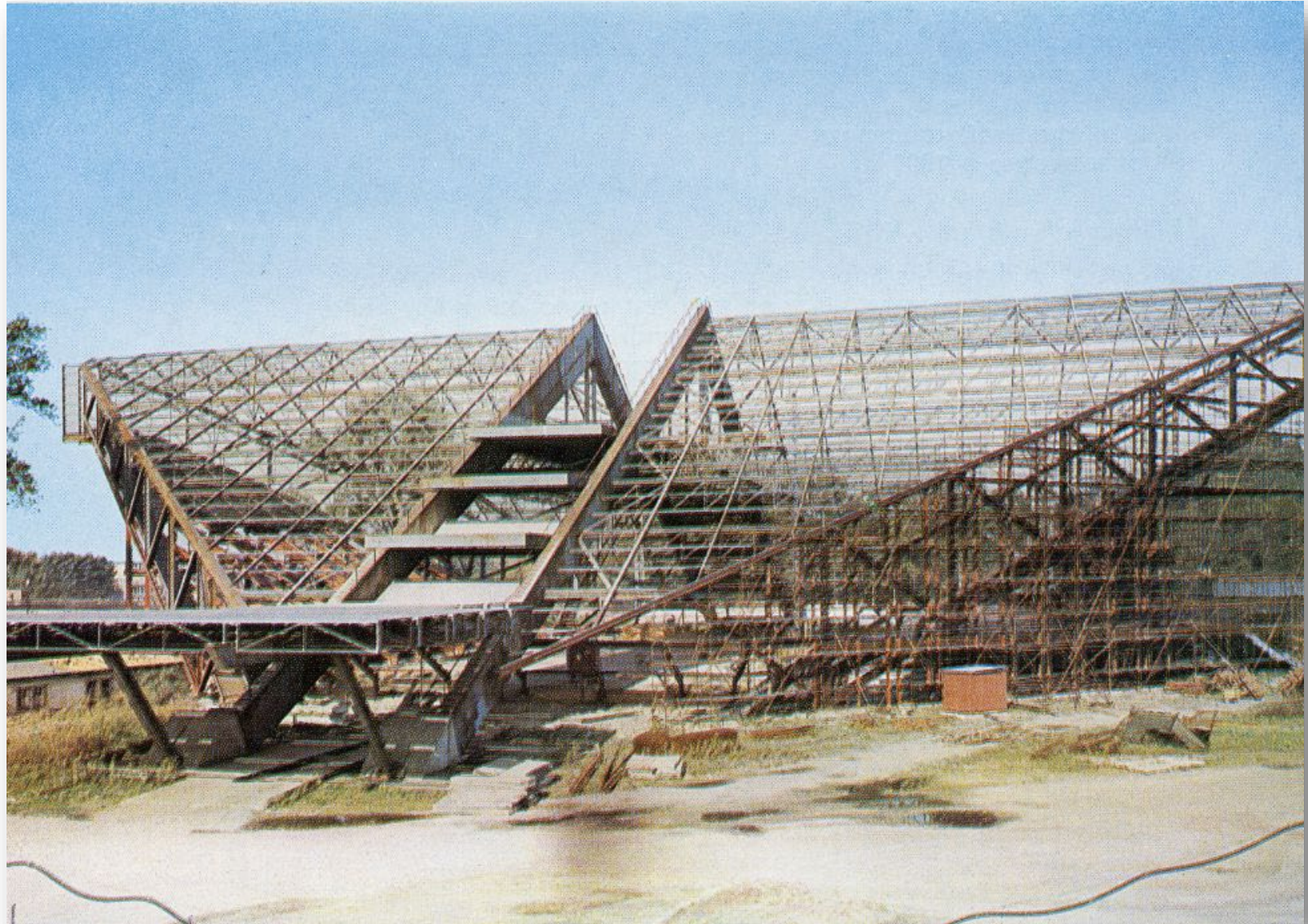
- Rozpětí 30 a 24 m
- Jeřáby o nosnosti 80 t a 50 t
- Poddolované území



Víceúčelová sportovní hala, Frýdek - Místek

System ocelových **rovinných rámů**:

- Výstavba 1971 až 1985
 - Demolice 2013
 - Čtvercový půdorys o straně 82,26 m, výška 31,06 m
- Hlavní nosný prvek střechy: 2 rámy tvaru A s rozpětím 118,12 m a vzdáleností 10,2 m
- Průřez truhlíkový 3,65 m x 0,8 m



Víceúčelová sportovní hala, Frýdek - Místek

System ocelových **rovinných rámů**:

- Výstavba 1971 až 1985
 - Demolice 2013
 - Čtvercový půdorys o straně 82,26 m, výška 31,06 m
- Hlavní nosný prvek střechy: 2 rámy tvaru A s rozpětím 118,12 m a vzdáleností 10,2 m
- Průřez truhlíkový 3,65 m x 0,8 m



Tribuna fotbalového stadiónu na Bazalech, Ostrava



System ocelových **rovinných**
rámů:

- Poddolované území

Tribuna fotbalového stadiónu na Bazalech, Ostrava

Detail momentového kloubu



System ocelových **rovinných**
rámů:

- Poddolované území

Most přes řeku Ostravici, Černá louka, Ostrava



Gerberův nosník:

- 3 pole
- 2 vnitřní momentové klouby

Most přes řeku Ostravici, Černá louka, Ostrava



Gerberův nosník:

- 3 pole
- 2 vnitřní momentové klouby

Most přes řeku Ostravici, Ostrava - Kunčice



- Langerův nosník** (trám vyztužený obloukem):
- Rozpětí 100 m

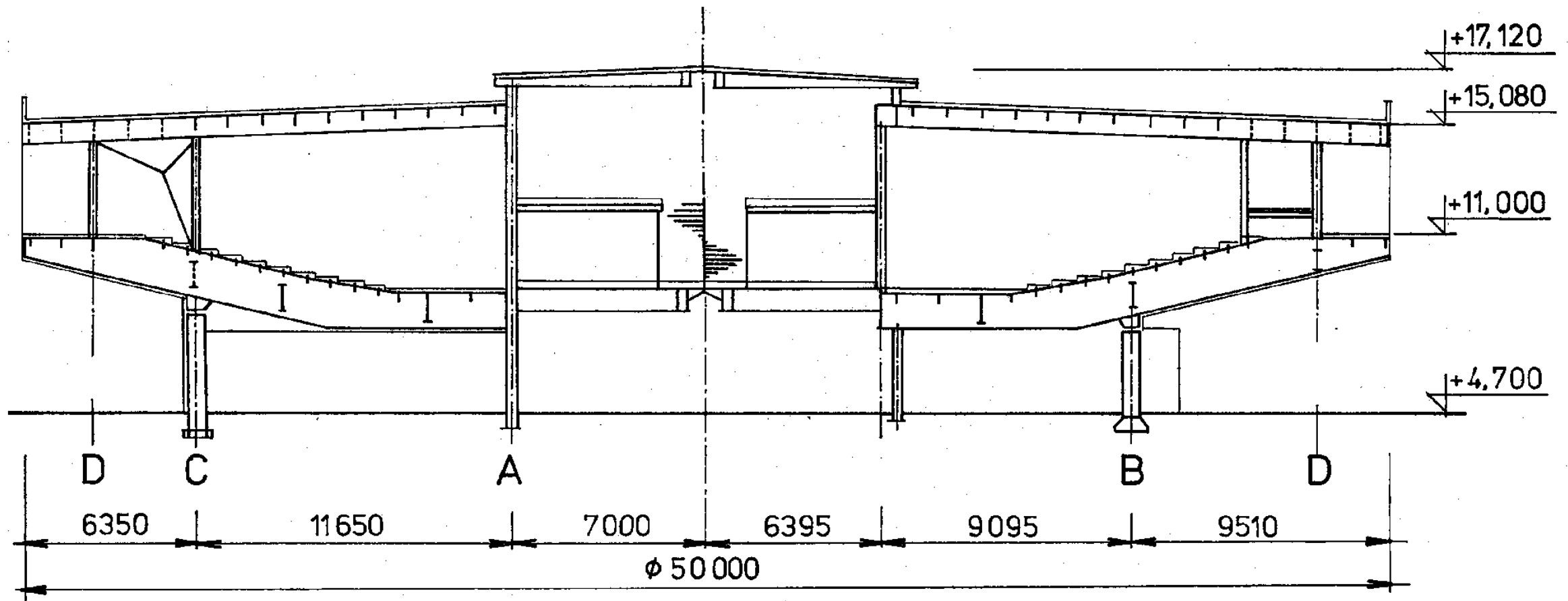
Budova C, areál VŠB – Technická univerzita Ostrava



Budova C, areál VŠB – Technická univerzita Ostrava



Budova C, areál VŠB – Technická univerzita Ostrava



- Průměr budovy 50 m
- 15 radiálně umístěných plnostěnných svařovaných nosníků
- Ve středu vetknuty do prstence uzavřeného průřezu

Stropní konstrukce:

- Ocelové válcované profily I
 - Trapézový plech
- Betonová podlaha



Stropní konstrukce:

- Ocelové válcované profily I
 - Trapézový plech
- Betonová podlaha



Konzola ochozu:

- Ocelový svařovaný a válcovaný profil I
 - Trapézový plech
 - Betonová podlaha



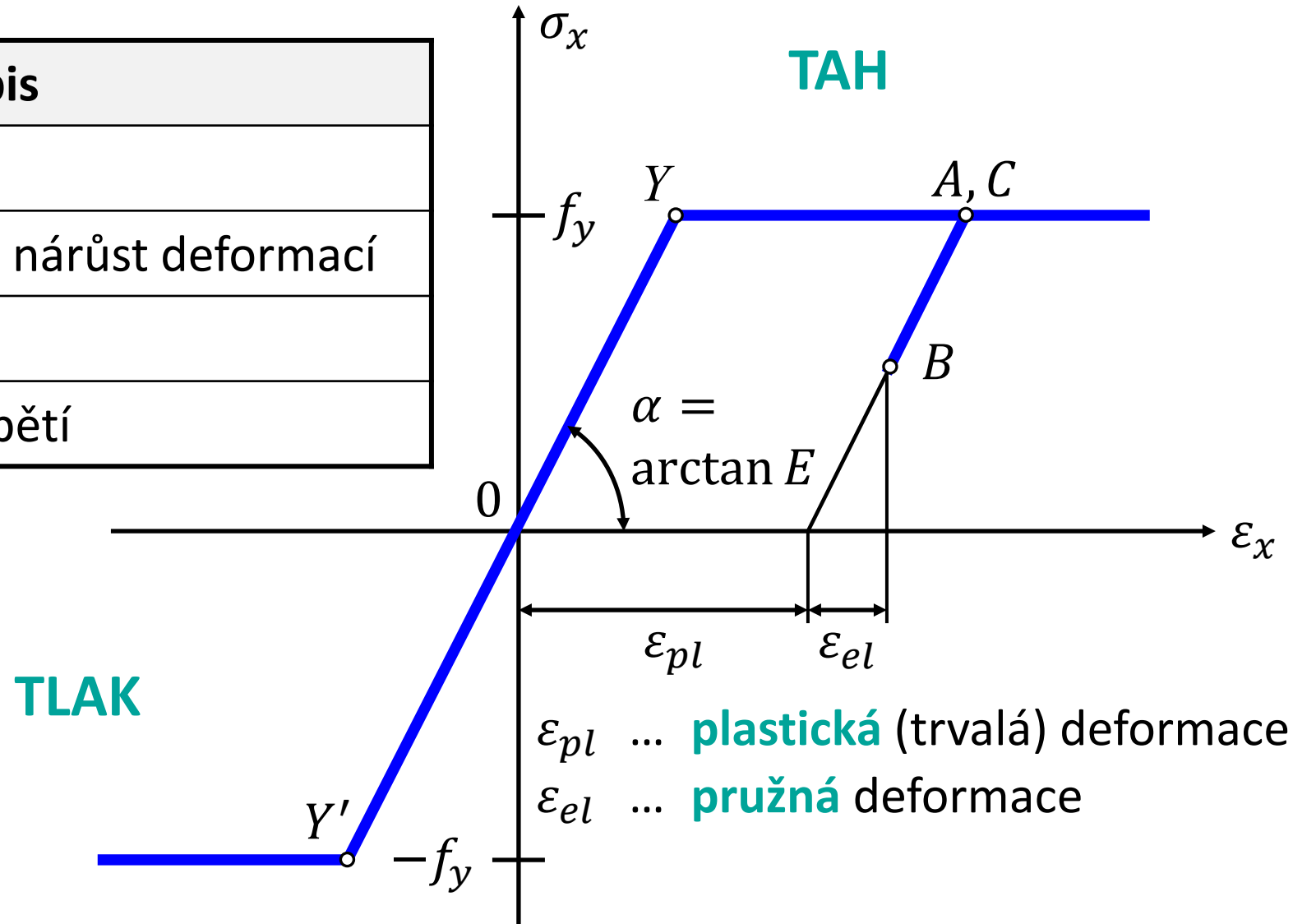
Konzola ochozu:

- Ocelový svařovaný a válcovaný profil I
 - Trapézový plech
 - Betonová podlaha



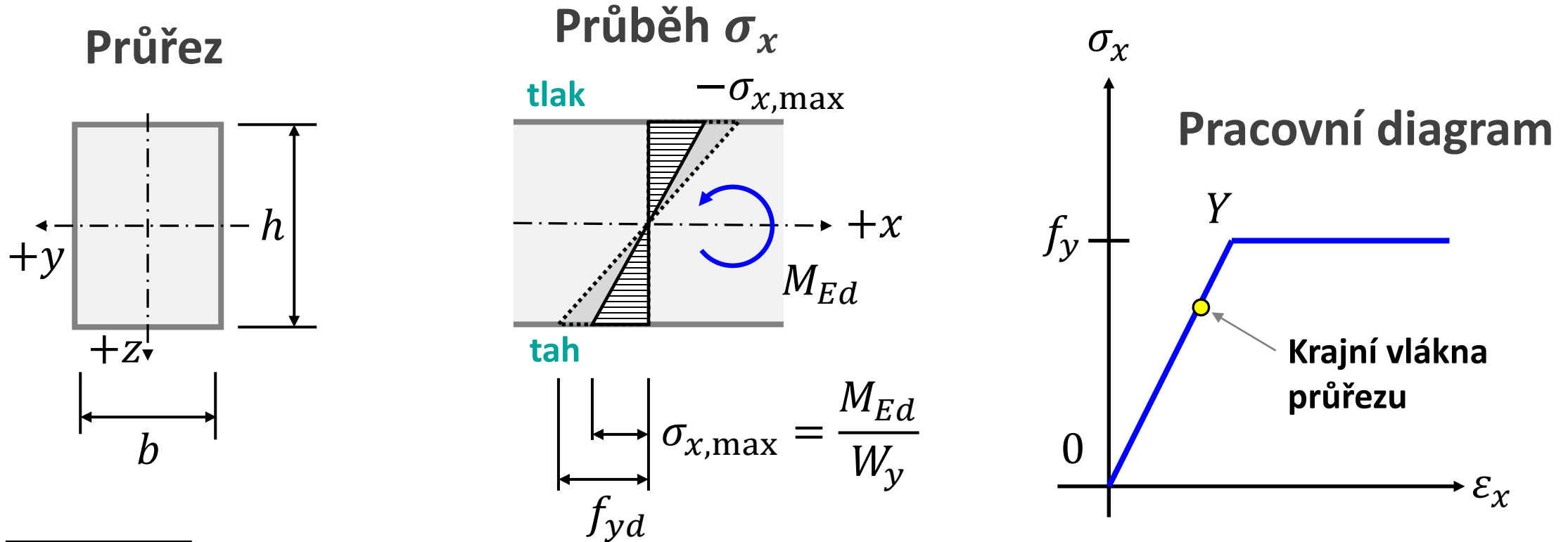
Ideálně pružno-plastický materiál

Úsek	Popis
$Y - Y'$	Hookův zákon
$Y - A$	Plastický stav – volný nárůst deformací
$A - B$	Odlehčení
$B - C$	Opětovné zvýšení napětí



Ohyb nosníku v pružno-plastickém oboru

Ideálně pružno-plastický materiál, obdélníkový průřez



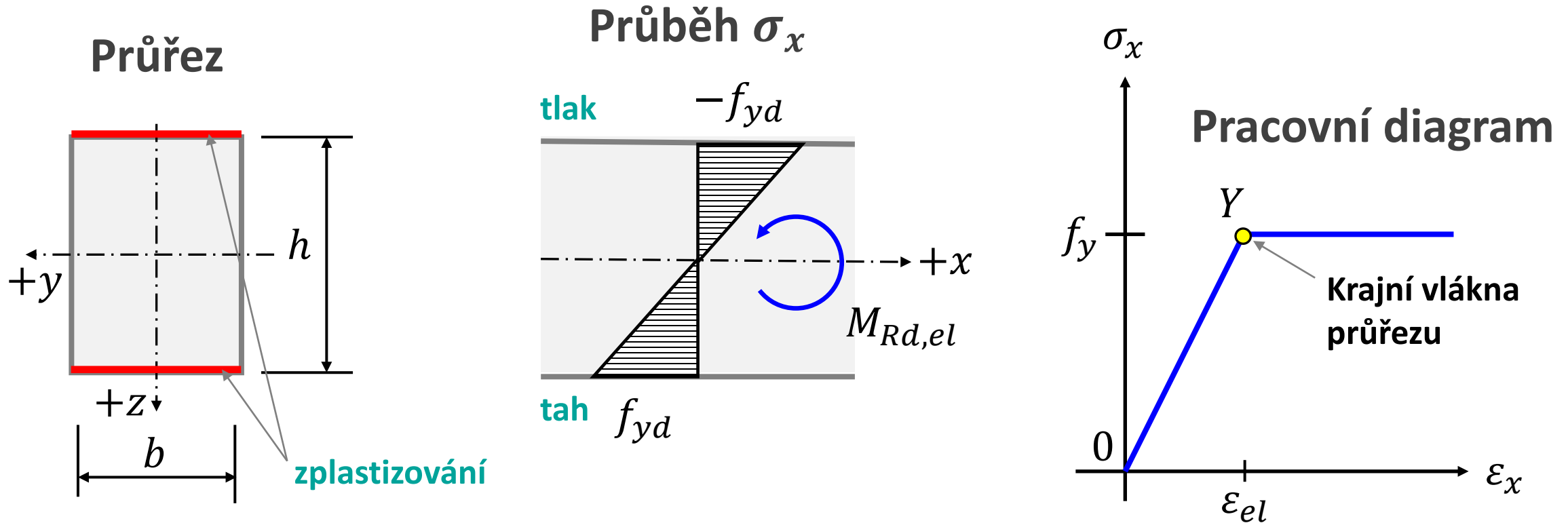
Stav I. Normálové napětí v krajních vláknech

$$M_{Ed} \leq M_{Rd,el} = W_y \cdot f_{yd} = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{yd}$$

$$|\sigma_{x,max}| \leq f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M}$$

Ohyb nosníku v pružno-plastickém oboru

Ideálně pružno-plastický materiál, obdélníkový průřez



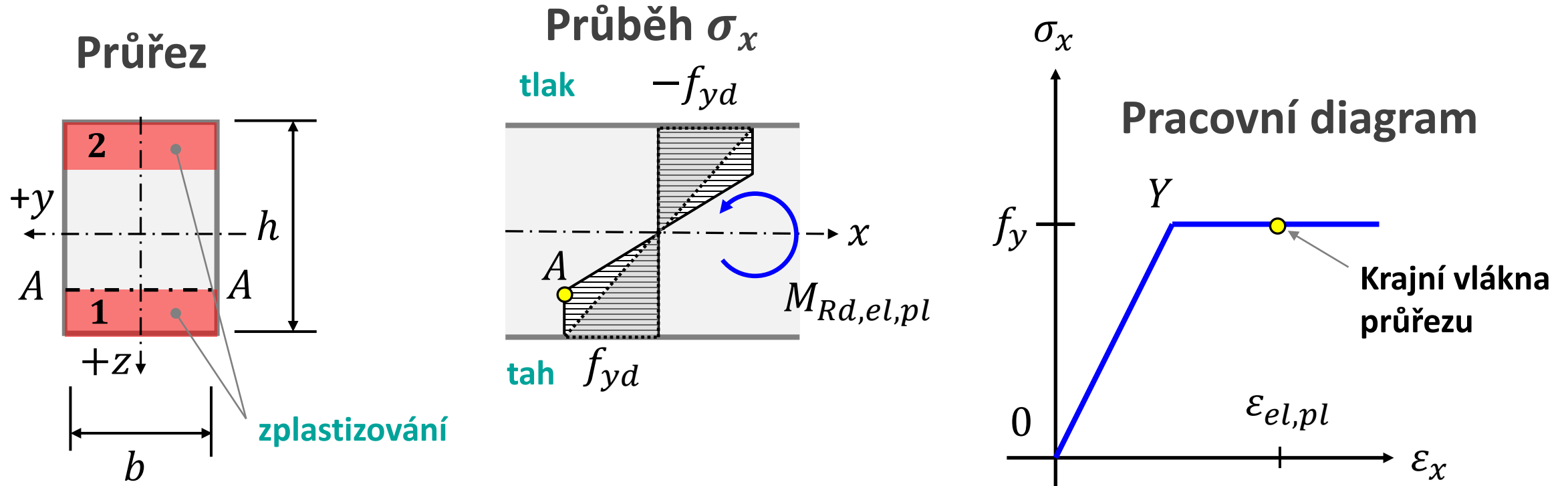
Stav II. Normálové napětí v krajních vláknech

$$M_{Rd,el} = W_y \cdot f_{yd} = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{yd}$$

$$|\sigma_{x,max}| = f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M}$$

Ohyb nosníku v pružno-plastickém oboru

Ideálně pružno-plastický materiál, obdélníkový průřez



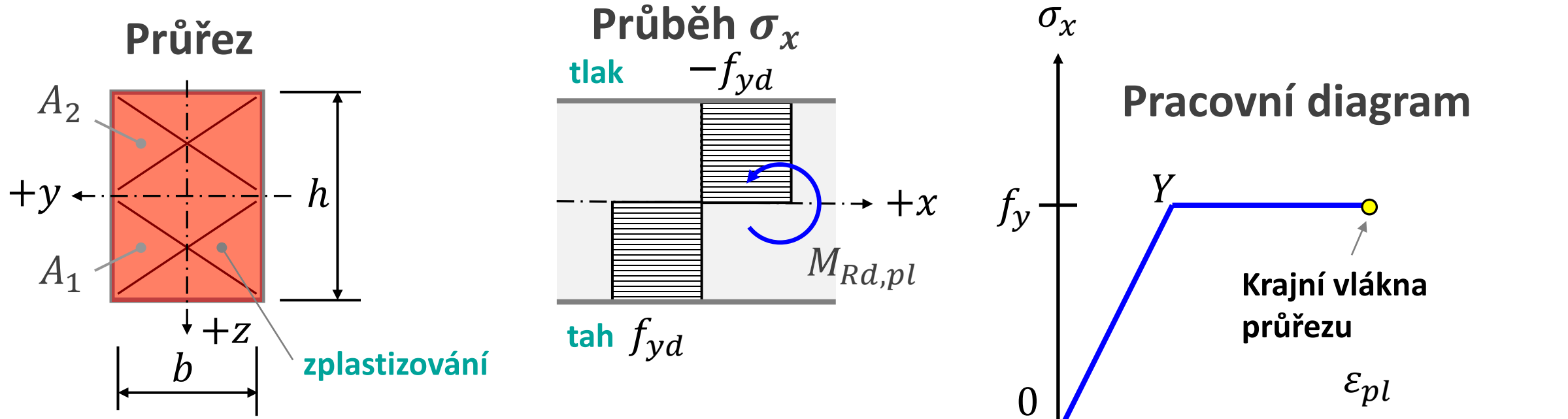
Stav III.

Zvyšuje-li se stále zatížení $M_{Ed} > M_{Rd}$, vznikají plastické oblasti: **1** – v **tahu**, **2** – v **tlaku**. Zbytek průřezu stále pružné chování.

Bernouliho hypotéza platí i nadále, ϵ_x je stále **lineární**. V bodě A je $\epsilon_x = \frac{f_{yd}}{E}$.

Ohyb nosníku v pružno-plastickém oboru

Ideálně pružno-plastický materiál, obdélníkový průřez



Průřez je zplastizován, vznik tzv. **plastického kloubu**, únosnost v ohybu je vyčerpána.

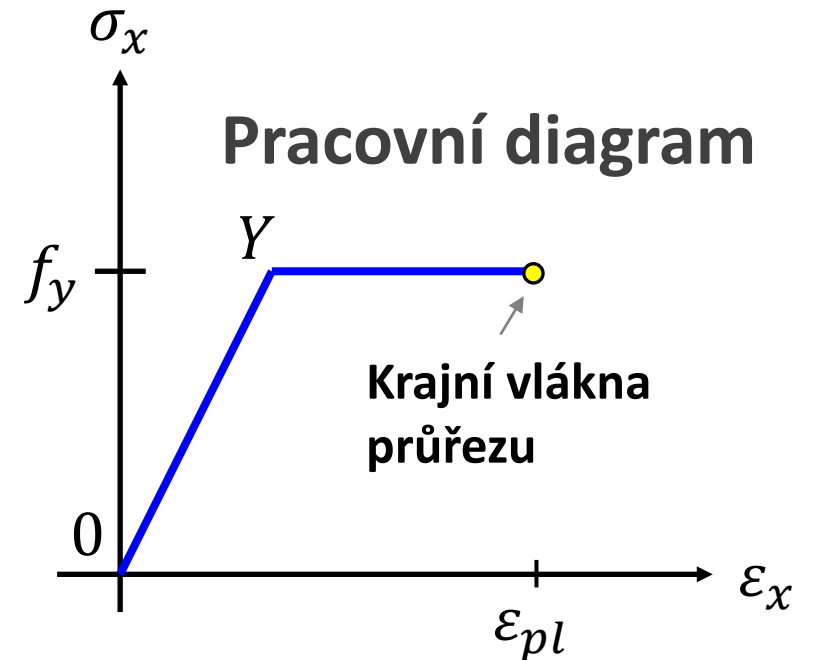
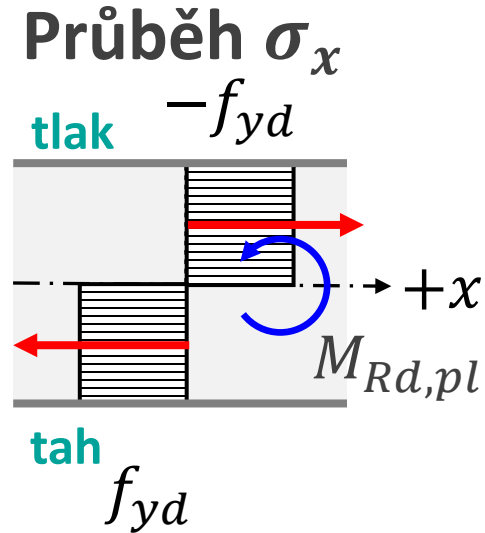
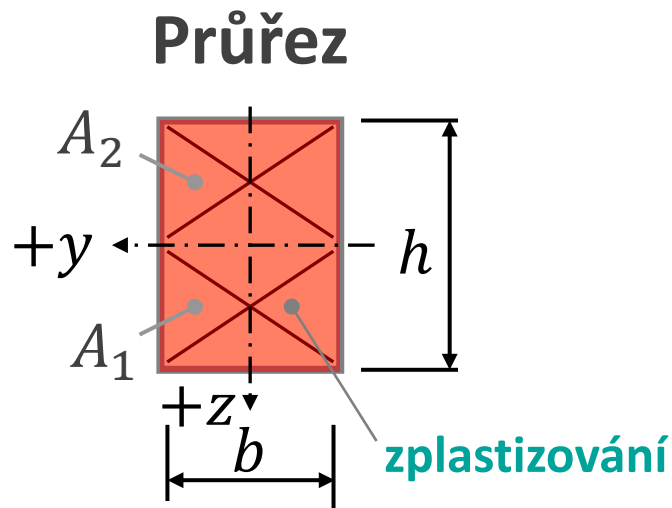
Stav IV. $N = \int_A \sigma_x dA = 0 \rightarrow \int_{A_1} f_{yd} dA + \int_{A_2} -f_{yd} dA = f_{yd} \cdot (A_1 - A_2) \rightarrow A_1 = A_2 = \frac{A}{2}$

A_1, A_2 ... plochy průřezu v plastickém stavu.

Neutrálná osa pólí plochu průřezu (u nesymetrických průřezů se při plastizování **posouvá**).

Ohyb nosníku v pružno-plastickém oboru

Ideálně pružno-plastický materiál, obdélníkový průřez



Průřez je zplastizován, vznik tzv. **plastického kloubu**, únosnost v ohybu je vyčerpána.

Stav IV.

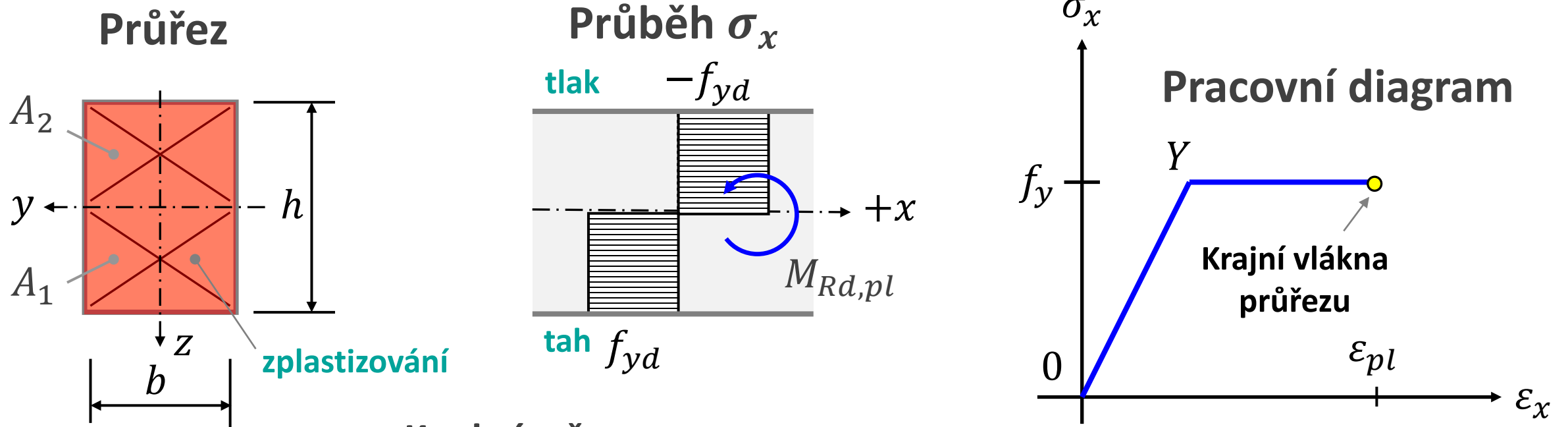
$$M_{Rd,pl} = \int_A \sigma_x \cdot z \, dA = \int_{A_1} f_{yd} \cdot z \, dA + \int_{A_2} -f_{yd} \cdot z \, dA = f_{yd} \cdot (S_{1y} - S_{2y})$$

$$S_{1y} = -S_{2y} \rightarrow S_{1y} + S_{2y} = 0 \rightarrow M_{Rd,pl} = f_{yd} \cdot 2 \cdot S_{1y} = f_{yd} \cdot W_{y,pl}$$

$$W_{y,pl} = 2 \cdot S_{1y} \dots \text{plastický průřezový modul [m}^3\text{]}$$

Ohyb nosníku v pružno-plastickém oboru

Ideálně pružno-plastický materiál, obdélníkový průřez



Stav IV.

Konkrétně:

$$S_{1y} = A_1 \cdot \frac{h}{4} = \frac{h}{2} \cdot b \cdot \frac{h}{4} = \frac{1}{8} \cdot b \cdot h^2$$

$$W_{y,pl} = 2 \cdot S_{1y} = 2 \cdot \frac{1}{8} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{4} \cdot b \cdot h^2$$

Plastická rezerva obdélníkového průřezu

$$\frac{W_{y,pl}}{W_{y,el}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot b \cdot h^2}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2} = \frac{6}{4} = 1,5 \rightarrow \mathbf{50\%}$$

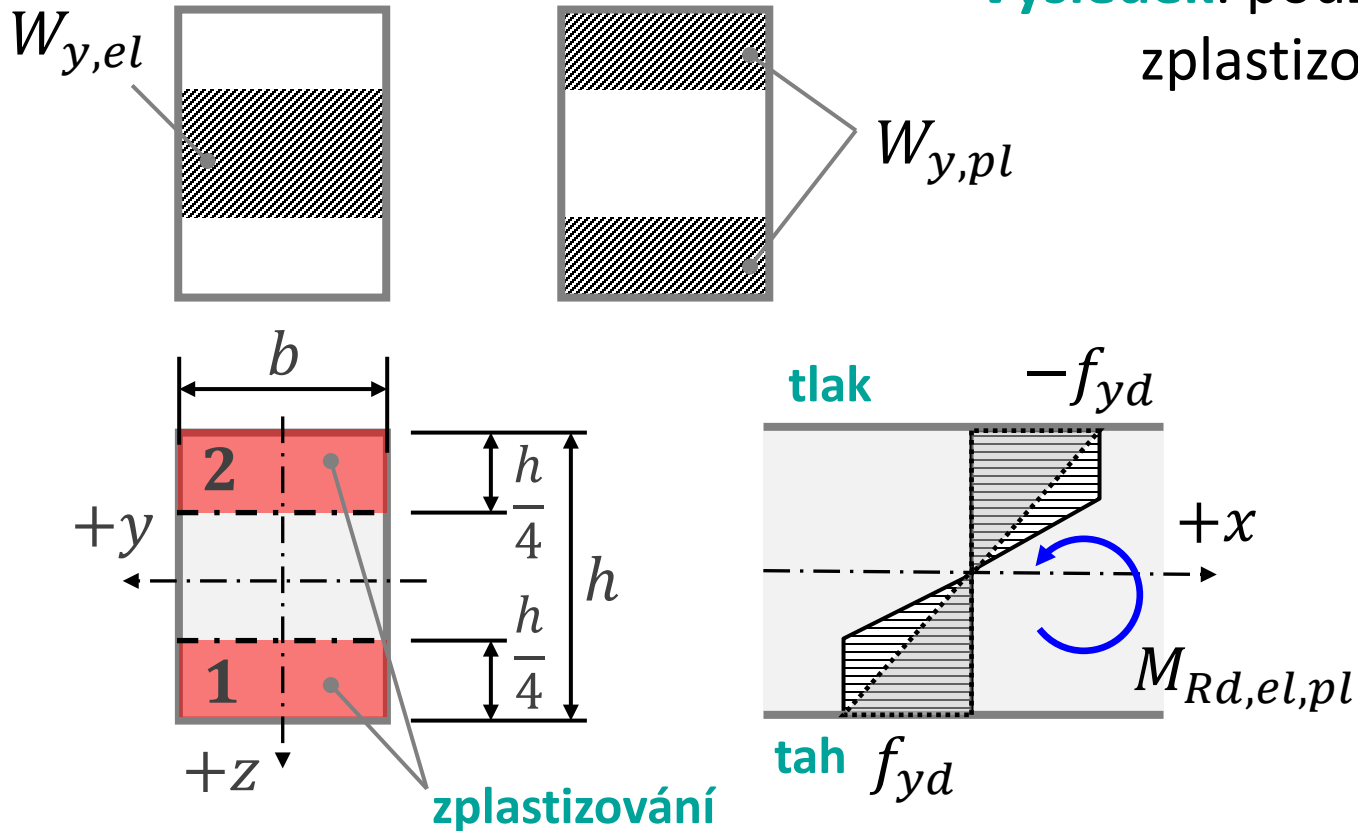
Příklad 1 Ideálně pružno-plastický materiál, obdélníkový průřez

Zadání: Určete $W_{y,el,pl}$ pro průřez se **zplastizovanými krajními čtvrtinami**

Řešení:
$$W_{y,el,pl} = W_{y,el} + W_{y,pl} = \frac{1}{6} \cdot b \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^2 + 2 \cdot \left[b \cdot \frac{h}{4} \cdot \left(\frac{h}{4} + \frac{h}{8}\right) \right] = \frac{1}{24} \cdot b \cdot h^2 + \frac{3}{16} \cdot b \cdot h^2$$

Výsledek: pouze pro případ zplastizování krajních čtvrtin!!!

$$W_{y,el,pl} = \frac{11}{48} \cdot b \cdot h^2$$

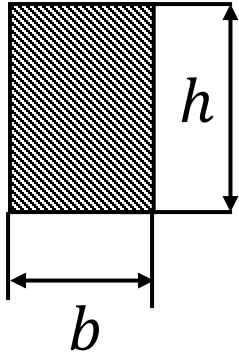


Stav	W_y [m ³]	
II.	$\frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2$	$0,1\bar{6} \cdot b \cdot h^2$
III.	$\frac{11}{48} \cdot b \cdot h^2$	$0,2291\bar{6} \cdot b \cdot h^2$
IV.	$\frac{1}{4} \cdot b \cdot h^2$	$0,25 \cdot b \cdot h^2$

Příklad 2.1

Ideálně pružno-plastický materiál, obdélníkový průřez

Zadání: Určete maximální zatížitelnost nosníku q_d [kN/m]
za předpokladu: **a) maximální normálové napětí** $\sigma_x = f_{yd}$



Vstupní údaje: $l = 6$ m $f_{yk} = 235$ MPa

$b = 20$ mm $h = 80$ mm $\gamma_M = 1,15$

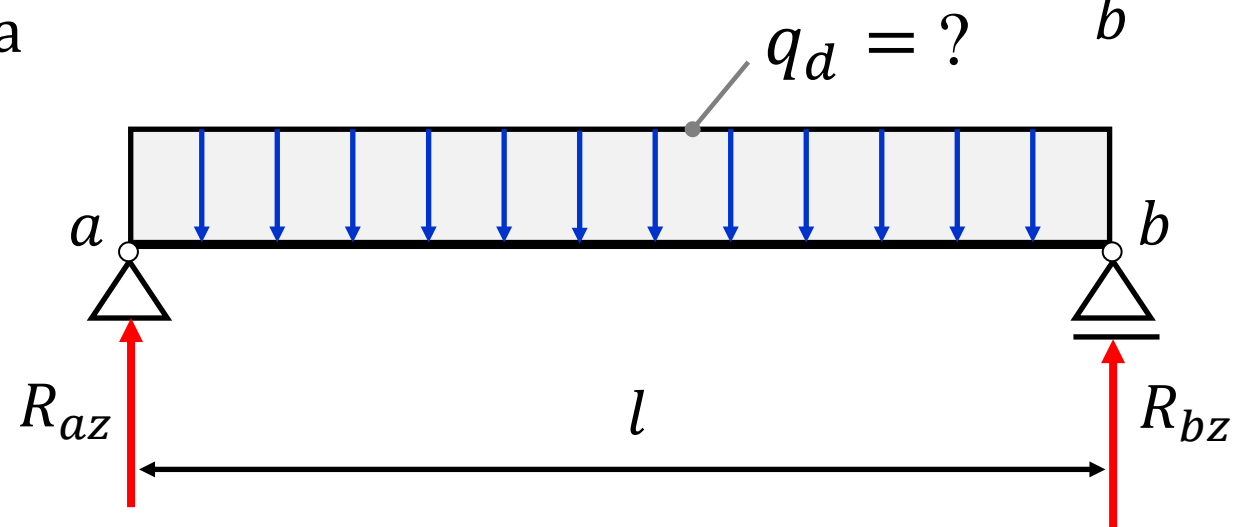
Řešení: $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} = 204,35$ MPa

$$M_{Ed,el} = M_{y,max} = \frac{1}{8} \cdot q_{d,el} \cdot l^2$$

$$W_{y,el} = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = 2,1\bar{3} \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{x,max} = f_{y,d} = \frac{M_{Ed,el}}{W_{y,el}} \rightarrow f_{y,d} = \frac{q_{d,el} \cdot l^2}{8 \cdot W_{y,el}} \rightarrow$$

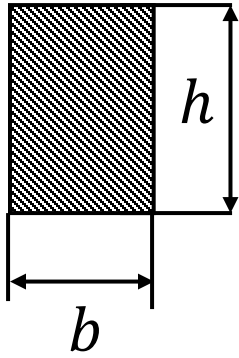
$$q_{d,el} = \frac{8 \cdot f_{yd} \cdot W_{y,el}}{l^2} = 0,97 \text{ kN/m}$$



Příklad 2.2

Ideálně pružno-plastický materiál, obdélníkový průřez

Zadání: Určete maximální zatížitelnost nosníku q_d [kN/m]
za předpokladu: **b) dojde zplastizování krajních čtvrtin průřezu**



Vstupní údaje: $l = 6$ m $f_{yk} = 235$ MPa

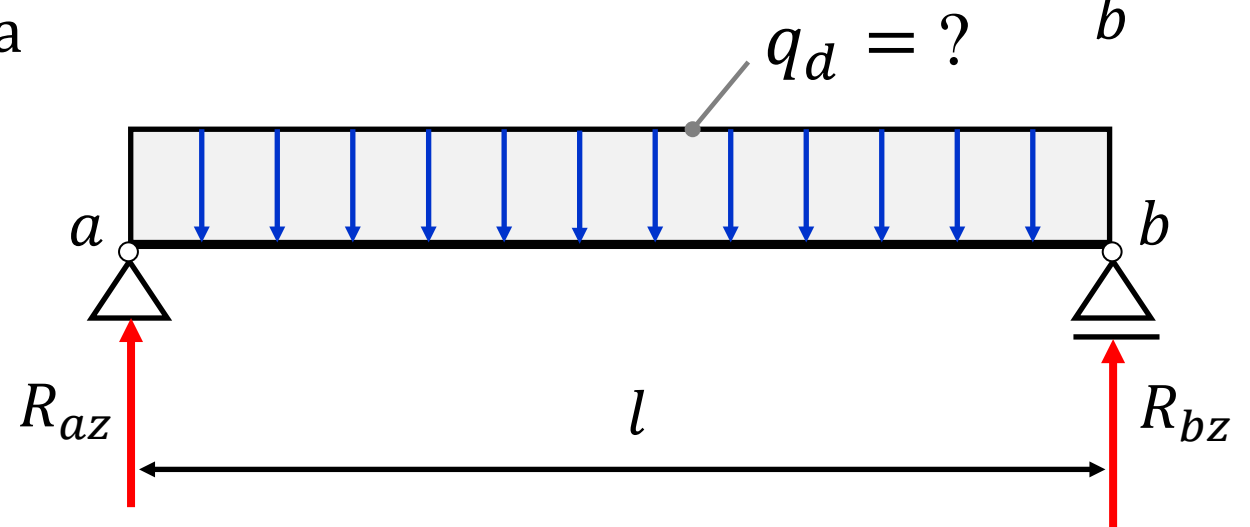
$b = 20$ mm $h = 80$ mm $\gamma_M = 1,15$

Řešení: $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} = 204,35$ MPa

$$M_{Ed,el,pl} = M_{y,max} = \frac{1}{8} \cdot q_{d,el,pl} \cdot l^2$$

$$W_{y,el,pl} = \frac{11}{48} \cdot b \cdot h^2 = 2,9\bar{3} \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

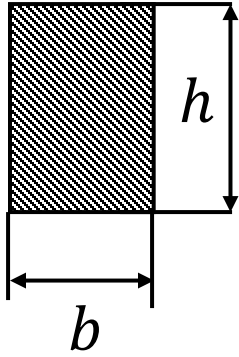
$$\sigma_{x,max} = f_{y,d} = \frac{M_{Ed,el,pl}}{W_{y,el,pl}} \rightarrow f_{y,d} = \frac{q_{d,el,pl} \cdot l^2}{8 \cdot W_{y,el,pl}} \rightarrow q_{d,el,pl} = \frac{8 \cdot f_{yd} \cdot W_{y,el,pl}}{l^2} = 1,33 \text{ kN/m}$$



Příklad 2.3

Ideálně pružno-plastický materiál, obdélníkový průřez

Zadání: Určete maximální zatížitelnost nosníku q_d [kN/m]
za předpokladu: **c) dojde k úplnému zplastizování průřezu**



Vstupní údaje: $l = 6$ m $f_{yk} = 235$ MPa

$b = 20$ mm $h = 80$ mm $\gamma_M = 1,15$

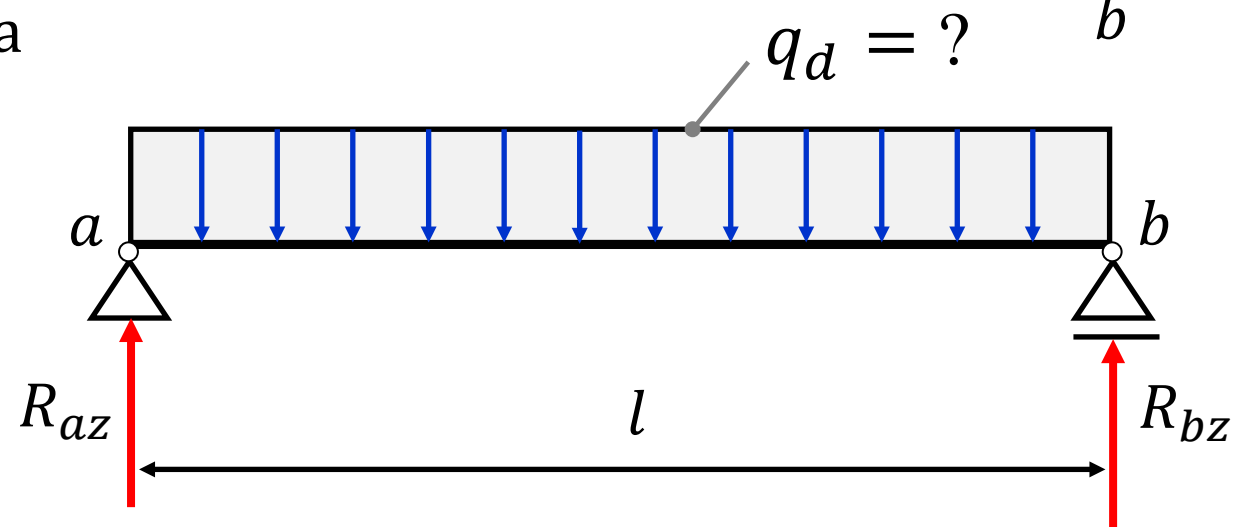
Řešení: $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} = 204,35$ MPa

$$M_{Ed,pl} = M_{y,max} = \frac{1}{8} \cdot q_{d,pl} \cdot l^2$$

$$W_{y,pl} = \frac{1}{4} \cdot b \cdot h^2 = 3,2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{x,max} = f_{y,d} = \frac{M_{Ed,pl}}{W_{y,pl}} \rightarrow f_{y,d} = \frac{q_{d,pl} \cdot l^2}{8 \cdot W_{y,pl}} \rightarrow$$

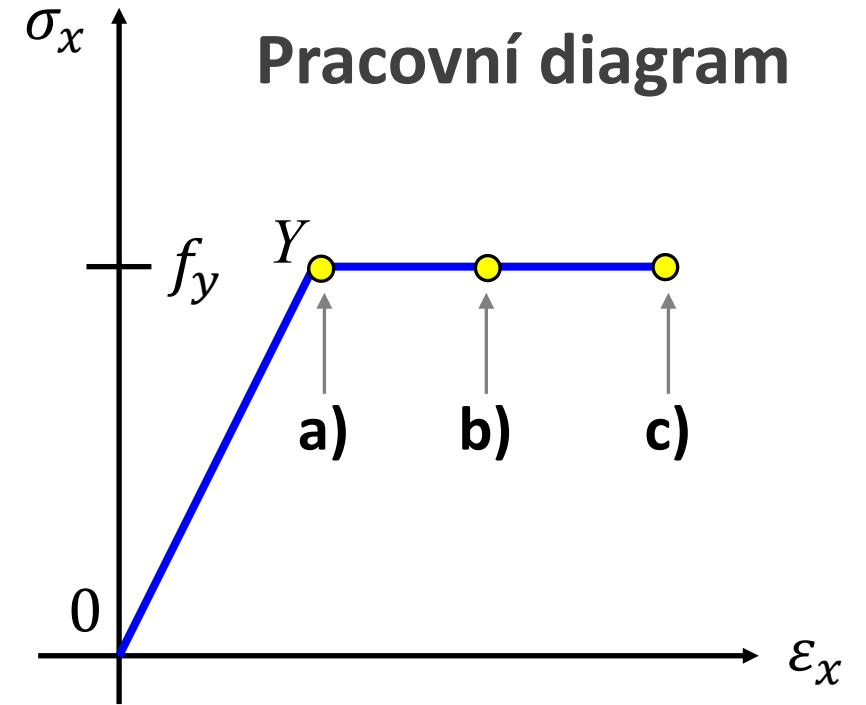
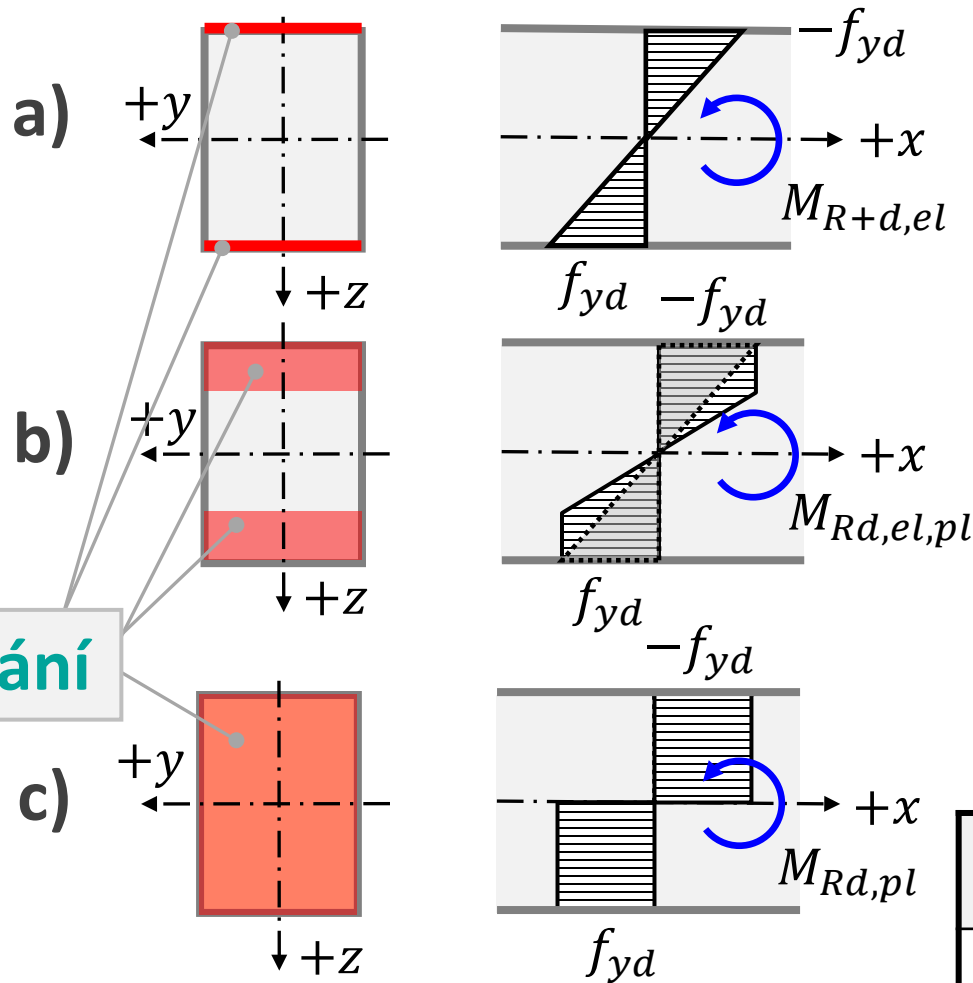
$$q_{d,pl} = \frac{8 \cdot f_{yd} \cdot W_{y,pl}}{l^2} = 1,45 \text{ kN/m}$$



Příklad 2

Shrnutí:

zplastizování

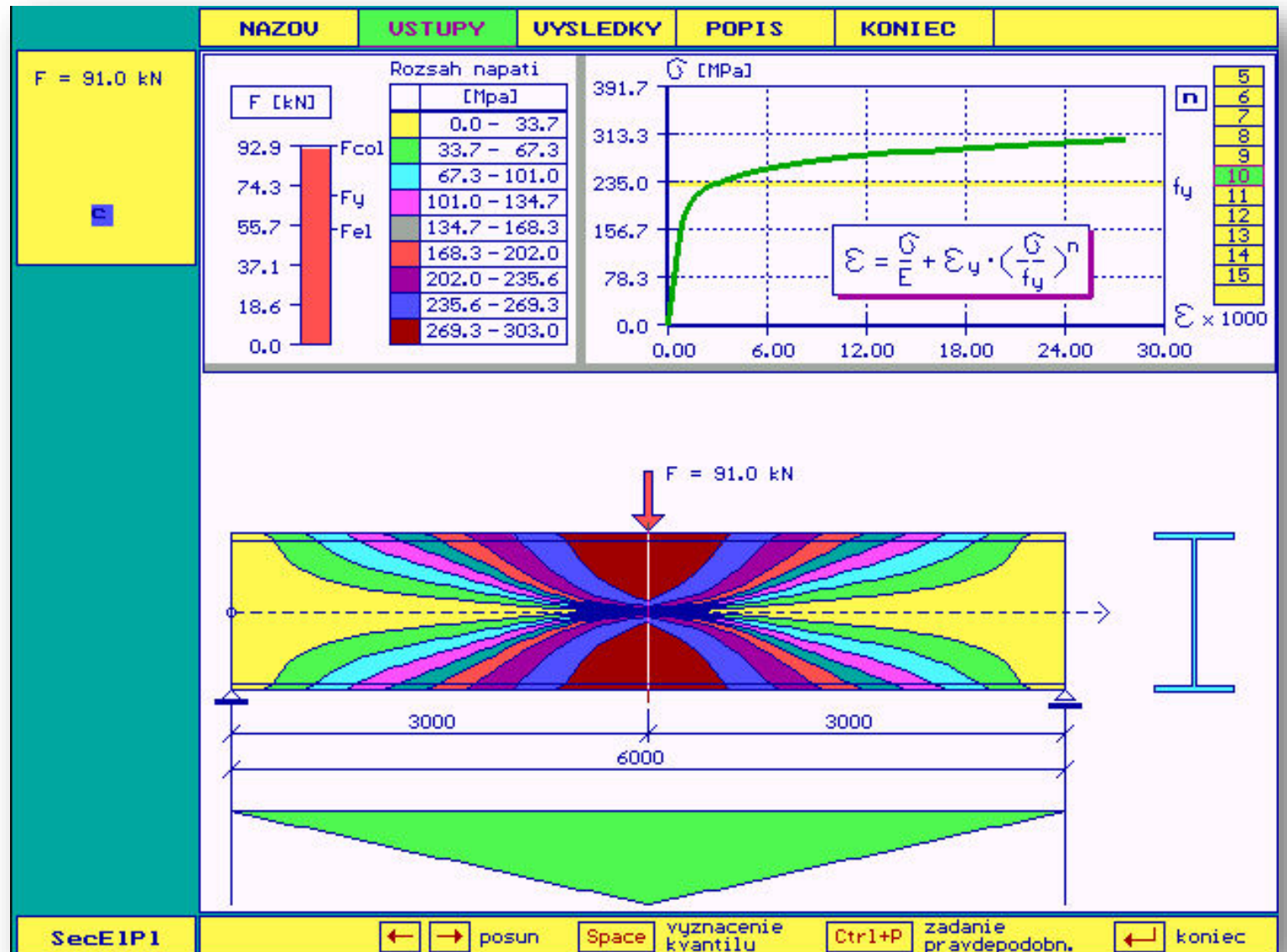


Plastická rezerva obdélníkového průřezu

$$\frac{q_{d,pl}}{q_{d,el}} = \frac{1,45}{0,97} = 1,5 \rightarrow \mathbf{50\%}$$

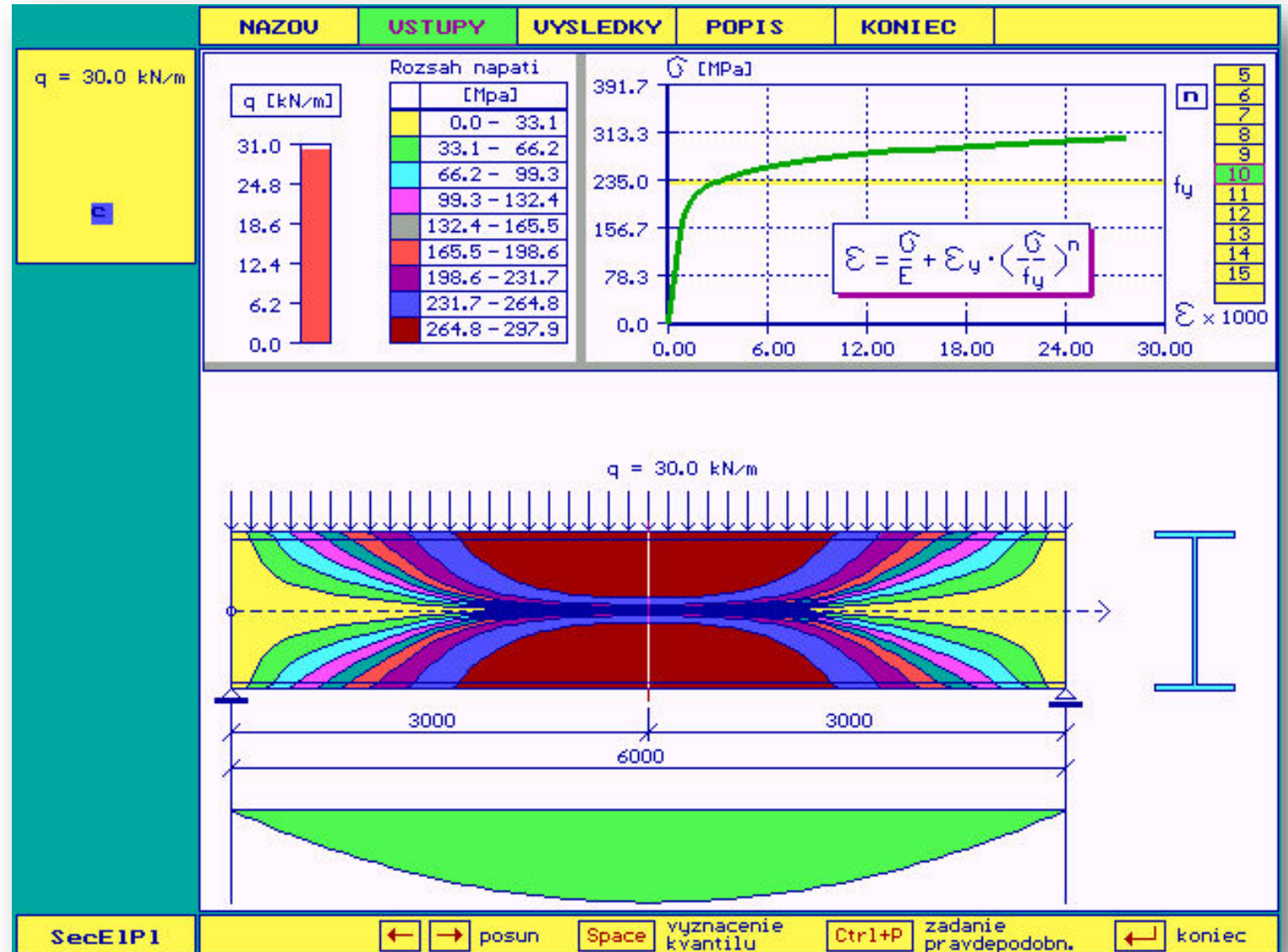
Stav	W_y [m ³]	q_d [kN/m]
a)	$2,13 \cdot 10^{-5}$	0,97
b)	$2,93 \cdot 10^{-5}$	1,33
c)	$3,20 \cdot 10^{-5}$	1,45

Ukázka studie plastizování prostého nosníku



Prostě podepřený nosník profilu I:
Zatížení osamělým břemenem,
autor: prof. Ing. Jan Hudák, CSc.

Ukázka studie plastizování prostého nosníku



Prostě podepřený nosník profilu I:
Zatížení spojitě,
autor: prof. Ing. Jan Hudák, CSc.

Ukázka studie plastizování důlní výztuže

Autor: Ing. Ivan Kološ, Ph.D.



Ukázka úplného zplastizování průřezu

Destrukce ocelové konstrukce
zastřešení stadionu,
foto: prof. Ing. Radim Čajka, CSc.



Ukázka úplného zplastizování průřezu

Destrukce ocelové konstrukce
zastřešení stadionu,
foto: prof. Ing. Radim Čajka, CSc.

